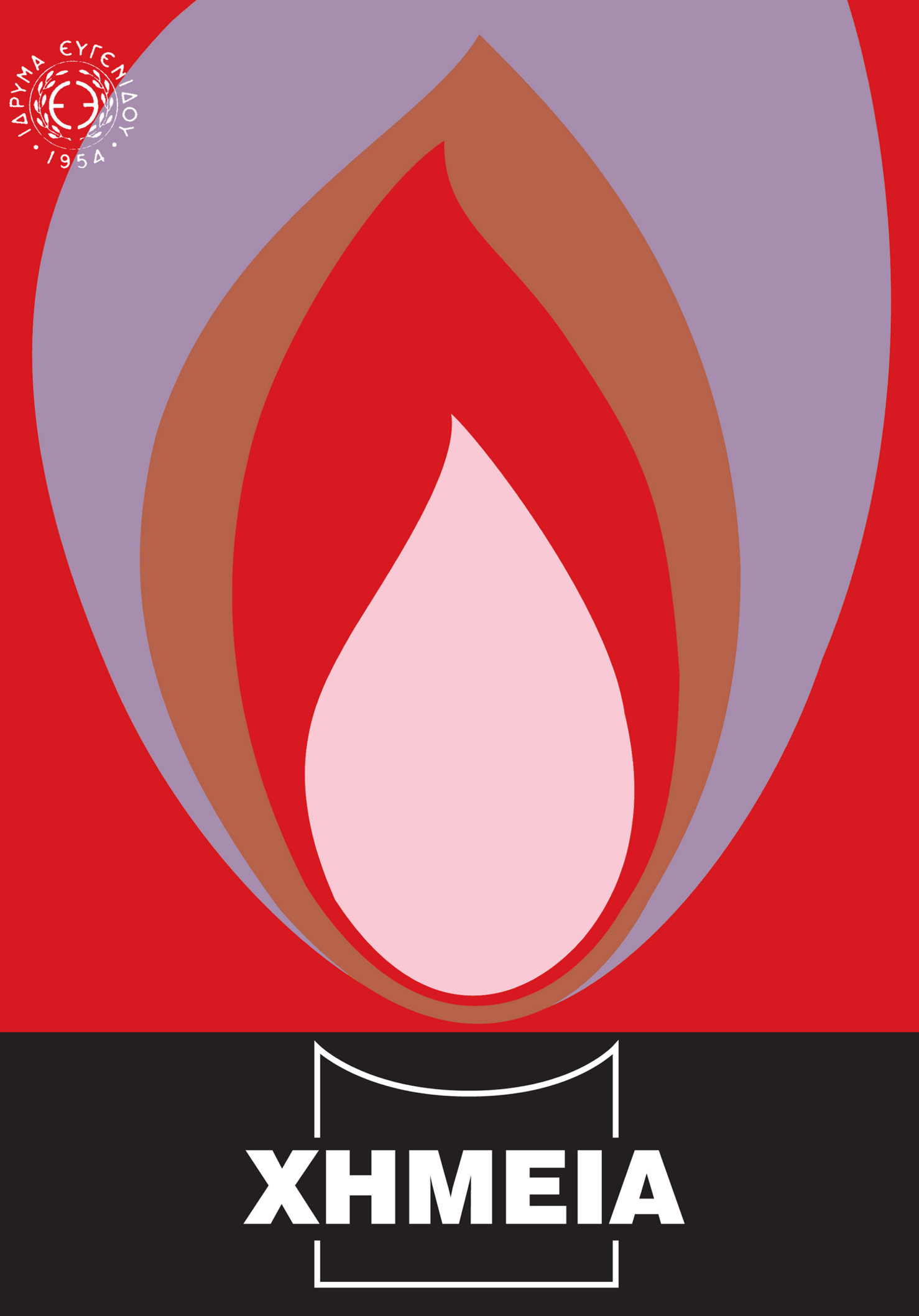

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
1954
ΧΗΜΕΙΑ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βιβλίο "***ΧΗΜΕΙΑ***: Μια ερευνητική προσέγγιση" έχει έναν πολύ διακεκριμένο πρόγονο. Το 1959 μια οργανωτική επιτροπή, με διευθυντή τον τιμηθέντα με το βραβείο Νόμπελ στη Χημεία καθηγητή Glenn T. Seaborg, αποφάσισε να εφοδιάσει τα σχολεία της μέσης εκπαιδεύσεως με μια πραγματικά νέα και σύγχρονη εισαγωγή διδασκαλίας και εκμαθήσεως της χημείας. Μια ομάδα καθηγητών από διάφορα πανεπιστήμια και γυμνάσια-λύκεια, συγκροτήθηκε, για να σχεδιάσει και να γράψει ένα τέτοιο "νεωτεριστικό" κείμενο. Η πρώτη έκδοση, μαζί με τον εργαστηριακό οδηγό, ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 1960 και χρησιμοποιήθηκε σε 23 Λύκεια, των ΗΠΑ κατά το σχολικό έτος 1960 - 61, από 1300 μαθητές. Το βιβλίο ονομαζόταν "Χημεία - Μια Πειραματική Επιστήμη". Και με εκείνον τον τίτλο όπως και με τον τίτλο του βιβλίου που διαβάζετε τώρα, επισημαίνεται ότι η χημεία είναι μια επιστήμη που προσεγγίζεται μέσα από το πείραμα και την έρευνα.

Το αρχικό βιβλίο έγινε αποδεκτό με ενθουσιασμό από τους καθηγητές και τους μαθητές. Στη συνέχεια ακολούθησαν μια δεύτερη και μια τρίτη έκδοση. Κάθε νέα έκδοση περιελάμβανε αλλαγές τις οποίες υπεδείκνυαν καθηγητές και μαθητές που χρησιμοποίησαν την προηγούμενη έκδοση. Μέχρι το 1966 το βιβλίο είχε χρησιμοποιηθεί από περισσότερους των 700.000 μαθητών στα σχολεία των ΗΠΑ και από πολλούς άλλους στο εξωτερικό.

Η βασική ιδέα, κατά την εκπόνηση του αρχικού κειμένου, ήταν να προβληθούν τα στάδια διά μέσου των οποίων οι επιστήμονες βαδίζουν για να φθάσουν στα θεμελιώδη φαινόμενα και τις αρχές - κλειδιά που ερμηνεύουν τη συμπεριφορά του κόσμου γύρω μας. Αυτή η βασική ιδέα διατηρήθηκε και σε αυτό το βιβλίο. Επίσης, θεωρήθηκε σκόπιμο να προσεγγισθούν οι βασικές έννοιες και αλήθειες - μια πρώτη γνωριμία με τη χημεία - μέσα από πειράματα. Τα πειράματα αυτά πραγματοποιούνται από τους μαθητές αμέσως μόλις αναφερθούν στο κείμενο οι έννοιες, που το κάθε πείραμα περιλαμβάνει. Έτσι, δίνεται έμφαση στην άποψη ότι οι επιστημονικές έννοιες και αλήθειες πηγάζουν από το πείραμα.

Βέβαια έμφαση δίνεται επίσης στην ιδέα ότι η επιστήμη είναι κάτι πολύ περισσότερο από μια συλλογή φαινομένων (όσο ακριβή, εντυπωσιακά και πολυάριθμα κι αν είναι τα φαινόμενα αυτά). Τα υποδείγματα και οι ομοιότητες συμπεριφοράς και ιδιοτήτων που σημειώνονται με τις παρατηρήσεις πειραμάτων, όπως και τα πρότυπα ή οι θεωρίες που μπορούν να διαμορφωθούν, σύμφωνα με αυτά τα υποδείγματα και τις ομοιότητες συμπεριφοράς, είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της επιστήμης. Στο βιβλίο αυτό, παράλληλα με την εργαστηριακή δουλειά, δίνεται μεγάλη έμφαση στο συσχετισμό των πειραματικών δεδομένων, έτσι ώστε να διαμορφωθούν τα υποδείγματά τους, καθώς επίσης η ανάπτυξη και ο έλεγχος των προτύπων και των θεωριών. Η επιστήμη, στην καλύτερη περίπτωση, εξετάζει τη σπουδαιότητα της αλληλεπιδράσεως πειράματος - θεωρίας και στο βιβλίο αυτό γίνεται προσπάθεια να δοθεί στο μαθητή μια ιδέα αυτής της αλληλεπιδράσεως.

Αυτό το βιβλίο έχει γραφεί με την πεποίθηση ότι ο καλύτερος τρόπος για να παρουσιάσεις τη χημεία είναι να παρουσιάσεις τις πιο βασικές αρχές της, συμπεριλαμβανομένων των εννοιών της ενέργειας, της ταχύτητας και της ισορροπίας των χημικών αντιδράσεων, της τρισδιάστατης δομής των μορίων, των χημικών δεσμών, όπως αυτοί απαντούν στα υγρά, τα στερεά και τα αέρια, καθώς επίσης και των ιδεών περί της ατομικής δομής και της χημικής περιοδικότητας. Φυσικά, όλες αυτές οι αρχές και οι έννοιες δεν μπορούν να παρουσιασθούν ολοκληρωμένες, αλλά παρουσιάζονται κατά έναν απλουστευμένο αλλά επιστημονικά έγκυρο τρόπο, ώστε να αποτελέσουν τα θεμέλια, πάνω

στα οποία θα οικοδομηθεί η περαιτέρω μελέτη. Βεβαίως, οποιαδήποτε γνώση αποκτηθεί τώρα δεν σημαίνει ότι θα πρέπει να "ξεχασθεί".

Τέλος, με αυτό το βιβλίο, ελπίζομε να λάβετε μια ιδέα της σημασίας και των δυνατοτήτων των επιστημονικών δραστηριοτήτων στο σχεδιασμό του μέλλοντος του ανθρώπου και του κόσμου του. Ακόμη και ο μαθητής, του οποίου η μελλοντική απασχόληση είναι πιθανόν να μην έχει άμεση σχέση με τις φυσικές επιστήμες, θα διαπιστώσει ότι η σταδιοδρομία του επηρεάζεται έμμεσα από τις δραστηριότητες των χημικών και όσων άλλων ακόμη ασχολούνται με τις φυσικές επιστήμες. Ελπίζομε ότι η μελέτη αυτού του βιβλίου θα βοηθήσει όλους τους μελλοντικούς πολίτες να κατανοήσουν και να εκτιμήσουν σωστά την αυξανόμενη επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον τους.

Τα τελευταία μόλις χρόνια αναγνωρίστηκε ευρέως ότι πολλές από τις δραστηριότητές μας, βασισμένες στην τεχνολογία, επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον μας. Ρυπαίνομε τον αέρα και το νερό, και εισάγομε στο περιβάλλον ουσίες οι οποίες διαταράσσουν σοβαρά τις οικολογικές ισορροπίες. Η φύση πολλών από αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι κατά βάση χημική. Γι' αυτό είναι ορθό - και σχεδόν επείγον - στο βιβλίο αυτό, όπου δίνεται έμφαση στις αρχές της χημείας ως καθαρής επιστήμης, να δοθεί προσοχή στα σημαντικά προβλήματα του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό συμπεριλάβαμε μια σειρά από σύντομα άρθρα υπό τον τίτλο <BI>Η Χημεία και το Περιβάλλον μας<D>, στα οποία ορισμένα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα θεωρούνται από την οπτική γωνία του χημικού. Ελπίζομε έτσι να δείξομε ότι η χημεία δεν είναι μόνο ένας σπουδαίος επιστημονικός κλάδος, αλλά και ένα σημαντικό εργαλείο για τη χάραξη του μέλλοντος του ανθρώπου κατά τρόπο έξυπνο και φρόνιμο.

Θα επιθυμούσαμε να εκφράσομε το μεγάλο χρέος μας, προς όλους όσους συνέβαλαν στην προετοιμασία του πονήματος αυτού. Είναι μια εξουσιοδοτημένη αναθεώρηση του βιβλίου "*Χημεία - Μια πειραματική επιστήμη*" που εκδόθηκε από το <BI>CHEMICAL EDUCATION MATERIAL STUDY<D>, με την υποστήριξη του Ιδρύματος Φυσικών Επιστημών. Για την άδεια πραγματοποιήσεως αυτής της εκδόσεως οι συγγραφείς εκφράζουν την ευγνωμοσύνη τους. Η άδεια αυτή δεν συνεπάγεται την ανάληψη ευθύνης από την Chemical Educational Material Study για την παρούσα έκδοση.

Γνωρίζοντας ότι σε αυτό το βιβλίο, όπως σε όλες τις ανθρώπινες προσπάθειες, τα περιθώρια βελτιώσεως είναι πολλά, ειλικρινά ενθαρρύνομε όλους τους χρήστες του, καθηγητές και μαθητές, να μας εκφράσουν τις κρίσεις και τις προτάσεις τους.

Οι συγγραφείς

Πρόλογος Ιδρύματος Ευγενίδου

Το Ίδρυμα Ευγενίδου από πολύ νωρίς υιοθέτησε τη μετάφραση ή προσαρμογή στα ελληνικά καταξιωμένων διεθνώς διδακτικών και άλλων εγχειριδίων.

Χαρακτηριστικό είναι ότι το πρώτο βιβλίο, από τα υπερτριακόσια που έχει ήδη συγγράψει και εκδόσει το Ίδρυμα μέχρι σήμερα, ήταν το 1957 η προσαρμογή στα ελληνικά του βιβλίου του R. Cluzel "Les Mathématiques en 1re Année apprentissage", από τον αείμνηστο καθηγητή των μαθηματικών του ΕΜΠ Νικ. Κριτικό. Με το βιβλίο εκείνο προσήγγισαν την μαθηματική σκέψη και αντελήφθησαν την σημασία των μαθηματικών για τα τεχνικά μαθήματα γενιές ολόκληρες μαθητών των τότε κατωτέρων Τεχνικών Σχολών.

Ακολούθησε η μετάφραση των βιβλίων: Ιατρικός οδηγός για πλοία, Οδηγός ασφάλειας δεξαμενοπλοίων, Πυρόσβεση-Πυροπροστασία και Πυρασφάλεια στα πλοία, Πρόληψη ατυχημάτων επί του πλοίου "εν πλω" και "εν όρμω" και Ωκεανογραφία, εγχειρίδια μη καθαρώς διδακτικά αλλά απαραίτητα για τους ναυτιλομένους. Σ' αυτά πρέπει να προστεθούν τα βιβλία: Η Βιολογική Επιστήμη και PSSC Φυσική, το οποίο επί σειράν ετών είχε χρησιμοποιηθεί ως διδακτικό βιβλίο για την Α΄ και Β΄ τάξη των Λυκείων πειραματικώς.

Η μακρόχρονη εκδοτική πείρα του Ιδρύματος επέτρεψε την επιλογή του παρόντος βιβλίου Χημείας, διεθνούς ακτινοβολίας. Βασικό προτέρημα του βιβλίου είναι ότι η γραπτή έκθεση της ύλης γίνεται σε ύφος ζωντανό που διεγείρει το ενδιαφέρον και ευχαριστεί τον μαθητή, σαν ένας ζωηρός προφορικός λόγος ταιριαστός με την ηλικία του. Εξάλλου η προσέγγιση του περιεχομένου και η ξεκάθαρη και κυριολεκτούσα γλωσσική διατύπωση, διδάσκουν σιγά-σιγά τον μαθητή να εκφράζει την σκέψη του με την γλώσσα της επιστήμης και προάγουν τη διανοητική του μόρφωση.

Το Ίδρυμα πιστεύει ότι η χρησιμότητα του βιβλίου αυτού δεν περιορίζεται μόνο στους μαθητές και σπουδαστές, αλλά επεκτείνεται και σε όσους διδάσκουν το σχετικό μάθημα· το γεγονός ότι το περιεχόμενό του δεν συμπίπτει απολύτως με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα διδακτέας ύλης του μαθήματος στα σχολεία μας δεν αποτελεί εμπόδιο. Το Ίδρυμα προγραμματίζει ήδη την μετάφραση των συνοδευτικών βιβλίων του εγχειριδίου: Supplementary Readings and Investigations, Laboratory Supplement to accompany και Teacher's Guide, με τα οποία θα διευκολυνθεί πλήρως η διδασκαλία του μαθήματος.

Το Ίδρυμα ευχαριστεί τον εκδοτικό οίκο Houghton Mifflin Company για την παραχώρηση των δικαιωμάτων μεταφράσεως. Ευχαριστεί επίσης θερμώς την κυρία Νικολέττα Γιάννοβιτς, Δρα Χημείας, για την πολύ καλή μετάφραση του κειμένου και τους κυρίους Βασίλειον Καρώνην, Χημικόν τ. Σχολικόν Σύμβουλον και τον Δρα Αντώνιον Μπομπέτσην, Χημικόν για την επιστημονική και παιδαγωγική επιμέλεια του κειμένου της μεταφράσεως και τις πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Της εκδόσεως του βιβλίου αυτού προηγήθηκαν, όπως ελέχθη, οι μεταφράσεις των βιβλίων της Φυσικής και της Βιολογίας. Με την έκδοση της Χημείας ολοκληρώνεται ο κύκλος των βασικών γνώσεων των θετικών επιστημών και το Ίδρυμα θεωρεί ότι προσφέρει ό,τι καλύτερο στον τομέα αυτόν.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ

Χ Η Μ Ε Ι Α

F. ALBERT COTTON
Texas A & M University

C. LEROY DARLINGTON
Montclair High School

LAWRENCE D. LYNCH
Palo Alto Senior High School

Απόδοση στα ελληνικά
ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΓΙΑΝΝΟΒΙΤΣ - ΑΡΓΥΡΙΑΔΗ
Δρ. Χημείας

ΑΘΗΝΑ
1997

Πρόλογος συγγραφέων

Η χημεία είναι μία εκ των φυσικών επιστημών. Σχεδόν κάθε φάση της ζωής μας επηρεάζεται από τα αποτελέσματα των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται σε αυτά τα επιστημονικά πεδία. Κατά τους δυο τελευταίους αιώνες ο άνθρωπος μέσω των φυσικών επιστημών κατάφερε να κατανοήσει και να ελέγξει το περιβάλλον, εντός του οποίου ζει με αποτέλεσμα οι συνθήκες της ζωής του να αλλάξουν περισσότερο από ό,τι στις προηγούμενες χιλιετίες. Η επίδραση των φυσικών επιστημών στη ζωή του ανθρώπου θα γίνει ακόνη μεγαλύτερη στο μέλλον. Γι' αυτό όλοι μας θα πρέπει να έχομε κάποιες γνώσεις για τις δραστηριότητες στα εν λόγω επιστημονικά πεδία, πώς αυτές αναπτύσσονται και πώς επηρεάζουν το ανθρώπινο γένος. Με τη μελέτη της χημείας μπορεί κάποιος να εξοικειωθεί με αυτά τα θέματα.

Η χημεία ασχολείται με όλες τις ουσίες που βρίσκονται στο περιβάλλον μας και με τις μεταβολές τους. Οι μεταβολές μπορεί να είναι τόσο απλές και συνηθισμένες, όσο η καύση ενός κεριού, ή τόσο πολύπλοκες και λεπτά εξισορροπημένες, όσο οι διεργασίες που διατηρούν το σώμα μας στη ζωή. Οι ίδιες αυτές ουσίες μπορεί να είναι σκληρές και ανθεκτικές, όσο τα βράχια και το ατσάλι, ή τόσο ανεπαίσθητες και φαινομενικά ανύπαρκτες, όσο τα αέρια και ο αέρας.

Το βιβλίο αυτό παρουσιάζει τη χημεία όπως είναι σήμερα. Δίνεται μεγάλη έμφαση στο πείραμα και την παρατήρηση που λειτουργούν ως βάση για την επιστήμη αυτή, πράγμα το οποίο, εξάλλου, ισχύει και για όλες τις φυσικές επιστήμες. Οι ενοποιημένες αρχές της χημείας αναπτύσσονται κατά ένα λογικό τρόπο, ενώ η εργαστηριακή εργασία αποτελεί τη βάση για αυτήν την ανάπτυξη. Υπάρχουν γνωστά φαινόμενα πολύ περισσότερα από όσα ελπίζει κάποιος να θυμάται. Αλλά, επιστήμη δεν είναι η απλή συγκέντρωση και καταγραφή φαινομένων. Ο πραγματικός ρόλος της επιστήμης είναι η κατά συστηματικό τρόπο κατανόηση και ερμηνεία των φαινομένων, δηλαδή η γνώση των αρχών στις οποίες βασίζονται τελικά τα φαινόμενα.

Στο βιβλίο αυτό δίνεται έμφαση σε αυτές τις αρχές και στον τρόπο με τον οποίο προέκυψαν ή προκύπτουν από την πειραματική παρατήρηση. Θα ασχοληθείτε με την επιστημονική δραστηριότητα κατά τον ίδιο βασικά τρόπο με τον οποίο ασχολείται και κάθε επιστήμονας. Δηλαδή, καθώς θα μελετάτε χημεία, θα γίνεσθε, κατά κάποιο τρόπο, και εσείς επιστήμονες. Επί πλέον, θα μάθετε για μερικές από τις επιβλαβείς συνέπειες της τεχνολογίας στο περιβάλλον. Βασιζόμενοι στις κατακτήσεις της χημείας θα ενθαρρυνθείτε στην αναζήτηση τρόπων, με τους οποίους μπορεί να αντιμετωπισθούν τέτοιου είδους προβλήματα και να αποφευχθεί δημιουργία άλλων αντιστοίχων προβλημάτων.

Στο τέλος αυτής τη μαθησιακής πορείας θα έχετε γνωρίσει μόνο ένα μικρό μέρος όλων όσων είναι γνωστά στο χώρο της επιστήμης της χημείας. Παρ' όλα αυτά, θα συνειδητοποιήσετε ότι όλα όσα δεν γνωρίζετε (μερικά από τα οποία κάποιος δε τα γνωρίζει ακόμη) δεν είναι ακατανόητα. Αντίθετα, μπορούν, αν προσεγγισθούν με κατάλληλες επιστημονικές μεθόδους, να γίνουν κατανοητά. Ελπίζομε ακόμη ότι θα συνειδητοποιήσετε πως η ενασχόληση με νέα μέτωπα έρευνας στη χημεία - όπως και σε κάθε επιστήμη - αποτελεί μια δραστηριότητα που προκαλεί έντονη συγκίνηση και ικανοποίηση.

Πλήθος στοιχείων αυτού του βιβλίου έχουν δοθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η μελέτη αυτού να είναι ευχάριστη και αποτελεσματική.

Σημαντικές λέξεις και όροι είναι τυπωμένοι με έντονα μαύρα στοιχεία όταν εμφανίζονται για πρώτη φορά στο κείμενο: ***πρότυπο***, ***ευγενή αέρια*** κ.λ.

Μετά από κάθε τμήμα ενός κεφαλαίου ακολουθεί μια σύντομη περίληψη και επαναληπτικές ερωτήσεις για να σας βοηθούν να ελέγξετε τις γνώσεις σας.

Στο τέλος κάθε κεφαλαίου υπάρχει περίληψη των πλέον σημαντικών σημείων του κεφαλαίου και ένας μεγαλύτερος αριθμός ερωτήσεων και προβλημάτων.

Το Γλωσσάριο στο τέλος του βιβλίου παρέχει συνοπτικούς ορισμούς σημαντικών όρων και φράσεων.

Στα Παραρτήματα 1-7 υπάρχουν διάφοροι πίνακες αναφοράς.

Στο Παράρτημα 8 περιγράφονται διαδικασίες και γενικές οδηγίες για ασφαλή και αποτελεσματική εργαστηριακή δουλειά και παρατίθενται φωτογραφίες των πιο συνηθισμένων οργάνων εργαστηριακών συσκεύων.

Οι συγγραφείς

Ο Δρ. F. Albert Cotton είναι καθηγητής Χημείας στο Πανεπιστήμιο A & M του Τέξας όπου διεξάγει ένα εκτεταμένο ερευνητικό πρόγραμμα. Είναι συγγραφέας περισσοτέρων από 300 ερευνητικών άρθρων και μερικών ευρείας κυκλοφορίας βιβλίων διδασκαλίας για κολλέγια και πανεπιστήμια. Επί πλέον, έχει δώσει διαλέξεις σε όλο τον κόσμο και είναι μέλος της Εθνικής Ακαδημίας επιστημών. Ο Δρ. Cotton γνωρίζει καλά τις απαιτήσεις όλων των επιπέδων της χημικής εκπαιδεύσεως και έχει επιδείξει ένα συνεχές ενδιαφέρον για την αναβάθμιση των μέσων και των τεχνικών της εκπαιδεύσεως.

Ο κ. C. LeRoy Darlington διδάσκει χημεία στο Γυμνάσιο του Montclair του New Jersey. Έχει διδάξει σε τμήματα φυσικών επιστημών και μαθηματικών τόσο σε ιδιωτικά όσο και σε δημόσια σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαιδεύσεως για περισσότερα από είκοσι χρόνια. Πριν απ' αυτό εργάστηκε στα τεχνικά έργα του Manhattan ως μέλος της εταιρείας E. I. DuPont de Nemours and Company. Εξακολούθησε να ασχολείται με βιομηχανική έρευνα πάνω στη χημεία και να παρακολουθεί σειρές μαθημάτων χημείας και άλλων επιστημών κατά τη διάρκεια των θερινών διακοπών του.

Ο κ. Lawrence D. Lynch είναι προϊστάμενος στο Γυμνάσιο του Palo Alto στην California. Δίδαξε χημεία στο γυμνάσιο για περισσότερο από 15 χρόνια. Αρχικά δίδαξε στο Denver, του Colorado και αργότερα στο Beverly Hills.της California. Προηγουμένως ο κ. Lynch ήταν ερευνητής στην εταιρεία Union Carbide and Carbon Chemical, στο εργαστήριο του Oak Ridge. Ο κ. Lynch εργάστηκε στον τομέα της ανάπτυξης του προγράμματος μαθημάτων για αρκετά χρόνια, και υπήρξε ενεργό μέλος της συγγραφικής ομάδας του "CHEM Study".

Απόδοση στα ελληνικά από την αγγλική έκδοση του βιβλίου CHEMISTRY An Investigative Approach των F. Albert Cotton, C. LeRoy Darlington, Lawrence D. Lynch του εκδοτικού οίκου Houghton Mifflin Company Boston

Copyright © 1976, 1973 by Houghton Mifflin Company. All rights reserved. No part of this work may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording, or by any information storage or retrieval system without permission in writing from the publisher. Printed in the U.S.A.

ISBN 960-337-024-X

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ. Πρόεδρος.
Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ.καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.
Σταμάτης Παλαιοκρασσάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.
Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος.**

ΧΗΜΕΙΑ - Ο μύθος και η πραγματικότητα

Ο αμύητος όταν μιλάει για χημεία, συνήθως αναλογίζεται περίεργες γυάλινες συσκευές, πολύχρωμα υγρά, ατμούς, αναθυμιάσεις, δυσοσμίες, πολεμικά αέρια. Ακόμα, στο μνημονικό του έρχονται μισητοί χημικοί τύποι, που ίσως κάποτε τον βασάνισαν για να τους αποστηθίσει.

Οι πιο πολλοί άνθρωποι, αν δεν τρέφουν απέχθεια, δεν διατηρούν τουλάχιστον συμπάθεια για τη χημεία. Ίσως γι' αυτό να ευθύνεται και το εκπαιδευτικό σύστημα, που από τις ρίζες του διαχωρίζει τη χημεία από την καθημερινή ζωή, από τον ίδιο τον εαυτό μας και το περιβάλλον μας. Η χημεία που διδάσκεται, ακόμα και στα πανεπιστήμια, είναι πολλές φορές, η τυπική: δηλαδή η στυγνή απομνημόνευση νόμων και τύπων. Το σύστημα αυτό διδασκαλίας απομονώνει στεγανά τη βιολογία, τη χημεία και τη φυσική μεταξύ τους.

Χρειάσθηκαν πολλά χρόνια για να συνειδητοποιηθούν αυτά που τα στεγνά διδακτικά εγχειρίδια ποτέ δεν μας αφηγήθηκαν απλά, δηλαδή ότι χημεία είναι ό,τι αντικρίζομε μέσα και γύρω μας, στον ουρανό, στη γη, στη θάλασσα. Είναι η επιστήμη που μελετά την ύλη, την μεταμορφώνει και αγγίζει έτσι τη ζωή μας κάθε δευτερόλεπτο. Είναι η ίδια η ζωή μας. Είναι η πιο διεθνής γλώσσα, κατανοητή σε κάθε μήκοςκαι πλάτος του πλανήτη και του Σύμπαντος. Είναι ένα θεμελιώδες φαινόμενο του πολιτισμού. Η χημεία δεν είναι δημιούργημα του ανθρώπου. Είναι απλά μια από τις θεμελιώδεις κατευθύνσεις για την ανάπτυξη του Σύμπαντος. Είναι η ομορφιά και η πραγματικότητα η αντικειμενική.

Ο,τιδήποτε αντικρίζομε στον κόσμο αυτόν έχει σχέση με τη χημεία. Μια απλή παρατήρηση των καθημερινών αντικειμένων, μας επιβεβαιώνει ότι η χημεία επηρεάζει καθημερινά και περισσότερο τη ζωή μας. Ζούμε σ' έναν χημικό κόσμο. Έναν κόσμο από πυρηνικά απόβλητα, κοιτάσματα πετρελαίου, φάρμακα, αναισθητικά, βιταμίνες, ορμόνες, αντισυλληπτικά, φυτοφάρμακα, εντομοκτόνα, πρόσθετα των τροφίμων, λιπάσματα, απορρυπαντικά, πλαστικά, ελαστικά, βερνίκια, εκρηκτικά, χρώματα, αρώματα, καλλυντικά, κράματα μετάλλων, αλλά και ρυπαντές.

Καθετί που τρώμε, πίνομε, αναπνέομε, μυρίζομε, αγγίζομε, αλλά και αυτό το ίδιο το σώμα μας είναι μόρια «χημικά». Όλοι συνηθίσαμε να βλέπομε τον εαυτό μας σαν το απλό είδωλο, που εμφανίζεται στον καθρέφτη και τίποτ' άλλο. Πόσο αληθινό, όμως, πόσο αντικειμενικό είναι αυτό;

Αλλά και η διάθεσή μας κάθε στιγμή μεταφράζεται με ουσίες που εκκρίνονται από τα κύτταρά μας και τα σωματικά υγρά που τις μεταφέρουν. Η ακριβής σύσταση αυτών μας καθιστά βίαιους ή πράους, αισιόδοξους ή απαισιόδοξους, χαρούμενους ή θλιμμένους. Το ανθρώπινο κορμί είναι ένα ολοκλήρωμα υγρών μέσα στο οποίο κυκλοφορούν, ανάμεσα στα στερεά μόρια των πρωτεϊνών που τα περικλείουν, οι ορμόνες, οι νευροδιαβιβαστές, τα μόρια των εκάστοτε διαθέσεών μας.

Παρόλο που σπούδασα χημεία, χρειάσθηκε να περάσουν πολλά χρόνια εμπειρίας, για να αντιληφθώ την τελειότητα αυτού του χημικού εργαστηρίου, που κρύβεται μέσα στο ίδιο το κορμί μας: τις μυριάδες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται συνεχώς μέρα και νύχτα, άλλες συνειδητά, άλλες ασυνείδητα, και επιτρέπουν την ομαλή εκδήλωση της ζωής. Η ανάσα μας, οι παλμοί της καρδιάς μας, η πάχυνση ή το αδυνάτισμα, η σκέψη, η μάθηση, η δραστηριότητα ή η αδράνεια, η χαρά και η λύπη, η αισιοδοξία και η απαισιοδοξία, οι έρωτές μας οφείλονται ακριβώς σ' αυτές τις αντιδράσεις. Οι ενστικτώδεις αισθήσεις μας, η όσφρηση και η γεύση ορθά ορίζονται ως χημικές αισθήσεις, αφού εδώ οι αντιδράσεις σ' επίπεδο μορίων είναι άμεσα εμφανείς.

Η χημεία ασχολείται ακόμα με τη μελέτη των πιο απειροελαχίστων συστατικών της ύλης, όπως τα άτομα και τα ηλεκτρόνια, οι εφαρμογές κυριολεκτικά άλλαξαν δραματικά τη μοίρα του ανθρώπινου γένους, είτε ως πυρηνική ενέργεια, είτε ως ηλεκτρονικός υπολογιστής, είτε ως μαγνητοσκόπιο (βίντεο) και τηλεόραση, είτε ως ρομπότ. Το ηλεκτρικό ρεύμα δεν είναι παρά ροή ηλεκτρονίων από μία ουσία (ή ένα μέταλλο) προς μιαν άλλη ουσία (ή ένα άλλο μέταλλο), όπως π.χ. στους συσσωρευτές (μπαταρίες) της καθημερινής χρήσεως.

Η οξείδωση (η καύση), αντιδράσεις καθαρά χημικές, μεταφράζονται τελικά και αυτές σε μετακίνηση ηλεκτρονίων. Σε αυτές βασίσθηκε η εκτόξευση του ανθρώπου στο διαστημικό χώρο.

΄Ετσι, χημικές αντιδράσεις, ηλεκτρισμός, νευρικά σήματα, η ανάσα μας, η ίδια η λειτουργία του εγκεφάλου μεταφράζονται και ενοποιούνται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων. Η ουσία της ίδιας της ζωής φαίνεται να μην είναι άλλο παρά η εκδήλωση ασθενικών ηλεκτρικών ρευμάτων, ροής δηλαδή ηλεκτρονίων των ατόμων που απαρτίζουν το καθετί στη Γη και το Σύμπαν.

Η χημεία ακόμα ασχολείται τόσο με τη σύσταση των γαλαξιών, όσο και του πολύπλοκου ανθρώπινου οργανισμού. Η επίδρασή της προχωρεί μακρύτερα από το μεμονωμένο άνθρωπο, επηρεάζει την κοινωνική δομή ως σύνολο, δημιουργώντας το σύγχρονο πολιτισμό και την άνθηση της οικονομίας.

Τα μεγάλα άλματα στην ιστορία του εικοστού αιώνα οφείλονται στην ανάπτυξη των μεγατεχνολογιών, όπως είναι: ο ηλεκτρισμός, η ηλεκτρονική, η πετροχημεία, η βιοτεχνολογία. Στις αρχές του εικοστού αιώνα η ανάπτυξη της μεταλλουργίας και των κραμάτων έδωσε νέα υλικά και απεριόριστες δυνατότητες στην τεχνολογία. Η ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας, των αεροπλάνων, των ηλεκτρικών συσκευών, των δορυφόρων και των τηλεπικοινωνιών, συνιστούν μερικά παραδείγματα στον τομέα αυτόν. Από την άλλη μεριά, η μετατροπή του άνθρακα και του πετρελαίου σε «χημικά» προϊόντα, τα πετροχημικά, όπως συνηθίζεται να τα αποκαλούμε, μεταμόρφωσαν ραγδαία μέσα σε μια γενιά τον τρόπο ζωής του εικοστού αιώνα. Ποτέ δεν τονίσθηκε ότι αν σήμερα ζούμε τελείως διαφορετικά και καλύτερα, χωρίς τις μιζέριες και τις φτώχιες της δικής μας νιότης, το οφείλομε στη χημεία και την τεχνολογία.

Ο κόσμος που ζούμε χαρακτηρίζεται από ταχεία μεταβολή. Το μόνο σταθερό στον κόσμο αυτόν φαίνεται να είναι η μεταβολή. Η χημεία, η επιστήμη που μελετά τη μεταβολή και τη μεταμόρφωση της ύλης, αγγίζει τη ζωή μας κάθε δευτερόλεπτο. Μεταβάλλομε την ύλη μας για να την κάνομε πιο χρήσιμη σ' εμάς.

Το μεγάλο όμως άλμα συντελείται τώρα με την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας και της μικροηλεκτρονικής, όπου η μια βοηθάει την άλλη στην ανάπτυξή τους και τα επιτεύγματα προχωρούν εκθετικά. Τώρα πια ξέρομε ότι το καθετί στο κόσμο, έμβιο ή άψυχο, μπορεί να αναλυθεί σε μόρια, άτομα, ηλεκτρόνια, πρωτόνια, quarks. Το ενοποιημένο οικοδόμημα φυσικής-χημείας-βιολογίας θριαμβεύει.

Η βιοχημεία διαθέτει απίστευτες ικανότητες για τη μεταμόρφωση της ύλης. Οι ικανότητες του σημερινού χημικού, παρά τις τεράστιες δυνατότητες που του παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία, δεν είναι δυνατόν να συγκριθούν με αυτές που διαθέτει και ο απλούστερος ακόμα μικροοργανισμός, ή έστω και ένα από τα έξι τρισεκατομμύρια κυττάρων που συνιστούν τον ίδιο τον οργανισμό του με τις εμπειρίες δισεκατομμυρίων ετών εξελίξεως που διαθέτουν. Ποια χημική βιομηχανία θα μπορούσε κατ' ελάχιστον να συγκριθεί με το πολύπλοκο εργοστάσιο ενός φυτικού κυττάρου, που αθόρυβα, λιτά, διακριτικά, χωρίς να ρυπαίνει το περιβάλλον, χωρίς απάνθρωπες εγκαταστάσεις και κλιβάνους και καμινάδες, μεταμορφώνει τις ηλιαχτίδες και τα ακατάστατα μόρια του αέρα και του νερού σε αρμονία, τάξη, χρώματα, αρώματα, αλλά και σε ουσίες χρήσιμες για την καταπολέμηση των ασθενειών: τις φαρμακευτικές ουσίες του φυτικού βασιλείου, κυριότερη πηγή των περισσοτέρων φαρμάκων.

Και ας μην ξεχνάμε ότι τα κύτταρα σχηματίζουν τους ιστούς, οι ιστοί τα όργανα και τους μυς και ο συνδυασμός τους τον οργανισμό. Αν όμως ήθελε κάποιος ν' ακριβολογήσει,

το ύστατο συστατικό του οργανισμού είναι τα υποατομικά σωματίδια (πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, quarks) αφού το κύτταρο συνίσταται από μόρια και αυτά δομούνται από συνδυασμούς ατόμων. Κοινό όμως χαρακτηριστικό των ατόμων είναι τα υποατομικά σωματίδια.

Αλλά και το νευρικό δίκτυο και ο ανθρώπινος εγκέφαλος, το πολυπλοκότερο σύστημα που δημιουργήθηκε στον πλανήτη, λειτουργεί με ανεπαίσθητα ηλεκτρικά ρεύματα που δημιουργούν στα δίκτυα των νευρώνων τα ιόντα καλίου, νατρίου, ασβεστίου, χλωρίου. Ένας απίθανης τελειότητας ηλεκτρονικός υπολογιστής που μπροστά του ωχριά οποιαδήποτε ανθρώπινη κατασκευή μιας και διαθέτει περιέργεια και δημιουργικότητα.

Η χημεία που ανέπτυξε ο άνθρωπος, που μόλις τώρα προχωρεί στην εφηβεία της, είναι ένας γοητευτικός κόσμος μια διασκεδαστική απασχόληση, που δημιουργήθηκε και γιγαντώθηκε τα τελευταία εκατό χρόνια. Πρόκειται για μια σειρά από διανοητικές επιτεύξεις τις οποίες ο άνθρωπος ως σκεπτόμενο ον οφείλει να χαίρεται.

Η βιοτεχνολογία, παιδί της τεχνολογίας, της μοριακής βιολογίας και των ανθρωπίνων εμπειριών δεκάδων αιώνων μαζί με τη νανοχημεία, τη μικροηλεκτρονική και την πληροφορική θα δώσουν νέες διαστάσεις στη ζωή και την οικονομία του αιώνα που έρχεται.

Έτσι η μακροϊατρική και η συμπτωματολογία τα επόμενα χρόνια θα βοηθηθούν σημαντικά από την μοριακή βιολογία. Η μικροϊατρική, που εξετάζει τον άνθρωπο σε επίπεδο μορίων του, (μοριακή βιολογία) την επικείμενη χαρτογράφηση και αποκωδικοποίηση του ανθρώπινου γονιδώματος, μαζί με τα νέα ηλεκτρονικά όργανα διανοίγει ένα φανταστικό μέλλον στην ιατρική.

Λέγεται ότι η ιστορία επαναλαμβάνεται, η αλήθεια σήμερα είναι διαφορετική, γιατί η ανάπτυξη των θετικών επιστημών και του παιδιού τους, της τεχνολογίας, που εφαρμόζει τα επιτεύγματά τους στη ζωή είναι τέτοια, ώστε να λέμε με βεβαιότητα ότι η επιστήμη είνια η δύναμη που παρεμποδίζει την ιστορία από την αυτοεπανάληψή της. Ο αντίκτυπός τους έχει μετατρέψει τον κύκλο σε ελατήριο, που συνήθως έλκει την ανθρωπότητα προς τα πάνω. Ένα γεγονός είναι βέβαιο: ο κόσμος δεν θα είναι αύριο ποτέ ο ίδιος ξανά.

Βεβαίως όπως όλα τα ανθρώπινα, η τεχνολογική πρόοδος έχει και την άλλη, την κακή όψη της. Η ανθρώπινη αλαζονεία και πολλές φορές η σπουδή και η ολιγωρία έφεραν μαζί με την προκοπή και τη ρύπανση και σε ορισμένες περιπτώσεις την αλλοίωση στο οικοσύστημα. Δεν υπάρχει όμως αμφιβολία ότι ο άνθρωπος, που δημιούργησε τα προβλήματα, έχει όλες τις δυνατότητες και να τα ελέγξει και οφείλει και έχει υποχρέωση να το κάνει, αν θέλει να επιβιώσει επάνω στον ευάλωτο γαλάζιο πλανήτη μας.

Καθηγ. Α. Σταυρόπουλος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βιβλίο "***ΧΗΜΕΙΑ***: Μια Διερευνητική Προσέγγιση" έχει έναν πολύ διακεκριμένο πρόγονο. Το 1959 μια οργανωτική επιτροπή, με διευθυντή τον τιμηθέντα με το βραβείο Νόμπελ στη Χημεία καθηγητή Glenn T. Seaborg, αποφάσισε να εφοδιάσει τα σχολεία της μέσης εκπαιδεύσεως με μια πραγματικά νέα και σύγχρονη εισαγωγή διδασκαλίας και εκμαθήσεως της χημείας. Μια ομάδα καθηγητών από διάφορα πανεπιστήμια και γυμνάσια-λύκεια, συγκροτήθηκε, για να σχεδιάσει και να γράψει ένα τέτοιο "νεωτεριστικό" κείμενο. Η πρώτη έκδοση, μαζί με τον εργαστηριακό οδηγό, ολοκληρώθηκε το καλοκαίρι του 1960 και χρησιμοποιήθηκε σε 23 Λύκεια των ΗΠΑ κατά το σχολικό έτος 1960 - 61, από 1300 μαθητές. Το βιβλίο ονομαζόταν "Χημεία - Μια Πειραματική Επιστήμη". Και με εκείνον τον τίτλο όπως και με τον τίτλο του βιβλίου που διαβάζετε τώρα, επισημαίνεται ότι η χημεία είναι μια επιστήμη που προσεγγίζεται μέσα από το πείραμα και την έρευνα.

Το αρχικό βιβλίο έγινε αποδεκτό με ενθουσιασμό από τους καθηγητές και τους μαθητές. Στη συνέχεια ακολούθησαν μια δεύτερη και μια τρίτη έκδοση. Κάθε νέα έκδοση περιελάμβανε αλλαγές τις οποίες υπεδείκνυαν καθηγητές και μαθητές που χρησιμοποίησαν την προηγούμενη έκδοση. Μέχρι το 1966 το βιβλίο είχε χρησιμοποιηθεί από περισσότερους των 700.000 μαθητών στα σχολεία των ΗΠΑ και από πολλούς άλλους στο εξωτερικό.

Η βασική ιδέα, κατά την εκπόνηση του αρχικού κειμένου, ήταν να προβληθούν τα στάδια διά μέσου των οποίων οι επιστήμονες βαδίζουν για να φθάσουν στα θεμελιώδη φαινόμενα και τις αρχές – κλειδιά που ερμηνεύουν τη συμπεριφορά του κόσμου γύρω μας. Αυτή η βασική ιδέα διατηρήθηκε και σε αυτό το βιβλίο. Επίσης, θεωρήθηκε σκόπιμο να προσεγγισθούν οι βασικές έννοιες και αλήθειες - μια πρώτη γνωριμία με τη χημεία – μέσα από πειράματα. Τα πειράματα αυτά πραγματοποιούνται από τους μαθητές αμέσως μόλις αναφερθούν στο κείμενο οι έννοιες, που το κάθε πείραμα περιλαμβάνει. Έτσι, δίνεται έμφαση στην άποψη ότι οι επιστημονικές έννοιες και αλήθειες πηγάζουν από το πείραμα.

Βέβαια έμφαση δίνεται επίσης στην ιδέα ότι η επιστήμη είναι κάτι πολύ περισσότερο από μια συλλογή φαινομένων (όσο ακριβή, εντυπωσιακά και πολυάριθμα κι αν είναι τα φαινόμενα αυτά). Τα υποδείγματα και οι ομοιότητες συμπεριφοράς και ιδιοτήτων που σημειώνονται με τις παρατηρήσεις πειραμάτων, όπως και τα πρότυπα ή οι θεωρίες που μπορούν να διαμορφωθούν, σύμφωνα με αυτά τα υποδείγματα και τις ομοιότητες συμπεριφοράς, είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της επιστήμης. Στο βιβλίο αυτό, παράλληλα με την εργαστηριακή δουλειά, δίνεται μεγάλη έμφαση στο συσχετισμό των πειραματικών δεδομένων, έτσι ώστε να διαμορφωθούν τα υποδείγματά τους, καθώς επίσης η ανάπτυξη και ο έλεγχος των προτύπων και των θεωριών. Η επιστήμη, στην καλύτερη περίπτωση, εξετάζει τη σπουδαιότητα της αλληλεπιδράσεως πειράματος - θεωρίας και στο βιβλίο αυτό γίνεται προσπάθεια να δοθεί στο μαθητή μια ιδέα αυτής της αλληλεπιδράσεως.

Αυτό το βιβλίο έχει γραφεί με την πεποίθηση ότι ο καλύτερος τρόπος για να παρουσιάσεις τη χημεία είναι να παρουσιάσεις τις πιο βασικές αρχές της, συμπεριλαμβανομένων των εννοιών της ενέργειας, της ταχύτητας και της ισορροπίας των χημικών αντιδράσεων, της τρισδιάστατης δομής των μορίων, των χημικών δεσμών, όπως αυτοί απαντούν στα υγρά, τα στερεά και τα αέρια, καθώς επίσης και των ιδεών περί της ατομικής δομής και της χημικής περιοδικότητας. Φυσικά, όλες αυτές οι αρχές και οι έννοιες δεν μπορούν να παρουσιασθούν ολοκληρωμένες, αλλά παρουσιάζονται κατά έναν απλουστευμένο αλλά επιστημονικά έγκυρο τρόπο, ώστε να αποτελέσουν τα θεμέλια, πάνω

στα οποία θα οικοδομηθεί η περαιτέρω μελέτη. Βεβαίως, οποιαδήποτε γνώση αποκτηθεί τώρα, δεν σημαίνει ότι θα πρέπει να "ξεχασθεί".

Τέλος, με αυτό το βιβλίο, ελπίζομε να λάβετε μια ιδέα της σημασίας και των δυνατοτήτων των επιστημονικών δραστηριοτήτων στο σχεδιασμό του μέλλοντος του ανθρώπου και του κόσμου του. Ακόμη και ο μαθητής, του οποίου η μελλοντική απασχόληση είναι πιθανόν να μην έχει άμεση σχέση με τις φυσικές επιστήμες, θα διαπιστώσει ότι η σταδιοδρομία του επηρεάζεται έμμεσα από τις δραστηριότητες των χημικών και όσων άλλων ακόμη ασχολούνται με τις φυσικές επιστήμες. Ελπίζομε ότι η μελέτη αυτού του βιβλίου θα βοηθήσει όλους τους μελλοντικούς πολίτες να κατανοήσουν και να εκτιμήσουν σωστά την αυξανόμενη επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον τους.

Τα τελευταία μόλις χρόνια αναγνωρίστηκε ευρέως ότι πολλές από τις δραστηριότητές μας, βασισμένες στην τεχνολογία, επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον μας. Ρυπαίνομε τον αέρα και το νερό, και εισάγομε στο περιβάλλον ουσίες οι οποίες διαταράσσουν σοβαρά τις οικολογικές ισορροπίες. Η φύση πολλών από αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι κατά βάση χημική. Γι' αυτό είναι ορθό – και σχεδόν επείγον – στο βιβλίο αυτό, όπου δίνεται έμφαση στις αρχές της χημείας ως καθαρής επιστήμης, να δοθεί προσοχή στα σημαντικά προβλήματα του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό συμπεριλάβαμε μια σειρά από σύντομα άρθρα υπό τον τίτλο ***Η Χημεία και το περιβάλλον μας***, στα οποία ορισμένα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα θεωρούνται από την οπτική γωνία του χημικού. Ελπίζομε έτσι να δείξομε ότι η χημεία δεν είναι μόνο ένας σπουδαίος επιστημονικός κλάδος, αλλά και ένα σημαντικό εργαλείο για τη χάραξη του μέλλοντος του ανθρώπου κατά τρόπο έξυπνο και φρόνιμο.

Θα επιθυμούσαμε να εκφράσομε το μεγάλο χρέος μας, προς όλους όσους συνέβαλαν στην προετοιμασία του πονήματος αυτού. Είναι μια εξουσιοδοτημένη αναθεώρηση του βιβλίου "*Χημεία - Μια Πειραματική Επιστήμη*" που εκδόθηκε από το ***CHEMICAL EDUCATION MATERIAL STUDY***, με την υποστήριξη του Ιδρύματος Φυσικών Επιστημών. Για την άδεια πραγματοποιήσεως αυτής της εκδόσεως οι συγγραφείς εκφράζουν την ευγνωμοσύνη τους. Η άδεια αυτή δεν συνεπάγεται την ανάληψη ευθύνης από την Chemical Educational Material Study για την παρούσα έκδοση.

Γνωρίζοντας ότι σε αυτό το βιβλίο, όπως σε όλες τις ανθρώπινες προσπάθειες, τα περιθώρια βελτιώσεως είναι πολλά, ειλικρινά ενθαρρύνομε όλους τους χρήστες του, καθηγητές και μαθητές, να μας εκφράσουν τις κρίσεις και τις προτάσεις τους.

Οι συγγραφείς

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ
Χημεία: Η επιστήμη των υλικών σωμάτων και της ενέργειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ
Με τι μοιάζει η Χημεία

1.1 Τι είναι η χημεία; 3
1.2 Οι χημικοί εκτελούν πειράματα 4
1.3 Επιστημονική παρατήρηση και περιγραφή 5
1.4 Συμπεριφορά των στερεών όταν θερμαίνονται 6
1.5 Θερμοκρασία τήξεως. 9
1.6 Η επιστημονική μέθοδος 14
1.7 Παρατήρηση 15
1.8 Καταγραφή των γεγονότων 16
1.9 Οργάνωση των παρατηρήσεων 16
Η χημεία και το περιβάλλον μας 17
1.10 Αναζητώντας κανόνες και λογικά συμπεράσματα 18
1.11 Αναζητώντας το γιατί 19
1.12 Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων 19
1.13 Από τι εξαρτάται η καύση; Τι παράγεται; 20
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
΄Υλη και μάζα

2.1 Η βασική ιδιότητα της ύλης 26
2.2 Ο Νόμος της Βαρύτητας 26
2.3 Μονάδες μάζας 28
2.4 Μέτρηση της μάζας 29
2.5 Προσδιορισμός της μάζας ενός αντικειμένου 32
2.6 Τι εννοούμε όταν λέμε βάρος και μέτρηση βάρους; 35
2.7 Η άνωση του αέρα 36
2.8 Το φαινόμενο της ανώσεως 36
2.9 Πώς να διορθώνετε το σφάλμα μετρήσεως που οφείλεται στην άνωση 41
2.10 Διάφορες άλλες αιτίες σφάλματος κατά τη ζύγιση 42
2.11 Διερεύνηση μερικών αντιδράσεων για πιθανές μεταβολές της μάζας 44
2.12 Η μάζα διατηρείται στις χημικές αντιδράσεις 45
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ
Ενέργεια

3.1 Η ενέργεια έχει πολλές μορφές 50
3.2 Δυναμική ενέργεια 50
3.3 Θερμική ενέργεια και θερμοκρασία 52
3.4 Μονάδες ενέργειας και θερμοκρασίας 52
3.5 Η ειδική θερμότητα των μετάλλων 56
3.6 Διατήρηση της ενέργειας 59
3.7 Ενέργεια και έργο 60
3.8 Η ενέργεια έχει την τάση να διασκορπίζεται αυθόρμητα 61
3.9 Η τυχαία διάταξη (ή αταξία) είναι επίσης σημαντικός παράγοντας 61
3.10 Διατήρηση μάζας και ενέργειας 62
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Θερμική ρύπανση 62
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
Μονάδες και ακρίβεια

4.1 Το πρακτικό σύστημα 68
4.2 Σύγκριση των μονάδων του Πρακτικού Συστήματος με άλλες πιο γνωστές μονάδες μετρήσεως 70
4.3 Πυκνότητα 71
4.4 Μέτρηση της πυκνότητας 72
4.5 Η αβεβαιότητα στη μέτρηση 78
4.6 Αβεβαιότητα σε παράγωγο μέγεθος: Πρόσθεση και αφαίρεση 79
4.7 Αβεβαιότητα σε παράγωγα (ή δευτερο-

γενή) μεγέθη: Πολλαπλασιασμός και διαίρεση 80
4.8 Μέτρηση των μεταβολών της θερμότητας κατά την καύση και κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσεως 81
4.9 Υπολογισμός της αβεβαιότητας ενός δευτερογενούς μεγέθους 87
4.10 Υπολογισμός της αβεβαιότητας με τη βοήθεια της εκατοστιαίας αναλογίας 87
4.11 Σημαντικά ψηφία: Σφάλμα κατά προσέγγιση 88
4.12 Μεγάλοι και μικροί αριθμοί 88
4.13 Τυχαία και συστηματικά σφάλματα 89
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 93

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ
Άτομα και μόρια: Δομικοί λίθοι της ύλης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
Άτομα και μόρια στα αέρια

5.1 Από την καθημερινή εμπειρία στο επιστημονικό πρότυπο 98
5.2 Ορισμός και μέτρηση της πιέσεως 100
5.3 Όργανα για τη μέτρηση της πιέσεως 102
5.4 Σχέση ανάμεσα στην πίεση και τον όγκο: Ο νόμος του Boyle 103
5.5 Μία διαφορετική ματιά στο πρότυπο της σωματιδιακής υφής ενός αερίου 106
5.6 Οι μάζες ίσων όγκων αερίων 109
5.7 Σχέσεις πιέσεως-όγκου διαφόρων αερίων 113
5.8 Μερικές ακόμη ιδιότητες των αερίων 114
5.9 Υπόθεση του Avogadro 115
5.10 Άτομα και μόρια 116
5.11 Το mole 117
5.12 Εφαρμογή της υποθέσεως του Avogadro σε αντιδράσεις αερίων 119
5.13 Η συντομογραφία των χημικών: Τύποι και εξισώσεις 120
5.14 Αντιδράσεις αερίων είναι δυνατό να δώσουν πληροφορίες για τους μοριακούς τύπους 121
5.15 Απόδειξη του τύπου του οξειδίου του αζώτου 122
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ
Περισσότερες γνώσεις σχετικά με το μοριακό πρότυπο των αερίων

6.1 Ο προσδιορισμός των μοριακών (ατομικών ή μοριακών) μαζών 127
6.2 Πίεση ενός μίγματος αερίων. Μερικές πιέσεις. 128
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Αιθαλομίχλη 132
6.3 Ο όγκος που καταλαμβάνει το mole ενός αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες: Νόμος του Charles 134
6.4 Η κλίμακα της απόλυτης θερμοκρασίας 136
6.5 Μία ποσοτική διερεύνηση της αντιδράσεως ενός μετάλλου με υδροχλωρικό οξύ 137
6.6 Συνδυασμός του νόμου του Boyle, του νόμου του Charles και της υποθέσεως του Avogadro 141
6.7 Το μοριακό πρότυπο συμφωνεί και στις λεπτομέρειες με το νόμο των ιδανικών αερίων 142
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ
Στοιχεία, χημικές ενώσεις και χημικές αντιδράσεις

7.1 Άτομα και μόρια σε υγρά και στερεά 149
7.2 Τα αέρια μπορούν να υγροποιηθούν 149
7.3 Στοιχεία και χημικές ενώσεις 152
7.4 Ανάλυση των χημικών ενώσεων 154
7.5 Διάσπαση μιας συνηθισμένης ουσίας 155
7.6 Χημική ανάλυση 157
7.7 Χημική σύνθεση 157
7.8 Σύνθεση ενός μεταλλικού οξειδίου 158
7.9 Σταθερές αναλογίες 159
7.10 Τα στοιχεία 160
7.11 Σύμβολα των στοιχείων 161
7.12 Μοριακοί τύποι 164
7.13 Μοριακές δομές και πρότυπα 165
7.14 Εξισώσεις των χημικών αντιδράσεων 167
7.15 Ποιες ακριβώς πληροφορίες μας δίνει μία χημική εξίσωση; 169
7.16 Πώς γράφονται και ισοσταθμίζονται μερικές εξισώσεις 170
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 171

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ
Χαρακτηριστικές κατηγορίες χημικής συμπεριφοράς

8.1 Αντιδράσεις με οξυγόνο 177
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Σίδηρος και οξείδια του αργιλίου (αλουμινίου) 179
8.2 Δραστικά μέταλλα αντιδρούν με νερό 180
8.3 Σύγκριση των αντιδράσεων των μετάλλων με το νερό 182
8.4 Τα μέταλλα των αλκαλίων: Μια χημική οικογένεια 183
8.5 Μια άλλη χημική οικογένεια: Τα αλογόνα 184
8.6 Άλλα στοιχεία που παρουσιάζουν επίσης ανάλογες ιδιότητες 185
8.7 Ο πρώτος περιοδικός πίνακας 186
8.8 Ο σύγχρονος περιοδικός πίνακας 190
8.9 Οι ιδιότητες ποικίλλουν ελαφρά μέσα στις ίδιες ομάδες 191
8.10 Τα ευγενή αέρια είναι αδρανή αλλά χρήσιμα 193
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 196

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ
Η ηλεκτρική φύση του ατόμου

9.1 Βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών φορτίων 199
9.2 Συντελεστές που προσδιορίζουν το μέγεθος της έλξεως ή της απώσεως 201
9.3 Εξουδετέρωση των φορτίων 201
9.4 Η φύση και η προέλευση των ηλεκτρικών φορτίων και των δυνάμεων 202
9.5 Λεπτομερέστερες ενδείξεις για φορτισμένα σωματίδια 204
9.6 Το φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου 209
9.7 Πώς μέτρησε ο Thomson το λόγο e/m 212
9.8 Ιόντα στα αέρια 213
9.9 Ιόντα σε διάλυμα 215
9.10 Η σχέση ανάμεσα στα moles των ηλεκτρονίων και τα moles των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρόλυση 216
9.11 Ιόντα, άτομα και ηλεκτρόνια 221
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 222

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ
Η φύση του ατόμου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ
Η δομή του ατόμου

10.1 Πειράματα σκεδάσεως του Rutherford 228
10.2 Το ατομικό πρότυπο του Rutherford 230
10.3 Το άτομο με πυρήνα. Ένα επιτυχημένο επιστημονικό πρότυπο 233
10.4 Μέγεθος του ατόμου 233
10.5 Μετρήσεις του μεγέθους ενός μορίου 235
10.6 Νετρόνια 238
10.7 Βασικά χαρακτηριστικά του πυρηνικού ατόμου 238
10.8 Ισότοπα 238
10.9 Ραδιενέργεια 241
10.10 Πυρηνικές αντιδράσεις και πυρηνική ενέργεια 243
10.11 Υπολογισμοί της ενέργειας των πυρηνικών αντιδράσεων 244
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Πυρηνική ενέργεια 245
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 251

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ
Αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο φως και τα άτομα

11.1 Το φως ως κυματομορφή 254
11.2 Το φως συμπεριφέρεται άραγε όπως μία αλληλουχία κυμάτων; 259
11.3 Το φως αποτελείται από κυματικές ακτινοβολίες διαφόρων συχνοτήτων 262
11.4 Το φως είναι μία μορφή ενέργειας 266
11.5 Τα φωτόνια και το φωτοηλεκτρονικό φαινόμενο 266
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Ηλιακή ενέργεια 269
11.6 Ατομικά φάσματα 272
11.7 Το φάσμα του υδρογόνου 273
11.8 Ένα πρότυπο για την ερμηνεία του φάσματος του υδρογόνου 275
11.9 Στάθμες ενέργειας του ατόμου του υδρογόνου 278
11.10 Το πρότυπο του Bohr για το άτομο

του υδρογόνου 279
11.11 Συνεχή φάσματα 282
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 289

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ
Το άτομο σύμφωνα με την κβαντομηχανική θεωρία

12.1 Το πρότυπο του Bohr αποτυγχάνει να εξηγήσει τα υπόλοιπα άτομα, πλην του υδρογόνου 292
12.2 Διαπιστώνεται πως η ύλη έχει και ιδιότητες κύματος 292
12.3 Η πιθανότητα 296
12.4 Τροχιακά και ο κύριος κβαντικός αριθμός 298
12.5 Η αρχή της αβεβαιότητας 299
12.6 Σχήματα των s τροχιακών 301
12.7 *p* τροχιακά 302
12.8 *d* και *f* τροχιακά 302
12.9 Μερικές ακόμα πληροφορίες για το σχήμα των τροχιακών 304
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 307

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ
Η ατομική βάση των περιοδικών ιδιοτήτων

13.1 Το άτομο του στοιχείου ήλιο και οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις 310
13.2 Το άτομο του λιθίου και η απαγορευτική αρχή 311
13.3 Άτομα με ατομικούς αριθμούς από τέσσερα μέχρι δέκα 312
13.4 Άτομα μετά το στοιχείο νέο 313
13.5 Η περιοδική εμφάνιση της διαμορφώσεως συμπληρωμένων στοιβάδων 315
13.6 Οι ιδιότητες μεταβάλλονται περιοδικά ανάλογα με τον ατομικό αριθμό 316
13.7 Η διαλυτότητα των αλάτων: Αναζήτηση κάποιου υποδείγματος 318
13.8 Οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις συνδέονται άμεσα με τις ιδιότητες 320
13.9 Πώς προσδιόρισε ο Moseley τους ατομικούς αριθμούς 324
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 326-327

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ
Χημικοί δεσμοί και μοριακή δομή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
Χημικοί δεσμοί

14.1 Το μόριο του υδρογόνου 332
14.2 Ο χημικός δεσμός ως επικάλυψη των ημισυμπληρωμένων τροχιακών 334
14.3 Αλληλεπίδραση ανάμεσα στα άτομα του ηλίου 336
14.4 Απεικόνιση του χημικού δεσμού 337
14.5 Ο δεσμός του φθορίου 337
14.6 Η ικανότητα των ατόμων του οξυγόνου να σχηματίζουν δεσμούς 340
14.7 Η ικανότητα των ατόμων του αζώτου να σχηματίζουν δεσμούς 341
14.8 Η ικανότητα των ατόμων του άνθρακα να σχηματίζουν δεσμούς 342
14.9 Η ικανότητα των ατόμων του βορίου να σχηματίζουν δεσμούς 343
14.10 Η ικανότητα των ατόμων του βηρυλλίου να σχηματίζουν δεσμούς 343
14.11 Η ικανότητα των ατόμων του λιθίου να σχηματίζουν δεσμούς 344
14.12 Διευκρίνιση σχετικά με τη χρήση του όρου "σθένος" 344
14.13 Το είδος του δεσμού στο αέριο φθοριούχο λίθιο 345
14.14 Ο ιοντικός χαρακτήρας των δεσμών του φθορίου 347
14.15 Ο ιοντικός χαρακτήρας των δεσμών υδρογόνου 347
14.16 Ομοιοπολικές και ιοντικές χημικές ενώσεις 350
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Διαθέσιμα και ανακυκλούμενα απόβλητα 353
14.17 Χάρτες ηλεκτρονιακής πυκνότητας 355
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 358-359

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ
Τα σχήματα των μορίων

15.1 Τα πειράματα μας πληροφορούν για τη

μοριακή αρχιτεκτονική 362
15.2 Το σχήμα ορισμένων μορίων που αποτελούνται από οξυγόνο και άζωτο 363
15.3 Η τάση των ηλεκτρονίων να σχηματίζουν ζεύγη 364
15.4 Η θεωρία απωθήσεως των ζευγών ηλεκτρονίων στους μοριακούς σχηματισμούς 367
15.5 Υβριδοποιημένα τροχιακά 370
15.6 Διπλοί δεσμοί 373
15.7 Τριπλοί δεσμοί 375
15.8 Συντονισμός 376
15.9 Μοριακά τροχιακά 378
15.10 Ορισμός της διπολικής ροπής 381
15.11 Πώς είναι δυνατόν να έχουν τα μόρια διπολικές ροπές 382
15.12 Συντακτικά ισομερή 383
15.13 Γεωμετρικά ισομερή 387
15.14 Τα μόρια και τα σχήματά τους 389
15.15 Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής των διπλών και των τριπλών δεσμών 393
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 396-397

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ
Μόρια που περιέχουν άνθρακα

16.1 Πηγές ενώσεων του άνθρακα 400
16.2 Σύσταση και δομή των οργανικών ενώσεων 402
16.3 Προσδιορισμός εμπειρικού και μοριακού τύπου 403
16.4 Ονοματολογία 405
16.5 Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες 405
16.6 Μερικές ιδιότητες και αντιδράσεις των υδρογονανθράκων 409
16.7 Ακόρεστοι υδρογονάνθρακες 412
16.8 Συστηματικά ονόματα για μη κυκλικούς υδρογονάνθρακες 414
16.9 Αρωματικοί υδρογονάνθρακες: Το βενζόλιο και παράγωγά του 415
16.10 Γενικά χαρακτηριστικά των δραστικών ομάδων 420
16.11 Αλκοόλες 421
16.12 Μερικές ιδιότητες και αντιδράσεις των αλκοολών 423
16.13 Αλδεΰδες 427
16.14 Καρβοξυλικά οξέα 429
16.15 Κετόνες 429
16.16 Εστέρες 430
16.17 Σαπούνια και απορρυπαντικά 431
16.18 Δραστικές ομάδες που περιέχουν άζωτο: Αμίνες και αμίδια 432
16.19 Δεξιόστροφα και αριστερόστροφα μόρια 433
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Μη αποικοδομούμενα εντομοκτόνα 436
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 440

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ
Στερεά, υγρά και διαλύματα

17.1 Οι δυνάμεις έλξεως προκαλούν τη συμπύκνωση των αερίων 444
17.2 Η φύση των κρυσταλλικών στερεών 445
17.3 Η φύση των καθαρών υγρών 445
17.4 Η φύση των διαλυμάτων 446
17.5 Η τοποθέτηση των ατόμων ή των ιόντων μέσα στους κρυστάλλους 447
17.6 Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων 451
17.7 Ομοιοπολικοί δεσμοί και στερεά πλέγματα 452
17.8 Μεταλλικοί δεσμοί 453
17.9 Πρόσθετες δυνάμεις στις χημικές ενώσεις 459
17.10 Δυνάμεις van der Waals και μοριακές χημικές ενώσεις 459
17.11 Ομοιοπολικοί δεσμοί και χημικές ενώσεις στερεού πλέγματος 462
17.12 Παράγοντες που ευνοούν το σχηματισμό ιόντων 464
17.13 Δομές των ιοντικών χημικών ενώσεων 465
17.14 Ιδιότητες των ιοντικών ενώσεων 466
17.15 Μερικές ποσοτικές έννοιες σχετικά με τους ιοντικούς κρυστάλλους 467
17.16 Ιδιότητες των διαλυτών 470
17.17 Μοριακά δίπολα 470
17.18 Διαλυτότητα των ηλεκτρολυτών στο νερό 472
17.19 Σημεία βρασμού και πήξεως των διαλυμάτων 472
17.20 Μονάδες για την έκφραση της συγκεντρώσεως. Μοριακή συγκέντρωση κατά όγκο (molarity) 474
17.21 Δεσμοί υδρογόνου 476
17.22 Ενέργεια των δεσμών υδρογόνου 476
17.23 Πού απαντούν οι δεσμοί υδρογόνου; 477
17.24 Η φύση του δεσμού υδρογόνου 478

17.25 Η σημασία του δεσμού υδρογόνου 478
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 479-480

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ
Γιγαντιαία μόρια

18.1 Τα γιγαντιαία μόρια είναι συνήθως πολυμερή 484
18.2 Πολυμερισμός συμπυκνώσεως 484
18.3 Πολυμερισμός προσθήκης 486
18.4 Η παρασκευή μερικών πολυμερών 487
18.5 Πρωτεΐνες 493
18.6 Άμυλο και κυτταρίνη 494
18.7 Καουτσούκ 495
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Χαρτί 497
18.8 Νουκλεϊνικά οξέα, DNA και RNA 500
18.9 Η διπλή έλικα και η έννοια του προτύπου 502
18.10 RNA 502
18.11 Πυριτικά ορυκτά 504
18.12 Αμίαντος, μίκα και γυαλί 506
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 507-508

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ
Η δυναμική της χημείας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ
Χημικές αντιδράσεις και υπολογισμοί

19.1 Σθένος, η ικανότητα συνδέσεως των στοιχείων 512
19.2 Η χρησιμοποίηση των κανόνων του σθένους για τη γραφή των τύπων 513
19.3 Η ονοματολογία των χημικών ενώσεων 514
19.4 Συμπεριφορά του στερεού σιδήρου μέσα σε υδατικό διάλυμα θειικού χαλκού 515
19.5 Πώς γράφονται οι χημικές εξισώσεις 518
19.6 Οι σχέσεις ανάμεσα στις μάζες κατά τις χημικές μεταβολές 520
19.7 Στοιχειομετρία 523
19.8 Η μέθοδος των moles 524
19.9 Συντελεστές μετατροπής 525
19.10 Η παραγωγή του θειικού οξέος: Υπολογισμοί μάζας-μάζας 526
19.11 Η παρασκευή του H_2SO_4: Υπολογισμοί μάζας-όγκου 528
19.12 Παραγωγή H_2SO_4: Υπολογισμοί όγκου - όγκου 529
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Αιθαλομίχλη αυτοκινήτων 530
19.13 Στοιχειομετρία σε μια οργανική αντίδραση 532
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 534

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ
Ενέργεια και χημικές αντιδράσεις

20.1 Μια πρακτική απεικόνιση 539
20.2 Θερμικό περιεχόμενο μιας ουσίας 540
20.3 Μέτρηση της θερμότητας αντιδράσεως 541
20.4 Οι θερμότητες αντιδράσεων προστίθενται και αφαιρούνται; 545
20.5 Θερμότητες σχηματισμού 545
20.6 Πρόβλεψη της θερμότητας μιας χημικής αντιδράσεως 546
20.7 Θερμιδομετρία 547
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Είναι δυνατόν οι δραστηριότητές μας να μεταβάλουν το κλίμα; 549
20.8 Η ενέργεια των μορίων 551
20.9 Ενεργειακές μεταβολές κατά τη θέρμανση 551
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 553

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ
Οι ταχύτητες των χημικών αντιδράσεων

21.1 Ορισμός της ταχύτητας αντιδράσεως 557
21.2 Η φύση των ουσιών που αντιδρούν 558
21.3 Μελέτη των ταχυτήτων αντιδράσεως 559
21.4 Επίδραση της συγκεντρώσεως στην ταχύτητα αντιδράσεως 562
21.5 Μηχανισμός αντιδράσεως 564
21.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα αντιδράσεως 566
21.7 Κατανομή των κινητικών ενεργειών 568
21.8 Ενέργεια ενεργοποιήσεως 571
21.9 Ενέργειες ενεργοποιήσεως και θερμότητες αντιδράσεων 574
21.10 Καταλύτες 576

21.11 Ένζυμα, οι καταλύτες των ζωντανών οργανισμών 580
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 585

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ
Χημική ισορροπία

22.1 Ισορροπία στις χημικές αντιδράσεις 589
22.2 Ισορροπία κατά την αλλαγή φάσεως 589
22.3 Σημείο βρασμού 590
22.4 Ισορροπία διαλυτότητας 591
22.5 Εξακρίβωση της καταστάσεως ισορροπίας 591
22.6 Η δυναμική φύση της ισορροπίας στις χημικές αντιδράσεις 594
22.7 Η δυναμική φύση της ισορροπίας αλλαγής φάσεως 595
22.8 Η δυναμική φύση της ισορροπίας κατά τη διάλυση 596
22.9 Άμεση απόδειξη της δυναμικής φύσεως της ισορροπίας 597
22.10 Η κατάσταση ισορροπίας 598
22.11 Αλλαγή της καταστάσεως ισορροπίας 599
22.12 Πρόβλεψη νέων συγκεντρώσεων ισορροπίας: Αρχή του Le Chatelier 600
22.13 Εφαρμογή των κανόνων της ισορροπίας: Η διεργασία του Haber 602
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Όζον, η ζωή στη γη και οι υπερηχητικές μεταφορές (SST) 603
22.14 Ποσοτική προσέγγιση της χημικής ισορροπίας 606
22.15 Η σταθερά ισορροπίας μιας αντιδράσεως 610
22.16 Ο νόμος της χημικής ισορροπίας 612
22.17 Προσδιορισμός του γινομένου διαλυτότητας του οξικού αργύρου 613
22.18 Ποσοτική προσέγγιση της ισορροπίας διαλυτότητας 616
22.19 Υπολογισμός της διαλυτότητας με τη βοήθεια του γινομένου διαλυτότητας 617
22.20 Πότε σχηματίζεται ίζημα; 618
22.21 Ο Νόμος της Χημικής Ισορροπίας όταν προέρχεται από τις ταχύτητες των αντιθέτων διαδικασιών 619
22.22 Παράγοντες οι οποίοι προσδιορίζουν την ισορροπία 621
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 626-627

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ
Οξέα και βάσεις

23.1 Ισχυροί και ασθενείς ηλεκτρολύτες 631
23.2 Το νερό είναι ένας ασθενής ηλεκτρολύτης 631
23.3 Αλλαγή των συγκεντρώσεων των ιόντων H^+ και OH^- 632
23.4 Όξινα, βασικά και ουδέτερα διαλύματα. Προσδιορισμός του pH 634
23.5 Η μεταβολή του K_w με τη θερμοκρασία 635
23.6 Ιδιότητες των υδατικών διαλυμάτων των οξέων 636
23.7 Ιδιότητες των υδατικών διαλυμάτων των βάσεων 636
23.8 Μια ερμηνεία των ιδιοτήτων των βάσεων 637
23.9 Προσδιορισμός της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου ενός διαλύματος με τη βοήθεια δεικτών 639
23.10 HCl και NaOH στο ίδιο διάλυμα 644
Η χημεία και το περιβάλλον μας. Όξινη βροχή και χιόνι 645
23.11 Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως από θεωρητικής απόψεως 647
23.12 Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως στην πράξη 649
23.13 Ασθενή οξέα 652
23.14 Προσδιορισμός της K_A 654
23.15 Υπολογισμός της $[H^+]$ 654
23.16 Ανταγωνισμός για H^+ ανάμεσα σε ασθενή οξέα 655
23.17 Το ιόν υδρογόνου στη θεωρία μεταφοράς πρωτονίου από τα οξέα 657
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 659

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ
Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής

24.1 Η χημεία ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου 663
24.2 Εξέταση του ηλεκτροχημικού πειράματος 666
24.3 Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μέσα σε ένα ποτήρι 667
24.4 Ο ρόλος της γέφυρας άλατος 668

24.5 Μερικές ακόμα αντιδράσεις οξειδοαναγωγής 669
24.6 Ανταγωνισμός ηλεκτρονίων 669
24.7 Μέτρηση των δυναμικών των στοιχείων 671
24.8 Μέτρηση των δυναμικών των ημιστοιχείων 673
24.9 Χρήση των πινάκων με τα δυναμικά αναγωγής 674
24.10 Αριθμοί οξειδώσεως 676
24.11 Χρήση των αριθμών οξειδώσεως 677
24.12 Χρήση των αντιδράσεων των ημιστοιχείων για τον υπολογισμό των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις 678
24.13 Συσσωρευτές (μπαταρίες) 680
24.14 Διεξαγωγή μιας αντιδράσεως με τη βοήθεια κάποιας τάσεως 681
24.15 Η διεργασία της επιμεταλλώσεως 683

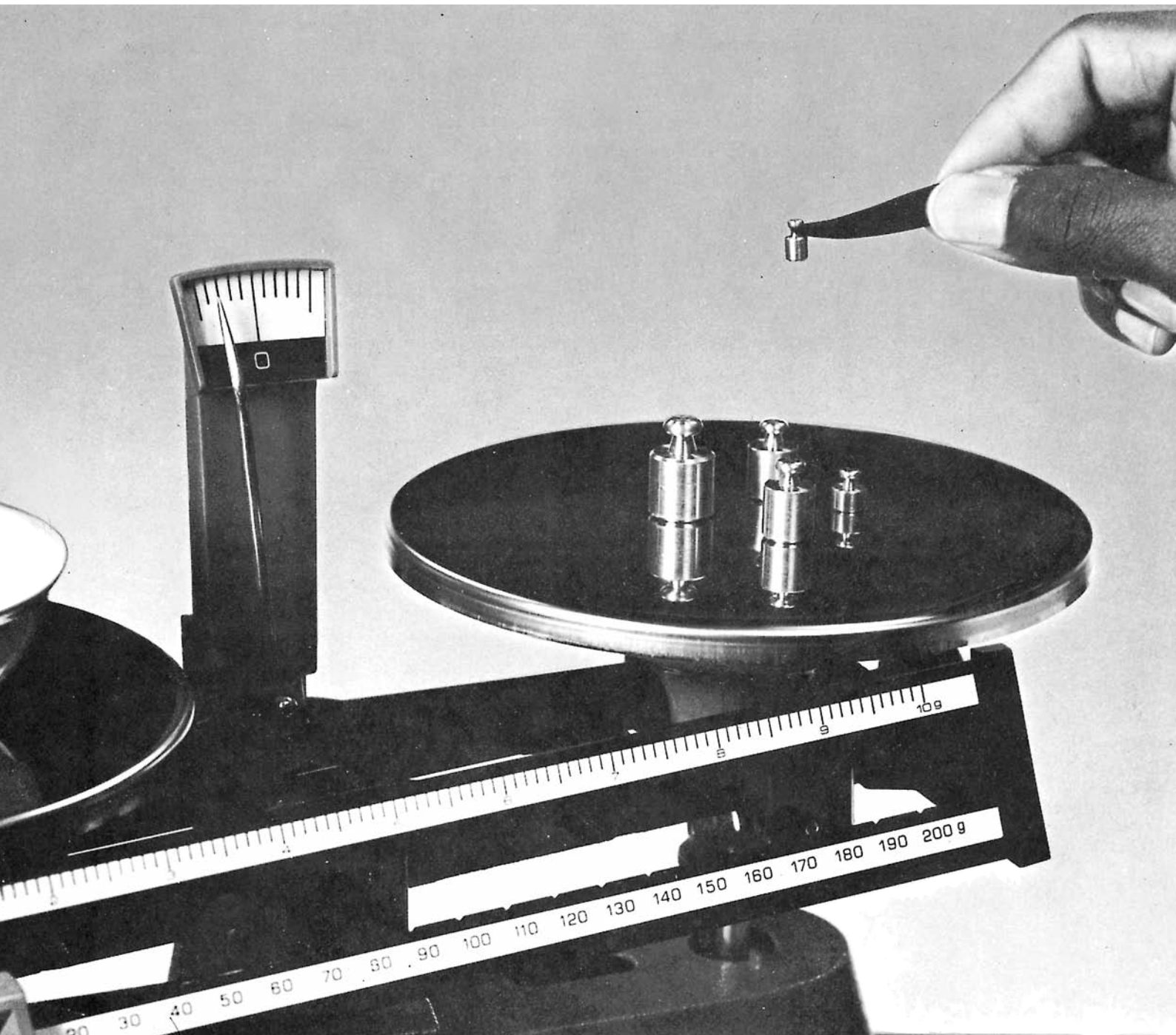
Περίληψη - Ερωτήσεις και προβλήματα 685

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1. Σχετική ισχύς των οξέων 690
2. Κανονικά δυναμικά αναγωγής των ημιαντιδράσεων 691
3. Ατομικές μάζες των στοιχείων 692
4. Ηλεκτρονιακή διάταξη των στοιχείων 694
5. Ονόματα, τύποι και φορτία μερικών από τα κοινά ιόντα 696
6. Διαλυτότητα γνωστών χημικών ενώσεων στο νερό 697
7. Πίνακας μονάδων μετρήσεως 698
8. Εισαγωγή στο εργαστήριο 699

Λεξιλόγιο 704
Ευρετήριο 713

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ



Χημεία:
Η επιστήμη των υλικών και της ενέργειας

Χημεία είναι η επιστήμη που εξετάζει τα υλικά σώματα· ειδικότερα εξετάζει τη σύστασή τους, τις ιδιότητές τους, τις αλληλεπιδράσεις τους και τις μεταβολές της συστάσεώς τους (χημικές μεταβολές). Επειδή οι χημικές μεταβολές συνήθως συνοδεύονται και από ενεργειακές μεταβολές, οι χημικοί πρέπει επίσης να ασχολούνται και με την ενέργεια. Την ενέργεια και τις μεταβολές της εξετάζει κυρίως η φυσική. Η χημεία - ειδικότερα η φυσικοχημεία- εξετάζει μόνο μερικές από τις μεταβολές της ενέργειας και συγκεκριμένα εκείνες που συνδέονται με χημικά φαινόμενα. Η χημεία μελετά όχι μόνο όλα τα στοιχεία που βρίσκονται στη φύση και εκείνα, τα λίγα ακόμη, που έχουν παρασκευασθεί από τον άνθρωπο, αλλά και τις εκατοντάδες χιλιάδες των ενώσεων που αυτά σχηματίζουν.

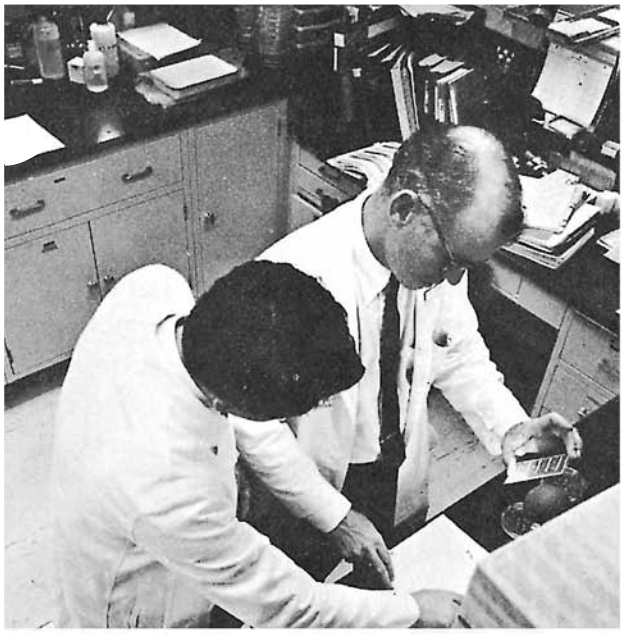
Η χημική γνώση είναι αποτέλεσμα μακρόχρονης προσπάθειας πολλών χημικών. Ένας χημικός συνήθως αρχίζει τις έρευνές του με ερωτήσεις του τύπου: “Τι θα συμβεί αν μία ουσία θερμανθεί;”, “Πώς μπορούμε να πάρουμε μια ουσία σε καθαρή κατάσταση;”, “Ποια είναι η αιτία που το χρώμα μιας ουσίας αλλάζει;”. ***Ίσως όμως πιο σημαντική είναι η ερώτηση: “Γιατί συμβαίνουν όλα αυτά τα φαινόμενα;”***.

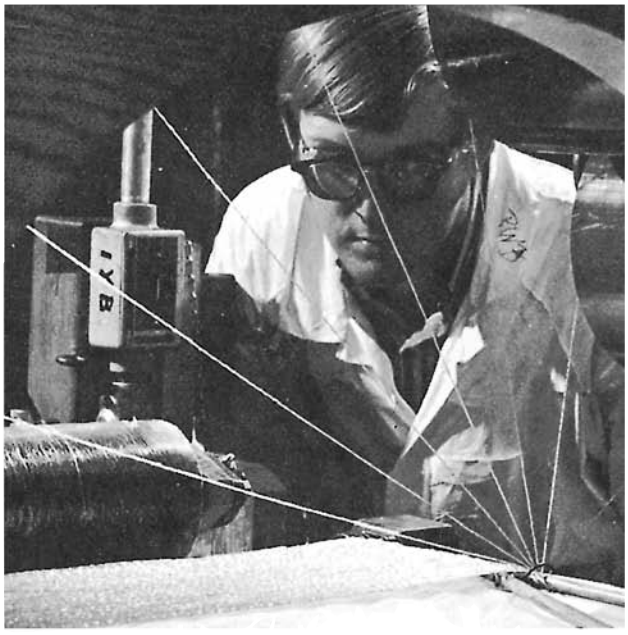
Αναζητώντας απαντήσεις σε αυτές τις ερωτήσεις, ένας χημικός πρέπει συχνά να διεξάγει εντελώς νέα πειράματα καθώς και να κατασκευάζει νέες συσκευές. Συχνά αρχίζει λανθασμένα και πολλές φορές αποτυγχάνει. Το γεγονός ότι διαβάζετε μόνο για τις επιτυχίες της επιστήμης, σας οδηγεί ίσως στη σκέψη ότι η επιστήμη φαίνεται να είναι απλή και εύκολη υπόθεση. Η αλήθεια όμως είναι πολύ διαφορετική.

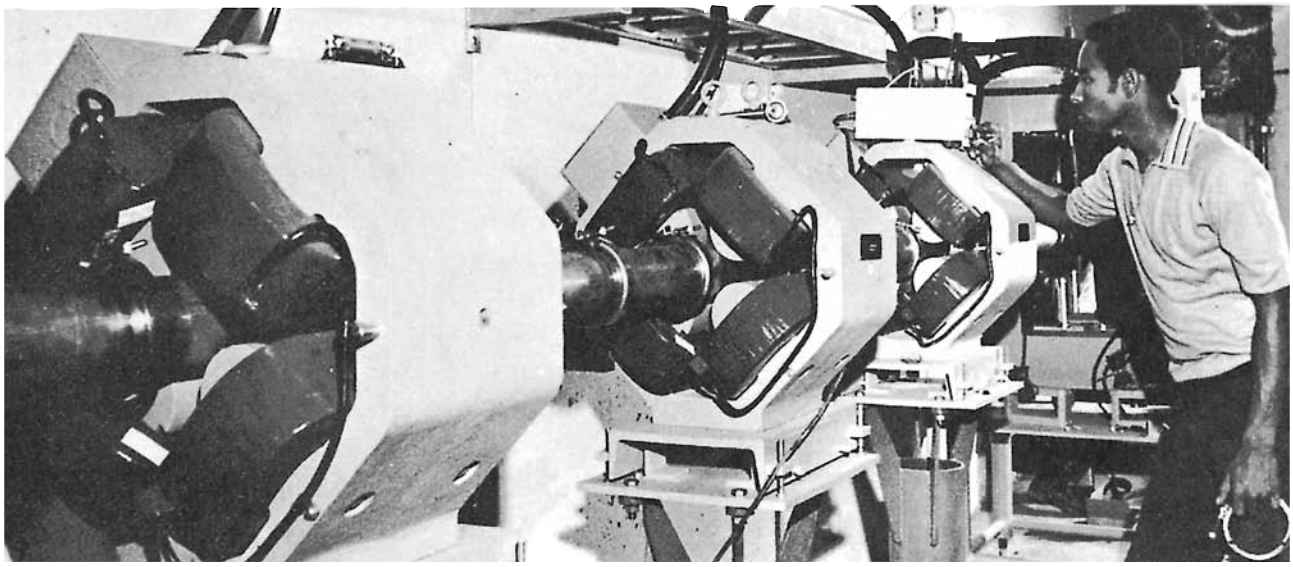
Στο πρώτο μέρος αυτού του βιβλίου θα μάθετε τον τρόπο, με τον οποίο οι χημικοί θέτουν ερωτήματα, διεξάγουν πειράματα και καταγράφουν ή αναλύουν τα αποτελέσματα των εργασιών τους. Και φυσικά αυτό δεν θα το μάθετε μόνο με το διάβασμα αλλά και με το να θέτετε και εσείς οι ίδιοι ερωτήματα και στη συνέχεια να διεξάγετε τα δικά σας πειράματα. Γιατί η χημεία, όπως άλλωστε και όλες οι άλλες φυσικές επιστήμες, βασίζεται στο συνδυασμό σκέψεως και πράξεως. Θα εξοικειωθείτε επίσης με τις βασικές ιδέες της ύλης και της ενέργειας, καθώς και με τους τρόπους διά των οποίων είναι δυνατόν να γίνουν μετρήσεις και να εκφρασθούν τα αποτελέσματά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Με τι μοιάζει η χημεία







Αρχίζοντας από πάνω αριστερά και ακολουθώντας τη φορά των δεικτών του ωρολογίου: Επιστήμονες διεξάγουν έρευνες για τον καρκίνο, παράγουν ίνες που θα χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό του θαλασσινού νερού και εκτελούν πειράματα υψηλής ενέργειας με τα στοιχειώδη σωματίδια της ύλης.

Πολλά από αυτά που βλέπετε καθημερινά στο περιβάλλον σας οφείλονται, κατά ένα μέρος, στην εργασία των χημικών. Και μόνο αυτό είναι αρκετό για να αναζητηθεί το τι ακριβώς κάνουν οι χημικοί. Παρ' όλο που δεν είναι δυνατόν δύο χημικοί να εργασθούν κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο, υπάρχει ένα ευδιάκριτο πρότυπο, κάποιος λογικός ειρμός βάσει του οποίου εξετάζουν το θέμα τους.

Η χημεία, περισσότερο ίσως από κάθε άλλη επιστήμη, βασίζεται στο πείραμα. Μία εξήγηση γι' αυτό θα μπορούσε να είναι ότι ο χημικός ασχολείται με πράγματα, που δε μπορεί να τα δει και να τα μετρήσει εύκολα, όπως είναι τα άτομα και τα μόρια. Μία άλλη πιθανή αιτία θα ήταν η εξής: η συμπεριφορά της ύλης ακολουθεί γενικούς κανόνες, πολλοί από τους οποίους είναι ήδη γνωστοί. Συχνά όμως υπάρχουν νέοι παράγοντες που επηρεάζουν ένα χημικό πρόβλημα ή μία χημική ιδέα. Έτσι ο μόνος τρόπος για να διαπιστώσομε αν ένα πείραμα λειτουργεί, είναι να πειραματισθούμε οι ίδιοι.

Επιβάλλεται λοιπόν οι μελέτες που θα εκπονήσετε στο χώρο της χημείας να περιλαμβάνουν από την αρχή και πειράματα. Μόνο με τα πειράματα είναι δυνατόν να μάθετε πραγματικά τι είναι η χημεία.

Γιατί και πώς είναι σκόπιμο να μελετηθεί η χημεία

1.1 Τι είναι η χημεία;

Όσοι από εμάς ζουν σε κοινωνίες ανεπτυγμένες τεχνολογικά, απολαμβάνουν μερικές ανέσεις και ευκολίες, που συνήθως τις θεωρούμε αυτονόητες. Και όμως, γνωρίζομε ότι η ποιότητα ζωής που εμείς απολαμβάνομε δεν έχει καμία σχέση με αυτήν παλαιοτέρων εποχών, όπως είναι και εντελώς διαφορετική από την ποιότητα ζωής που χαρακτηρίζει σήμερα άλλες μεγάλες περιοχές του κόσμου.

Σε τι διαφέρουν οι τεχνολογικά προηγμένες κοινωνίες, όπως οι δικές μας, από τις λιγότερο προηγμένες;

Μία διαφορά είναι ότι διαθέτομε πολλά υλικά κατάλληλα για διάφορες χρήσεις. Ένα υλικό ίσως να είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί σε ένα διαστημικό δορυφόρο, ενώ ένα άλλο για την επισκευή μιας βαλβίδας της ανθρώπινης καρδιάς.

Πολλά έχουν λιγότερο εντυπωσιακές αλλά οπωσδήποτε σημαντικές χρήσεις. Τα νήματα που δεν χρειάζονται σιδέρωμα, τα μέταλλα που δεν σκουριάζουν και οι τεχνητοί χλοοτάπητες* είναι μόνο μερικά από τα πολλά πιθανά παραδείγματα (σχ. 1-1).

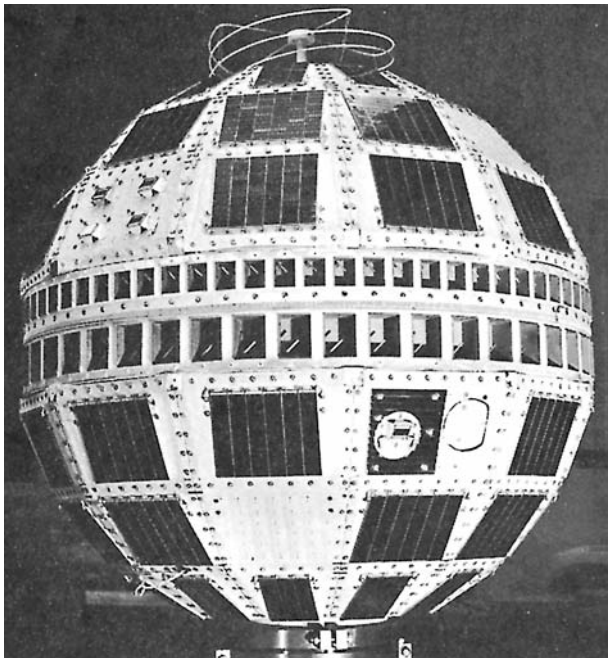
Κάτι άλλο που θα πρέπει να διαθέτει άφθονο μία κοινωνία όπως η δική μας είναι ***η ενέργεια***. Θα πρέπει να διατίθεται για κάθε χρήση στις ανάλογες μορφές. Οι μορφές που είναι περισσότερο κατάλληλες για την τροφοδοσία ενός



ΣΧΗΜΑ 1-1. *Βαλβίδα τεχνητής καρδιάς. Τα περισσότερα από τα υλικά που την αποτελούν δεν υπήρχαν πριν από μερικές δεκαετίες.*

δορυφόρου όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα 1-2, ίσως να είναι τελείως διαφορετικές από αυτές που βοηθούν στη ρύθμιση της λειτουργίας της ανθρώπινης καρδιάς, που φωτίζουν μία πόλη ή

* *Σ.τ.Μ. Το τεχνητό "γρασίδι" που χρησιμοποιείται σε ορισμένα ποδοσφαιρικά γήπεδα.*



ΣΧΗΜΑ 1-2. *Πρότυπο τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου τύπου Telstar. Τα σκουρόχρωμα τετράγωνα πάνω στην επιφάνειά του είναι ηλιακά στοιχεία, που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια.*

που κινούν ένα αυτοκίνητο.

Αλλά τι σχέση έχει η χημεία με όλα αυτά; Η απάντηση είναι ότι έχει σχέση και μάλιστα μεγάλη. Γιατί ***Χημεία είναι η επιστήμη των υλικών***. Οι χημικοί, με την ανάμιξη απλουστέρων υλικών, κατασκευάζουν άλλα πιο πολύπλοκα και διασπούν τα πολυπλοκότερα σε άλλα πιο απλά. Μετατρέπουν ορισμένα υλικά σε κάποια άλλα, που ικανοποιούν μία ειδική ανάγκη.

Και τι γίνεται με την ενέργεια; Η ενέργεια είναι απαραίτητη στη μελέτη των υλικών. Όλες εκείνες οι διαδικασίες, με τις οποίες οι χημικοί επεξεργάζονται τα υλικά εξαρτώνται από την ενέργεια. Άλλες χημικές διαδικασίες για να γίνουν χρειάζονται ενέργεια και άλλες παράγουν ενέργεια. Εκείνες που παράγουν αρκετή ενέργεια χρησιμοποιούνται συχνά γι' αυτόν ακριβώς το σκοπό, δηλαδή για την παραγωγή ενέργειας. Ένα καλό παράδειγμα είναι η χρήση των καυσίμων (βενζίνης, κάρβουνου, ξύλου κλπ.).

Η εργασία του χημικού λοιπόν έχει σχέση και με την ενέργεια και με τα υλικά ή καλύτερα για να μεταχειρισθούμε έναν όρο πιο γενικό από τον όρο "υλικά", με την ενέργεια και την ύλη.

Ας χρησιμοποιήσομε τη λέξη ύλη προς το παρόν με τη συνηθισμένη της έννοια. Επιστημονικότερη επεξεργασία του όρου "ύλη" θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Βέβαια δεν είναι αρκετό να πούμε ότι οι χημικοί ασχολούνται μόνο με την ύλη και την ενέργεια. Γιατί και ένας ποδοσφαιριστής θα μπορούσε επίσης να πει ότι ασχολείται με αυτά τα δύο πράγματα. Όταν ελέγχει ή λακτίζει τη μπάλα, ξοδεύει αρκετή ενέργεια, για να μετακινήσει την ύλη της μπάλας. Αλλά βέβαια δεν είναι δυνατό να χαρακτηρισθεί "χημικός".

Εκείνο που κάνει ένα χημικό να ξεχωρίζει είναι ο τρόπος που χρησιμοποιεί την ύλη και την ενέργεια. Και ακριβώς αυτός ο ειδικός τρόπος με τον οποίο ασχολούνται οι χημικοί με την ύλη και την ενέργεια είναι το βασικό κλειδί για την κατανόηση και την αξιοποίηση αυτού του βιβλίου.

1.2 Οι χημικοί εκτελούν πειράματα.

Αν θέλετε να μάθετε πώς παίζεται το παιχνίδι της χημείας πρέπει να εκτελείτε πειράματα. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι (1452-1519) έλεγε ότι: «Οι επιστήμες εκείνες που δεν έχουν γεννηθεί από το πείραμα, τη μητέρα κάθε βεβαιότητας, είναι άσκοπες και γεμάτες λάθη». Τα λόγια αυτής της αξιόλογης ιταλικής μεγαλοφυίας είναι και σήμερα το ίδιο αληθινά.

Όλα όσα έχουν μάθει οι χημικοί βασίζονται στα αποτελέσματα των πειραμάτων και ο λόγος που εξακολουθούν να πειραματίζονται είναι το γεγονός ότι συνειδητοποιούν πως αυτά που γνωρίζουν είναι ελάχιστα σε σχέση με αυτά που θα ήθελαν να γνωρίζουν. Ένα πείραμα πιθανόν να μας δώσει πληροφορίες για κάτι που ίσως ούτε καν υποψιαζόμαστε ή να βοηθήσει στη λύση ορισμένων υπαρκτών προβλημάτων, όπως αυτά που αφορούν στην προστασία του περιβάλλοντος.

Σε αυτήν τη σειρά των μαθημάτων, πολλά από όσα θα μάθετε θα προκύψουν από τα δικά σας πειράματα. Φυσικά δεν είναι δυνατόν να μάθετε τα πάντα με το πείραμα, γιατί ο χρόνος δεν είναι αρκετός. Γι' αυτό θα πρέπει να βασισθείτε και στη διδασκαλία διά της οποίας θα γνωρίσετε τους καρπούς των πειραμάτων, τα οποία έχουν γίνει από άλλους.

Αλλά ακόμη και αν ο χρόνος δεν ήταν περιορισμένος, είναι παράλογο να πιστεύει κάποιος ότι πρέπει να παραχωρηθεί στους σπουδαστές χημείας ένας ατομικός αντιδραστήρας, ώστε να ανακαλύψουν μόνοι τους τι είναι τα άτομα (σχ. 1-3). Παρ' όλα αυτά, πολλά πειράματα είναι δυνατόν να γίνουν στα απλά

εργαστήρια του σχολείου· με αυτά τα πειράματα θα αποκτήσετε την απαραίτητη πείρα για την αντιμετώπιση και την αξιοποίηση ορισμένων φαινομένων.

Αν αποκτήσετε έτσι μερικές γνώσεις χημείας, θα μπορείτε να αντιμετωπίζετε και τα υπόλοιπα φαινόμενα κατά τρόπο πιο διεισδυτικό και αντικειμενικό. Εξ άλλου είναι και ευχάριστο το να εκτελείς πειράματα! Κάτι ενδιαφέρον και εκπληκτικό στη χημεία είναι ότι συχνά πολύ απλά πειράματα αποδεικνύονται πολύ σπουδαία από επιστημονικής πλευράς, γιατί είναι δυνατόν να συνοδεύονται από αναπάντεχα γεγονότα και πράγματα, που αξίζουν τον κόπο να διερευνηθούν.

Η προσεκτική παρατήρηση μπορεί να μετατρέψει ένα συνηθισμένο από πρώτη ματιά φαινόμενο σε ένα πείραμα γεμάτο πληροφορίες. Για να το διαπιστώσετε και μόνοι σας αυτό, θα κάνετε μερικά πειράματα με ένα κερί. Θα εκπλαγείτε ανακαλύπτοντας πόσο λίγα γνωρίζετε από αυτά που συμβαίνουν σε ένα κερί που καίγεται. Επάνω σε αυτό το πρόβλημα έχουν εργασθεί πολλοί διακεκριμένοι επιστήμονες και μέχρι σήμερα εξακολουθούν να ανακαλύπτουν καινούργια και σημαντικά πράγματα, που συμβαίνουν στην πιο θερμή περιοχή της φλόγας.



ΣΧΗΜΑ 1-3. *Το εθνικό εργαστήριο του επιταχυντή στο Illinois. Ο "κύριος δακτύλιος", ένα μέρος του οποίου φαίνεται στην εικόνα, έχει περίμετρο 6,5 περίπου χιλιόμετρα.*

Μην νομίζετε ότι πρέπει να αφήσετε να περάσει απαρατήρητο ένα ταπεινό κερί.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

1.3 Επιστημονική παρατήρηση και περιγραφή.

Η εργασία πολλών άλλων επιστημόνων, μη χημικών, δεν περιορίζεται απαραίτητα μόνο μέσα στο χώρο του εργαστηρίου τους. Ένας ωκεανογράφος συχνά διασχίζει χιλιάδες χιλιόμετρα, για να συγκεντρώσει και να αναλύσει δείγματα θαλασσινού νερού από πολλά σημεία της υδρογείου. Βιολόγοι επίσης, ίσως χρειάζεται να τοποθετήσουν καμιά φορά μικροσκοπικούς ραδιοπομπούς στο λαιμό των άρκτων της Βόρειας Αμερικής, με σκοπό να προσδιορίσουν τις μετακινήσεις τους και τον τρόπο διαβιώσεώς τους κατά το χειμώνα. Άλλοι βιολόγοι πάλι περνούν χρόνια ολόκληρα στην Ανταρκτική ή στις τροπικές ζούγκλες, για να μελετήσουν διάφορους οργανισμούς στο φυσικό τους περιβάλλον.

Αντίθετα, οι περισσότεροι χημικοί και φυσικοί περνούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου τους μέσα στα εργαστήριά τους, γιατί εκεί μπορούν να ελέγξουν τις συνθήκες, κάτω από τις οποίες εκτελούν τα πειράματά τους. Ακόμη και αυτοί που ασχολούνται με τη μελέτη πολυπλόκων προβλημάτων, όπως η μόλυνση του νερού και η ρύπανση του αέρα επιστρέφουν στο εργαστήριό τους, για να μελετήσουν το αντικείμενο της έρευνάς τους κάτω από διαφορετικές ελεγχόμενες συνθήκες κάθε φορά.

Το κλειδί για όλες τις επιτυχείς επιστημονικές έρευνες είναι η ικανότητα να γίνονται λεπτομερείς παρατηρήσεις, ανεξάρτητα αν ο επιστήμονας εργάζεται στο εργαστήριο ή στο ύπαιθρο. Από προσεκτικές παρατηρήσεις σε προκαταρκτικά

πειράματα, οι ερευνητές-επιστήμονες καθορίζουν ποιες συνθήκες θα πρέπει να ελέγξουν αργότερα στα λεπτομερέστερα πειράματα που θα ακολουθήσουν.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός του πειράματος που ακολουθεί είναι να διαπιστώσετε πόσες πολλές παρατηρήσεις μπορείτε να σημειώσετε παρακολουθώντας ένα κερί και τον τρόπο που αυτό καίγεται. Όταν θα τελειώσετε, συγκρίνοντας τις δικές σας παρατηρήσεις με αυτές των συμμαθητών σας, ίσως ανακαλύψετε πράγματα που δεν είχατε θεωρήσει ότι είναι αρκετά σημαντικά, ώστε να τα καταγράψετε.

ΥΛΙΚΑ

Τετράδιο	Χάρακας
Σπίρτα	Κερί στερεωμένο σε κηροπήγιο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Να εξετάσετε με προσοχή το κερί. Να καταγράψετε οποιοδήποτε χαρακτηριστικό του κεριού, το οποίο θεωρείται ότι είναι ενδιαφέρον.
2. Ανάψτε το κερί. Καταγράψτε στο τετράδιό σας όσες παρατηρήσεις μπορείτε να κάνετε παρακολουθώντας επί 10-15 λεπτά το κερί που καίγεται. Αφήστε κενό χώρο στο τετράδιό σας, για να συμπληρώσετε τις επί πλέον παρατηρήσεις που έγιναν από τους συμμαθητές σας. Ίσως χρειασθεί να συμπληρώσετε αυτήν τη λίστα και κατά τη συζήτηση που θα ακολουθήσει σχετικά με το πείραμα.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Περιγράψτε με τη μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια τις συνθήκες που επικρατούσαν στο εργαστήριό σας, όση ώρα καιγόταν το κερί.
2. Ποια από αυτές τις συνθήκες είχε σημαντική επίδραση στον τρόπο που καιγόταν το κερί; Ποιες είναι αντίστοιχα εκείνες που είχαν τη μικρότερη επίδραση;
3. Αν θέλατε να μελετήσετε προσεκτικά την ταχύτητα με την οποία καίγεται το κερί, ποιες νομίζετε ότι θα ήταν οι συνθήκες εκείνες που θα έπρεπε να ελέγξετε;
4. Ως αποτέλεσμα των παρατηρήσεών σας, καταρτίστε έναν κατάλογο με τις αναπάντητες ερωτήσεις που προέκυψαν από αυτό το πείραμα.

ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ

1.4 Συμπεριφορά των στερεών όταν θερμαίνονται.

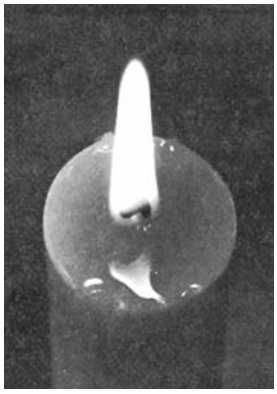
Αν παρατηρήσατε προσεκτικά το κερί, ίσως ανακαλύψατε μερικά πράγματα καινούργια για σας. Είναι πιθανόν μάλιστα να σας δημιουργήθηκαν και απορίες, όπως οι παρακάτω:

"Ποιο είναι το άχρωμο υγρό που δημιουργείται στο κοίλο μέρος που σχηματίστηκε στο επάνω τμήμα του αναμμένου κεριού;" (σχ. 1-4) ή "Αυτό το υγρό είναι άραγε μόνο λιωμένο κερί ή έχει σχηματισθεί και κάτι άλλο όσο το κερί καίγεται";

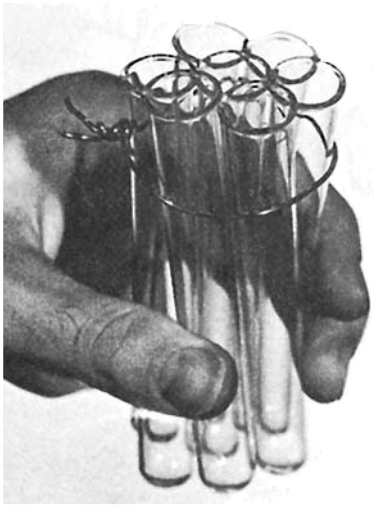
Ίσως το υγρό να είναι μόνο λιωμένο κερί, άλλα εσείς πώς θα το εξακριβώσετε;

Ποιο πείραμα θα σας βοηθήσει να καταλάβετε αν είναι μόνο κερί ή κάτι άλλο;

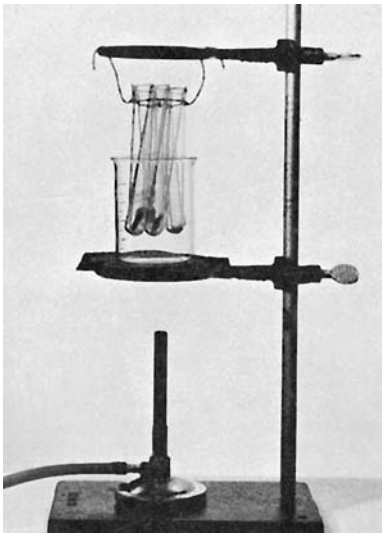
Είναι δυνατόν η συμπεριφορά του κεριού κατά τη θέρμανση να είναι διαφορετική από τη συμπεριφορά των άλλων ουσιών;



ΣΧΗΜΑ 1-4.



ΣΧΗΜΑ 1-5.



ΣΧΗΜΑ 1-6.

Για να δοθεί απάντηση σε αυτά, είναι απαραίτητο να μάθετε πώς συμπεριφέρονται και διάφορες άλλες ουσίες, όταν θερμαίνονται.

ΣΚΟΠΟΣ

Σε αυτό το πείραμα θα έχετε την ευκαιρία να συγκρίνετε τη συμπεριφορά μερικών διαφορετικών ουσιών, όταν αυτές θερμαίνονται. Ως αποτέλεσμα των παρατηρήσεών σας θα προσπαθήσετε να βρείτε έναν τρόπο για τον προσδιορισμό της ταυτότητας του υλικού που σχηματίσθηκε στο πάνω μέρος το κεριού που καίγεται.

ΥΛΙΚΑ

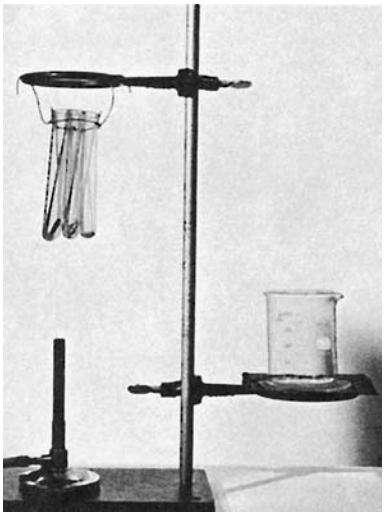
Ορθοστάτης, 2 δακτύλιοι
Συρμάτινο πλέγμα
Λύχνος
Κερί
7 δοκιμαστικοί σωλήνες 16 x 125 mm
Ποτήρι ζέσεως 250 ml
Λαβίδα
Μαχαίρι ή σπάτουλα (για να κόβετε κομμάτια από το κερί)
Ψαλίδι ή τανάλια (για να κόβετε σύρμα)
Μικρά κομμάτια θείου, ατσάλινου σύρματος για τα πιάτα, κασσίτερου, μολύβδου και χαλκού (ένα από το καθένα)
40-50 cm σύρμα από χαλκό, #16
Σκόνη χλωριούχου αργύρου
Υποδεκάμετρο
Γυαλόχαρτο ή σύρμα για τα πιάτα
Αυτοκόλλητες ετικέτες-χαρτοπετσέτες

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Σύγκριση διαφορετικών ουσιών.

1. Χρησιμοποιήστε ένα χάλκινο σύρμα #16, για να δέσετε μαζί επτά δοκιμαστικούς σωλήνες 16 x 125 mm σε μία δέσμη. Προσέξτε να σφίξετε αρκετά τους σωλήνες γυρίζοντας τις άκρες του χάλκινου σύρματος, ώστε να μην γλιστρήσει κανένας από τη δέσμη (σχ. 1-5).
2. Διαμοιράστε τα ακόλουθα υλικά μέσα στους επτά δοκιμαστικούς σωλήνες: ένα κομμάτι θείου, ένα κομμάτι κεριού, μία μπάλα από ατσάλινο σύρμα για τα πιάτα (το καθένα να έχει μέγεθος όσο η γόμα στην άκρη ενός μολυβιού), λωρίδες διαστάσεων περίπου 1 x 4 cm από φύλλα μολύβδου, κασσίτερου και χαλκού (τα οποία θα έχετε προηγουμένως τρίψει με ένα γυαλόχαρτο ή με λίγο σύρμα για τα πιάτα) και αρκετή σκόνη χλωριούχου αργύρου, ώστε να σκεπάσει τον πυθμένα ενός δοκιμαστικού σωλήνα.
3. Τοποθετήστε ένα λύχνο στη βάση ενός ορθοστάτη δακτυλίων και προσαρμόστε επάνω σε αυτόν ένα σιδερένιο δακτύλιο σε ύψος περίπου 50 mm από την κορυφή του λύχνου. Επάνω στο δακτύλιο τοποθετήστε ένα συρμάτινο πλέγμα και πάνω σε αυτό ένα ποτήρι ζέσεως των 250 ml.
4. Προσαρμόστε ακόμα ένα σιδερένιο δακτύλιο στο πάνω μέρος του ορθοστάτη. Κατασκευάστε δύο γάντζους από σύρμα χαλκού #16, που να έχουν μήκος περίπου 10 cm, και προσπαθήστε να κρεμάσετε με αυτούς τη δέσμη των δοκιμαστικών σωλήνων από τον επάνω δακτύλιο. Χαμηλώστε προσεκτικά το δακτύλιο με τη δέσμη των δοκιμαστικών σωλήνων έτσι, ώστε να βυθισθούν στο ποτήρι των 250 ml και να απέχουν οι άκρες τους από τον πυθμένα του ποτηριού περίπου 2,5 cm (σχ. 1-6).

Βεβαιωθείτε ότι φοράτε τα γυαλιά ασφαλείας, πριν προχωρήσετε στο επόμενο πείραμα!



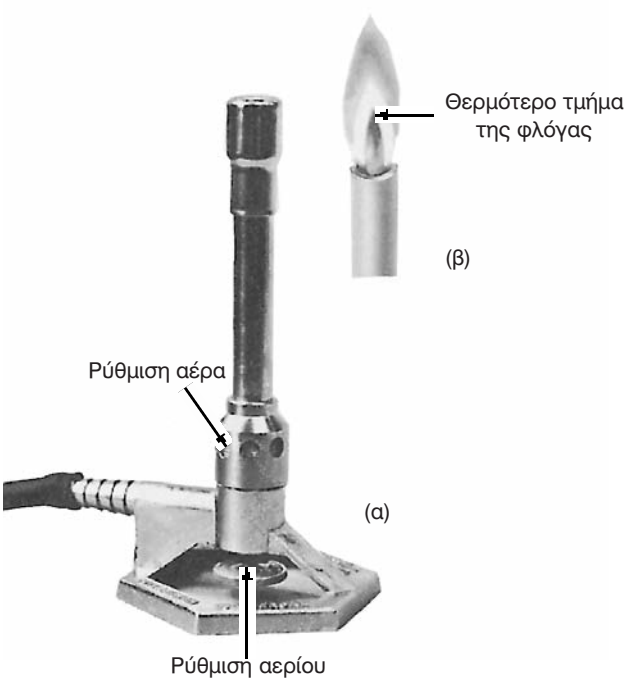
ΣΧΗΜΑ 1-7.

5. Ανάψτε το λύχνο και θερμάνετε τον πυθμένα του ποτηριού όσο πιο πολύ μπορείτε (καλό είναι να έχετε προηγουμένως συμβουλευθεί τις οδηγίες χρήσεως του λύχνου που αναγράφονται στο τέλος της περιγραφής αυτού του πειράματος). Παρατηρήστε προσεκτικά τα υλικά που βρίσκονται μέσα στους δοκιμαστικούς σωλήνες και καταγράψτε αμέσως στο τετράδιό σας τις παρατηρήσεις σας για κάθε αλλαγή που γίνεται. Ιδιαίτερα πρέπει να προσέξετε τη συμπεριφορά των υλικών κατά την τήξη αφού βεβαιωθείτε ότι έχετε καταγράψει τόσο τις αλλαγές του χρώματος όσο και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιούνται.
6. Αν, μολονότι εξακολουθείτε να θερμαίνετε το ποτήρι, μερικά δείγματα δε λιώνουν, τότε απομακρύνετε το λύχνο. Προστατεύοντας τα χέρια σας με ένα κομμάτι διπλωμένης χαρτοπετσέτας χαλαρώστε τον κοχλία του κάτω δακτυλίου που συγκρατεί το ποτήρι ζέσεως και κατεβάστε το δακτύλιο με το ποτήρι έτσι, ώστε οι δοκιμαστικοί σωλήνες να βγουν έξω από το ποτήρι (προσοχή γιατί είναι ζεστό). Στη συνέχεια γυρίστε το δακτύλιο προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν των δοκιμαστικών σωλήνων. Αμέσως τοποθετήστε το λύχνο κατ' ευθείαν κάτω από τη δέσμη των δοκιμαστικών σωλήνων και συνεχίστε να θερμαίνετε αυτούς με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη φλόγα (σχ. 1-7). Σημειώστε όλες τις υπόλοιπες μεταβολές, ακόμη και αυτές που γίνονται μετά την τήξη των δειγμάτων. Τέλος, όταν νομίζετε ότι τίποτα άλλο δεν γίνεται πια, σβήστε το λύχνο και αφήστε τους σωλήνες να κρυώσουν.
7. Αν κάποιο υλικό δεν έλιωσε, όταν θερμάνθηκε μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα, πάρτε ένα κομμάτι από καινούργιο δείγμα αυτού του υλικού, πιάστε το με μια μεταλλική λαβίδα και θερμάνετέ το στο πιο ζεστό σημείο της φλόγας του λύχνου (όπως φαίνεται στο σχήμα 1-8). Σημειώστε όλες τις αλλαγές.

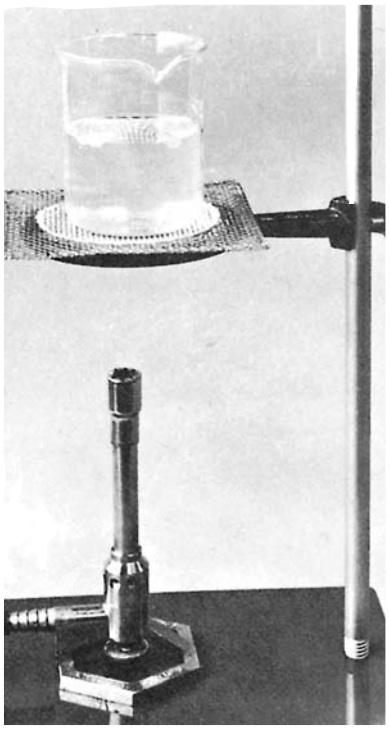
Πώς να χρησιμοποιείτε το λύχνο.

Για να ανάψετε το λύχνο σας, ανοίξτε τη βαλβίδα (διά της οποίας διοχετεύται το αέριο) κατά μισή στροφή και κρατήστε ένα αναμμένο σπίρτο λίγο πιο πάνω από την κορυφή του λύχνου. Αν η φλόγα που σχηματίσθηκε είναι κίτρινη, γυρίστε το ρυθμιστή του αέρα (σχ. 1-8α) μέχρι να εξαφανισθεί το κίτρινο χρώμα. Μία σωστά ρυθμισμένη φλόγα είτε είναι σχεδόν αόρατη είτε έχει μπλε-μωβ χρώμα. Αν η βάση της φλόγας είναι λίγο πιο ψηλά από την κορυφή του λύχνου, ελαττώστε τη ροή του αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας είτε τη βαλβίδα αερίου του λύχνου είτε τη βαλβίδα αερίου της κεντρικής γραμμής, αν δεν έχει βαλβίδα ο λύχνος σας. Καλόν είναι να γίνουν όλες αυτές οι ρυθμίσεις διαδοχικά και όχι όλες μαζί.

Η φλόγα του λύχνου έχει διαφορετικές θερμοκρασίες στα διάφορα σημεία της. Η πιο θερμή περιοχή φαίνεται στο σχήμα 1-8β. ***Προσοχή***: Αν ο λύχνος σας έχει σχεδόν αόρατη φλόγα, πρέπει να είσθε πολύ προσεκτικοί, γιατί μπορεί να πάθετε σοβαρά εγκαύματα, αφού δεν τη βλέπετε. Αν απορροφηθείτε από κάποια άλλη εργασία, είναι πολύ εύκολο να ξεχάσετε ότι ο λύχνος είναι αναμμένος και να καείτε.



ΣΧΗΜΑ 1-8.



ΣΧΗΜΑ 1-9.

Μέρος Β. Σύγκριση των υλικών του κεριού.

1. Αφού απομακρύνετε τη δέσμη των δοκιμαστικών σωλήνων από τον ορθοστάτη, τοποθετήστε ένα μεταλλικό πλέγμα αμιάντου πάνω σε ένα δακτύλιο και σε ύψος περίπου 5 cm από την κορυφή του λύχνου. Γεμίστε ένα ποτήρι ζέσεως των 250 ml ή ένα μεταλλικό χυτρίδιο κατά το ένα τρίτο περίπου με νερό και τοποθετήστε το πάνω στο πλέγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-9.
2. Αδειάστε μερικές σταγόνες από το υγρό που δημιουργείται στην κορυφή ενός αναμμένου κεριού, πάνω σε ένα κομμάτι χαρτί και, όταν στερεοποιηθεί, κόψτε ένα μικρό κομμάτι αυτού του στερεού και ρίξτε το στο νερό που προσθέσατε προηγουμένως στο ποτήρι ή στο χυτρίδιο. Στη συνέχεια κόψτε ένα μικρό κομμάτι κερί, περίπου του ίδιου μεγέθους με το προηγούμενο, από το κάτω μέρος του κεριού και ρίξτε το επίσης μέσα στο νερό, σε μικρή απόσταση από το άλλο στερεό.
3. Θερμάνετε το ποτήρι ζέσεως ή το χυτρίδιο με τη φλόγα ενός λύχνου και σημειώστε πότε αρχίζει να λιώνει κάθε ουσία. Αφού αφήσετε τις λιωμένες ουσίες να στερεοποιηθούν, να τις αδειάσετε στο δοχείο των απορριμμάτων κι όχι στο νεροχύτη.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Να συγκρίνετε τις δικές σας παρατηρήσεις, σχετικά με τη σειρά με τη οποία έλιωσαν οι εξεταζόμενες ουσίες, με τις παρατηρήσεις των συμμαθητών σας. Τι διαπιστώνετε;
2. Αν προκύπτουν συμπεράσματα από το συνδυασμό των παρατηρήσεων, τότε ποια είναι αυτά;
3. Τι μπορείτε να συμπεράνετε για την ταυτότητα του υλικού που σχηματίζεται στο επάνω μέρος του αναμμένου κεριού;
4. Παράλληλα με τις διαφορές στη σειρά με την οποία έλιωσαν οι ουσίες, να εξετάσετε και όποιες άλλες μεταβολές παρατηρήσατε. Μπορείτε να τις εξηγήσετε; Αν όχι, τότε μήπως σας δημιουργούν κάποιες απορίες και ποιες;

Μερικά θέματα που είναι χρήσιμο να διερευνήσετε.

Γιατί οι διάφορες ουσίες που εξετάσατε άρχισαν να λιώνουν σε διαφορετικές θερμοκρασίες;

Γιατί μερικές ουσίες δεν έλιωσαν;

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

1.5 Θερμοκρασία τήξεως.

Ο τρόπος με τον οποίο συγκρίνατε τη θερμοκρασία τήξεως στα προηγούμενα πειράματα ήταν αρκετά καλός για λίγα δείγματα. Όταν όμως πρόκειται να εξετασθούν εκαντοντάδες χημικές ουσίες, αυτός ο τρόπος της κατ' ευθείαν συγκρίσεως της μιας ουσίας με την άλλη δεν είναι πρακτικός. Μία άλλη περισσότερο πρακτική μέθοδος είναι να μετρήσετε το σημείο τήξεως της κάθε ουσίας χωριστά και στη συνέχεια, αφού συγκεντρώσετε αυτές τις χαρακτηριστικές θερμοκρασίες, να καταρτίσετε έναν πίνακα, τον οποίο θα συμπληρώνετε κάθε φορά με το σημείο τήξεως κάθε νέας ουσίας. Στο πείραμα που ακολουθεί θα εξετάσετε ένα κοινό στερεό υλικό, το παραδιχλωροβενζόλιο, που χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση του σκώρου.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός των πειραμάτων που ακολουθούν είναι να μελετήσετε από κοντά πώς συμπεριφέρεται το παραδιχλωροβενζόλιο, αρχικά όταν ψύχεται, ενώ βρίσκεται σε θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από το σημείο τήξεώς του, και στη συνέχεια όταν θερμαίνεται αργά, ξεκινώντας από θερμοκρασία λίγο πιο χαμηλή από το σημείο τήξεώς του. Θα ανακαλύψετε τον τρόπο, με τον οποίο αλλάζει η θερμοκρασία του παραδιχλωροβενζολίου μέσα σε κανονικά χρονικά διαστήματα, όσο διαρκεί η ψύξη και η θέρμανση.

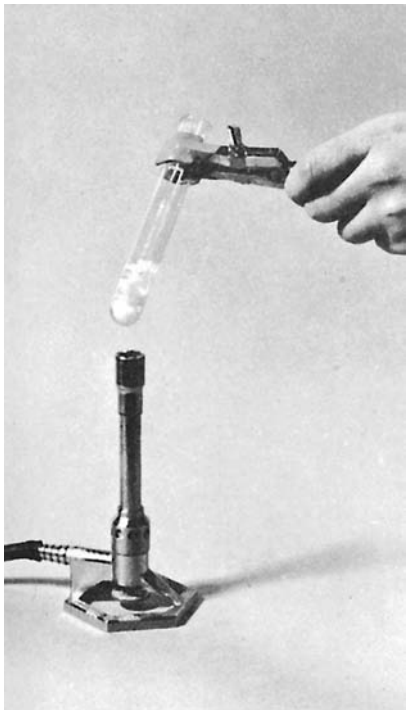
ΥΛΙΚΑ

Λύχνος
Λαβίδα εργασίας
Ποτήρι ζέσεως 400 ml
Ορθοστάτης, δακτύλιος
Μεταλλικό πλέγμα αμιάντου
2 θερμόμετρα (περιοχής -10° C μέχρι 110° C
Ποτήρι ζέσεως 400 ml
Χρονόμετρο ή κοινό ρολόι χειριού με δείκτη δευτερολέπτων
Παραδιχλωροβενζόλιο μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα Pyrex διαστάσεων 18 x 150 mm.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Συμπεριφορά κατά την ψύξη.

1. Για να γίνει ευκολότερη η καταγραφή των δεδομένων του πειράματος, είναι προτιμότερο να συνεργασθείτε με κάποιο συμμαθητή σας. Ο ένας θα πρέπει να ετοιμάσει στο τετράδιό του έναν πίνακα, στον οποίο θα καταγράψει τη θερμοκρασία, το χρόνο και τη συμπεριφορά του υλικού κατά την ψύξη. Ένα αντίγραφο αυτού του πίνακα θα πάρει και ο άλλος συνεργάτης (στο τέλος του Β Μέρους της περιγραφής αυτού του πειράματος υπάρχει ένα παράδειγμα τέτοιου πίνακα).
2. Γεμίστε ένα ποτήρι ζέσεως 400 ml κατά τα 3/4 με νερό από τη βρύση θερμοκρασίας δωματίου (κάτω από 30°C) και τοποθετήστε το στη βάση του ορθοστάτη σας.
3. Θερμάνετε αργά ένα δοκιμαστικό σωλήνα, γεμάτο κατά το 1/3 ή το 1/2 με παραδιχλωροβενζόλιο, επάνω από τη χαμηλή φλόγα ενός λύχνου μέχρι να λιώσει, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-10. Τοποθετήστε ένα θερμόμετρο στο υγρό και συνεχίστε να το θερμαίνετε, μέχρι να φθάσει η θερμοκρασία ανάμεσα στους 65°C και τους 70°C. Να ανακινείτε συνέχεια το δοκιμαστικό σωλήνα πάνω από τη φλόγα.
4. Στερεώστε το δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει το λιωμένο παραδιχλωροβενζόλιο σε μία θέση λίγο πιο ψηλά από το ποτήρι με το νερό.
5. Από αυτή τη φάση και μετά να διαχωρίσετε τις εργασίες που εκτελείτε με το συμμαθητή σας. Τοποθετήστε ένα χρονόμετρο κατά τρόπο που ο ένας συνεργάτης, αυτός που καταγράφει, να είναι σε θέση να διαβάζει το χρόνο κάθε 30 δευτερόλεπτα. Ο ίδιος θα πρέπει επίσης να καταγράφει όλες τις παρατηρήσεις που κάνει ο άλλος συνεργάτης.
6. Όταν ετοιμασθούν όλα, να ελεγχθεί η θερμοκρασία του παραδιχλωροβενζολίου και να καταγραφεί με προσέγγιση 0,2°C (βεβαιωθείτε ότι τα μάτια σας βρίσκονται στο ίδιο ύψος με την άκρη της στήλης του υδραργύρου που υπάρχει στο θερμόμετρο, διότι σε διαφορετική περίπτωση θα διαβάζετε λάθος). Αμέσως μόλις σας ειδοποιήσει ο συνεργάτης σας, που έχει αναλάβει να γράφει, βυθίστε το κάτω μισό μέρος του δοκιμαστικού σωλήνα στο υδρόλουτρο και στερεώστε τον σε αυτήν τη θέση. Βυθίστε το θερμόμετρο στο σωλήνα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να



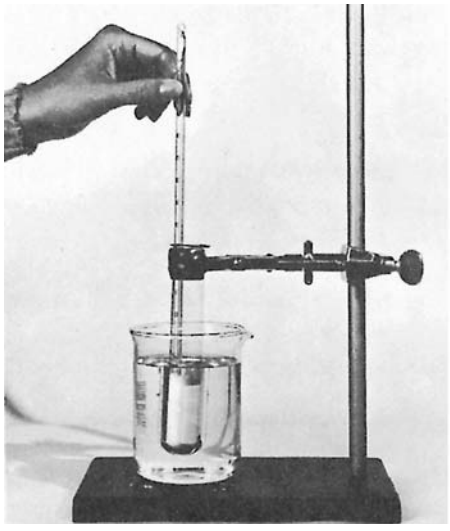
ΣΧΗΜΑ 1-10.

εφάπτεται στα τοιχώματά του και να φθάνει λίγο πιο πάνω από τον πυθμένα του έτσι, ώστε όταν στερεοποιηθεί το παραδιχλωροβενζόλιο να σταθεροποιηθεί και το θερμόμετρο σε αυτήν τη θέση, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-11. Να καταγράφετε τη θερμοκρασία κάθε 30 δευτερόλεπτα, μέχρι να φθάσει περίπου τους 30 βαθμούς. Σημειώστε επίσης πότε αρχίζει η στερεοποίηση και πότε ολοκληρώνεται.

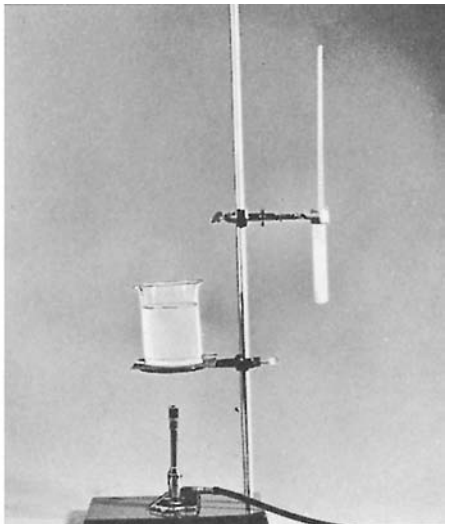
Μέρος Β. Συμπεριφορά κατά τη θέρμανση.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει ο παρατηρητής και αυτός που καταγράφει να αντιστρέψουν τους ρόλους τους.

1. Αφού ανυψώσετε και βγάλετε το δοκιμαστικό σωλήνα από το υδρόλουτρο στρέψτε τον μαζί με τη λαβίδα με την οποία τον κρατάτε προς το πίσω μέρος του ορθοστάτη, δηλαδή αντίθετα από εκεί όπου βρίσκεται το υδρόλουτρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-12. Τοποθετήστε το ποτήρι ζέσεως, γεμάτο κατά 3/4 με νερό, πάνω σε ένα μεταλλικό πλέγμα αμιάντου και αυτό πάνω σε ένα δακτύλιο, και αρχίστε να ζεσταίνετε το υδρόλουτρο μέχρι τους 70°C (αρχίστε με ζεστό νερό της βρύσης, αν υπάρχει, διότι έτσι κερδίζετε χρόνο). Τέλος, σβήστε το λύχνο αλλά αφήστε τα άλλα στη θέση τους.
2. Καταγράψτε τη θερμοκρασία στην οποία στερεοποιείται το παραδιχλωροβενζόλιο με προσέγγιση 0,2°C. Με ένα δεύτερο θερμόμετρο μετρήστε τη θερμοκρασία του υδρολούτρου με προσέγγιση 1°C. Μόλις σας ειδοποιήσει ο συνεργάτης σας που γράφει, βυθίστε το κάτω μέρος του δοκιμαστικού σωλήνα στο υδρόλουτρο, ώστε η επιφάνεια του νερού να είναι πάνω από την επιφάνεια του παραδιχλωροβενζολίου. Καταγράψτε τη θερμοκρασία του δείγματος κάθε 30 δευτερόλεπτα, σημειώνοντας ταυτόχρονα πότε αρχίζει να λιώνει και πότε θα λιώσει τελείως.
3. Μόλις το στερεό ξεκολλήσει από τα τοιχώματα του δοκιμαστικού σωλήνα, ανακινήστε ελαφρά το θερμόμετρο πάνω-κάτω, μετρώντας κατά διαστήματα τη θερμοκρασία του υδρολούτρου με ένα δεύτερο θερμόμετρο. Αν η



ΣΧΗΜΑ 1-11.



ΣΧΗΜΑ 1-12.

θερμοκρασία του νερού κατέβει κάτω από 60° C πριν να λιώσει στο στερεό, να είσθε προετοιμασμένοι να το ξαναθερμάνετε με το λύχνο ώστε να διατηρήσετε τη θερμοκρασία ανάμεσα στους 60° C με 65° C. Εξακολουθήστε να κινείτε το θερμόμετρο πάνω-κάτω στο δοκιμαστικό σωλήνα και σημειώστε τις θερμοκρασίες, μέχρι να φθάσει η θερμοκρασία του παραδιχλωροβενζολίου γύρω στους 60° C.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τετράδιό σας πρέπει να έχετε σχηματίσει έναν πίνακα όπως αυτόν που ακολουθεί, για να καταγράψετε τις μετρήσεις που πραγματοποιήσατε κατά την ψύξη, όπως επίσης και έναν άλλο όμοιο, όπου θα καταγράψετε τις μετρήσεις που έγιναν κατά τη θέρμανση.

Χρόνος (λεπτά)	Θερμοκρασία (°C)	Παρατηρήσεις και σχόλια
Αρχή		
0,5		
1,0		
1,5		
(Συνεχίζεται κάθε 0,5 λεπτά και για 8 λεπτά περίπου)		

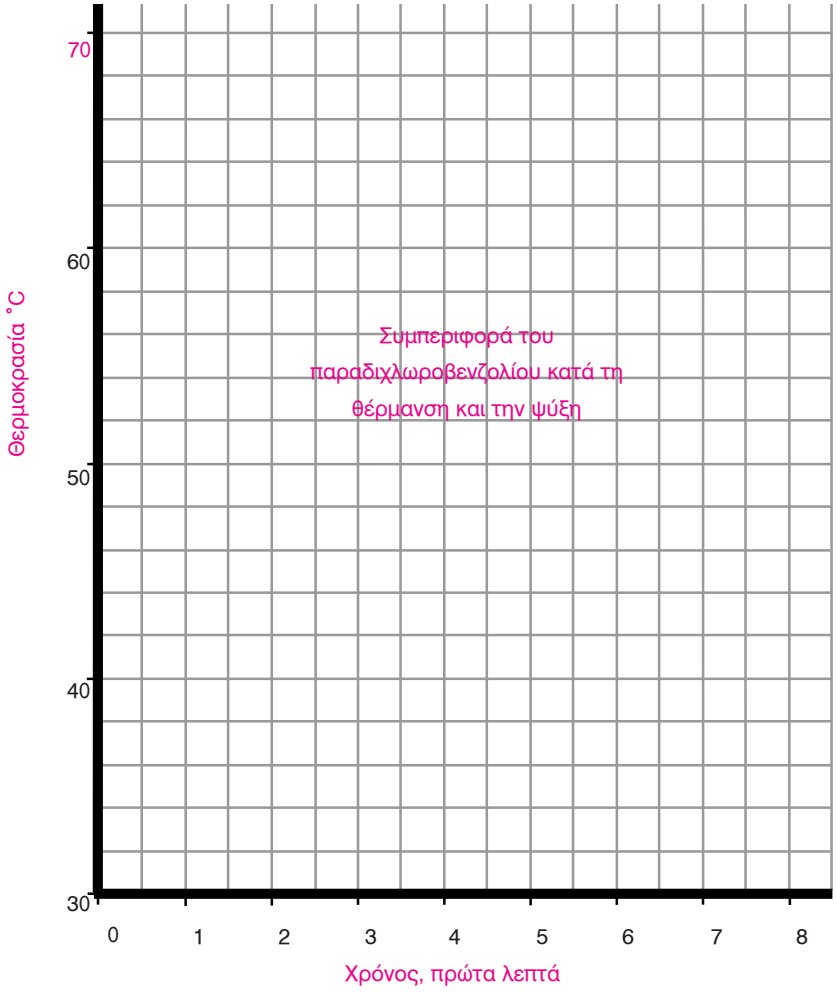
Για να κατανοήσετε καλύτερα τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος, είναι χρήσιμο να απεικονίσετε τις μετρήσεις σε γραφική παράσταση, δηλαδή να τα εκφράσετε με τη μορφή μιας καμπύλης. Καμπύλη είναι ένα είδος απεικονίσεως που δείχνει οπτικά πώς μεταβάλλεται μία αριθμητική ιδιότητα (π.χ. η θερμοκρασία της ουσίας) σε συνάρτηση με τη μεταβολή άλλων αριθμητικών δεδομένων (π.χ. του χρόνου που έχει μεσολαβήσει). Ένα σύνολο αριθμών, όπως αυτοί που έχετε καταγράψει κατά τις πειραματικές σας παρατηρήσεις περιέχει τις πληροφορίες που χρειάζεσθε. Μία καμπύλη όμως που προκύπτει από αυτούς τους ίδιους αριθμούς, δηλαδή από τη συσχέτιση του ενός μεγέθους με το άλλο, είναι η καλύτερη βοήθεια, για να διαπιστώσετε και οπτικά τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα δύο μεγέθη που μετρήσατε. Στις φυσικές επιστήμες και ιδιαίτερα τη φυσική και τη χημεία διεξάγονται πολλά ποσοτικά πειράματα και χρησιμοποιούνται συχνά οι γραφικές παραστάσεις για την καταγραφή των μετρήσεων. Γι' αυτό είναι σημαντικό να μάθετε να σχεδιάζετε αλλά και να ερμηνεύετε τις καμπύλες. Χρησιμοποιήστε μία ολόκληρη σελίδα από το τετράδιό σας, για να χαράξετε την καμπύλη, τοποθετώντας το χρόνο στον οριζόντιο άξονα. Για κάθε λεπτό χρησιμοποιήστε δύο διαστήματα (σχ. 1-13).

Απεικονίστε τη θερμοκρασία στον κατακόρυφο άξονα. Ξεκινήστε από τους 30° C και αφήστε για κάθε βαθμό ένα διάστημα. Αυτή η κλίμακα διευκολύνει την τοποθέτηση των δεδομένων στους δύο άξονες κατά διαστήματα σχεδόν ίσα μεταξύ τους (σχ. 1-13).

Επάνω στο ίδιο σχεδιάγραμμα σημειώστε με ένα μικρό κύκλο τις θερμοκρασίες κατά τη θέρμανση και με ένα σταυρό αντίστοιχα τις θερμοκρασίες κατά την ψύξη, σε συνάρτηση με το χρόνο έτσι, ώστε να διακρίνονται μεταξύ τους.

Με ένα κόκκινο μολύβι χαράξτε μία καμπύλη, που να ενώνει τους μικρούς κύκλους. Η καμπύλη αυτή παριστάνει τη συμπεριφορά του παραδιχλωροβενζολίου κατά τη θέρμανση. Με ένα μαύρο μολύβι επαναλάβετε το ίδιο για τη συμπεριφορά του υλικού κατά την ψύξη.

Βεβαιωθείτε ότι στη γραφική παράσταση αναγράψατε κάποιον τίτλο που δείχνει τι εκφράζει η κάθε καμπύλη και ότι έχουν χαρακτηρισθεί οι άξονες.



ΣΧΗΜΑ 1-13.

Επίσης βεβαιωθείτε ότι έχετε γράψει το όνομά σας, το όνομα του συνεργάτη σας, την ημερομηνία και τα χαρακτηριστικά του πειράματος.

Να μελετήσετε τα πειραματικά δεδομένα, όπως απεικονίζονται στη γραφική παράσταση και να αναφέρετε τα συμπεράσματά σας από το πείραμα. Προσπαθήστε να εξηγήσετε τις κλίσεις των καμπυλών ψύξεως και θερμάνσεως (σε τι αντιστοιχεί κάθε τμήμα της καμπύλης). Επισυνάψτε τη γραφική παράσταση στις σημειώσεις σας.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Τι επίδραση θα είχε η αύξηση της ποσότητας του παραδιχλωροβενζολίου στην κλίση των καμπυλών ψύξεως και θερμάνσεως;
2. Με βάση τις μετρήσεις σας, ποιο βρίσκετε ότι είναι το σημείο τήξεως και ποιο το σημείο πήξεως του παραδιχλωροβενζολίου;

Ένα πρόβλημα το οποίο πρέπει να διερευνηθεί:

Γιατί οι καμπύλες ψύξεως και θερμάνσεως εμφανίζουν χαρακτηριστικές κλίσεις όπως αυτές φαίνονται στη γραφική παράσταση;

ΑΚΟΜΗ ΜΕΡΙΚΕΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ

Θα πρέπει να θεωρηθούν πειράματα εκτός προγραμματισμένης ύλης. Πριν ξεκινήσετε, συμβουλευθείτε τον καθηγητή σας.

1. Καταστρώστε ένα πείραμα, κατά τη διάρκεια του οποίου θα πρέπει να κάνετε μετρήσεις, που θα σας βοηθήσουν να χαράξετε καμπύλη θερμάνσεως για την εξάτμιση μιας υγρής ουσίας.
2. Χαράξτε επίσης καμπύλες ψύξεως και θερμάνσεως για μία στερεά ουσία.

Περίληψη.

Χημεία είναι η επιστήμη που ασχολείται με υλικά και με τον τρόπο που αυτά μεταβάλλονται από τη μία μορφή στην άλλη. [Η χημεία εξετάζει κυρίως τον τρόπο που μια ουσία μετατρέπεται σε άλλη διαφορετική. Ο τρόπος που μεταβάλλεται η ***μορφή*** μιας ουσίας σε άλλη ***μορφή*** της ίδιας ουσίας (π.χ. πάγος ⟶ νερό ⟶ υδρατμός) είναι θέμα περισσότερο της φυσικής.

Στα πειράματα που έγιναν μέχρι τώρα (εκτός από το πείραμα με την καύση του κεριού) εξετάσθηκαν μεταβολές καταστάσεως (στερεά ⟶ υγρά), θέματα δηλαδή κυρίως της φυσικής. Όμως ενδιαφέρουν άμεσα και τη χημεία, τόσο από την άποψη της εργαστηριακής τεχνικής, όσο και γιατί πολλές φορές διαπιστώνεται η ταυτότητα ενός σώματος και ελέγχεται η καθαρότητά του με την εξέταση των σημείων τήξεως και βρασμού].

Οι μεταβολές αυτές συνοδεύονται συνήθως από απορρόφηση ή παραγωγή ενέργειας. Οι χημικοί, όπως και όλοι οι επιστήμονες, βασίζονται στην προσεκτική παρατήρηση, για να εξηγήσουν τα διάφορα φαινόμενα. Τα πειράματα σχεδιάζονται και διεξάγονται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, τις περισσότερες φορές μέσα στο εργαστήριο έτσι, ώστε οι παρατηρήσεις να μπορεί να γίνονται συστηματικά και με ακρίβεια. Οι παρατηρήσεις που κάνατε σχετικά με την καύση ενός κεριού, η συμπεριφορά διαφόρων ουσιών κατά τη θέρμανση και το φαινόμενο της τήξεως δημιουργούν ενδιαφέρουσες ερωτήσεις. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν άμεση σχέση με τη φύση των διαφόρων μορφών της ύλης και τη συμπεριφορά τους.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Παρουσιάστε με συντομία τι νομίζετε ότι είναι η επιστήμη της χημείας.
2. Γιατί εκτελούν οι χημικοί πειράματα;
3. Περιγράψτε όσο το δυνατόν συντομότερα τι μάθατε σε κάθε ένα από τα τρία πειράματα που εκτελέσατε.

Επιστημονική πορεία

1.6 Η επιστημονική μέθοδος.

Τώρα που αποκτήσατε κάποια πείρα σχετικά με τον τρόπο που διεξάγονται τα πειράματα, προσπαθήστε να βρείτε αν στη σειρά των εργασιών που εκτελέσατε υπάρχει κάποια λογική συνέπεια, αν ακολουθείται κάποια μέθοδος που θα μπορούσαμε να τη χαρακτηρίσομε "μέθοδο εργασίας".

Αρχικά ξεκινήστε κάθε πείραμα κάνοντας προσεκτικές παρατηρήσεις, καταγράφοντας ταυτόχρονα όλες τις συνθήκες, που θα ήταν πιθανόν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Προσπαθήστε να οργανώσετε τις μετρήσεις ή τις παρατηρήσεις σας κατά κάποιο λογικό τρόπο, για παράδειγμα με τη μορφή πίνακα ή γραφικής παραστάσεως. Στο σημείο αυτό ίσως εντοπίσετε κάποια κλίση ή άλλη ιδιομορφία της καμπύλης, όπως το μακρύ ευθύγραμμο τμήμα στην καμπύλη θερμάνσεως ή ψύξεως του παραδιχλωροβενζολίου. Και τέλος, ίσως μπορέσετε να βγάλετε μερικά συμπεράσματα. Για παράδειγμα, σε ποια διεργασία αντιστοιχεί το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης.

Στη συνέχεια των πειραμάτων σας, ακολουθούν μερικές ερωτήσεις για διερεύνηση. Αυτές αποτελούν ένα μέρος μιας γενικότερης επιστημονικής πορείας, δηλαδή αυτής που ακολουθείται, για να ερμηνευθεί το φαινόμενο που παρατηρήσατε και που είναι το σημείο, το

οποίο πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι αποτελεί μεγάλη πρόκληση. Αυτό όμως απαιτεί την ύπαρξη φαντασίας ανάλογης με αυτήν που συχνά είναι χάρισμα των καλλιτεχνών.

Η παραπάνω περιγραφή του τρόπου με τον οποίο εκτελέσατε τα πειράματά σας σε συνδυασμό με το τελικό στάδιο όπου, όπως αναφέρθηκε ερμηνεύται το φαινόμενο, είναι ίσως η καλύτερη εικόνα της πορείας που ακολουθούν οι επιστήμονες.

Ο τρόπος εργασίας που περιγράψαμε χαρακτηρίζεται συνήθως ως "επιστημονική μέθοδος". Βέβαια στην παραπάνω περιγραφή παραλείψαμε ένα πολύ σημαντικό βήμα της εργασίας σας, τις εργαστηριακές σημειώσεις σας. Ένας επιστήμονας οφείλει να είναι σε θέση να ανακοινώνει τα αποτελέσματα των προσπαθειών του, αν πρόκειται αυτά να βοηθήσουν κάποιον άλλο.

Όπως θα καταλάβατε από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, η "επιστημονική μέθοδος" δεν είναι ένα σύνολο κανόνων που οφείλουν οι επιστήμονες να ακολουθούν κατά γράμμα, αλλά περιγράφει με αρκετή ακρίβεια το λογικό και συστηματικό τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επιστήμονες.

Δεν πρέπει να ξεχνάτε ότι επιστήμη είναι το αποτέλεσμα ανθρωπίνων προσπαθειών και έτσι υπόκειται στους ανθρώπινους περιορισμούς και με δεδομένο τις πεπερασμένες διανοητικές δυνατότητες του ανθρώπου, η πορεία της επιστήμης δεν μπορεί να είναι πάντα τέλεια και επιτυχής. Η επιστημονική μέθοδος είναι ίσως η πιο ασφαλής για να προσδιορίσει κανείς την αντικειμενική* αλήθεια.

Η αλήθεια αυτή πρέπει να είναι ανεξάρτητη από ανθρώπινη δύναμη ή αδυναμία, ελεύθερη από ματαιοδοξίες, προσωπικά συμφέροντα, προκαταλήψεις και άσχετη προς την απρονοησία. Για να παίξετε το παιχνίδι της χημείας, δεν είσθε υποχρεωμένοι να απομνημονεύσετε και να τηρήσετε ένα σύνολο κανόνων. Είναι προτιμότερο να προσπαθήσετε να αναπτύξετε μια προσωπική αίσθηση του τι πρέπει να γίνει, ποια πορεία πρέπει να ακολουθηθεί κάθε φορά. Τότε μόνο θα είσθε σε θέση να εφαρμόσετε τις γνώσεις σας σε κάθε περίπτωση, την οποία θα θελήσετε να μελετήσετε σε βάθος. Με σκοπό να σας βοηθήσομε στην ανάπτυξη αυτών των γνώσεων, θα εξετάζομε το κάθε βήμα με μεγαλύτερη προσοχή.

1.7 Παρατήρηση.

Η βάση της επιτυχίας ενός πειράματος είναι η προσεκτική παρατήρηση. Η μεγαλύτερη ίσως παγίδα που θα πρέπει να αποφύγετε σε αυτό το στάδιο είναι η τάση να ψάχνετε για επιθυμητά ή αναμενόμενα αποτελέσματα. Συχνά μία προκατάληψη για την έκβαση των αποτελεσμάτων μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο σε μία προσεκτική, αμερόληπτη παρατήρηση. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα πράγματα γύρω από την επιστημονική έρευνα είναι ότι πολλές σημαντικές ανακαλύψεις προήλθαν από παρατηρήσεις φαινομένων, που προηγουμένως θεωρούνταν ήσσονος σημασίας ή άσχετα. Κάποια στιγμή προσεκτικοί παρατηρητές πρόσεξαν μία λεπτομέρεια, που την είχαν προηγουμένως παραβλέψει ή είδαν σχέσεις που άλλοι τις είχαν προσπεράσει· έτσι ανοίγει ένας καινούργιος δρόμος.

Χωρίς αμφιβολία, αυτό φαίνεται καθαρά, αν συγκρίνετε τις παρατηρήσεις σας σχετικά με ένα αναμμένο κερί με αυτές που θα μπορούσε να κάνει ένας προσεκτικός, εξασκημένος παρατηρητής. Θα εκπλαγείτε ίσως από το μεγάλο αριθμό των παρατηρήσεων που θα μπορούσατε να είχατε αναφέρει, αλλά τελικώς δεν τις αναφέρατε. Η φάση της επιστημονικής μεθόδου που αντιστοιχεί στην παρατήρηση, δηλαδή η αξιολόγηση όλων των φαινομένων και μάλιστα η ακριβής αξιολόγησή τους, δεν είναι κάτι εύκολο ή επουσιώδες. Είναι η βάση για όλα τα επόμενα στάδια.

* *Σ.τ.Μ. Οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τον όρο "αντικειμενική" αλήθεια. Το επίθετο όμως προσδίδει στην έννοια της αλήθειας καθολική, διαχρονική και αναμφισβήτητη ισχύ. Κρίνομε προτιμότερο τον όρο "επιστημονική" αλήθεια. Η επιστημονική αλήθεια δεν είναι μια σταθερή, απόλυτη και για πάντα ισχύουσα αλήθεια (όπως η αντικειμενική). Μεταβάλλεται ανάλογα με τα δεδομένα κάθε εποχής. Η επιστημονική αλήθεια είναι προσωρινό ορόσημο στην ασυμπτωτική πορεία της επιστημονικής έρευνας για τη διερεύνηση της πραγματικότητας.*

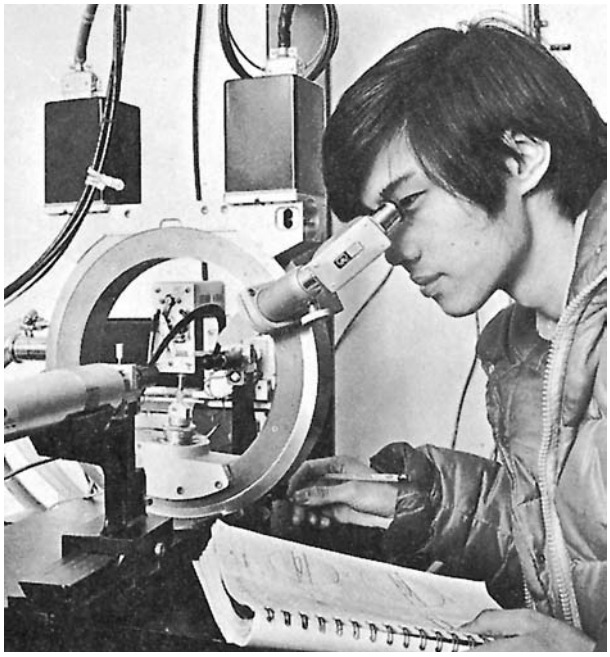


(Δημόκριτος: [Εν βυθ?΄ω]η [αλήθεια

Υπάρχει όμως και ένα άλλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει κάθε ικανός παρατηρητής. Είναι απαραίτητο να μελετήσει όλους τους παράγοντες που ίσως επηρεάζουν τη διεξαγωγή του πειράματος. Γι' αυτό πρέπει να δημιουργήσει μια διάταξη τέτοια, ώστε να είναι δυνατόν να ρυθμίζονται οι συνθήκες που επηρεάζουν το πείραμα. Είναι σημαντικό να είναι κανείς ενήμερος για όλες τις συνθήκες, είτε πιστεύει ότι αυτές επηρεάζουν το πείραμα είτε όχι.

1.8 Καταγραφή των γεγονότων.

Πρωταρχικής σημασίας είναι και η λεπτομερής καταγραφή όλων των παρατηρήσεών σας κατά τη διάρκεια των πειραμάτων σας. Η καταγραφή αυτή πρέπει να γίνεται παράλληλα με τη διεξαγωγή της υπόλοιπης εργασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-14. Θα πρέπει παράλληλα με την υπόλοιπη εργαστηριακή εργασία σας να ελέγχετε και την καταγραφή των στοιχείων, τα οποία πρέπει να είναι ακριβή και πλήρη. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να αναγράφονται πληροφορίες, όπως η ημερομηνία, η ώρα, οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας στο εργαστήριο, όπως επίσης θα πρέπει να αναφερθεί κάθε άλλος παράγοντας, που κατά τη γνώμη σας είναι σημαντικός.



ΣΧΗΜΑ 1-14. *Ένας σπουδαστής χημείας καταγράφει προσεκτικά όλα όσα παρατηρεί κατά τη διάρκεια του πειράματός του.*

Συχνά αναφέρεται μία ιστορία, που δείχνει την ανάγκη να υπολογίζομε κάθε σχετικό παράγοντα. Κάποιος χημικός είχε διεξάγει σοβαρές έρευνες σχετικά με τη χημική σύσταση του φλοιού της γης. Άλλοι επιστήμονες όμως συναντούσαν μεγάλη δυσκολία κάθε φορά που ήθελαν να επαναλάβουν μερικά από τα πειράματά του και να επαληθεύσουν τα αποτελέσματά του. Αργότερα, ένας νέος βοηθός πρόσεξε ότι ο αρχικός ερευνητής κάπνιζε συνέχεια πούρα και σπάνια εργαζόταν χωρίς να έχει ένα πούρο στο στόμα. Είναι δυνατόν εξ αιτίας αυτού του γεγονότος να προέκυψαν διαφορετικά αποτελέσματα; Πράγματι, διαπιστώθηκε ότι οι διαφορές οφείλονταν σε ίχνη χημικών ουσιών, που περιέχονται στη στάχτη του πούρου, η οποία ίσως είχε πέσει στα δείγματα που ανέλυε ο χημικός. Το συμπέρασμα είναι προφανές: Οι λεπτομέρειες, κάτω από τις οποίες εκτελείται ένα πείραμα, είναι σημαντικές.

Η ακρίβεια έχει εξ ίσου τεράστια σημασία. Ο εργαστηριακός ερευνητής οφείλει να ελέγχει πάντα διπλά τα δεδομένα, τις ενδείξεις των οργάνων και όλες τις άλλες μετρήσεις.

1.9 Οργάνωση των παρατηρήσεων.

Πολλά πειράματα αποτυγχάνουν συχνά, γιατί τα φαινόμενα, ανεξάρτητα από το πόσο προσεκτικά έγιναν οι παρατηρήσεις ή με πόση ακρίβεια κατεγράφησαν, δεν έχουν οργανωθεί έτσι, ώστε να αποκαλύπτουν κάποια σχέση ή κάποιο πρότυπο, δηλαδή μία ***νομοτέλεια****. Μερικές φορές οι κανόνες (πρότυπο, νομοτέλεια) γίνονται ευκολότερα αντιληπτοί, αν τα δεδομένα και τα αποτελέσματα τοποθετηθούν σε έναν πίνακα, που έχει προετοιμασθεί προσεκτικά. Μια άλλη μέθοδος είναι η γραφική παράσταση του σχήματος. Εσείς στα τελευταία πειράματα που εκτελέσατε χρησιμοποιήσατε και τις δύο μεθόδους. Αργότερα θα διαπιστώσετε ότι οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει και άλλους τρόπους, που βοηθούν στην οργάνωση και στην παρουσίαση των δεδομένων. Μερικοί από αυτούς τους τρόπους είναι η χρήση των συμβόλων, των εξισώσεων και των μαθηματικών εκφράσεων. Κάθε μέθοδος επιτρέπεται, όσο καινούργια κι αν είναι, αρκεί διά αυτής να παρουσιάζονται με σαφήνεια τα δεδομένα.

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή ότι υπακούουν στην κανονικότητα κάποιου νόμου.*

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

Ένας από τους λόγους που όχι μόνο εσείς αλλά και κάθε πολίτης θα πρέπει να γνωρίζει κάτι γύρω από τη χημεία είναι και το ότι όλοι μας είμαστε υπεύθυνοι για το περιβάλλον.

Ο τρόπος της ζωής μας σήμερα εξαρτάται άμεσα από την εφαρμογή και τη χρήση χημικών διεργασιών. Παίρνομε χημικές πρώτες ύλες από τη γη, όπως ορυκτά, μέταλλα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο, αλάτι, θείο και από τον αέρα οξυγόνο και άζωτο. Στο περιβάλλον επιστρέφουν όχι μόνο τα διάφορα τελικά προϊόντα, που κατασκευάζονται από αυτές τις πρώτες ύλες, αλλά ταυτόχρονα και ένα πλήθος ανεπιθυμήτων υποπροϊόντων. Πολλές από τις άλλες δραστηριότητές μας, που στην πραγματικότητα δεν έχουν άμεση σχέση με τη χημική βιομηχανία, επιδρούν χημικώς στο περιβάλλον. Για παράδειγμα όταν καίγεται το κάρβουνο για την παραγωγή ηλεκτρισμού, εκλύονται στην ατμόσφαιρα αρκετά αέρια, σε ποσότητες εκαντοντάδων τόνων την ημέρα. Ανάλογα, η καύση του πετρελαίου στα αυτοκίνητα και τα άλλα τροχοφόρα, που έχουν μηχανές εσωτερικής καύσεως, επιβαρύνει τον αέρα με πολλά ανεπιθύμητα αέρια. Μερικά από αυτά, αν ξεπεράσουν ένα όριο, γίνονται πολύ επικίνδυνα.

΄Αλλα περιβαλλοντικά προβλήματα που έχουν σχέση με τη χημεία συνδέονται με τη διάθεση των στερεών απορριμμάτων, την κατεργασία των αποβλήτων, τον έλεγχο των εντομοκτόνων και τη χρήση των χημικών ουσιών για τη διατήρηση των τροφών ή τη βελτίωση της θρεπτικής τους αξίας. Επιπλέον τα υπερηχητικά αεροπλάνα που πετούν στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας ίσως επηρεάζουν το ποσόν της ηλιακής ενέργειας, που φθάνει σε εμάς εδώ, στην επιφάνεια της γης.

Με την επιστήμη, όπως και με τις τέχνες, για παράδειγμα τη μουσική, είναι δυνατόν κανείς να ασχολείται απλά και μόνο για τη δική του ευχαρίστηση και φυσικά δεν υπάρχει κανένα λάθος σε μία τέτοια επιλογή.

Σήμερα όμως που η επίδραση του ανθρώπου στο περιβάλλον είναι τόσο μεγάλη, είναι ζωτικής σημασίας για όλους τους υπεύθυνους πολίτες, επιστήμονες και μη, να μάθουν όλα όσα μπορούν για τις επιστημονικές αρχές, πάνω στις οποίες βασίζονται οι σχέσεις του ανθρώπου με το περιβάλλον του. Δεν επιτρέπεται πια να συνεχίσομε την κακοποίηση του σπιτιού μας, δηλαδή της γης, όπως γίνεται μέχρι τώρα. Δυστυχώς δεν είναι ρεαλιστικό να σκεφθούμε ότι μπορούμε να γυρίσομε πίσω το ρολόι και να επιστρέψομε σε έναν πρωτόγονο τρόπο ζωής, εγκαταλείποντας όλα τα υλικά και τις μηχανές, με τις οποίες έχομε εξοικειωθεί. Οφείλομε να μάθομε να ελέγχομε τις δραστηριότητές μας έτσι, ώστε να ζούμε αρμονικά με το περιβάλλον μας. Ο μόνος τρόπος για να το επιτύχομε είναι να παίρνομε μετά από σκέψη έξυπνες αποφάσεις, που να βασίζονται στη γνώση.



Το κέντρο του Μανχάτταν καλυμμένο από υψηλής περιεκτικότητας σε ρύπους αέρα, στις 25 Νοεμβρίου του 1966.

Στα διάφορα κεφάλαια αυτού του βιβλίου θα συναντήσετε ειδικά άρθρα αφιερωμένα στη χημεία και το περιβάλλον. Αυτό θα γίνεται κάθε φορά που η συζήτηση της χημείας θα μας φέρνει αντιμέτωπους με ένα θέμα, που έχει σχέση με κάποιο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Το βιβλίο αυτό θα παρουσιάσει τη χημεία ως μία επιστήμη. Δηλαδή η χημεία θα παρουσιασθεί και θα αναπτυχθεί κατά ένα λογικό τρόπο, ώστε να γίνουν αντιληπτές οι βασικές ιδέες και οι αρχές της. Η παρουσίαση δεν έχει μόνο σκοπό τη συζήτηση της χημείας του περιβάλλοντος, γιατί κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα να καταστεί ακόμη πιο δύσκολη η κατανόηση των βασικών αρχών. Εξάλλου τα άρθρα που έχουν τον τίτλο "Η χημεία και το περιβάλλον μας" θα σας βοηθήσουν και θα σας ενθαρρύνουν να συγκεντρωθείτε και να σκεφθείτε τη χημική πλευρά των περιβαλλοντικών μας προβλημάτων. Επίσης, θα σας συμβουλέψουν πώς να προσπαθήσετε να τα λύσετε με γνώση και πειθαρχία. Θα εκπλαγείτε βλέποντας πόσο γρήγορα η γνώση σας γύρω από τη χημεία θα αυξήσει την ικανότητά σας να κατανοείτε μερικά από τα περιβαλλοντικά μας προβλήματα.



Ο Barry Commoner είναι ένας επιστήμονας, ο οποίος από καιρό έχει επιστήσει την προσοχή των ανθρώπων στα προβλήματα του περιβάλλοντος. Θεωρείται από πολλούς ως ένας από τους περισσότερο ενημερωμένους Αμερικανούς αρμόδιους γι' αυτό το θέμα. Αν είμαστε σε θέση να λύσομε τα προβλήματα του περιβάλλοντος που αντιμετωπίζομε σήμερα, το οφείλομε κατά μεγάλο μέρος σε μερικούς πρωτεργάτες

1.10 Αναζητώντας κανόνες και λογικά συμπεράσματα.

Με μια πρώτη ματιά στα πολλά και διάφορα σώματα που υπάρχουν στη φύση, δεν διακρίνομε να υπάρχουν σε αυτά κάποιες ομοιότητες στη δομή τους, τις ιδιότητες ή τη σκοπιμότητα υπάρξεώς τους. Με πιο προσεκτική όμως παρατήρηση και συστηματική μελέτη ανακαλύπτομε κάποιες ομοιότητες, κάποιες χαρακτηριστικές δομές και λειτουργίες που μας επιτρέπουν να καταλήξομε σε κάποια συμπεράσματα για τον τρόπο που συμπεριφέρεται η φύση. Ακριβώς αυτή η γνώση της συμπεριφοράς της φύσεως είναι ο σκοπός της επιστήμης. Ο χημικός αναζητά, μέσα από τις πληροφορίες που συγκεντρώνει, μερικές ομοιότητες και αναλογίες στη σύσταση και τις ιδιότητες των διαφόρων υλικών. Αν προκύψει κάποιος κανόνας, προσπαθεί να τον εκφράσει με τρόπο σύντομο και ακριβή· αυτό ακριβώς θα είναι και το συμπέρασμα, στο οποίο τον οδήγησαν οι παρατηρήσεις του. Ιδιαίτερη σημασία έχει το να μην γενικεύει ο χημικός τα συμπεράσματα που βγήκαν μέσα από μερικές μόνο παρατηρήσεις. Συχνά, ενώ ο κανόνας φαίνεται να είναι απόλυτα σωστός, το συμπέρασμα μπορεί να είναι λανθασμένο. Για να το καταλάβετε αυτό καλύτερα, ας εξετάσομε την εμπειρία ενός υποθετικού σπουδαστή χημείας.

Ο Wilbur Bright ήταν ένα αρχάριος σπουδαστής χημείας. Η φαντασία του είχε διεγερθεί από το γεγονός ότι τα καύσιμα είναι μια πηγή ενέργειας. Προσπάθησε να σκεφθεί όλα τα διαφορετικά καύσιμα που είχε συναντήσει στη ζωή του. Ήταν το πετρέλαιο, που η οικογένειά του χρησιμοποιούσε κάποτε για τη θέρμανση του σπιτιού, η βενζίνη για το αυτοκίνητο, το φωτιστικό πετρέλαιο που χρησιμοποιούσε στο φορητό καμινέτο που έπαιρνε μαζί του στις εκδρομές, το φυσικό αέριο που η μητέρα του χρησιμοποιούσε για το μαγείρεμα, και τα ξύλα που έκαιγαν στο τζάκι. Σκέφτηκε επίσης και το κάρβουνο. Κάποτε είχε δει έναν τεράστιο σωρό από κάρβουνο σε ένα γειτονικό εργοστάσιο και ρώτησε τον πατέρα του τι ήταν αυτό. Αυτός του ανέφερε μεταξύ άλλων ότι το κάρβουνο είναι στην πραγματικότητα καθαρός άνθρακας (άνθρακας είναι μία από τις ουσίες που οι χημικοί ονομάζουν "στοιχεία"· ο Wilbur είχε διαβάσει κάπου γι' αυτά. Αν θέλετε να βρείτε περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά μπορείτε να ανατρέξετε σε μερικά κεφάλαια πιο κάτω, αλλά δεν είναι απαραίτητο γι' αυτήν την ιστορία).

Στη συνέχεια ο Wilbur θυμήθηκε κάτι ακόμη. Είχε διαβάσει κάπου ότι η βενζίνη περιέχει

άνθρακα. Άραγε όλα τα καύσιμα περιέχουν άνθρακα; Πήγε στη βιβλιοθήκη αναζητώντας κάποια απάντηση σε αυτήν την απορία του. Περίμενε ότι θα έβρισκε πως όλα τα καύσιμα που είχαν περάσει από τη σκέψη του περιέχουν άνθρακα. Βρήκε δηλαδή έναν κανόνα! Ο Wilbur άρχισε αμέσως να αναρωτιέται γιατί άραγε ο άνθρακας θα πρέπει να βρίσκεται σε όλα τα καύσιμα και άρχισε να ψάχνει για κάποιο βιβλίο, που ίσως να του έλυνε την απορία. Ένα βιβλίο σχετικό με τα καύσιμα των πυραύλων τράβηξε πρώτα την προσοχή του. Δεν είχε καλά καλά διαβάσει την πρώτη σελίδα, όταν πρόσεξε κάτι απροσδόκητο. Μερικά από τα καύσιμα των πυραύλων δεν περιέχουν καθόλου άνθρακα.

Το συμπέρασμα του Wilbur είχε βασιστεί σε πολύ περιορισμένο αριθμό καυσίμων. Ο κανόνας που πίστεψε ότι ανακάλυψε δεν περιλάμβανε όλα τα καύσιμα. Προέβη σε μία γενίκευση, που ξεπερνούσε τα όρια των "δεδομένων" του, των πληροφοριών δηλαδή που είχε συγκεντρώσει.

1.11 Αναζητώντας το γιατί.

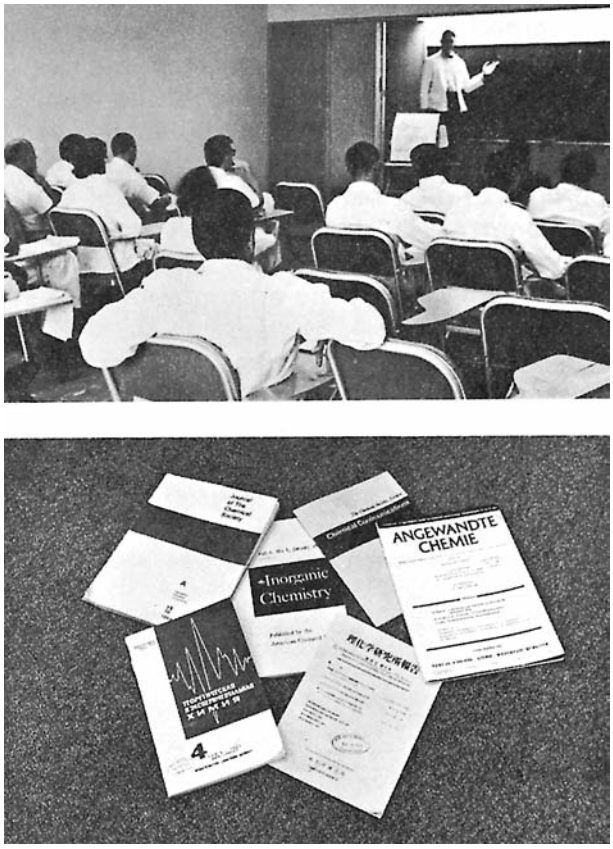
Όταν τα πειράματά σας έχουν γίνει προσεκτικά, οι κανόνες έχουν μελετηθεί και αξιολογηθεί και έχετε φθάσει σε λογικά συμπεράσματα, τότε είσθε έτοιμοι για την πιο δημιουργική εργασία από όλες: "την αναζήτηση του γιατί". Τι σχέση έχει η νέα σας ανακάλυψη με άλλα πράγματα, που ήδη γνωρίζετε; Πώς εντάσσεται ή αντιτάσσεται στη γνώμη που έχετε για το σύμπαν; Ο Jacob Bronowski προσπάθησε να εξηγήσει στο βιβλίο του "Η απλή λογική της επιστήμης" την ικανοποίηση που νιώθουν οι επιστήμονες με τέτοιου είδους προσπάθειες: «Είναι η μοναδικότητα της φύσεως, ζωντανής και νεκρής, για την οποία η σκέψη μας πασχίζει... Ψάχνομε να βρούμε στη φύση μία αρμονική ενότητα. Αυτό προσφέρει στους επιστήμονες την αίσθηση της αποστολής τους... της αισθητικής τους ολοκληρώσεως: ότι κάθε έρευνα δίνει την εντύπωση πως συνδυάζει τα νήματα του κόσμου ακολουθώντας έναν προσχεδιασμένο ιστό. Αργότερα, όταν θα εξετάζομε μερικές ομοιομορφίες στη συμπεριφορά, θα διαπιστώσετε πόσο χρήσιμη είναι "η αναζήτηση του γιατί" υπάρχουν...».

1.12 Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων.

Ας υποθέσομε ότι ένας χημικός ή κάποιος άλλος επιστήμονας έκανε ένα πείραμα, που είχε ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση κάποιων καινούργιων πληροφοριών.

Όταν ένας ερευνητής ή μία ερευνήτρια έχει αξιογήσει προσεκτικά αυτές τις πληροφορίες, έχει ανακαλύψει κάποιους κανόνες και ίσως έχει καταλήξει σε κάποια συμπεράσματα, είναι σημαντικό να μπορέσει να πληροφορήσει γι' αυτήν του την εργασία και άλλους ερευνητές, που εργάζονται πάνω στο ίδιο θέμα.

Ένα από τα μεγαλύτερα σημερινά προβλήματα της επιστήμης είναι η ορθή διατύπωση και η ευρεία κυκλοφορία των αποτελεσμάτων της έρευνας. Υπάρχουν ευτυχώς πολλά επιστημονικά περιοδικά και άλλα έντυπα, στα οποία ανακοινώνονται τα αποτελέσματα της έρευνας και των συναντήσεων που γίνονται σε διαφόρους ερευνητικούς τομείς με συνεχώς αυξανόμενη σημασία (σχ. 1-15). Μία ορθά διατυπωμένη (ώστε να γίνει κατανοητή) έκθεση ενός ερευνητικού προγράμματος είναι το πιο κρίσιμο μέρος της επιστημονικής επικοινωνίας. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων σας δεν θα έχουν αξία, αν δεν τα ανακοινώσετε. Βέβαια αυτό απαιτεί γνώση της γλώσσας και ικανότητα να τη χρησιμοποιήσετε.



ΣΧΗΜΑ 1-15. *Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων, ένα σημαντικό τμήμα της επιστημονικής εργασίας μπορεί να γίνει είτε μέσα από σεμινάρια (επάνω) είτε μέσα από επιστημονικά περιοδικά (κάτω).*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

1.13 Από τι εξαρτάται η καύση; Τι παράγεται;

Για μία ακόμα φορά θα πειραματισθείτε με ένα αναμμένο κερί. Προσπαθήστε να εφαρμόσετε ό,τι έχετε μάθει σχετικά με την επιστημονική μέθοδο, ώστε να οδηγηθείτε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη διαδικασία της καύσεως.

Περιγράφοντας το αναμμένο κερί, ανάμεσα στις παρατηρήσεις σας ίσως θα είναι και μερικές, όπως οι παρακάτω: το μήκος του κεριού ελαττώνεται, καθώς αυτό καίγεται. Το υλικό του κεριού ελαττώνεται. Παράγεται θερμότητα και φως. Όμως δεν αναρωτιέστε τι συμβαίνει στην πραγματικότητα και ποια είναι η αιτία για ό,τι συμβαίνει; Γνωρίζετε ότι το κερί καίγεται, αλλά τι σημαίνει η λέξη "καίγεται"; Σήμερα πολλά είναι γνωστά -όχι όμως και όλα- για τη διαδικασία της καύσεως. Μόλις πριν διακόσια χρόνια οι μεγαλύτεροι επιστήμονες του κόσμου αγνοούσαν σχεδόν εντελώς τις αλλαγές που συντελούνται, όταν κάτι καίγεται.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα αυτό θα προσπαθήσετε να βρείτε γιατί ένα κερί καίγεται και ποια είναι τα προϊόντα, που σχηματίζονται κατά την καύση.

ΥΛΙΚΑ

Κερί
Χαρτί χλωριούχου κοβαλτίου
4 ευρύλαιμες φιάλες των 250 ml περίπου
(ή ποτήρια ζέσεως των 1000 ml)
Ευρύλαιμη φιάλη των 150 ml περίπου
(ή ποτήρι των 500 ml)
200 ml ασβεστόνερο
Μικρές φιάλες πιέσεως που περιέχουν διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο και αέριο άζωτο
4 φιάλες Erlenmeyer* των 250 ml
Γυάλινος σωλήνας ή καλαμάκι

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Το πείραμα αυτό πρόκειται να γίνει με τη μορφή "πειράματος επιδείξεως". Ο καθένας πρέπει να παρατηρεί και να καταγράφει όλα όσα συμβαίνουν.

Μέρος Α.



ΣΧΗΜΑ 1-16.

1. Τοποθετήσετε μία ευρύλαιμη φιάλη των 250 ml πάνω από ένα αναμμένο κερί, όπως στο σχήμα 1-16. Στη συνέχεια εξετάστε το λεπτό υγρό στρώμα, που σχηματίζεται στα εσωτερικά τοιχώματα της φιάλης με ένα κομμάτι δοκιμαστικό χαρτί χλωριούχου κοβαλτίου**.
2. Βρέξτε ένα κομμάτι χαρτί χλωριούχου κοβαλτίου με μία σταγόνα απεσταγμένου απιονισμένου νερού (δηλαδή με νερό που έχει υποστεί κάποια κατεργασία, για να απομακρυνθούν οι προσμίξεις του).

Μέρος Β.

1. Προσδιορίστε με ακρίβεια δευτερολέπτων το χρόνο, κατά τον οποίο εξακολουθεί ένα κερί να καίγεται, ενώ έχει τοποθετηθεί από πάνω του μία φιάλη των 250 ml, όπως στο σχήμα 1-17.

* *Σ.τ.Μ. Οι φιάλες Erlenmeyer είναι κωνικές.*

** *Σ.τ.Μ. Το χαρτί χλωριούχου κοβαλτίου έχει χρώμα μπλε, το οποίο με την επίδραση έστω και ίχνους νερού γίνεται κόκκινο ανοικτό.*



ΣΧΗΜΑ 1-17.

2. Ανάψτε πάλι το κερί και επαναλάβετε την πορεία Β-1, χρησιμοποιώντας μία φιάλη του μισού όγκου από την προηγούμενη (δηλαδή 125 ml). Σημείωση: μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ποτήρια ζέσεως των 1000 και των 500 ml αντίστοιχα για τις φιάλες.
   Όπως συμβαίνει συχνά στην επιστήμη, η προσπάθεια να βρεθεί απάντηση σε κάποια ερώτηση δημιουργεί άλλες ερωτήσεις.
   Τι είναι αυτό που αναγκάζει τη φλόγα του κεριού να σβήσει, αν τη περιορίσομε; Πιο κάτω υπάρχουν δύο πιθανές απαντήσεις.
   (α) Κατά την καύση παράγεται ένα αέριο υλικό, που σβήνει με κάποιο τρόπο τη φλόγα.
   (β) Κατά την καύση καταναλώνεται ένα υλικό, που υπάρχει στον αέρα. Όταν αυτό το υλικό εξαντληθεί, η καύση σταματά.

Μέρος Γ.

1. Τοποθετήστε μία φιάλη Erlenmeyer των 250 ml πάνω από ένα αναμμένο κερί, όπως στο Β-1. Όταν σβήσει η φλόγα του κεριού, τοποθετήστε τη φιάλη όρθια πάνω στο τραπέζι. Πάρτε μία δεύτερη, καθαρή φιάλη Erlenmeyer των 250 ml, την οποία θα χρησιμοποιήσετε ως μάρτυρα.
   Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τον όρο μάρτυρας, για να εκτελέσουν ένα πείραμα όμοιο σε όλες τις λεπτομέρειες με αυτό που τους απασχολεί εκτός από μία. Με τη βοήθεια του μάρτυρα θα διαπιστώσουν, αν κάποιο αποτέλεσμα οφείλεται στον παράγοντα που εξετάζουν κάθε φορά ή σε κάτι άλλο. Στην περίπτωση που εξετάζετε τώρα, αν η φιάλη-μάρτυρας δώσει τα ίδια αποτελέσματα με αυτήν που ήταν πάνω από το κερί, τότε δεν θα έχει αποδειχθεί τίποτα. Αν όμως μόνο η φιάλη που ήταν πάνω από το κερί δίνει κάποια αντίδραση με το ασβεστόνερο, τότε θα πρέπει το κερί που καίγεται να έχει κάποια σχέση με αυτό.
   Προσθέστε 25 ml ασβεστόνερο σε κάθε μία από τις φιάλες, αναδεύσατε το διάλυμα και στις δύο συγχρόνως, μέχρι να παρατηρήσετε κάποια αλλαγή.
2. Με τη βοήθεια ενός γυάλινου σωλήνα ή με ένα καλαμάκι φυσήξτε μέσα σε μία τρίτη φιάλη που περιέχει λίγο ασβεστόνερο.
3. Για σύντομο χρονικό διάστημα αφήστε να περάσουν μερικές φυσαλίδες αερίου διοξειδίου του άνθρακα μέσα σε μία τέταρτη φιάλη, που περιέχει λίγο ασβεστόνερο. Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προέρχεται από μία μικρή συσκευή παρασκευής διοξειδίου του άνθρακα ή από φιάλη πιέσεως που περιέχει διοξείδιο του άνθρακα υπό πίεση.
   Από ό,τι φαίνεται, η καύση παράγει πράγματι μία νέα αέρια ουσία, που θολώνει το ασβεστόνερο. Ποια από τις δύο πιθανές απαντήσεις που προτείνονται στο τέλος του Β μέρους είναι άραγε σωστή; Αν παράγεται ένα νέο αέριο υλικό, τότε θα πρέπει να είναι σωστή η απάντηση α.
   Αποδείχθηκε με τα πιο πάνω ότι είναι σωστή; Το Δ μέρος θα σας βοηθήσει να αποφασίσετε.

Μέρος Δ.

1. Κρατήστε μία ευρύλαιμη φιάλη των 250 ml ανάποδα και αφήστε να διαφύγει από την φιάλη πιέσεως στο εσωτερικό της ευρύλαιμης, ρεύμα αερίου αζώτου. Όταν αντικατασταθεί όλος ο αέρας της φιάλης από καθαρό άζωτο, τοποθετήστε την γρήγορα πάνω από το αναμμένο κερί. Τι παρατηρείτε;
2. Κρατήστε μία φιάλη των 250 ml ανάποδα και διαβιβάστε μέσα σε αυτήν

λίγο αέριο οξυγόνο. ***Προσοχή***: να μην αντικαταστήσετε όλον τον αέρα με καθαρό οξυγόνο, αλλά μόνο το ένα τρίτο περίπου αυτού. Τοποθετήστε και αυτήν τη φιάλη πάνω από ένα αναμμένο κερί. Σημειώστε κάθε αλλαγή στη συμπεριφορά καύσεως του κεριού, καθώς και για πόσο χρόνο εξακολουθεί να καίγεται.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Σε τι συμπεράσματα οδηγούμαστε από το πείραμα αυτό;
2. Μήπως οι ενδείξεις περιορίζουν τη δυνατότητα να υπάρχει κάτι άλλο εκτός από το νερό, που προκάλεσε τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στο χαρτί του χλωριούχου κοβαλτίου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
3. Αν το λεπτό υγρό στρώμα στην εσωτερική επιφάνεια της φιάλης είναι νερό, τότε από πού προέρχεται;
4. Ποια είναι τα δύο προϊόντα της καύσεως των οποίων την ταυτότητα έχετε προσδιορίσει;
5. Τέλος, με βάση τις παρατηρήσεις σας, εξηγήστε όσο το δυνατόν λογικότερα γιατί το κερί σβήνει, όταν το σκεπάσομε. Υπάρχει κάποιος λόγος, που μας αναγκάζει να υποθέσομε ότι το διοξείδιο του άνθρακα ή το άζωτο είναι αυτό που το σβήνει;

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ

1. Αν ο χρόνος το επιτρέπει, ίσως μπορείτε να δοκιμάσετε το ακόλουθο πείραμα με σκοπό να βρείτε μια πιο ικανοποιητική απάντηση στο πρόβλημα 5.

   Γεμίστε δύο φιάλες των 250 ml με νερό. Σκεπάστε τις με μία γυάλινη πλάκα και βυθίστε τις ανεστραμμένες μέσα σε μία κατσαρόλα ή λεκάνη, που περιέχει τουλάχιστον 2-3 εκατοστά νερό. Προσαρμόστε ένα λαστιχένιο σωλήνα σε μία φιάλη πιέσεως οξυγόνου και διαβιβάστε αέριο οξυγόνο μέσα στην καθεμιά, μέχρι να αντικατασταθεί με οξυγόνο περίπου το μισό από το νερό που περιέχεται στη φιάλη. Στη συνέχεια διαβιβάστε αέριο άζωτο μέσα στη μία φιάλη, έως ότου φύγει όλο το νερό. Στην άλλη φιάλη διαβιβάστε αέριο διοξείδιο του άνθρακα, ώστε να απομακρυνθεί επίσης όλο το νερό.

   Απομακρύνετε τις φιάλες από την κατσαρόλα με το νερό, τη μία μετά την άλλη, και τοποθετήστε την καθεμιά πάνω από ένα αναμμένο κερί. Μετρήστε για πόσο χρόνο εξακολουθεί το κάθε κερί να καίγεται.

   Μπορείτε τώρα να πείτε τι είναι αυτό, που στην πραγματικότητα αναγκάζει το κερί να καίγεται ή να μην καίγεται;
2. Αφού τα πειραματικά σας αποτελέσματα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η αναπνοή σας περιέχει διοξείδιο του άνθρακα, προσπαθήστε να βρείτε, αν στα προϊόντα της εκπνοής υπάρχει επίσης και οξυγόνο. Γεμίστε μία φιάλη των 250 ml με νερό και αναστρέψτε την μέσα σε μία κατσαρόλα, όπως προηγουμένως. Πάρτε μία βαθιά αναπνοή και διαβιβάστε τον αέρα της εκπνοής σας μέσα από ένα λαστιχένιο σωλήνα στη φιάλη, μέχρι να φύγει όλο το νερό. Τοποθετήστε τη φιάλη πάνω από ένα αναμμένο κερί και παρατηρήστε αν το κερί συνεχίσει να καίγεται. Αν καίγεται πράγματι,

Περίληψη.

Η επιστημονική μέθοδος συνοψίζεται στις παρακάτω ενέργειες: (1) Γίνονται προσεκτικές παρατηρήσεις. (2) Οι παρατηρήσεις καταγράφονται αμέσως και με ακρίβεια. (3) Τα στοιχεία που έχουν καταγραφεί οργανώνονται, συνήθως με τη μορφή μιας γραφικής παραστάσεως. (4) Εξετάζεται αν τα στοιχεία αυτά ακολουθούν κάποιους χαρακτηριστικούς κανόνες. (5) Οι επιστήμονες στη συνέχεια αναζητούν την αιτία της υπάρξεως των

τυχόν χαρακτηριστικών, που έχουν διαπιστωθεί. (6) Τα αποτελέσματα της επιστημονικής εργασίας κοινοποιούνται κατά τον πιο σαφή τρόπο σε άλλους. Βέβαια, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από ένα πείραμα συνήθως δημιουργούν ακόμη περισσότερες ερωτήσεις. Για το σκοπό αυτό γίνονται νέα πειράματα και παρατηρήσεις, ώστε να αποκτήσουμε μία καλύτερη αντίληψη για τη φύση, και όλη αυτή η πορεία συνεχώς επαναλαμβάνεται.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γιατί είναι σημαντικό για τους επιστήμονες να ανακοινώνουν τα αποτελέσματα της εργασίας τους και σε άλλους;
2. Γιατί θα πρέπει να καταγράφονται οι παρατηρήσεις αμέσως;
3. Τι είδους διευθετήσεις βοηθούν στο να βρεθεί μια κανονικότητα στα εργαστηριακά αποτελέσματα;
4. Όταν ένα κερί καίγεται, ποιες είναι οι ουσίες που καταναλώνονται και ποιες παράγονται;

Περίληψη κεφαλαίου

Χημεία είναι η επιστήμη, που ασχολείται με τα υλικά. Οι ιδιότητες και η σύσταση των υλικών, καθώς και ο τρόπος που ένα υλικό μετουσιώνεται σε ένα άλλο, είναι τα κύρια ενδιαφέροντα ενός χημικού. Οι χημικοί μελετούν ακόμη τις ενεργειακές μεταβολές που συντελούνται κατά τη διάρκεια αυτών των μετουσιώσεων. Ό,τι γνωρίζαμε μέχρι σήμερα για τη χημεία αλλά και ό,τι θα ανακαλυφθεί στο μέλλον είναι και πρέπει να είναι αποτελέσματα που βασίζονται σε παρατηρήσεις και πειράματα.

Ένα πείραμα δε είναι τίποτα άλλο από μία προσχεδιασμένη και ελεγχόμενη σειρά παρατηρήσεων. Η συλλογή των πειραματικών δεδομένων αποτελεί μόνο το πρώτο βήμα της επιστημονικής μεθόδου. Τα φαινόμενα θα πρέπει να καταγραφούν, να οργανωθούν και να αναλυθούν, με αντικειμενικό σκοπό την εξεύρεση κανόνων. Τέλος πρέπει να αναζητηθούν και ερμηνείες. Όλα αυτά οδηγούν συνήθως σε νέα πειράματα, ώστε να δοθούν απαντήσεις και στις νέες ερωτήσεις, που προκύπτουν κάθε φορά. Επίσης είναι σημαντικό οι επιστήμονες να ανακοινώνουν τα αποτελέσματά τους σε άλλους.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει στον πλανήτη μας σημειωθεί πληθυσμιακή έκρηξη. Σε πολλές χώρες οι οικοδομικές εταιρείες δεν στάθηκαν ικανές να παρακολουθήσουν αυτήν τη μεγάλη αύξηση του πληθυσμού. Καταρτίστε έναν πίνακα δομικών υλικών, που χρησιμοποιήθηκαν επί σειρά ετών για την κατασκευή σπιτιών. Στη συνέχεια φτιάξτε έναν άλλο πίνακα που να περιέχει υλικά, τα οποία έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα και είτε χρησιμοποιούνται σε οικοδομικές κατασκευές είτε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γι' αυτόν το σκοπό.
2. Πολλοί άνθρωποι πιστεύουν ή υποπτεύονται ότι η βιομηχανική ρύπανση επηρεάζει σημαντικά τη ζωή τους, όπως και την εργασία και τα εισοδήματά τους. Ακολουθεί ένα πρακτικό πρόβλημα, που θα μπορούσε πολύ εύκολα να προκύψει.

   Μία κτηνοτροφική μονάδα γαλακτοκομικών προϊόντων απέχει περίπου 20 χιλιόμετρα από μία μεγάλη χημική βιομηχανία. Όλο το νερό που χρειάζεται το προμηθεύεται από ένα βαθύ αρτεσιανό πηγάδι. Μετά από πολλά χρόνια προσεκτικής εκτροφής, με ιδιαίτερη μάλιστα προσοχή στις απαιτήσεις διατροφής των αγελάδων του, ο κτηνοτρόφος έχει κατορθώσει να δημιουργήσει ένα υγιές κοπάδι αγελάδων, που παράγουν μεγάλη ποσότητα γάλακτος. Μία μέρα όμως πρόσεξε ότι οι αγελάδες του δεν ήταν το ίδιο δραστήριες όπως άλλοτε. Και όχι μόνο αυτό, αλλά μετά από χρόνια άρχισε να μειώνεται αισθητά η παραγωγή σε γάλα.

Αν και η γνώση σας γύρω από την επιστημονική μέθοδο είναι περιορισμένη τώρα στην αρχή, καταγράψτε έναν κατάλογο, που να περιέχει όλες τις ενέργειες στις οποίες θα προέβαινε ένας επιστήμονας, προσπαθώντας να βρει τη λύση στο πρόβλημα του κτηνοτρόφου.

3. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρθηκε ότι η επιστημονική μέθοδος είναι μία προσπάθεια να γίνει η επιστημονική αλήθεια αντικειμενικότερη, δηλαδή ανεξάρτητη από ανθρώπινη δύναμη ή αδυναμία, ματαιοδοξία, συμφέροντα, προκαταλήψεις ή από κάθε άλλη ανοησία. Πώς εξηγείτε το γεγονός ότι πολλοί συμμαθητές σας έκαναν παρατηρήσεις πάνω στο αναμμένο κερί, τις οποίες εσείς ούτε καν προσέξατε ή σκεφτήκατε να τις καταγράψετε;
4. Ας υποθέσομε ότι βγάζετε από το ψυγείο μία θήκη με παγάκια και βρίσκετε ότι η θερμοκρασία τους είναι -15˚C. Αν θεωρήσομε γνωστό ότι ο πάγος λιώνει στους 0˚C, να κατασκευάσετε μία πρόχειρη καμπύλη της γραφικής παραστάσεως με τις διάφορες θερμοκρασίες του πάγου καθώς μετατρέπεται σταδιακά σε νερό, σε συνάρτηση με το χρόνο.
5. Δικαιολογήστε τη μορφή της καμπύλης που σχεδιάσατε στην ερώτηση 4. Μήπως έχει καμιά ομοιότητα με αυτήν που προέκυψε στο πείραμα με το παραδιχλωροβενζόλιο; Αν ναι, ποιους περιορισμούς πρέπει να θέσετε πριν σχεδιάσετε την καμπύλη; Χωρίς να μετρήσετε στην πραγματικότητα τη μεταβολή θερμοκρασίας των κύβων του πάγου που λιώνει, ποια άλλη πληροφορία χρειάζεσθε, για να βεβαιωθείτε ότι η καμπύλη, όπως την προβλέψατε, είναι σωστή;
6. Με τη μελέτη της χημείας είναι δυνατόν να αποκτήσετε τη συνήθεια να κάνετε προσεκτικές παρατηρήσεις. Αυτή η συνήθεια είναι χρήσιμη και σε πολλούς άλλους τομείς. Αναφέρατε μερικά παραδείγματα της σημαντικής αξίας που έχουν οι ακριβείς παρατηρήσεις σε πεδία εντελώς διαφορετικά, όπως η νομοθεσία και οι αυτοκινούμενες κατασκευές.
7. Ποια νομίζετε ότι είναι η σημασία ενός ελεγχόμενου πειράματος; Πόσες συνθήκες του πειράματος θα πρέπει να μεταβάλλετε κάθε φορά, ώστε να βγάλετε τα καλύτερα συμπεράσματα από το πείραμα;
8. Τα στοιχεία που ακολουθούν ελήφθησαν σε ένα εργαστήριο, όταν μετρήθηκε ο όγκος ενός αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι θερμοκρασίες μετρήθηκαν σε Kelvins (Kelvin είναι η μονάδα μετρήσεως της θερμοκρασίας,

Όγκος αερίου (ml)	Θερμοκρασία (K)
300	273
350	318
400	364
450	409
500	455
550	500
600	546

που χρησιμοποιείται ιδιαίτερα από τους επιστήμονες. Περιγράφεται στο κεφάλαιο 6).

(α) Διατυπώστε με μία φράση τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στον όγκο του αερίου και τη θερμοκρασία.

(β) Κατασκευάστε μία γραφική παράσταση, που να απεικονίζει την υπάρχουσα σχέση.

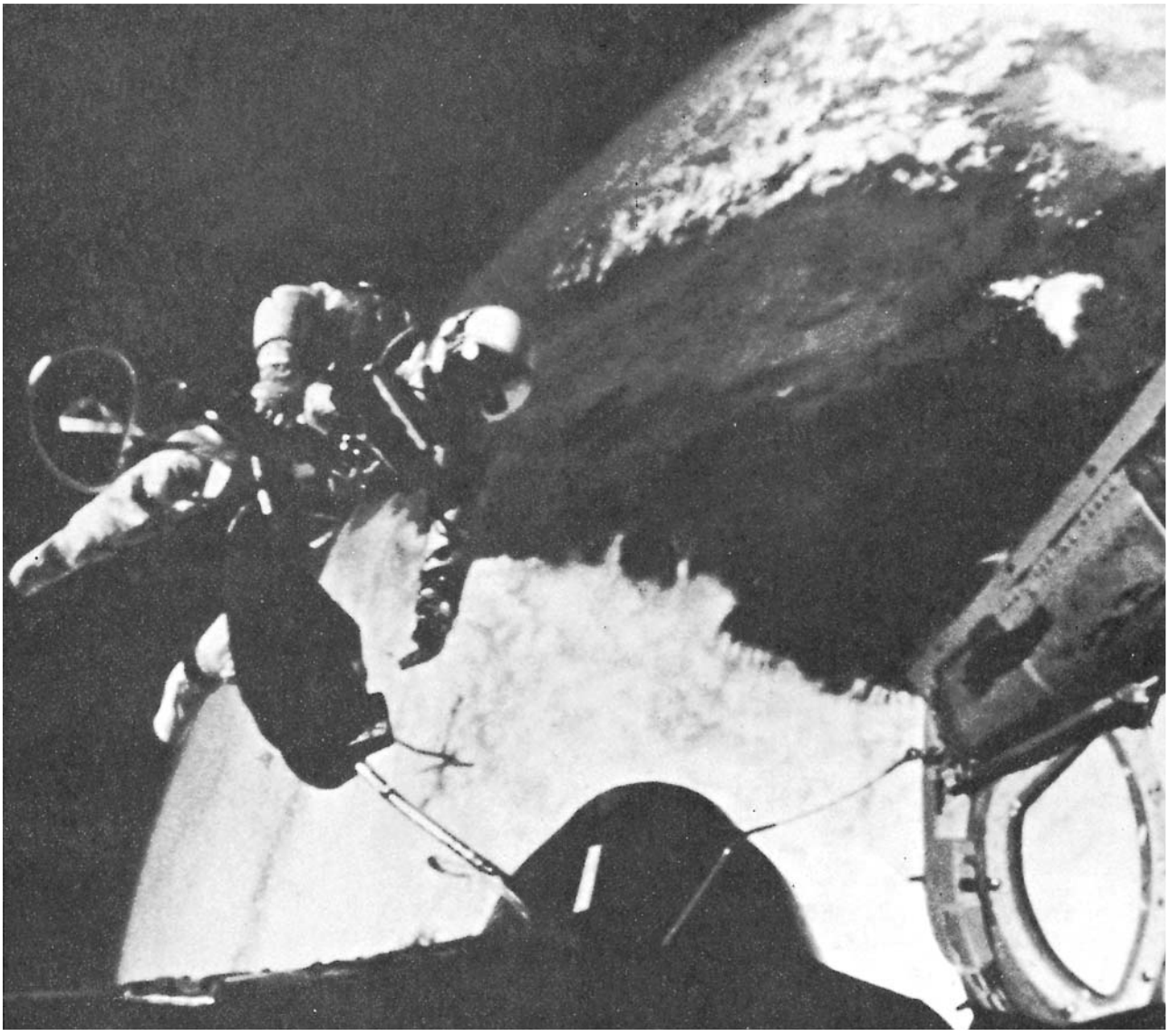
(γ) Γράψτε μία μαθηματική εξίσωση γι' αυτήν τη σχέση.

9. Σχολιάστε τα πλεονεκτήματα του συνοπτικού και μεθοδικού τρόπου καταγραφής των δεδομένων στοιχείων, που αφορούν στις συντελούμενες αλλαγές κατά τη διάρκεια ενός πειράματος.

   Πώς θα οργανώσετε έναν πίνακα δεδομένων για ένα πείραμα, στον οποίο δεν είσθε βέβαιοι τι ακριβώς θα βρείτε;
10. Ποιες γνωστές τεχνικές χρησιμοποιούνται για να παρουσιασθούν οπτικά τα πειραματικά δεδομένα σε κάποιον άλλον;
11. Γιατί έχει τόσο μεγάλη σημασία το να γίνεται όσο το δυνατόν πιο προσεκτικά ο έλεγχος των συνθηκών ενός πειράματος;
12. Για ποιο λόγο νομίζετε ότι είναι απαραίτητη (ή όχι απαραίτητη) η καταγραφή όλων των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ύλη και μάζα



Ο αστροναύτης Edward White ενώ εργάζεται έξω από το διαστημόπλοιο Τζέμινι 4, σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχει επίδραση της βαρύτητας.

Είναι σημαντικό για σας να μάθετε πώς καθορίζεται η ύλη, επειδή η χημεία ασχολείται με τις πολλές μορφές της ύλης και τις μετατροπές που είναι δυνατόν αυτή να υποστεί.

Τι είναι αυτό που υπάρχει σε όλα τα "υλικά σώματα" και που βασισμένοι σε αυτό τα χαρακτηρίζομε "υλικά";

Ποια είναι η μέθοδος που πρέπει να ακολουθήσομε, για να μετρήσομε το ποσό της ύλης που υπάρχει σε κάθε σώμα;

Όταν μετατρέπεται μια ουσία σε μιαν άλλη ή σε άλλες, το συνολικό ποσό της ύλης που προϋπάρχει είναι το ίδιο με το συνολικό ποσό της ύλης που σχηματίζεται;

Πριν ακόμα αρχίσετε να μελετάτε τη χημεία ως επιστήμη πρέπει να γνωρίσετε μερικά βασικά πράγματα, χρήσιμα για τις απαντήσεις που θα χρειασθεί να δώσετε σε ερωτήματα όπως τα πιο πάνω.

Τι είναι η ύλη;

2.1 Η βασική ιδιότητα της ύλης.

Στο κεφάλαιο 1 μάθατε ότι χημεία είναι η επιστήμη των υλικών. Δεν έγινε όμως σαφές τι εννοούμε με τη λέξη "υλικά" ούτε και με τη λέξη "ύλη". Αυτές οι δύο έννοιες θα εξετασθούν προσεκτικά σε αυτό το κεφάλαιο.

Στα πειράματά σας ασχοληθήκατε με πολλά υλικά σώματα. Ήταν φανερό ότι είχαν πολλές διαφορές. Το κερί είναι πιο μαλακό από το χαλκό και λιώνει πολύ πιο εύκολα. Ο χαλκός είναι στιλπνός κι έχει χαρακτηριστικό χρώμα, ενώ το καθαρό κερί είναι άσπρο*. Το θειάφι είναι κίτρινο, αλλά γίνεται πιο σκούρο, σχεδόν καφέ, όταν λιώνει. Ο χαλκός διατηρεί το χρώμα του όταν θερμανθεί και λιώσει, αν όμως θερμανθεί πιο έντονα στον αέρα γίνεται μαύρος. Το θειάφι δε όταν θερμανθεί έντονα στον αέρα καίγεται με μπλε φλόγα και εξαφανίζεται, ακριβώς όπως εξαφανίζεται και το κερί που καίγεται.

Τα τρία υλικά, χαλκός, θειάφι και κερί, εμφανίζουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες. Ασφαλώς μπορείτε ακόμα να σκεφθείτε πολλά άλλα υλικά με διαφορετικές ιδιότητες. Οπωσδήποτε όμως όλα έχουν κάτι κοινό. Αποτελούνται όλα από ύλη. Ακόμα και τα αόρατα αέρια που δημιουργούνται όταν το κερί ή το θειάφι καίγονται, αποτελούνται από ύλη.

Το αέριο που δημιουργείται από την καύση του θείου δεν περνάει απαρατήρητο εξ αιτίας της έντονης οσμής του. Όπως επίσης δεν περνούν απαρατήρητα τα διάφορα άοσμα και αόρατα αέρια που υπάρχουν στον ατμοσφαιρικό αέρα γύρω μας, όταν κινούνται γρήγορα, όπως συμβαίνει σε μια ανεμοθύελλα.

Οι χημικοί προσπαθούν να κατανοήσουν πώς είναι δυνατόν η ύλη να έχει τόσο διαφορετικές ιδιότητες. Αλλά τι εννοούν λέγοντας "ύλη"; Ποια είναι η βασική ιδιότητα της ύλης; Σκεφθείτε πρώτα τις απαντήσεις σε μερικές άλλες ερωτήσεις. Γιατί ο αέρας παραμένει γύρω από τη γη και δεν διασκορπίζεται στο διάστημα; Γιατί η γέφυρα του Λονδίνου κάμπτεται προς τα κάτω αντί προς τα πάνω ή προς το πλάι; Μήπως οι απαντήσεις σας έχουν ως προϋπόθεση μια ιδιότητα που είναι κοινή σε όλες τις μορφές της ύλης; Και βέβαια. Όλα τα υλικά σώματα έλκονται προς τη γη. Κάθε τι υλικό έχει ***βάρος***.

2.2 Ο Νόμος της Βαρύτητας.

Η παρατήρηση ότι όλες οι μορφές της ύλης έλκονται προς τη γη, δηλαδή έχουν βάρος, είναι δυνατόν να αποτελέσει θεμελιώδη ορισμό της ύλης. Ο Ισαάκ Νεύτων είχε κάνει τις ίδιες παρατηρήσεις πριν 300 και πλέον χρόνια και είχε διατυπώσει το Νόμο της Βαρύτητας. Ο Νεύτων υποστήριζε ότι η δύναμη έλξεως, ανάμεσα στη γη και σε κάποιο άλλο σώμα, όπως π.χ. σε ένα μήλο που κρέμεται από ένα δέντρο, έχει στην πραγματικότητα αμοιβαία δράση. Είναι μια αμοιβαία έλξη της γης προς το μήλο, αλλά και του μήλου προς τη γη. Αυτό που τα εμποδίζει να πλησιάσουν είναι ότι το μήλο είναι στερεωμένο στο δέντρο. Όταν το μήλο κοπεί από το δέντρο, τότε η γη και το μήλο θα κινηθούν το καθένα προς το μέρος του άλλου. Επειδή όμως η γη είναι πολύ μεγάλη και το μήλο πολύ μικρό, θεωρούμε ότι

* *Σ.τ.Μ. Το κερί που γίνεται από κηρήθρες μελισσών είναι κίτρινο.*

πρακτικά το μήλο είναι αυτό που πραγματοποιεί όλη (όχι απολύτως όλη) αυτήν την κίνηση κι έτσι βλέπομε το μήλο να πέφτει προς τη γη.

Ο Νεύτων διατύπωσε την ακόλουθη εξίσωση, για να περιγράψει τη δύναμη *F*, που δρα ανάμεσα σε δύο σώματα:

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong 0{,}998 \qquad (1)$$

Τα σύμβολα M_1 και M_2 εκφράζουν τις μάζες των δύο σωμάτων και το d τη μεταξύ τους απόσταση (το *G* είναι μια σταθερά ανολογίας που βοηθά να υπολογίσομε την τιμή της *F*, αν γνωρίζομε τις τιμές των άλλων μεγεθών).

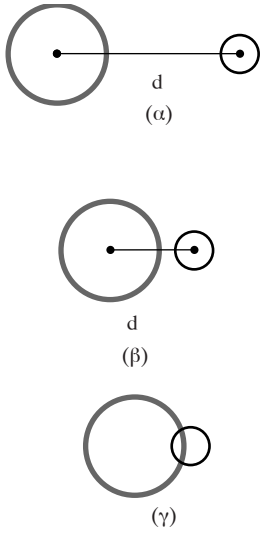
Ως μάζα ενός σώματος ορίζεται το ποσό της ύλης που περιέχει αυτό το σώμα. Αυτό ισχύει για οποιοδήποτε είδος ύλης είτε σκληρής είτε μαλακής, υγρής ή στερεής, ορατής ή αόρατης, ή οποιασδήποτε άλλης μορφής. Στην εξίσωση (1) χρησιμοποιήθηκε η σύντομη αλγεβρική γραφή για να απεικονισθούν συνοπτικά διάφορες έννοιες. Αν βασισθεί κάποιος στον τύπο, μπορεί να προβεί στις ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Η δύναμη ανάμεσα σε δύο σώματα αυξάνεται ανάλογα προς το ποσό της ύλης που περιέχεται στο καθένα (δηλ. ανάλογα προς τη μάζα του). Αν διπλασιασθεί το ποσό της ύλης τού ενός η δύναμη διπλασιάζεται. Αν διπλασιασθεί το ποσό της ύλης και των δύο, η δύναμη τετραπλασιάζεται (2 x 2 = 4).
2. Όταν τα σώματα απομακρύνονται, η δύναμη ανάμεσά τους ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της αποστάσεώς τους. Έτσι, όταν η απόσταση ανάμεσα στα δύο σώματα διπλασιασθεί, η μεταξύ τους δύναμη θα ελαττωθεί στο ένα τέταρτο ($2^2 = 4$) της αρχικής τιμής της.

Ο Νόμος της Βαρύτητας διατυπώθηκε από το Νεύτωνα με βάση τις παρατηρήσεις που είχαν κάνει οι αστρονόμοι σχετικά με την κίνηση της σελήνης, της γης και των άλλων πλανητών. Από τότε η ορθότητα του νόμου ελέγχθηκε και επιβεβαιώθηκε επανειλημμένα με διάφορα πειράματα που έγιναν στη γη, αλλά και από αστρονομικά δεδομένα. Με λίγα λόγια, ο Νόμος της Βαρύτητας ανακαλύφθηκε, ελέγχθηκε και αποδείχθηκε με τις διαδικασίες αυτές που ονομάζομε επιστημονική μέθοδο. Σήμερα τον αποδεχόμαστε ως ένα φυσικό νόμο. Τον χρησιμοποιούμε χωρίς να προσπαθούμε κάθε φορά να αποδείξομε την ορθότητά του. Συχνά οι επιστήμονες θεωρούν απαραίτητο να αποδεχθούν τέτοιους νόμους χωρίς να τους ελέγξουν μόνοι τους.

Θεωρούν (χωρίς βεβαίως να είναι απολύτως σίγουροι) ότι τα συμπεράσματα άλλων επιστημόνων που έχουν εργασθεί προσεκτικά και τα έχουν ορθά τεκμηριώσει είναι σωστά και αποδεκτά. Κι αυτό όχι επειδή το είπαν κάποιοι διάσημοι επιστήμονες (όπως ο Ισαάκ Νεύτων), αλλά γιατί, για να φθάσουν σε αυτά τα συμπεράσματα, ακολούθησαν σωστές επιστημονικές μεθόδους. Αν χρειαστεί, μπορούν πάντα να ελέγξουν για άλλη μια φορά από την αρχή, την ορθότητά τους. Αξίζει να σημειώσομε ότι, αν και ο Νεύτων ήταν ίσως ένας από τους πιο ικανούς και παραγωγικούς επιστήμονες στην ιστορία των φυσικών επιστημών, έκανε κάποια λάθη, που τα εντόπισαν αργότερα άλλοι ακολουθώντας και πάλι την επιστημονική μέθοδο χρησιμοποιώντας όμως νεότερα δεδομένα και κάνοντας λεπτότερους συλλογισμούς και παρατηρήσεις.

Ο Νόμος της Βαρύτητας βοηθάει στην κατανόηση της έννοιας του βάρους και της σχέσεως ανάμεσα σε βάρος και μάζα. Ας υποθέσομε ότι θέλετε να προσδιορίσετε τη μάζα (M_1) ενός μικρού σώματος, πάνω στη γη. Ας ονομασθεί M_2 η μάζα της γης. Όταν τα δύο σώματα απλώς εφάπτονται (δηλαδή το ένα δεν εισχωρεί μέσα στο άλλο), η απόσταση *d* ανάμεσά



ΣΧΗΜΑ 2-1. *Πώς καθορίζεται η απόσταση d ανάμεσα σε δύο σώματα (α, β), με την προϋπόθεση ότι το ένα δεν εισχωρεί μέσα στο άλλο (γ);*

τους, στην εξίσωση (1), είναι ίση με την απόσταση των κέντρων τους, (σχ. 2-1). Ακριβέστερα είναι ίση με την απόσταση των κέντρων της μάζας τους. Κέντρο μάζας είναι το σημείο εκείνο, στο οποίο θα μπορούσε να συμπυκνωθεί όλη η μάζα ενός σώματος εξακολουθώντας να έχει, από άποψη βαρύτητας, τη ίδια επίδραση σε ένα άλλο σώμα. Ας υποτεθεί επίσης ότι η γη είναι μια τέλεια σφαίρα (δεν είναι ακριβώς σφαίρα· την επίδραση του πραγματικού σχήματός της θα τη διερευνήσομε στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου). Έτσι, αν οι μετρήσεις γίνονται στην επιφάνεια της γης, η απόσταση που θα αναγραφεί στην εξίσωση (1), θα είναι πάντα η ίδια, όπως δείχνει το σχήμα 2-2.

Με βάση τις προηγούμενες υποθέσεις η εξίσωση (1) μετατρέπεται στην εξίσωση (2). Εδώ το *M* αντιπροσωπεύει τη μάζα της γης, το *R* την ακτίνα της και το *m* τη μάζα του αντικειμένου που μετρούμε σε ένα εργαστήριο, που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης. Επειδή *G*, *R* και *M* είναι σταθερά, το GM/R^2 θα είναι επίσης σταθερό. Αν παραστήσομε τη σταθερή τιμή του GM/R^2 με *C**, τότε έχομε:

$$F = m \times \frac{GM}{R^2} = m \times C \qquad (2)$$

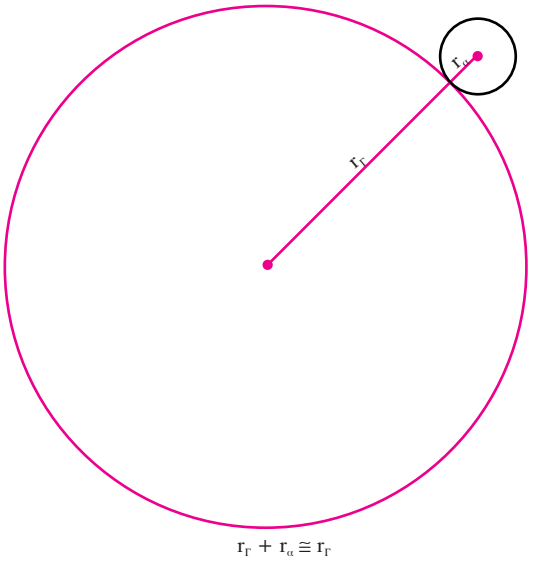
Έτσι το βάρος F ενός μικρού αντικειμένου σε κάποιο σημείο της επιφάνειας της γης, είναι ευθέως ανάλογο με τη μάζα του σώματος. Διαιρώντας και τα δύο μέρη της εξισώσεως (2) με το C, καταλήγομε στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong 0{,}9 \qquad (3)$$

Η εξίσωση (3) δείχνει ότι η μάζα *m* ενός σώματος μπορεί να προσδιορισθεί, αν μετρηθεί η δύναμη έλξεως ανάμεσα σε αυτό και τη γη και στη συνέχεια διαιρεθεί με τη σταθερά *C*. Όπως είδατε, η σταθερά *C* εξαρτάται από ιδιότητες της γης, δηλαδή τη μάζα και την ακτίνα της.

2.3 Μονάδες μάζας.

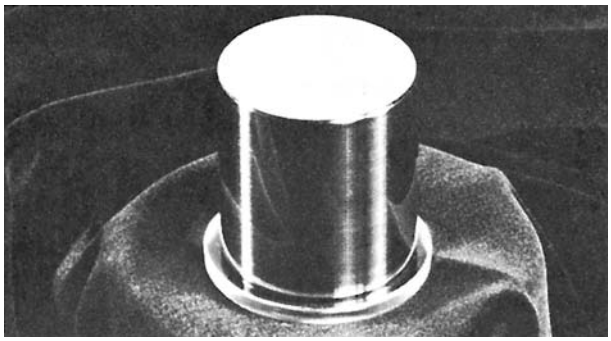
Για να μετρήσομε τη μάζα ενός σώματος, είναι απαραίτητο να καθορίσομε κάποια μονάδα μάζας. ***Μονάδα*** είναι μια σταθερή και καθορισμένη ποσότητα ενός πράγματος, ως προς την οποία είναι δυνατό να μετρηθούν όλες οι



ΣΧΗΜΑ 2-2. *Για αντικείμενα που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, η απόσταση από κέντρο σε κέντρο ισούται με το άθροισμα της ακτίνας της γης r_Γ και της ακτίνας του αντικείμενου r_α το οποίο πρακτικά είναι ίσο με το r_Γ της ακτίνας της γης (γιατί το r_α είναι συγκριτικά πολύ μικρό).*

άλλες ποσότητες του ιδίου πράγματος. Για παράδειγμα το βούτυρο πωλείται με το κιλό, τα αυγά με τη δωδεκάδα και το γάλα με το λίτρο. Το κιλό, η δωδεκάδα, το λίτρο, είναι συνηθισμένες μονάδες μετρήσεως που χρησιμοποιούνται γι' αυτά τα τρόφιμα. Στην Ελλάδα η νομισματική μονάδα είναι η δραχμή. Αν θέλετε να υπολογίσετε πόσα χρήματα έχετε, μετράτε πόσες δραχμές ή και μέρη της δραχμής έχετε. Στις Η.Π.Α η νομισματική μονάδα δεν είναι η δραχμή, αλλά το δολάριο. Στον Καναδά νομισματική μονάδα είναι πάλι το δολάριο, αλλά το δολάριο του Καναδά δεν είναι ακριβώς ίδιο με αυτό των Η.Π.Α. Άλλοτε η τιμή του είναι μεγαλύτερη και άλλοτε μικρότερη. Εξαρτάται από τις οικονομικές συνθήκες και τις εμπορικές σχέσεις ανάμεσα στις χώρες αυτές. Στην Ιταλία, η νομισματική μονάδα έχει άλλο όνομα (λιρέτα) και εντελώς διαφορετική αξία. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που επιβάλλουν την ύπαρξη μεγάλης ποικιλίας μονάδων μετρήσεως στην εμπορική ζωή. Οι επιστήμονες όμως δεν είναι δυνατόν να δεχθούν κάτι ανάλογο και μάλιστα για μονάδες που έχουν σχέση με βασικές επιστημονικές μετρήσεις. Είναι λογικό να

* *Σ.τ.Μ. Εδώ το σύμβολο C χρησιμοποιείται αντί του συμβόλου g, με το οποίο συνήθως συμβολίζεται η επιτάχυνση της βαρύτητας.*



ΣΧΗΜΑ 2-3. *Το αντίγραφο αυτό του προτύπου χιλιογράμμου φυλάσσεται στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ.*

υπάρχει ένα σύστημα μονάδων μετρήσεως για όλες τις βασικές ποσότητες που μετρούν οι επιστήμονες, και μάλιστα αυτό το σύστημα μονάδων να το χρησιμοποιούν οι επιστήμονες σε όλο τον κόσμο.

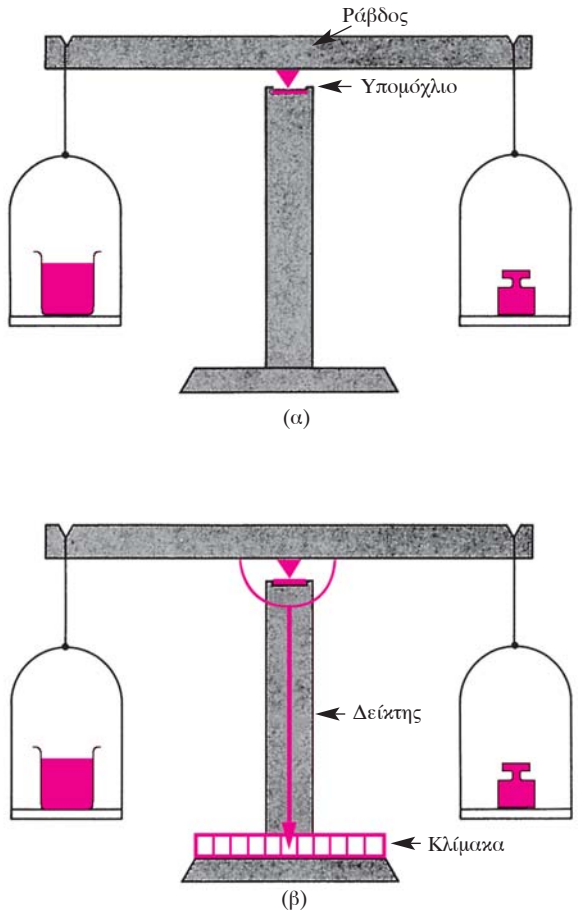
Πραγματικά οι επιστήμονες πριν διακόσια περίπου χρόνια συμφώνησαν να χρησιμοποιούν ένα τέτοιο σύστημα μονάδων, το οποίο θα πρέπει να εξετάσομε. Εδώ θα αναφερθούμε στις μονάδες μετρήσεως της μάζας, ενώ οι άλλες μονάδες θα μελετηθούν παρακάτω. Η διεθνής επιστημονική μονάδα μετρήσεως της μάζας είναι το ***χιλιόγραμμο*** (ή κιλό, kg). Είναι μια καθορισμένη μονάδα, δηλαδή έχει ορισθεί να ισούται με τη μάζα ενός συγκεκριμένου προτύπου. Το πρότυπο χιλιόγραμμο είναι ένα κομμάτι μετάλλου λευκοχρύσου, που φυλάσσεται στον Πύργο των Σεβρών, σε ένα προάστειο του Παρισιού. Έχουν γίνει αρκετά αντίγραφα αυτού του προτύπου. Ένα από αυτά είναι και το εικονιζόμενο στο σχήμα 2-3, που βρίσκεται στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ.

Επειδή η μονάδα αυτή, δηλαδή το χιλιόγραμμο, είναι σχετικά μεγάλη για εργαστηριακές μετρήσεις, συνήθως χρησιμοποιείται από τους χημικούς, αντί γι' αυτό, το ***γραμμάριο***, που έχει ορισθεί ότι ισούται με το ένα χιλιοστό του χιλιογράμμου (kg).

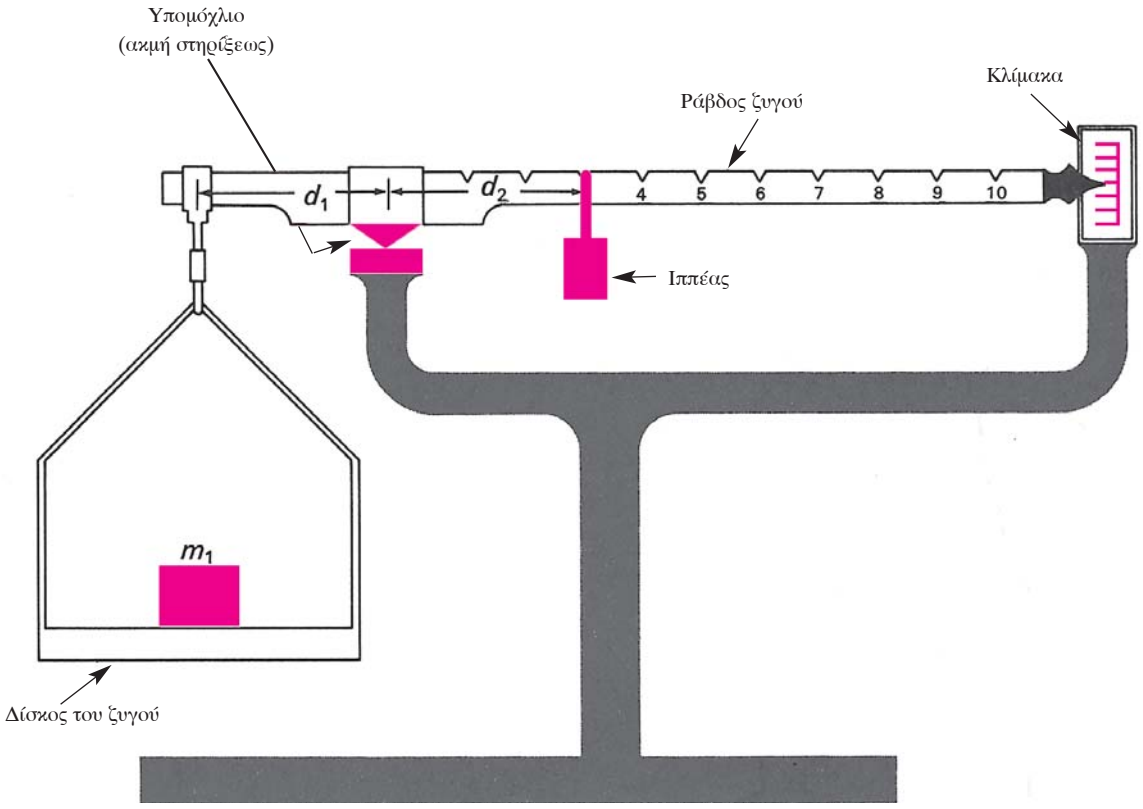
1 χιλιόγραμμο = 1000 γραμμάρια (g).
1 γραμμάριο = 0,001 χιλιόγραμμο (kg).

2.4 *Μέτρηση της μάζας.*

Υπάρχουν δύο τρόποι μετρήσεως της μάζας. Ο ένας είναι με άμεση σύγκριση. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται μια συσκευή που ονομάζεται ζυγός. Ο ζυγός αποτελείται από μία οριζόντια ράβδο, που στηρίζεται επάνω σε ένα λεπτό κατακόρυφο στήριγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-4. Η ράβδος θα πρέπει να τοποθετηθεί από την αρχή έτσι, ώστε να ισορροπεί απόλυτα. Το σημείο στηρίξεως λέγεται υπομόχλιο. Ας υποθέσομε ότι ένα αντικείμενο γνωστής μάζας τοποθετείται στον ένα βραχίονα της ράβδου, σε ακριβώς καθορισμένη απόσταση από το υπομόχλιο, και ένα άλλο αντικείμενο τοποθετείται στο άλλο άκρο της ράβδου και στην ίδια ακριβώς απόσταση από το υπομόχλιο. Αν η ράβδος εξακολουθεί να ισορροπεί, συμπεραίνομε ότι τα δύο αντικείμενα έχουν την ίδια μάζα. Αν η σύγκριση γίνει στον αέρα, το συμπέρασμα θα



ΣΧΗΜΑ 2-4. *Δύο τύποι ενός απλού ζυγού, που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της μάζας ενός αντικειμένου, συγκρίνοντάς το με κάποιο πρότυπο. Η προσθήκη στο ζυγό (β) του δείκτη και της κλίμακας τον καθιστούν πιο εύχρηστο.*



ΣΧΗΜΑ 2-5. *Μια ακόμη παραλλαγή του απλού ζυγού.*

είναι μερικώς λανθασμένο για τους λόγους που θα αναπτυχθούν στην παράγραφο 2.7.

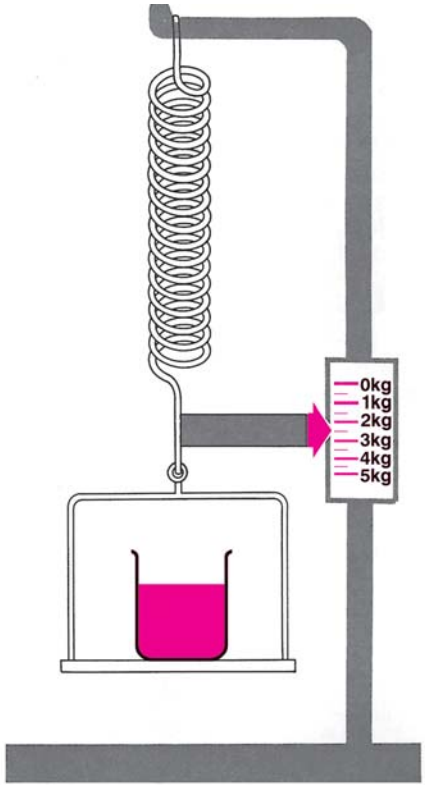
Ο ζυγός που φαίνεται στο σχήμα 2-4 είναι δυνατόν να γίνει ακόμα πιο εύχρηστος. Για παράδειγμα, ας υποθέσομε ότι ένα σώμα άγνωστης μάζας τοποθετείται σε απόσταση d από το υπομόχλιο και ότι, για να ισορροπήσει η ράβδος, πρέπει να τοποθετήσομε ένα άλλο σώμα γνωστής μάζας σε απόσταση $^{d}/_{2}$. Τότε η μάζα του άγνωστου αντικειμένου θα ισούται με το μισό της μάζας του γνωστού. Εκτελώντας περισσότερα πειράματα διαπιστώνομε ότι ισορροπία επιτυγχάνεται πάντοτε όταν το γινόμενο της μάζας επί την απόσταση του ενός αντικειμένου από το υπομόχλιο είναι ίσο με το γινόμενο της μάζας επί την απόσταση του άλλου αντικειμένου από το υπομόχλιο. Έτσι, προκειμένου για δύο τυχαίες μάζες m_1 και m_2 σε απόσταση d_1 και d_2 αντίστοιχα από το κέντρο στηρίξεως της ράβδου (υπομόχλιο), ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$m_1 d_1 = m_2 d_2$$

Αν γνωρίζομε τη μάζα του δεύτερου αντικειμένου (m_2) είναι δυνατόν να υπολογίσομε τη μάζα του πρώτου (m_1) ως εξής:

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong 0{,}998$$

Η αρχή αυτή χρησιμοποιείται και στο ζυγό που φαίνεται στο σχήμα 2-5, όπου το αντίβαρο της κλίμακας (ιππέας) είναι ένα αντικείμενο γνωστής μάζας. Το σώμα της άγνωστης μάζας (m_1) τοποθετείται στο δίσκο του ζυγού και ρυθμίζεται η απόσταση του αντίβαρου από το σημείο στηρίξεως έτσι, ώστε να ισορροπήσει όλο το σύστημα. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του άγνωστου αντικειμένου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόσταση κατά την οποία θα πρέπει να μετακινηθεί το αντίβαρο κατά μήκος του άξονά του, από το σημείο στηρίξεως. Για ευκολία ο άξονας έχει βαθμολογηθεί απ' ευθείας σε μονάδες μάζας και έχει υποδοχές, για να τοποθετείται το αντίβαρο ασφαλέστερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο ζυγός τριπλής φάλαγγας

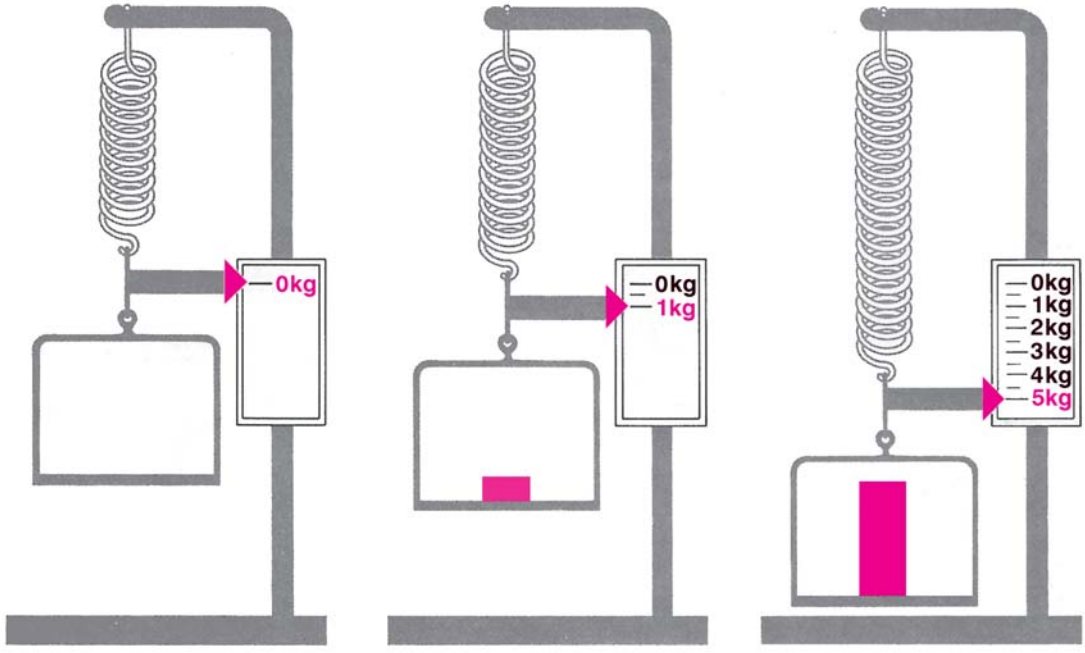


ΣΧΗΜΑ 2-6. *Ένα δυναμόμετρο που λειτουργεί με βάση την αρχή του επιμηκυνόμενου ελατηρίου.*

που φαίνεται στο σχήμα 2-8(β), χρησιμοποιείται συνήθως στα επιστημονικά εργαστήρια. Όπως βλέπετε, είναι κατά βάση ίδιος με αυτόν που περιγράψαμε λίγο πριν σε αυτήν την παράγραφο.

Με το ζυγό που φαίνεται στο σχήμα 2-5 έχομε χάσει κατά κάποιο τρόπο την έννοια της άμεσης συγκρίσεως της άγνωστης με τη γνωστή μάζα. Υπάρχουν άλλες διατάξεις, όπου δεν χρησιμοποιείται καθόλου η απ' ευθείας σύγκριση. Οι διατάξεις αυτές είναι γνωστές ως ***δυναμόμετρα*** και η χρήση τους αποτελεί μια άλλη βασική μέθοδο προσδιορισμού της μάζας. Συνήθως περιλαμβάνουν ένα ελατήριο ή κάτι ανάλογο που να επιμηκύνεται ή να περιστρέφεται, όταν προσαρμοσθεί πάνω τους ένα αντικείμενο. Το μέγεθος της επιμηκύνσεως ή της περιστροφής είναι ανάλογο με τη μάζα του αντικειμένου. Ένας απλός ζυγός αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 2-6.

Κάθε δυναμόμετρο θα πρέπει να βαθμολογείται, δηλαδή να καθορίζεται με ακρίβεια η αύξηση του μήκους του ανά μονάδα μάζας (σχ. 2-7). Για να θεωρηθεί σωστή η βαθμολόγηση, θα πρέπει το αποτέλεσμα της μετρήσεως να είναι επαναλήψιμο, θα πρέπει δηλαδή η αύξηση του μήκους του ελατηρίου, για



(α) (β) (γ)

ΣΧΗΜΑ 2-7. *Η κλίμακα ενός δυναμομέτρου βαθμολογείται βρίσκοντας την αύξηση που δημιουργούν αντικείμενα γνωστής μάζας στο μήκος του ελατηρίου.*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

2.5 Προσδιορισμός της μάζας ενός αντικειμένου.

Ένας ζυγός αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες συσκευές σε ένα χημικό εργαστήριο. Υπάρχουν αρκετοί ζυγοί, διαφόρων τύπων. Η εκλογή του τύπου εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου πειράματος στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Πολλοί ζυγοί από αυτούς πο συνήθως χρησιμοποιούνται και στα σχολεία έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίσουν τη μάζα ενός σώματος με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Ένας καλός αναλυτικός ζυγός συχνά φθάνει σε ακρίβεια το 0,0001 του γραμμαρίου.

Για να χρησιμοποιήσετε ένα ζυγό πρέπει να γνωρίζετε πολύ καλά τον τρόπο λειτουργίας του. Παράλληλα, πρέπει να έχετε καταλάβει τους περιορισμούς στις δυνατότητες του ζυγού όπως επίσης πρέπει να γνωρίζετε τη φροντίδα που χρειάζεται, για να εξακολουθήσει να λειτουργεί ικανοποιητικά. Γενικά οι ζυγοί είναι ευαίσθητες συσκευές και αν δεν ακολουθηθούν σωστά οι οδηγίες χρήσεως, εύκολα μπορούν να καταστραφούν. Βεβαιωθείτε ότι μελετήσατε προσεκτικά τις οδηγίες για τη σωστή λειτουργία και φροντίδα του ζυγού.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος που θα ακολουθήσει θα συγκεντρώσετε στοιχεία που θα χρησιμοποιήσετε και θα αναλύσετε αργότερα. Γι' αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία να καταγράψετε τις παρατηρήσεις σας καθαρά και με ακρίβεια.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός του πειράματος είναι η διαπίστωση από πόσες παραμέτρους εξαρτώνται τα αποτελέσματα*, όταν μετράτε με ζυγό τη μάζα ενός αντικειμένου.

ΥΛΙΚΑ

Ζυγός ακριβείας 0,01 g Αριθμημένα αντικείμενα με άγνωστη μάζα

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Θα συνεργαστείτε με έναν ή δύο από τους συμμαθητές σας. Θα δοθεί ένα αντικείμενο με άγνωστη μάζα σε κάθε ομάδα της τάξεως.

1. Με τη βοήθεια του ζυγού που έχει παραχωρηθεί στην ομάδα σας, μετρήστε τη μάζα ενός από τα αντικείμενα που έχουν επιλεγεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και προσοχή. Μην δοκιμάσετε να αλλάξετε τη ρύθμιση του ζυγού κατά τη διάρκεια του πειράματος. Αφού καταγράψετε αμέσως τις μετρήσεις σας στο τετράδιό σας, δώστε το αντικείμενο στην επόμενη ομάδα. Προσδιορίστε τη μάζα ενός άλλου αντικειμένου και συνεχίστε μέχρι να τελειώσουν όλα τα αντικείμενα που έχετε στη διάθεσή σας γι' αυτό το πείραμα.
2. Θα σχεδιάσετε στο μαυροπίνακα της τάξεώς σας έναν πίνακα δεδομένων και αποτελεσμάτων όμοιο με αυτό που βρίσκεται στο τέλος αυτής της παραγράφου (διαδικασία). Σημειώστε επάνω στον πίνακα τον αριθμό του ζυγού σας. Στην οριζόντια γραμμή, δίπλα από αυτόν τον αριθμό γράψτε τη μάζα του κάθε αντικειμένου που μετρήσατε στη στήλη που αντιστοιχεί για το καθένα. Όταν συμπληρωθούν όλα τα διαστήματα από όλες τις ομάδες, αντιγράψτε τα και στο δικό σας τετράδιο.
3. Εξετάστε τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν από όλη την τάξη. Μήπως κάποιος ζυγός έδωσε μετρήσεις, που ήταν σημαντικά μεγαλύτερες ή

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή θα εξετασθεί εάν είναι πάντα ίδια τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας όταν πρόκειται για το ίδιο αντικείμενο και από τι εξαρτώνται οι τυχόν μεταβολές τους.*

μικρότερες από τις μετρήσεις που έδωσαν όλοι οι άλλοι ζυγοί;

4. Τέσσερις-πέντε ομάδες θα πρέπει να μετρήσουν τώρα τη μάζα του άγνωστου δείγματος Α με το ζυγό που έδωσε μεγαλύτερα αποτελέσματα. Επίσης, τέσσερις ή πέντε ομάδες θα μετρήσουν την ίδια μάζα με το ζυγό που έδωσε μικρότερα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά θα τα γράψατε στον πίνακα της τάξεως κάτω από τις στήλες που ονομάζονται "Δείγμα Α, ζυγός με μεγάλες τιμές" και "Δείγμα Α, ζυγός με μικρές τιμές". Τέλος, αντιγράψτε όλα αυτά τα στοιχεία στο τετράδιό σας.

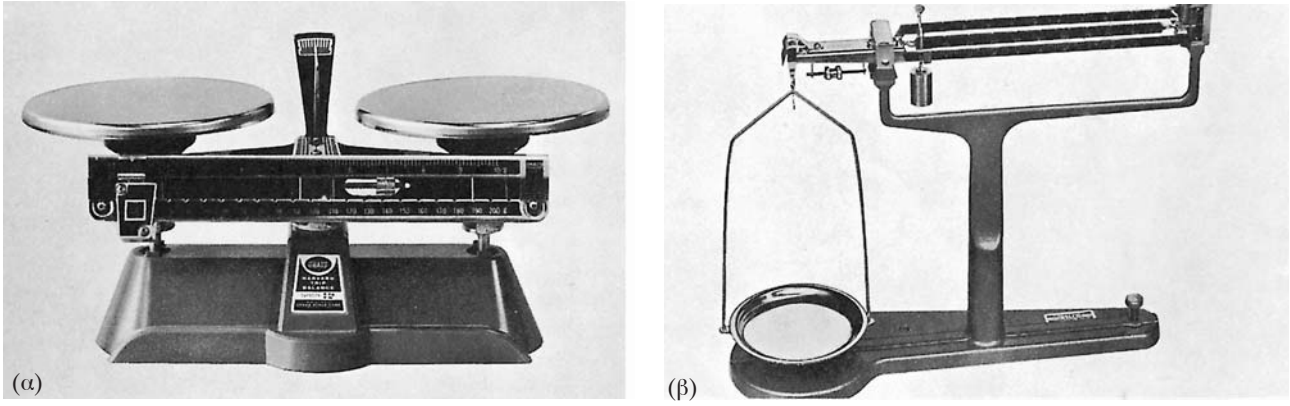
Ζυγός #	Δείγμα Α	Δείγμα Β	Δείγμα Γ	κλπ.
1	–	–	–	
2	–	–	–	

Φροντίδα και χρήση των ζυγών.

Ο ζυγός αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά όργανα σε ένα χημικό εργαστήριο. Αν θέλομε όμως να είμαστε σίγουροι ότι ένας ζυγός θα δίνει ακριβή αποτελέσματα για μεγάλο χρονικό διάστημα, θα πρέπει να τον μεταχειριζόμαστε με μεγάλη προσοχή. Δύο από τους κοινούς εργαστηριακούς ζυγούς φαίνονται στο σχήμα 2-8. Κάθε φορά που χρησιμοποιείτε οποιονδήποτε τύπο ζυγού πρέπει να ακολουθείτε τις παρακάτω διαδικασίες. Μην θεωρήσετε ποτέ ότι ένας ζυγός είναι έτοιμος για να ζυγίσετε, αν δεν τον ελέγξετε προηγουμένως, ακόμη κι αν έχετε ζυγίσει λίγο πιο πριν.

1. Ο ζυγός πρέπει να τοποθετηθεί πάνω σε μια σταθερή οριζόντια επιφάνεια, σε χώρο που δεν επηρεάζεται από δονήσεις, ρεύματα αέρα ή πηγές θερμότητας. Αποφύγετε επίσης περιοχές που έρχονται σε άμεση επαφή με το ηλιακό φως.
2. Αν ο ζυγός διαθέτει φυσαλίδα ενδείξεως της σωστής οριζοντιώσεως, φροντίστε μετά την τοποθέτηση του ζυγού, η φυσαλίδα να βρίσκεται στη σωστή θέση.
3. Πριν να τοποθετήσετε οτιδήποτε πάνω στο δίσκο του ζυγού, βεβαιωθείτε ότι είναι καθαρός. Μετακινήστε τα αντίβαρα στη μηδενική τους θέση και ελέγξτε αν ο βραχίονας κινείται ελεύθερα. Βεβαιωθείτε επίσης αν ο δείκτης μετακινείται κατά ίση απόσταση δεξιά και αριστερά του μηδενός. Αν ο ζυγός είναι εφοδιασμένος με μαγνητικό αντισταθμιστή, κοιτάξτε αν ο δείκτης σταματά ακριβώς μπροστά στο μηδέν.

   Οι περισσότεροι ζυγοί διαθέτουν έναν κοχλία ρυθμίσεως, που βοηθάει στη ρύθμιση του δείκτη, ώστε να δείχνει πάντα το μηδέν. Ελέγξτε την με τον καθηγητή σας πριν ξεκινήσετε οποιαδήποτε ρύθμιση.
4. Αν ο ζυγός σας έχει σύστημα στερεώσεως του βραχίονα, θυμηθείτε να το ασφαλίσετε, πριν τοποθετήσετε στο δίσκο του το αντικείμενο που πρόκειται να ζυγίσετε. Είτε έχει είτε δεν έχει σύστημα στερεώσεως, πρέπει να προσέχετε, όταν τοποθετείτε κάποιο αντικείμενο στο δίσκο, γιατί υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν οι ακίδες των πρισμάτων ή κάποιο άλλο τμήμα του ζυγού.
5. Μην ζυγίζετε ποτέ τοποθετώντας κατ' ευθείαν πάνω στο δίσκο του ζυγού κάποιο υγρό ή στερεό χημικό δείγμα. Είναι προτιμότερο, για να τον προστατέψετε, να το τοποθετήσετε μέσα σε ένα στεγνό δοχείο από γυαλί, ή πλαστικό, ή μέταλλο, ή πορσελάνη. Μερικές



ΣΧΗΜΑ 2-8. *Στο ζυγό με τους δίσκους (α), είναι δυνατόν να ζυγίσομε με ακρίβεια 0,5 g, ενώ στο ζυγό τριπλής φάλαγγας (β) μπορούμε να ζυγίσομε με ακρίβεια 0,01 g.*

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Στο πρώτο μέρος αυτού του πειράματος, χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι ζυγών για τον προσδιορισμό της μάζας διαφόρων αγνώστων αντικειμένων. Ποια ήταν η διαφορά ανάμεσα στη μεγαλύτερη και τη μικρότερη τιμή κατά τη μέτρηση της μάζας του ίδιου αντικειμένου; Γιατί συμβαίνει ένα αντικείμενο να εμφανίζεται να έχει διαφορετικές μάζες, όταν μετρηθεί με διαφορετικούς ζυγούς; Αναφέρατε όσο το δυνατόν περισσότερες τεκμηριωμένες εξηγήσεις γι' αυτές τις διαφορές που εμφανίζονται.
2. Εξετάστε πάλι τα στοιχεία του αρχικού πίνακα. Αν υπολογίσετε τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη μάζα που έχει καταγραφεί για κάθε άγνωστο αντικείμενο, τι διαφορά υπάρχει μεταξύ του μεγαλύτερου και του μικρότερου αποτελέσματος; Αν συγκρίνετε αυτήν τη διαφορά με εκείνες που υπάρχουν ανάμεσα στις μάζες που έχουν καταγραφεί στις στήλες με τους τίτλους "Δείγμα Α, ζυγός με μεγάλες τιμές και Δείγμα Α, ζυγός με μικρές τιμές", τι συμπέρασμα βγάζετε;
3. Πώς εξηγείτε το γεγονός ότι ο ένας ζυγός έδωσε μεγάλες ενώ ο άλλος μικρές τιμές;
4. Με βάση όλα τα στοιχεία που έχετε τώρα για το δείγμα Α, ποια νομίζετε ότι είναι η μάζα του; Γιατί;
5. Ο καθηγητής θα συμπληρώσει πάνω στο μαυροπίνακα της τάξεως το βάρος σε γραμμάρια μερικών από τα δείγματα άγνωστης μάζας που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο μέρος του πειράματος. Από τον πίνακα των

φορές ξηρά στερεά είναι δυνατόν να ζυγισθούν πάνω σε ένα κομμάτι από διηθητικό χαρτί. Αν κάποια χημική ουσία πέσει πάνω ή δίπλα στο ζυγό σκουπίστε την αμέσως.

6. Μην τοποθετείτε ζεστά αντικείμενα πάνω στο ζυγό, γιατί υπάρχει πιθανότητα να καταστρέψουν το δίσκο. Παράλληλα, θέρμανση του ζυγού από τα ζεστά αντικείμενα καθιστά ανακριβείς τις ενδείξεις του.
7. Για να υπολογίσετε τη μάζα ενός σώματος, μετακινήστε αρχικά το μεγαλύτερο από τα αντίβαρα σε μια θέση λίγο μικρότερη από αυτήν που αντιστοιχεί στην άγνωστη μάζα. Στη συνέχεια (αφού έχετε προσεγγίσει τη μάζα με τη βοήθεια του μεγάλου αντίβαρου) τοποθετήστε το μικρότερο αντίβαρο. Το μικρό αντίβαρο θα βρίσκεται στη σωστή θέση, όταν η βελόνα του δείκτη κινείται κατά την ίδια απόσταση δεξιά και αριστερά από το μηδέν ή όταν σταματά στο μηδέν στην περίπτωση που ο ζυγός διαθέτει μαγνητικό αντισταθμιστή. Αν ο ζυγός σας έχει βραχίονα με εγκοπές θα πρέπει, όταν εκτελείτε ζυγίσεις, τα αντίβαρα να βρίσκονται μέσα στις εγκοπές. Διαφορετικά, τα αποτελέσματά σας θα είναι λανθασμένα.
8. Η μάζα των αντικειμένων που μετράτε ισούται με το σύνολο των ενδείξεων όλων των αντιβάρων που χρησιμοποιήθηκαν. Σημειώστε την τιμής της μάζας που βρήκατε στο τετράδιό σας. Μην τη σημειώσετε σε πρόχειρα χαρτιά, διότι χάνονται εύκολα, εκτός του ότι γίνονται λάθη κατά την αντιγραφή τους στο τετράδιο.
9. Αφού καταγράψετε τις μετρήσεις σας, απομακρύνετε προσεκτικά το αντικείμενο από το δίσκο του ζυγού. Αν ο ζυγός διαθέτει σύστημα στερεώσεως του βραχίονα, ασφαλίστε το, πριν απομακρύνετε το αντικείμενο, ώστε να ανυψωθεί ο βραχίονας από τις ακίδες του πρίσματος ή όπου βρίσκεται ακουμπισμένος.

   Σε ένα ζυγό που δεν ασφαλίζει (δηλ. δεν έχει σύστημα στερεώσεως του βραχίονα), δεν πρέπει να μηδενίζονται τα αντίβαρα μετά το τέλος της ζυγίσεως. Έτσι προφυλάσσεται ο βραχίονας από μια διαρκή κίνηση και περιορίζεται η τριβή πάνω στις ακίδες.
10. Πριν φύγετε, ελέγξτε το ζυγό και το χώρο γύρω από αυτόν, ώστε να βεβαιωθείτε πως έχετε τακτοποιήσει κάθε τι και ότι όλα είναι έτοιμα για τον επόμενο που πρόκειται να χρησιμοποιήσει το ζυγό.

Περίληψη.

Οι διάφορες μορφές της ύλης, αν και διαφέρουν ριζικά σε πολλές από τις ιδιότητές τους, έχουν όλες μία ιδιότητα που είναι κοινή, έχουν δηλαδή μάζα. Λόγω του ότι τα υλικά σώματα έχουν μάζα έλκονται μεταξύ τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η έλξη που ασκεί. Η έλξη ανάμεσα σε δύο σώματα μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωγο της αποστάσεώς τους. Όταν μετρούμε τη δύναμη, με την οποία ένα σώμα έλκεται προς τη γη, μετρούμε το βάρος του. Αν αυτό γίνει κάτω από ειδικές συνθήκες, είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η μάζα του σώματος. Οι μονάδες που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες, για να μετρούν τη μάζα, είναι το χιλιόγραμμο (kg) και το γραμμάριο (g). Ένα γραμμάριο ισούται με ένα χιλιοστό του χιλιογράμμου (κιλού). Η μάζα είναι δυνατόν να μετρηθεί είτε με ένα ζυγό, όπου μπορεί να γίνει κατ' ευθείαν σύγκριση με μια άλλη γνωστή μάζα, είτε με ένα δυναμόμετρο με ελατήριο, όπου η σύγκριση είναι έμμεση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

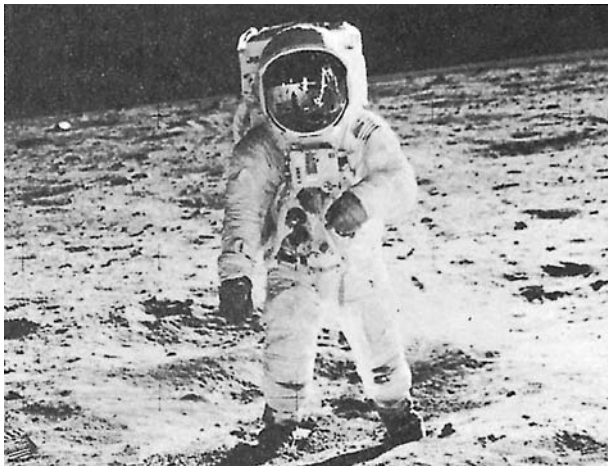
1. Αναφέρατε τι λέει ο Νόμος της Βαρύτητας για τη δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσα σε δύο σώματα, καθώς και για την εξάρτησή της από τις μάζες και τη μεταξύ τους απόσταση.
2. Ποιες είναι οι δύο ποσότητες που πρέπει να

Βάρος και μάζα

2.6 Τι εννοούμε όταν λέμε βάρος και μέτρηση βάρους;

Η πορεία που περιγράψατε για τον προσδιορισμό της μάζας, δεν σας είναι τελείως άγνωστη. Η χρήση τουλάχιστον των δυναμομέτρων είναι γνωστή σε όλους και όλοι γνωρίζετε τη χρήση των διαφόρων τύπων ζυγών. Για παράδειγμα, όταν ανεβαίνετε πάνω στη ζυγαριά του λουτρού, λέτε ότι ζυγίζεστε ή διαφορετικά, ότι βρίσκετε το βάρος σας. Ή μήπως "μάζα" και "βάρος" είναι δύο διαφορετικοί όροι για το ίδιο πράγμα, ο ένας περισσότερο γνωστός κι ο άλλος εξειδικευμένος;

Υπάρχουν συγκεκριμένες διαφορές, και θεωρητικές αλλά και πρακτικές, ανάμεσα στο βάρος και τη μάζα, όπως και ανάμεσα στη μέτρηση του βάρους με ζύγισμα και τον προσδιορισμό της μάζας ενός σώματος. Πρώτον, η μέτρηση του βάρους ενός σώματος, δηλαδή η μέτρηση της έλξεώς του προς τη γη (ή προς κάποιο άλλο σώμα) είναι μόνο ένας τρόπος για τον προσδιορισμό της μάζας του. Η έκφραση "προσδιορισμός της μάζας" είναι πολύ πιο γενική από ό,τι ο όρος "βάρος". Δεύτερον, η μάζα ενός αντικειμένου είναι ακριβώς προσδιορισμένη ποσότητα, ενώ το βάρος του είναι απλά το αποτέλεσμα που παίρνομε με έναν ειδικό τρόπο μετρήσεως. Τρίτον, κατά τον προσδιορισμό του βάρους υπάρχουν πολλές πιθανότητες σφάλματος. Το βάρος ενός σώματος αν συγκριθεί με την πραγματική του μάζα, ίσως να διαφέρει αρκετά και αυτό εξαρτάται από το πού, πότε και κάτω από ποιες συνθήκες έγιναν οι μετρήσεις (σχ. 2-9). Σε άλλο σημείο του κεφαλαίου θα συζητηθούν μερικές από τις χαρακτηριστικές αιτίες



ΣΧΗΜΑ 2-9. *Ο αστροναύτης Edwin Albrin, ενώ βαδίζει επάνω στο έδαφος της σελήνης. Το βάρος του είναι το ίδιο με αυτό που είχε στη γη; Η μάζα του είναι η ίδια;*

σφαλμάτων κατά τη μέτρηση του βάρους. Θα πρέπει να γίνει σαφές σε όλους όσους ζουν στη διαστημική εποχή ότι οι λέξεις "βάρος" και "μάζα" δεν σημαίνουν το ίδιο πράγμα. Ένα αντικείμενο εξακολουθεί να έχει μάζα ακόμα και όταν δεν έχει βάρος. Καθώς οι αστροναύτες κινούνται απομακρυνόμενοι από τη γη, το βάρος τους συνεχώς μειώνεται. Όταν οι δυνάμεις βαρύτητας της γης και της σελήνης έχουν ισορροπήσει, το βάρος των αστροναυτών είναι μηδέν. Η συνθήκη της ελλείψεως βαρύτητας μπορεί να επιτευχθεί και με άλλους τρόπους, όμως πάντοτε όλα τα αντικείμενα, έστω αν χάνουν το βάρος τους, έχουν πάντοτε μάζα.

Η έννοια της μάζας είναι θεμελιώδης, συγκεκριμένη και αντιληπτή. Το βάρος είναι μόνο η δύναμη που εξασκείται πάνω σε ένα αντικείμενο από κάποιο σώμα, όπως η γη, και ποικίλλει αναλόγως των διαφόρων κατά τόπους συνθηκών. Επομένως, μάζα και βάρος είναι σίγουρα διαφορετικές έννοιες.

2.7 Η άνωση του αέρα.

Διαπιστώσατε ότι υπάρχει άμεση σχέση ανάμεσα στο βάρος και τη μάζα ενός σώματος. Επίσης, διδαχτήκατε ότι ένας απλός τρόπος, για να μετρήσετε τη μάζα ενός σώματος, είναι να το τοποθετήσετε στον έναν βραχίονα ενός ζυγού και κατόπιν να τοποθετήσετε στον άλλο βραχίονα αντικείμενα γνωστής μάζας (αντίβαρα) μέχρι να ισορροπήσει ο ζυγός. Η μάζα του σώματος είναι ίση ακριβώς με το σύνολο των μαζών των αντικειμένων που το εξισορροπούν (αντίβαρα). Αυτό όμως ισχύει μόνο αν η ζύγιση πραγματοποιείται υπό κενό. Το "κενό" είναι ένας χώρος κυριολεκτικά άδειος*. Αν θέλαμε να ζυγίσομε υπό κενό, θα έπρεπε ο ζυγός και τα αντικείμενα της γνωστής και της άγνωστης μάζας να βρίσκονται μέσα σε ένα αεροστεγές κουτί, από το οποίο να έχει αφαιρεθεί όλος ο αέρας. Στην πραγματικότητα όμως θα ήταν μεγάλος κόπος να ζυγίζομε αντικείμενα υπό κενό. Έτσι, είναι απαραίτητο να βρούμε γιατί η παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα καθιστά τη ζύγιση ανακριβή και, αν είναι δυνατόν, ποιος τρόπος υπάρχει, για να τη διορθώσομε. Η διόρθωση που χρειάζεται να γίνει ονομάζεται ***διόρθωση του σφάλματος που οφείλεται στην άνωση***.

Το πείραμα που ακολουθεί και που θα σας επιδείξει ο καθηγητής σας, θα σας βοηθήσει να καταλάβετε την επίδραση της ανώσεως. Θα σας βοηθήσει επίσης να καταλάβετε και κατά τη διάρκεια της συζητήσεως που θα ακολουθήσει

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

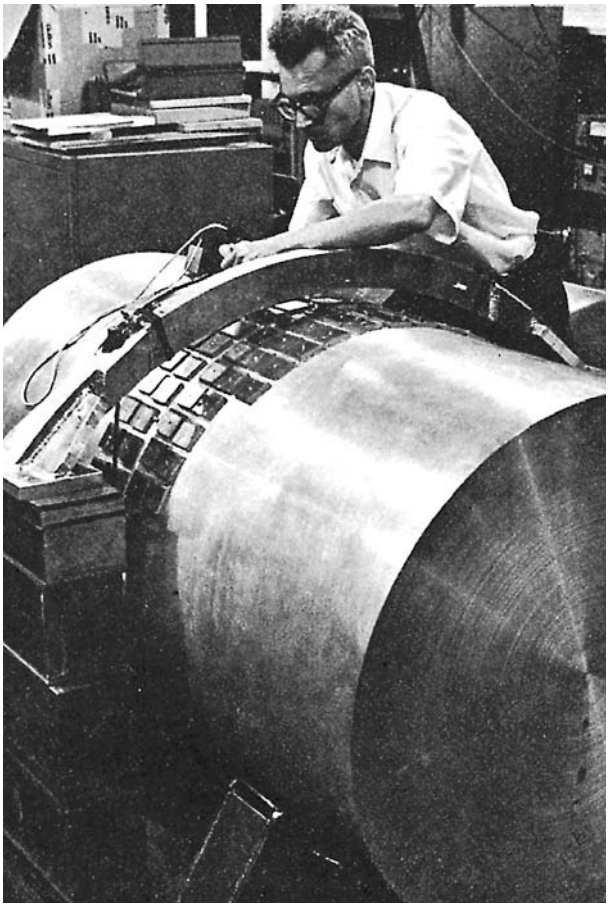
2.8 Το φαινόμενο της ανώσεως.

Ακόμη και αν διαθέταμε μια συσκευή που θα μας έδινε τη δυνατότητα να ζυγίζομε ένα αντικείμενο πρώτα στον αέρα και μετά σε κενό αέρος, οι διαφορές που θα ήταν δυνατόν να προσδιορισθούν θα ήταν σχετικά μικρές. Για να καταφέρομε να δημιουργήσομε μεγαλύτερες διαφορές, ώστε να μπορούν να μετρηθούν, ζυγίζομε αντικείμενα πρώτα στον αέρα και μετά μέσα στο νερό. Επειδή το βάρος ενός ορισμένου όγκου νερού είναι αισθητά μεγαλύτερο από το βάρος της μάζας ίσου όγκου αέρα, το φαινόμενο της ανώσεως στο νερό θα είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό στον αέρα.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτού του πειράματος είναι τα προσδιορίσετε τη διαφορά που υπάρχει στο βάρος ενός αντικειμένου, όταν το ζυγίζετε στον αέρα και όταν το ζυγίζετε μέσα στο νερό. Θα σας βοηθήσει να μάθετε πώς γίνονται διορθώσεις όταν υπάρχει άνωση. Με τη βοήθεια αυτών των διορθώσεων θα είστε σε θέση να προσδιορίσετε την πραγματική μάζα ενός σώματος.

* *Σ.τ.Μ. Η αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα σε ένα περιορισμένο χώρο πραγματοποιείται με ειδικές αντλίες, που αναρροφούν τον αέρα.*



Joseph Weber
(1919 -)

΄Εχουν περάσει σχεδόν τριακόσια χρόνια από τότε που ο Νεύτων είχε προτείνει μια εξίσωση που προέβλεπε σωστά τα αποτελέσματα των δυνάμεων της βαρύτητας. Επίσης αρκετές δεκαετίες πέρασαν από τότε που ο Albert Einstein μελέτησε τη βαρύτητα και μερικές από τις ιδιότητές της με βάση μια θεωρία του που ονομάστηκε "Γενική θεωρία της σχετικότητας". Κανείς όμως δεν έχει καταφέρει να εξηγήσει πώς λειτουργεί η βαρύτητα.

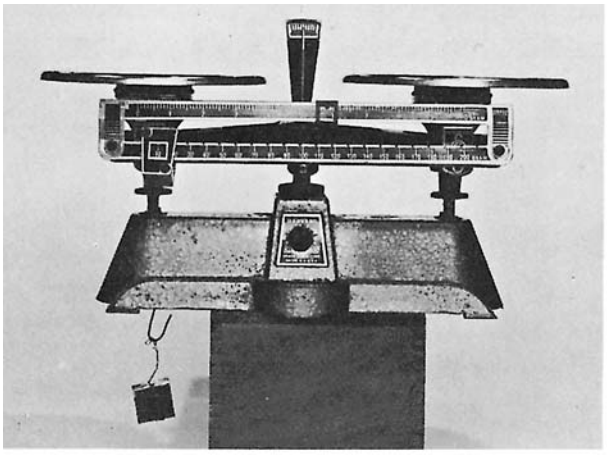
Ο Joseph Weber, καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Meryland, προσπάθησε να ανακαλύψει μερικά από τα μυστικά αυτής της κοινής αλλά μυστηριώδους δυνάμεως. Από το 1958 προσπαθεί να ανιχνεύσει αυτά τα εξαιρετικά ανεπαίσθητα κύματα βαρύτητας που προέβλεψε ο Einstein. Επειδή, χρειάζεται τεράστια ποσότητα ύλης για να παραχθούν αρκετά ισχυρά κύματα, ώστε να ανιχνευτούν, ο Weber αποφάσισε να συγκεντρώσει την προσοχή του σε μερικά αστέρια και γαλαξίες στο πολύ μακρινό διάστημα. Υπολόγισε ότι η ενέργεια από τα εισερχόμενα κύματα βαρύτητας θα πρέπει να είναι ικανή να δημιουργήσει ταλαντώσεις σε άλλα μεγάλα σώματα. Για ένα διάστημα προσπάθησε να μεταχειρισθεί ολόκληρη τη γη σαν ανιχνευτή, αλλά εγκατέλειψε αυτήν την ιδέα όταν διαπίστωσε ότι οι σεισμοί και άλλες διαταραχές βαθιά μέσα στη γη επιδρούν στις ταλαντώσεις, τις οποίες παρακολουθούσε. Το 1968 ο Weber κατασκεύασε δυο μεγάλους κυλίνδρους από αλουμίνιο που ζύγιζαν από 3,5 τόνους ο καθένας, ώστε να τους χρησιμοποιεί σαν ανιχνευτές. Ευαίσθητοι κρύσταλλοι πάνω στις πλευρές των κυλίνδρων δημιουργούσαν ελάχιστες ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος, όταν οι κύλινδροι ταλαντώνονταν. Για να περιορίσει την πιθανότητα επιδράσεως τοπικών διαταραχών πάνω στα αποτελέσματα των μετρήσεών του τοποθέτησε τον ένα κύλινδρο στο Maryland και τον άλλο χίλια περίπου χιλιόμετρα μακρύτερα, κοντά στο Σικάγο. Αν οι δύο ανιχνευτές κατέγραφαν ταλαντώσεις ταυτόχρονα σε στιγμές που η γη δεν προκαλούσε κάποια ταλάντωση, η ενέργεια θα έπρεπε να ερχόταν από κάποια πηγή που δεν είχε σχέση με τον δικό μας πλανήτη. ΄Οταν οι συσκευές σημάτων άρχισαν να λειτουργούν στα τέλη του 1968 άρχισε να καταγράφει ένα πλήθος σημάτων. Διερευνώντας προσεκτικά διάφορα τμήματα του ουρανού ο Weber ανακάλυψε ότι τα κύματα έμοιαζαν να δημιουργούνται στο κέντρο του Γαλαξία, του οποίου το ηλιακό μας σύστημα αποτελεί ένα ελάχιστο τμήμα. Οι επιστήμονες εξακολουθούν να μην μπορούν να εξηγήσουν την προέλευση των κυμάτων, αλλά έχουν κάνει ένα ακόμα βήμα προς την καλύτερη κατανόηση της βαρύτητας.

ΥΛΙΚΑ

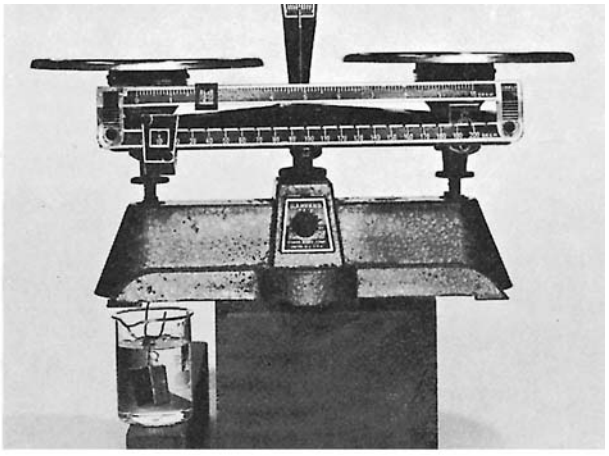
Μόλυβδος, 1 κομμάτι
Αλουμίνιο, 1 κομμάτι
Ποτήρι 100 ml
Ζυγός με έναν ή με δύο δίσκους
Βάση για το ζυγό των δύο δίσκων, αν πρόκειται να χρησιμοποιήσετε έναν τέτοιο ζυγό
΄Αγκιστρο για να κρεμάτε αντικείμενα από το δίσκο του ζυγού
60-80 cm κλωστή ή πολύ λεπτό σύρμα
Μερικές χαρτοπετσέτες
Διάλυμα απορρυπαντικού
Σταγονόμετρο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

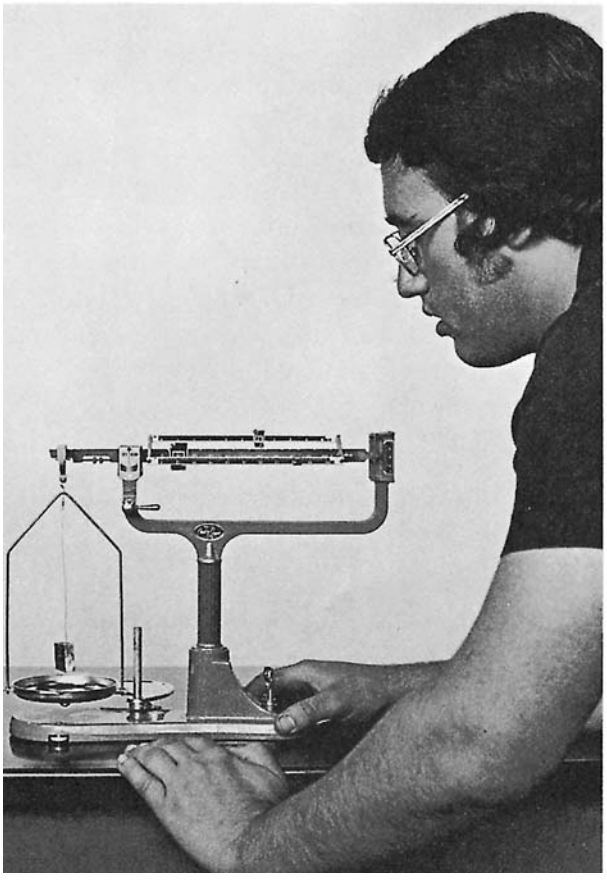
1. Πάρτε ένα κομμάτι μολύβδου κι ένα αλουμινίου που να ζυγίζουν περίπου το ίδιο με προσέγγιση 0,1 του γραμμαρίου. Δέστε ένα κομμάτι κλωστή ή πολύ λεπτό σύρμα γύρω από το αλουμίνιο και κρεμάστε το από το άγκιστρο στο ζυγό σας. Αν θέλετε, μπορείτε να μεταχειρισθείτε ζυγό είτε με δύο δίσκους είτε με έναν. Αν χρησιμοποιήσετε ζυγό με δύο δίσκους πρέπει να τοποθετήσετε αυτόν πάνω σε ένα κουτί ή κάποιο άλλο κατάλληλο υποστήριγμα, ώστε να ανυψωθεί η βάση του ζυγού κατά δέκα έως δεκαπέντε εκατοστά πάνω από τον πάγκο εργασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-10α. Αν χρησιμοποιήσετε ζυγό με ένα δίσκο, τότε ακολουθήσετε τη διάταξη του σχήματος 2-11α. Μετρήστε το φαινόμενο (apparent) βάρος του κομματιού του αλουμινίου και καταγράψτε το αποτέλεσμα στο τετράδιό σας κάτω από την επικεφαλίδα “βάρος του αλουμινίου στον αέρα”.
2. Τώρα τοποθετήστε ένα μικρό ποτήρι με νερό κάτω από το κομμάτι του αλουμινίου έτσι, ώστε ολόκληρο το κομμάτι του μετάλλου να είναι εντελώς βυθισμένο στο νερό, όπως στα σχήματα 2-10β ή 2-11β. Ένας μικρός ξύλινος κύβος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, για να στερεώσετε το ποτήρι, όπως στο σχήμα 2-10β. Σημειώστε πάλι το βάρος του αλουμινίου κάτω από την επικεφαλίδα “βάρος του αλουμινίου μέσα στο νερό”.
3. Δέστε ένα κομμάτι κλωστή ή λεπτό σύρμα γύρω από το κομμάτι μολύβδου. Κρεμάστε το μόλυβδο από το άγκιστρο στο ζυγό και ζυγίστε τον πρώτα στον αέρα και έπειτα μέσα στο νερό. Καταγράψτε τα βάρη στο τετράδιό σας, κάτω από τους τίτλους “βάρος μολύβδου στο αέρα” και “βάρος μολύβδου μέσα στο νερό”.
4. Τοποθετήστε ένα μικρό ποτήρι πάνω στον πάγκο εργασίας, αφού στρώσετε προηγουμένως μια χαρτοπετσέτα, και προσθέστε 4-5 σταγόνες διαλύματος απορρυπαντικού (το διάλυμα αυτό δίνει στο νερό ορισμένες ιδιότητες που τις χρειαζόμαστε σε αυτό το πείραμα). Προσθέστε νερό στο ποτήρι, μέχρι να γεμίσει εντελώς και να χυθεί λίγο νερό έξω από τα χείλη του. Κρατήστε το κομμάτι του αλουμινίου, που μεταχειρισθήκατε στα στάδια 1 και 2, από την κλωστή του και βυθίστε το αργά μέσα στο νερό κατά τρόπο τέτοιο ώστε το νερό που θα εκτοπισθεί να τρέξει έξω από το ποτήρι και επάνω στη χαρτοπετσέτα. Απομακρύνατε το αλουμίνιο από το ποτήρι με το νερό. Σκουπίστε προσεκτικά από έξω το ποτήρι και αφού το τοποθετήσετε μαζί με το νερό που έχει απομείνει πάνω σε ένα ζυγό, ζυγίστε το. Γράψτε τα αποτελέσματα στη θέση του τετραδίου σας που προορίζεται για το «βάρος του ποτηριού και του νερού αφού βυθίσομε σε αυτό το αλουμίνιο».
5. Με το ποτήρι ακόμη στο ζυγό προσθέστε προσεκτικά νερό μέχρις ότου σχεδόν γεμίσει. Στη συνέχεια, με ένα σταγονόμετρο γεμίστε εντελώς το ποτήρι προσέχοντας να μην τρέξει νερό από έξω. Αν χυθούν έξω μια ή δύο



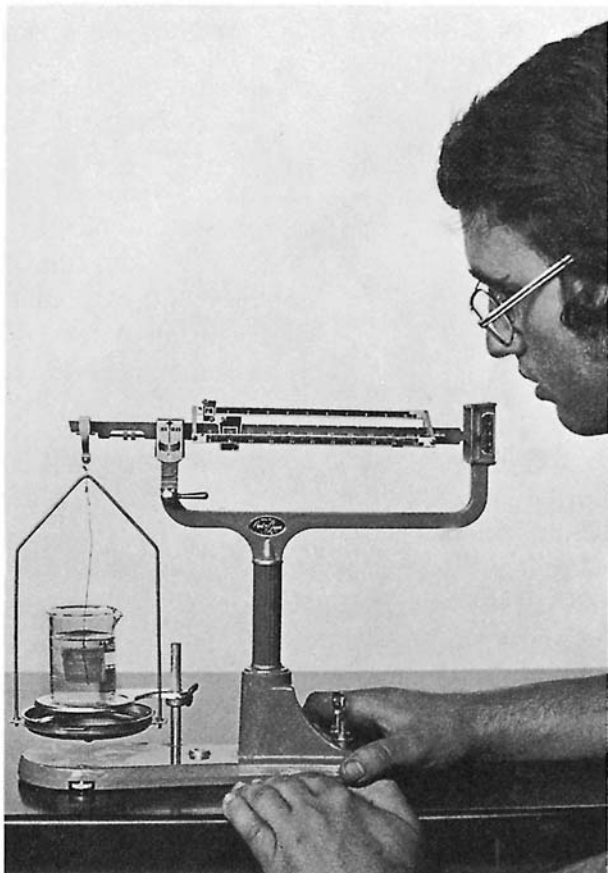
ΣΧΗΜΑ 2-10α.



ΣΧΗΜΑ 2-10β.



ΣΧΗΜΑ 2-11α.



ΣΧΗΜΑ 2-11β.

σταγόνες σκουπίστε τις με ένα χαρτομάντηλο, αλλά μην προσπαθήσετε να μετακινήσετε το ποτήρι, γιατί το πιθανότερο είναι να χυθεί και άλλο νερό. Ζυγίστε το ποτήρι που είναι γεμάτο νερό και σημειώστε το αποτέλεσμα στην ανάλογη θέση του πίνακά σας. Αφαιρέστε το βάρος που βρήκαμε στο στάδιο 4 από αυτό το βάρος, ώστε να προσδιορίσετε το "βάρος του νερού που εκτοπίσθηκε από το αλουμίνιο". Απομακρύνατε το ποτήρι με το νερό από το ζυγό και βεβαιωθείτε ότι έχετε σκουπίσει το δίσκο του ζυγού καλά, αν προηγουμένως χύθηκε πάνω σε αυτόν λίγο νερό.

6. Επαναλάβατε τα στάδια 4 και 5 χρησιμοποιώντας μόλυβδο στη θέση του αλουμινίου. Καταγράψτε τη διαφορά στα βάρη ως το "βάρος του νερού που εκτοπίσθηκε από το μόλυβδο".

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αφήστε χώρο στο τετράδιό σας για καθεμία από τις παρακάτω μετρήσεις (όλες οι μετρήσεις να εκφρασθούν σε γραμμάρια).

Βάρος του αλουμινίου στον αέρα.
Βάρος του αλουμινίου στο νερό.
Απώλεια βάρους του αλουμινίου.
Βάρος του γεμάτου με νερό ποτηριού.
Βάρος του ποτηριού με το νερό μετά την εμβάπτιση του αλουμινίου.
Βάρος νερού που εκτοπίσθηκε από το αλουμίνιο.

Βάρος του μολύβδου στον αέρα.
Βάρος του μολύβδου στο νερό.
Απώλεια βάρους του μολύβδου.
Βάρος του γεμάτου με νερό ποτηριού μετά την εμβάπτιση του μολύβδου.
Βάρος νερού που εκτοπίσθηκε από το μόλυβδο.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στην απώλεια βάρους του αλουμινίου, όταν βυθίσθηκε στο νερό, με το βάρος του νερού που εκτοπίσθηκε από το αλουμίνιο;
2. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στην απώλεια βάρους του μολύβδου, όταν βυθίσθηκε στο νερό, με το βάρος του νερού που εκτοπίσθηκε από το μόλυβδο;
3. Αν και τα κομμάτια του αλουμινίου και του μολύβδου ζύγιζαν περίπου το ίδιο στην αρχή του πειράματος, τι εξήγηση δίνετε στο γεγονός ότι η απώλεια βάρους που εμφανίζουν όταν βυθίζονται στο νερό είναι διαφορετική;
4. Όταν κάποιο αντικείμενο βυθίζεται μέσα στο νερό, τότε το νερό που το περιβάλλει τι επίδραση ασκεί πάνω στο αντικείμενο;
5. Αν το βάρος του νερού που εκτοπίζεται από κάποιο αντικείμενο είναι μικρότερο από το βάρος του αντικειμένου στον αέρα, τι θα συμβεί στο αντικείμενο, όταν αυτό πέσει μέσα στο νερό;
6. Υποθέστε ότι ένα αντικείμενο είναι εντελώς βυθισμένο στο νερό. Υποθέστε ακόμη ότι το βάρος του νερού που εκτοπίσθηκε είναι μεγαλύτερο από ή ίσο με το βάρος του αντικειμένου στον αέρα. Τι θα συμβεί σε αυτό το αντικείμενο, αν αφεθεί ελεύθερο μέσα στο νερό;
7. Φουσκώστε ένα μπαλόνι με τον αέρα που εκπνέετε και δέστε το στόμιό του. Θα διαπιστώσετε πως, αν το αφήσετε ελεύθερο, θα πέσει στη γη. Αντίθετα, θα έχετε παρατηρήσει ότι ένα μπαλόνι του ίδιου μεγέθους γεμισμένο με αέριο ήλιο θα ανυψωθεί στον αέρα. Αν δεχθείτε ότι όλα τα υλικά, συμπεριλαμβανομένου και του ηλίου, έχουν μάζα, πώς εξηγείτε το

2.9 *Πώς να διορθώνετε το σφάλμα μετρήσεως που οφείλεται στην άνωση.*

Θα χρησιμοποιήσομε τώρα ένα μέρος από τις γνώσεις που αποκτήσαμε στο προηγούμενο πείραμα, για να εξηγήσομε πώς θα διορθώνομε το σφάλμα που γίνεται στις ζυγίσεις λόγω του φαινομένου της ανώσεως. Είδατε ότι, αν ένα αντικείμενο ζυγίζεται, ενώ είναι βυθισμένο στο νερό, ζυγίζει λιγότερο από ό,τι αν ζυγισθεί με το συνηθισμένο τρόπο. Το ποσό του βάρους που φαίνεται να χάνει είναι ίσο με το βάρος της μάζας του νερού που καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο με το αντικείμενο. Προσθέτοντας το βάρος της μάζας του νερού που εκτοπίσθηκε στην ένδειξη που πήραμε από το ζυγό, όταν το αντικείμενο βυθίστηκε στο νερό, παίρνομε το ίδιο αποτέλεσμα, σαν να είχαμε ζυγίσει το αντικείμενο στον αέρα.

Ίσως να νομίζετε ότι όλα αυτά είναι μια περιττή άσκηση. Αν θέλομε να μάθομε το βάρος ενός αντικειμένου στον αέρα, αρκεί να το ζυγίσομε στον αέρα. Γιατί να το ζυγίσομε μετά στο νερό και στη συνέχεια να διορθώνομε την επίδραση της ανώσεως του νερού; Το πείραμα αυτό δεν έγινε, για να σας διευκολύνει να ζυγίσετε αντικείμενα στο νερό και μετά να διορθώσετε τα βάρη από την επίδραση της ανώσεως. Σκοπός του ήταν να κατανοήσετε το φαινόμενο της ανώσεως εύκολα και να εκτελέσετε τις σχετικές μετρήσεις. Η άνωση που οφείλεται στον αέρα δεν είναι τόσο εμφανής.

Όταν ζυγίζομε ένα αντικείμενο στον αέρα, θα πρέπει πάλι να προβούμε σε διόρθωση του σφάλματος που οφείλεται στην άνωση, αν έχομε σκοπό να βρούμε την πραγματική μάζα του αντικειμένου από την ένδειξη βάρους του ζυγού. Ο αέρας ασκεί άνωση πάνω σε κάθε αντικείμενο που βρίσκεται μέσα σε αυτόν. Ένα αντικείμενο ζυγίζει λιγότερο στον αέρα από ό,τι στο κενό. Το βάρος του είναι λιγότερο κατά το βάρος της μάζας του αέρα που καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο με το αντικείμενο. Επειδή δεν εξυπηρετεί να ζυγίζομε πράγματα υπό κενό, τα ζυγίζομε στον αέρα και μετά πραγματοποιούμε τις απαραίτητες διορθώσεις, για να διορθώσομε το σφάλμα που οφείλεται στην άνωση και να βρούμε κάποιον αριθμό πλησιέστερο στο πραγματικό βάρος και, κατά συνέπεια, στην πραγματική μάζα. Πραγματική μάζα είναι η ένδειξη που θα μας έδινε ο ζυγός, αν ζυγίζαμε υπό κενό και δεν υπήρχαν άλλες πηγές σφάλματος.

Οι διορθώσεις της ανώσεως που θα πρέπει να γίνουν, προκειμένου για ζύγιση στον αέρα, είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες που γίνονται για ζυγίσεις μέσα στο νερό. Ένας συγκεκριμένος όγκος αέρα ζυγίζει περίπου $\frac{1}{680}$ από ό,τι ο ίδιος όγκος νερού. Το διορθωτικό ποσό λόγω της ανώσεως που χρειάσθηκε το κομμάτι του αλουμινίου, όταν ζυγίσθηκε στο νερό, ήταν 1,5 γραμμάριο. Αν ζυγιζόταν στον αέρα, το διορθωτικό ποσό θα ήταν μόνο:

$$\frac{1,5}{800} = 0,0019 \text{ g.}$$

Το ποσό αυτό αν προστεθεί στο βάρος που είχε το κομμάτι του αλουμινίου, όταν ζυγίσθηκε μέσα στον αέρα, δίνει το βάρος που θα είχε, αν ζυγιζόταν υπό κενό και κατά συνέπεια την πραγματική του μάζα. Στις περισσότερες εργαστηριακές σας δραστηριότητες θα μεταχειρισθείτε ζυγούς, που μπορούν να δώσουν ενδείξεις με ακρίβεια μόνο 0,01 γραμμαρίου. Τόσο μικρά σφάλματα δεν είναι σημαντικά.

Υπάρχει μια περίπτωση, στην οποία η διόρθωση της ανώσεως από τον αέρα γίνεται σημαντική, έστω και αν ζυγίζετε με ακρίβεια 0,01 γραμμαρίου. Τι συμβαίνει αν ζυγίσετε ένα πολύ βαρύ αντικείμενο; Ας υποθέσομε ότι ζυγίζετε ένα δοχείο χωρητικότητας ενός τετάρτου του λίτρου, το οποίο κατά συνέπεια εκτοπίζει ένα τέταρτο του



ΣΧΗΜΑ 2-12. *Όταν ζυγίσομε ένα μεγάλο ελαφρύ αντικείμενο στον αέρα και θέλομε να μετρήσομε με ακρίβεια τη μάζα του, είναι απαραίτητο να διορθωθεί το σφάλμα που οφείλεται στην άνωση.*

λίτρου αέρα, όπως στο σχήμα 2-12. Ένα τέταρτο του λίτρου αέρα έχει μάζα περίπου 1,2 γραμμάρια κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πιέσεως. Προκειμένου να υπολογίσομε ακριβώς την πραγματική μάζα του δοχείου, θα πρέπει να γίνει μια διόρθωση κατά το μέγεθος αυτό. Αργότερα θα πραγματοποιήσετε ένα πείραμα στο οποίο θα πρέπει να προσδιορισθεί η μάζα ενός αντικειμένου περίπου του ίδιου μεγέθους, από το βάρος που έχει στον αέρα. Προς το παρόν αυτό που έχει σημασία να αντιληφθείτε, σε σχέση με το αποτέλεσμα της ανώσεως, είναι ότι η άνωση δημιουργεί διαφορά ανάμεσα στην ένδειξη που παίρνετε από ένα ζυγό, δηλαδή το βάρος του αντικειμένου, και τη μάζα του. Η ύπαρξη αυτού του φαινομένου παρέχει μια σημαντική απόδειξη για τη διαφορά μεταξύ βάρους και μάζας.

2.10 *Διάφορες άλλες αιτίες σφάλματος κατά τη ζύγιση.*

Μόλις πριν λίγο μάθατε ότι η μάζα ενός αντικειμένου που προσδιορίσθηκε ζυγίζοντάς το στην επιφάνεια της γης θα είναι λανθασμένη, αν δεν συνυπολογισθεί το αποτέλεσμα της ανώσεως που ασκεί πάνω του η γήινη ατμόσφαιρα. Η σημασία αυτού του αποτελέσματος είναι μεγαλύτερη, αν πρόκειται για αντικείμενα που είναι ταυτοχρόνως ελαφρά και ογκώδη. Υπάρχουν και άλλα σφάλματα, που είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις ζυγίσεις. Μερικά από αυτά θα αναφερθούν εδώ, για να τονισθεί ότι το βάρος ενός αντικειμένου μπορεί να θεωρηθεί ίσο με τη μάζα του, μόνο όταν η ζύγιση έγινε κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Φυσικά, και η συσκευή που χρησιμοποιείται για τις ζυγίσεις θα πρέπει να είναι υψηλής ακριβείας, σε καλή κατάσταση λειτουργίας και να έχει ελεγχθεί προσεκτικά με τη βοήθεια διαφόρων αντικειμένων γνωστής μάζας. Ας μελετήσομε μερικά από τα πιο επικίνδυνα λάθη που ίσως προκύψουν κατά τη ζύγιση.

Η γη δεν είναι επίπεδη, δεν έχει ομοιόμορφη σύσταση και δεν είναι ακριβώς στρογγυλή. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζουν την ακρίβεια των προσδιορισμών της μάζας της. Οι αιτίες είναι προφανείς, αν θελήσομε να τις εξετάσομε. Αφού η γη δεν είναι επίπεδη*, θα πρέπει να λάβομε υπ' όψη μας το υψόμετρο, στο οποίο γίνονται οι ζυγίσεις. Η ακτίνα της γης είναι περίπου 6.800 χιλιόμετρα (km). Αν ζυγίσομε ένα αντικείμενο σε κάποιο σημείο της επιφάνειάς της, που απέχει 6800 km από το κέντρο της γης κα μετά το ξαναζυγίσομε πάνω σε ένα βουνό, που έχει ύψος 7 km, θα διαπιστώσομε ότι τα αποτελέσματα θα διαφέρουν. Όπως προκύπτει από την εξίσωση που εκφράζει το Νόμο της Βαρύτητας του Νεύτωνα (αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2), όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από το κέντρο της γης, τόσο μικρότερη θα είναι η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσα στο αντικείμενο και τη γη.

Το βάρος που μετρήθηκε στην κορυφή του βουνού θα είναι μικρότερο από το βάρος που είχε στο χαμηλότερο υψόμετρο κατά ένα συντελεστή

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong 0{,}998$$

Αυτό το μικρό σφάλμα δεν θα ληφθεί ποτέ υπόψη στα πειράματα που θα γίνουν κατά τη διάρκεια αυτών των μαθημάτων. Υπολογίζεται συνήθως σε μετρήσεις μεγάλης ακριβείας, που χρειάζονται σε ορισμένες ειδικές έρευνες.

Ανάλογο αποτέλεσμα προκύπτει από το γεγονός οτι η γη δε είναι τέλεια σφαίρα αλλά είναι λίγο πεπλατυσμένη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-13. Στο επίπεδο της θάλασσας, στον ισημερινό, βρίσκεστε περίπου 44 km μακρύτερα από το κέντρο της γης από ό,τι αν είσαστε στο επίπεδο της θάλασσας κοντά σε κάποιον από τους



ΣΧΗΜΑ 2-13. *Αυτή η φωτογραφία, που ελήφθη από ύψος 38.000 km, δείχνει ότι η γη δεν είναι τέλεια*

* *Σ.τ.Μ. Έχει βουνά, κοιλάδες, θάλασσες κλπ.*

πόλους. Έτσι, η έλξη της γης πάνω σε ένα αντικείμενο θα είναι μικρότερη στον ισημερινό από ό,τι στους πόλους κατά ένα συντελεστή κατά προσέγγιση

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong 0{,}998$$

Το γεγονός ότι η σύσταση της γης δεν είναι ομοιόμορφη, μπορεί να επηρεάσει το βάρος έτσι ώστε να έχει πρακτική σημασία. Κατά μέσο όρο η γη έχει μάζα ανά μονάδα όγκου περίπου 5,5 γραμμάρια ανά χιλιοστό του λίτρου. Η μάζα ανά μονάδα όγκου του πετρελαίου είναι μόνο περίπου 0,9 γραμμάρια ανά χιλιοστό του λίτρου. Αν μια ζύγιση γίνει σε κάποιο σημείο της γης, που βρίσκεται κατ' ευθείαν πάνω από κάποιο μεγάλο κοίτασμα πετρελαίου η έλξη της βαρύτητας θα είναι λίγο μικρότερη από ό,τι θα ήταν αν το ίδιο κοίτασμα αποτελούνταν από υλικό μεγαλύτερης πυκνότητας. Υπάρχει λιγότερη ύλη στο κοίτασμα του πετρελαίου από ό,τι σε ίδιο όγκο πέτρας. Γι' αυτό και ασκείται μικρότερη έλξη στο αντικείμενο που ζυγίζεται. Η διαφορά αυτή είναι εξαιρετικά μικρή, αλλά έχουν κατασκευασθεί συσκευές που την προσδιορίζουν και έτσι έχουν ανακαλυφθεί μερικά μεγάλα κοιτάσματα πετρελαίου.

Όταν οι ζυγίσεις γίνονται με τα όργανα που ονομάζονται δυναμόμετρα τότε τα διάφορα σφάλματα, που μόλις αναφέρθηκαν, επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα.

Αν όμως χρησιμοποιούνται ζυγοί, αυτά τα σφάλματα περιορίζονται.

Ας επιστρέψομε στη γενικευμένη μαθηματική εξίσωση, πάνω στην οποία βασίζεται ο ζυγός:

$$m_1 d_1 = m_2 d_2$$

Όπως και προηγουμένως το m_1 παριστάνει την άγνωστη μάζα που θέλομε να μετρήσομε και το m_2 είναι η γνωστή μάζα που χρησιμοποιείται για σύγκριση (σταθμά). Η απόσταση της μάζας από το υπομόχλιο είναι d. Η εξίσωση είναι δυνατόν να τροποποιηθεί στην ακόλουθη μορφή:

$$\left(\frac{6800}{6807}\right)^2 \cong$$

Οποιοσδήποτε από τους τρεις παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως και που σχετίζεται με το σχήμα και τη σύσταση της γης θα ελαττώσει (ή θα αυξήσει) την έλξη της γης πάνω στο αντικείμενο της άγνωστης αλλά και της γνωστής μάζας (σταθμά) κατά το ίδιο ποσοστό. Έτσι, η αναλογία των δύο μαζών θα μείνει αμετάβλητη, όπως και οι δύο αποστάσεις, ενώ η ένδειξη του ζυγού θα εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει το σωστό βάρος του αντικειμένου που ζυγίζομε. Αυτό ακριβώς είναι και το πλεονέκτημα του ζυγού έναντι του δυναμόμετρου. Πολλά πιθανά σφάλματα κατά τον προσδιορισμό της μάζας είναι δυνατόν να περιορισθούν σε ένα ζυγό εξ αιτίας

Περίληψη.

Το βάρος είναι κάτι διαφορετικό από τη μάζα. Το βάρος είναι ανάλογο με την έλξη που ασκεί η γη (ή κάποιο άλλο σώμα) επάνω σε ένα αντικείμενο.

Το μέγεθος αυτής της έλξεως μπορεί να μεταβληθεί κάτω από διαφορετικές συνθήκες, ενώ η πραγματική μάζα του αντικειμένου (δηλαδή το ποσό της ύλης που περιέχει) δεν αλλάζει. Μια από τις συνθήκες που επηρεάζει το βάρος ενός αντικειμένου καθιστώντας το διαφορετικό από τη μάζα είναι η επίδραση της ανώσεως που δέχεται το αντικείμενο αυτό, εξ αιτίας του μέσου στο οποίο βρίσκεται βυθισμένο κατά τη ζύγιση. Το βάρος του βυθισμένου αντικειμένου θα είναι μικρότερο από τη μάζα του κατά ένα συγκεκριμένο ποσό. Το ποσό αυτό είναι ίσο με το βάρος της μάζας του μέσου στο οποίο βρίσκεται βυθισμένο το αντικείμενο και έχει ίσο όγκο με τον όγκο του αντικειμένου που ζυγίζεται. Αν θέλομε το βάρος να είναι ίσο με τη μάζα έστω και αν δεν υπάρχουν κάποιες αιτίες σφάλματος, τότε θα πρέπει η ζύγιση να γίνει υπό κενό. Για πρακτικούς λόγους συνήθως ζυγίζομε τα αντικείμενα στον αέρα. Γι' αυτό, όταν θέλομε να βρούμε κάποιο αποτέλεσμα με ικανοποιητικό βαθμό ακριβείας θα πρέπει να πραγματοποιήσομε μια διόρθωση, κατά την οποία θα λάβομε υπόψη τα αποτελέσματα της ανώσεως του αέρα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γιατί σημειώθηκε μεγαλύτερη μείωση στη φαινομενική μάζα του κομματιού του αλουμινίου από ό,τι στη φαινομενική μάζα του κομματιού του μολύβδου, όταν ζυγίσθηκαν και τα δύο μέσα στο νερό;

2. Γιατί η διόρθωση της ανώσεως για μια ζύγιση που γίνεται στον αέρα είναι μικρότερη από αυτήν που απαιτείται, αν η ζύγιση αυτή γίνει μέσα στο νερό;

Κατά τις χημικές αντιδράσεις έχομε μετρήσιμη μεταβολή της μάζας;

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

2.11 Διερεύνηση μερικών αντιδράσεων για πιθανές μεταβολές της μάζας.

Σε προηγούμενο πείραμα είδατε ότι όταν καίγεται ένα κερί, ένα μέρος από την ουσία του κεριού φαίνεται ότι χάνεται ενώ σχηματίζονται δύο νέες ουσίες, το νερό και το αέριο που ονομάζεται διοξείδιο του άνθρακα. Διαπιστώσατε επίσης ότι είναι απαραίτητη η παρουσία του αερίου που ονομάζεται οξυγόνο και ότι κατά τη διάρκεια της καύσεως καταναλώνεται οξυγόνο. Δηλαδή βρήκατε ότι η καύση του κεριού είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει πολλές μετατροπές ουσιών σε άλλες ουσίες.

ΣΚΟΠΟΣ

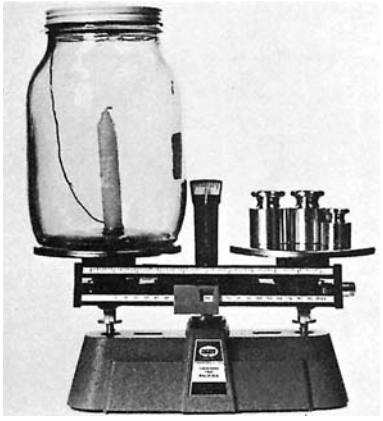
Θα προσπαθήσετε να διαπιστώσετε αν εμφανίζεται κάποια αλλαγή στο συνολικό ποσό της ύλης που λαμβάνει μέρος σε μερικές, διαφορετικού τύπου, μεταβολές.

ΥΛΙΚΑ

Σύρμα χαλκού #16 (περίπου 100 cm)
Ζυγός
Κερί
100 ml αραιό θειικό οξύ
Γυάλινο βάζο με καπάκι ή φιάλη χωρητικότητας περίπου 4 L
Ένα παγάκι ή μερικά κομμάτια τριμμένου πάγου
100 ml αραιό διάλυμα $BaCl_2$ σε νερό
2 φιάλες 250 ml
Φιάλη 500 ml

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α.



ΣΧΗΜΑ 2-14.

1. Τυλίξτε μια άκρη του χάλκινου σύρματος σφικτά γύρω από την κάτω άκρη ενός κεριού που έχει διάμετρο περίπου 2 cm και μήκος 5-6 cm. Με τη βοήθεια του σύρματος κατεβάστε το κερί στον πυθμένα ενός γυάλινου δοχείου χωρητικότητας 4 περίπου λίτρων με καπάκι που βιδώνει, ή στον πυθμένα μιας πλαστικής φιάλης της ίδιας περίπου χωρητικότητας, που διαθέτει πώμα, για να κλείνει αεροστεγώς. Κόψτε το χάλκινο σύρμα που περισσεύει, ώστε να στερεωθεί μέσα στο δοχείο χωρίς να εμποδίζει το καπάκι να κλείσει, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-14. Τοποθετήστε το δοχείο ή τη φιάλη με το κερί, το σύρμα και το καπάκι σε έναν κατάλληλο ζυγό. Ρυθμίστε τα αντίβαρα, ώστε να ισορροπήσει ο ζυγός, όπως κατά τη συνήθη ζύγιση.
2. Βγάλτε το κερί από το δοχείο κρατώντας το από το σύρμα, ανάψτε το και κατεβάστε το γρήγορα πάλι στον πυθμένα του δοχείου. Σφραγίστε αμέσως το δοχείο και παρατηρήστε τι συμβαίνει στην ισορροπία του ζυγού, όσο χρόνο καίγεται το κερί.

3. Όταν σβήσει η φλόγα, ανοίξτε το δοχείο, φυσήξτε μέσα σε αυτό, ώστε να απομακρύνετε τα προϊόντα της καύσεως, ή γυρίστε το για μερικά λεπτά ανάποδα, ώστε να διαφύγουν μόνα τους. Στη συνέχεια, τοποθετήστε το δοχείο, μαζί με το κερί που περιέχει, στο δίσκο του ζυγού με το καπάκι τοποθετημένο δίπλα. Αν χρειασθεί ρυθμίστε το ζυγό ώστε να ισορροπήσει. Ανάψτε πάλι το κερί και παρατηρήστε κάθε μεταβολή στο ζυγό.

Μέρος Β.

1. Τοποθετήστε, σε ένα ζυγό μια φιάλη των 500 ml γεμάτη μέχρι τη μέση με νερό θερμοκρασίας 30-35°C.
2. Προσθέστε μέσα μερικά κομμάτια πάγου και κλείστε τη φιάλη.
3. Ισορροπήστε το ζυγό και παρατηρήστε τη συμπεριφορά του κατά το χρόνο που λιώνει ο πάγος. Υπάρχει καμία μεταβολή στην αρχική μάζα;

Μέρος Γ.

1. Τοποθετήστε δύο φιάλες των 250 ml στον ίδιο δίσκο ενός ζυγού. Προσθέστε περίπου 100 ml αραιού διαλύματος θειικού οξέος στην άλλη φιάλη. Ισορροπήστε το ζυγό.
2. Αδειάστε το περιεχόμενο της μιας φιάλης μέσα στην άλλη. Σημειώστε κάθε μεταβολή που τυχόν συμβαίνει. Έχοντας τώρα και τις δύο φιάλες πάνω στο ζυγό, την άδεια και την άλλη που περιέχει κάποια νέα ουσία, σημειώστε κάθε μεταβολή στη μάζα.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Σε ποιο σημείο και γιατί διαφέρουν οι παρατηρήσεις σας στο Μέρος Α-3 από αυτές του Α-2;
2. Τι μπορείτε να συμπεράνετε για τις μεταβολές του συνολικού ποσού της ύλης που λαμβάνει μέρος σε μια αντίδραση, κατά την οποία έχομε μετατροπή της ύλης από μια ουσία σε άλλη διαφορετική;

Διερωτηθείτε:

Σε ποιο συμπέρασμα θα καταλήγατε αν συγκρίνατε τις μεταβολές του Β

2.12 Η μάζα διατηρείται στις χημικές αντιδράσεις.

Ο βασικότερος νόμος της χημείας ίσως είναι ο ***Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας****. Ο νόμος αυτός αποτελεί μια γενίκευση, που βασίστηκε στην εμπειρία εκατοντάδων χημικών πάνω σε πολλών ειδών πειράματα. Όπως είδατε προηγουμένως όταν μια γενίκευση έχει δοκιμασθεί επί τόσο μακρό χρονικό διάστημα και τόσες φορές, ώστε να φαίνεται αδύνατον να είναι λανθασμένη, τότε συνηθίζομε να την ονομάζομε νόμο. Σύμφωνα με το νόμο αυτό: "***Η ύλη μπορεί να αλλάξει μορφή, αλλά δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί***".

Η χημεία ασχολείται κυρίως με τις διαδικασίες εκείνες, κατά τις οποίες πραγματοποιείται μετατροπή της ύλης από τη μια μορφή στην άλλη**. Γι' αυτό ο νόμος αυτός έχει πολύ μεγάλη σημασία για τη χημεία. Ο χημικός, στην

* *Σ.τ.Μ. Ή Νόμος της Αφθαρσίας της Ύλης.*

** *Σ.τ.Μ. Για μεγαλύτερη ακρίβεια "πραγματοποιείται μεταβολή μιας ουσίας σε άλλη διαφορετική ή άλλες διαφορετικές ουσίες".*

προσπάθειά του να κατανοήσει αυτές τις μεταβολές, διαπιστώνει ότι έχει τεράστια σημασία να γνωρίζει πως όσο διαφορετικές κι αν είναι οι ιδιότητες των αρχικών υλικών από αυτές των προϊόντων, το συνολικό ποσό της ύλης θα παραμείνει αμετάβλητο.

Η καθιέρωση του Νόμου της Διατηρήσεως της Μάζας ως βασικού κανόνα για τη χημεία, οφείλεται, κατά μεγάλο μέρος, στις έρευνες του Γάλλου χημικού Lavoisier σχετικά με την καύση. Ήταν τόσο σημαντική η συνεισφορά του, ώστε αξίζει γι' αυτό και μόνο να ονομασθεί ο Lavoisier πατέρας της επιστημονικής χημείας (παράλληλα ο Lavoisier έκανε και πολλά άλλα σημαντικά πειράματα). Ο Lavoisier έδειξε με άμεσα και προσεκτικά πειράματα ότι, όταν συμβαίνουν χημικές μεταβολές, όπως η καύση, η συνολική μάζα όλων των ουσιών πριν και μετά από αυτές τις μεταβολές παραμένει αμετάβλητη. Σε επόμενο πείραμα θα γνωρίσετε και το είδος των στοιχείων στα οποία βασίσθηκε ο Lavoisier, για να το αποδείξει. Όλα αυτά τα πειράματα που έχουν γίνει δείχνουν ότι στις χημικές αντιδράσεις δεν υπάρχει μεταβολή στην ποσότητα τη μάζας τόσο μεγάλη, ώστε να μπορεί να μετρηθεί.

Περίληψη.

Κατά την εκτέλεση διαφόρων επιστημονικών δραστηριοτήτων από τους χημικούς, η συνολική μάζα των υλικών που χρησιμοποιούν δεν μεταβάλλεται αισθητά. Η μάζα αλλάζει σύσταση, αλλά η συνολική της ποσότητα παραμένει σταθερή. Αυτός ο νόμος ονομάζεται Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας. Είναι ένας από τους πιο βασικούς και χρήσιμους νόμους που χρησιμοποιούν οι χημικοί στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν και να ερμηνεύσουν τα πειράματά τους.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γιατί χαρακτηρίζομε το Νόμο της Διατηρήσεως της Μάζας "Νόμο";
2. Όταν καίγεται ένα κερί, γίνεται μικρότερο.

Περίληψη κεφαλαίου

Η βασική ιδιότητα της ύλης, σε όλες της τις μορφές, είναι ότι η ύλη έχει μάζα. Ως "μάζα" ορίζεται το συνολικό ποσό της ύλης που υπάρχει, ανεξάρτητα από τη μορφή της ή τη σύστασή της. Η μάζα είναι δυνατόν να μετρηθεί με τη βοήθεια του Νόμου της Βαρύτητας, του Νεύτωνα. Ο νόμος αυτός ορίζει ότι δύο αντικείμενα έλκονται μεταξύ τους με δύναμη που είναι ανάλογη προς το γινόμενο των μαζών τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της αποστάσεως ανάμεσα στο κέντρα της μάζας τους. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για να μετρηθεί η μάζα είναι να θεωρηθεί η γη ένα από τα δυο αντικείμενα που έλκονται και να μετρηθεί η δύναμη με την οποία έλκεται κάποιο άλλο αντικείμενο από τη γη. Αυτό ονομάζεται βάρος του αντικειμένου. Το βάρος ισούται με τη μάζα, μόνο αν γίνει η μέτρηση κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Η μάζα μετρείται με τη μονάδα που ονομάζεται χιλιόγραμμο (ή κιλό, kg). Για μικρότερες μάζες υπάρχουν τα γραμμάρια. Ένα γραμμάριο (g) είναι ίσο με το ένα χιλιοστό του χιλιογράμμου. Μια από τις απαραίτητες προϋποθέσεις, για να ισούται αριθμητικά το βάρος ενός σώματος με τη μάζα του είναι να γίνει η μέτρηση υπό κενό, ώστε να αποφευχθεί το σφάλμα που οφείλεται στο φαινόμενο της ανώσεως του αέρα. Αν κάποιο αντικείμενο ζυγισθεί βυθισμένο στο νερό, το αποτέλεσμα της ανώσεως γίνεται ακόμα εμφανέστερο. Διόρθωση της ανώσεως γίνεται, αν προσθέσομε, στο φαινόμενο βάρος, το βάρος της μάζας του μέσου (όπως ο αέρας ή το νερό), που καταλαμβάνει όγκο ίσο με τον όγκο που καταλαμβάνει το αντικείμενο που ζυγίζεται. Βάρος και μάζα δεν είναι το ίδιο πράγμα. Ένας θεμελιώδης νόμος της χημείας είναι ο Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας, που ορίζει ότι σε κάθε χημική διαδικασία το συνολικό ποσό της μάζας που λαμβάνει μέρος στη διαδικασία αυτή παραμένει αμετάβλητο.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Η απόσταση της γης από τον ήλιο είναι



Roy J. Plunkett
(1910 -)

ΤΟ 1938, ένας χημικός ερευνητής, που λεγόταν Roy Plunkett, ανακάλυψε κάτι σημαντικό, γιατί γνώριζε και πίστευε το Νόμο της Διατηρήσεως της Μάζας (ή την Αρχή της Αφθαρσίας της Ύλης). Ανακάλυψε το πλαστικό teflon. Μια από τις πάρα πολλές χρήσιμες εφαρμογές αυτού του πλαστικού είναι τα "αντικολλητικά" σκεύη μαγειρικής.

Ο Plunkett εργαζόταν σε κάποιο ερευνητικό πρόγραμμα για το οποίο χρειαζόταν ένα αέριο που ονομαζόταν τετραφθοροαιθυλένιο. Παρέλαβε λοιπόν αυτό το αέριο μέσα σε ένα μεταλλικό δοχείο, το οποίο αν και ήταν μικρό περιείχε μεγάλη ποσότητα, γιατί το αέριο ήταν υπό πίεση. Η ποσότητα του αερίου υπολογίστηκε ζυγίζοντας το δοχείο πριν και μετά το γέμισμα. Καθώς προχωρούσε η εργασία, ο Plunkett χρησιμοποιούσε μικρές ποσότητες αερίου για τις ανάγκες των πειραμάτων του. Κάποια ημέρα διαπίστωσε ότι το δοχείο δεν είχε άλλο αέριο και υπέθεσε ότι το είχε καταναλώσει όλο. Όταν όμως δοκίμασε να σηκώσει το δοχείο από τον πάγκο εργασίας, αισθάνθηκε ότι ήταν ακόμα βαρύ, περισσότερο από ό,τι θα περίμενε να είναι, αν ήταν άδειο. Μετά από αυτό, το ζύγισε και διαπίστωσε ότι πράγματι ζύγιζε περισσότερο από ό,τι το άδειο δοχείο. Το μόνο που μπορούσε να συμπεράνει βάσει του Νόμου της Διατηρήσεως της Μάζας, ήταν ότι κάτι έπρεπε να έχει μείνει μέσα στο δοχείο έστω κι αν αυτό δεν ήταν ίδιο με το αέριο που τοποθετήθηκε αρχικά. Έκοψε το δοχείο και βρήκε ότι περιείχε μια άσπρη σκόνη. Με κάποιο τρόπο το αέριο τετραφθοροαιθυλένιο είχε μετατραπεί σε αυτήν τη νέα ουσία, όσο διάστημα έμεινε μέσα στο δοχείο υπό πίεση. Η νέα ουσία ήταν το teflon. Διάφορα συστηματικά πειράματα έδειξαν σύντομα ότι το teflon μπορεί σχετικά εύκολα και με ικανοποιητική απόδοση να παραχθεί από τετραφθοροαιθυλένιο.

περίπου 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Αν κάποιος άλλος πλανήτης έχει μάζα διπλάσια από τη μάζα της γης και βρίσκεται σε απόσταση 300 περίπου χιλιομέτρων από τον ήλιο, τότε ποια θα είναι η σχέση της δυνάμεως της βαρύτητας ανάμεσα στον ήλιο και τον άλλο πλανήτη;

2. Ένα αντικείμενο ζυγίσθηκε στη γη με ένα δυναμόμετρο ελατηρίου και βρέθηκε ότι ζύγιζε 100 γραμμάρια. Αν αυτό το αντικείμενο ήταν δυνατόν να ζυγισθεί με το ίδιο δυναμόμετρο ελατηρίου πάνω σε έναν πλανήτη που έχει διπλάσια μάζα από τη μάζα της γης αλλά την ίδια με αυτήν διάμετρο, ποιο θα ήταν το φαινομενικό βάρος του;
3. Αν το ίδιο αντικείμενο που ζυγίσθηκε πάνω σε κάποιον άλλο πλανήτη με ένα δυναμόμετρο ελατηρίου (ερώτηση 2) ζυγιζόταν στον ίδιο πλανήτη με ζυγό και με αντίβαρα γνωστής μάζας, τι νομίζετε ότι θα συνέβαινε με το βάρος του;
4. Θυμηθείτε το πείραμα της ζυγίσεως που περιγράψαμε στην παράγραφο 2.5. Θα διαπιστώσετε ίσως ότι η μάζα ενός κομματιού μετάλλου το οποίο είχε ζυγισθεί σε διαφορετικούς ζυγούς δεν ήταν πάντα η ίδια. Σχηματίστε έναν κατάλογο με όλους εκείνους τους συντελεστές που νομίζετε ότι θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων που έγιναν με τη βοήθεια των ζυγών, συμπεριλαμβανομένων και αυτών που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο.
5. Ένα κομμάτι ξύλου μπάλσα (balsa)* τοποθετείται πάνω στο δίσκο ενός ζυγού και ζυγίζεται προσεκτικά με μεταλλικά σταθμά, που έχουν γνωστή μάζα και μάλιστα ίση με

---

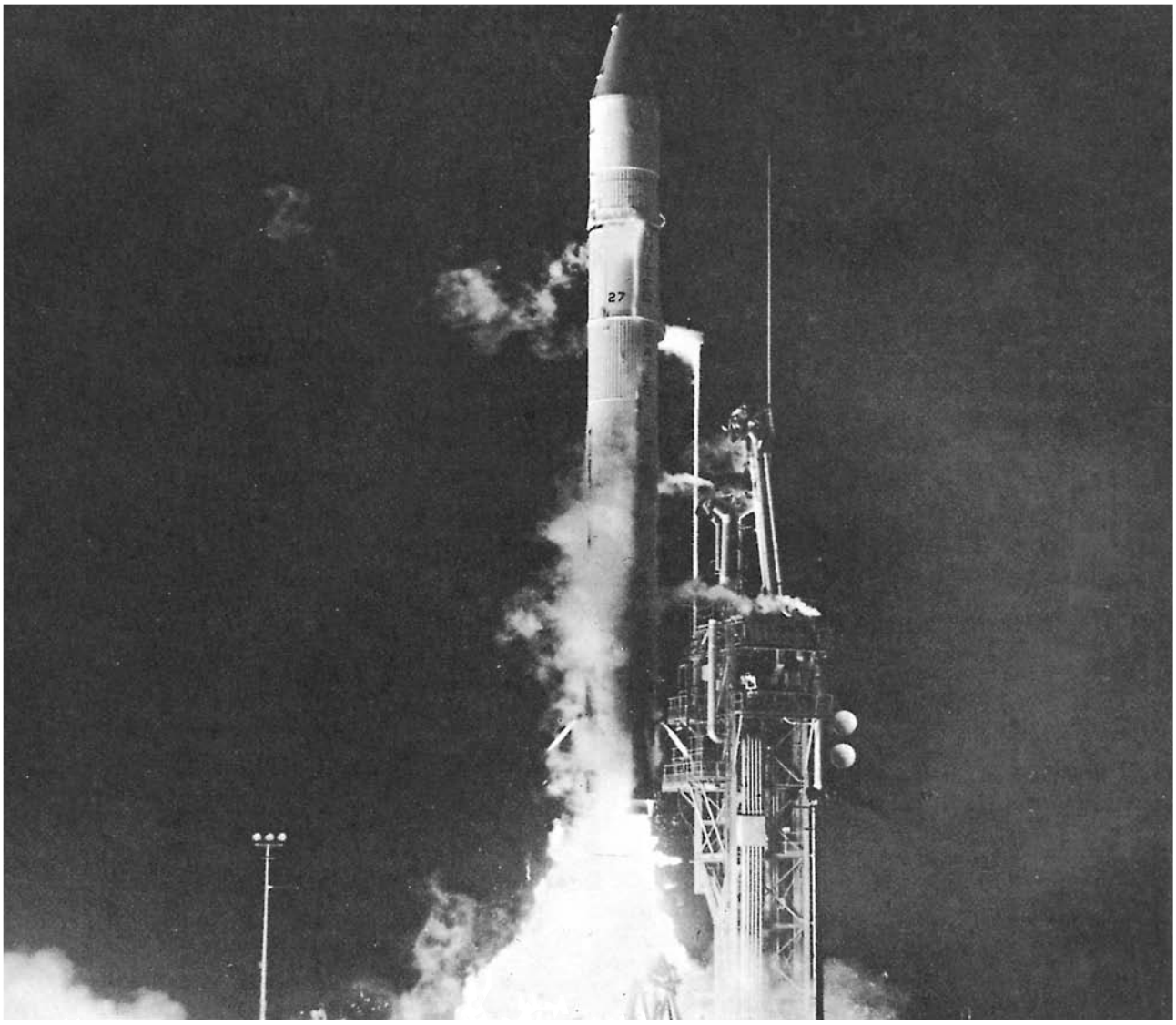
* *Σ.τ.Μ. Ένα είδος πολύ ελαφρού ξύλου.*

99,95 γραμμάρια. Διάφορες μετρήσεις έδειξαν ότι το κομμάτι αυτού του ξύλου εκτοπίζει 0,19 γραμμάρια αέρα. Να βρεθεί ποια είναι η μάζα του κομματιού από ξύλο μπάλσα με προσέγγιση 0,01 του γραμμαρίου.

6. Έχοντας στο νου σας το φαινόμενο της ανώσεως και τι αυτό σημαίνει, να εξηγήστε γιατί ένα μεταλλικό σκάφος επιπλέει, αλλά αν δημιουργηθεί κάποια τρύπα στα τοιχώματά του, βυθίζεται.
7. Το πείραμα της ανώσεως (παράγραφος 2.8) περιελάμβανε τη χρήση δύο κομματιών μετάλλου που ενώ είχαν την ίδια μάζα διέφεραν πολύ στο μέγεθος. Πώς δικαιολογείτε αυτήν τη διαφορά;
8. Μάθατε ότι το βάρος είναι ένα μέτρο των δυνάμεων βαρύτητας ανάμεσα σε δύο σώματα. Από όσο γνωρίζετε για τη βαρύτητα, θα μπορούσατε να τη χαρακτηρίσετε ως ισχυρή ή ως ασθενή δύναμη; Δώστε μια σύντομη εξήγηση.
9. Ποιες άλλες φυσικές δυνάμεις μπορούν να αναγκάσουν δύο σώματα να αλληλοέλκονται; Αυτές θα τις χαρακτηρίζατε ως ασθενείς ή ως ισχυρές δυνάμεις;
10. Το οξείδιο του αργύρου είναι μια στερεά ουσία που αν θερμανθεί σε υψηλή θερμοκρασία, θα δώσει μεταλλικό άργυρο και αέριο οξυγόνο. Περιγράψτε με συντομία ένα πείραμα, με τη βοήθεια του οποίου θα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Ο Pioneer 10 κατά την εκτόξευσή του προκειμένου να ταξιδεύσει στην περιοχή του Διός και πέρα από αυτήν. Τα καύσιμα του πυραύλου παρέχουν άφθονη χημική ενέργεια για την πραγματοποίηση του ταξιδιού.

Οποιαδήποτε μετατροπή της ύλης από τη μια μορφή στην άλλη συνοδεύεται από κατανάλωση ή παραγωγή ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό πολύ θεαματικά, όπως όταν εκρήγνυται μια βόμβα ή εκτοξεύεται ένα πυροτέχνημα ή ηπιότερα, όπως όταν καίγεται ένα κερί. Σε κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις παράγεται ενέργεια, δηλαδή εκλύεται θερμότητα ή φως. Εκτός από τη θερμότητα και το φως υπάρχουν και πολλές άλλες μορφές ενέργειας, όπως είναι ο ηλεκτρισμός. Επειδή οι μεταβολές της ενέργειας συμβαδίζουν με τις χημικές μεταβολές είναι εξ ίσου απαραίτητο να εξοικειωθείτε με μερικές βασικές έννοιες σχετικά με την ενέργεια, όπως χρειάστηκε να μάθετε και τις βασικές ιδιότητες της ύλης. Στο κεφάλαιο αυτό θα μάθετε μερικά πράγματα για την ενέργεια, που θα σας φανούν χρήσιμα κατά τη

Αναγνώριση και μέτρηση της ενέργειας

3.1 Η ενέργεια έχει πολλές μορφές.

Η ενέργεια είναι το δεύτερο σημαντικό θέμα με το οποίο ασχολείται η χημεία. Όπως η ύλη, έτσι και η ενέργεια δεν είναι εύκολο να ορισθεί με κάποια φράση, και δεν είναι στους σκοπούς μας να επιχειρήσομε να δώσομε έναν τέτοιο ορισμό. Ας ξεκινήσομε λοιπόν διατυπώνοντας ερωτήσεις και ας προσπαθήσομε να απαντήσομε σε μερικά πρακτικά ερωτήματα σχετικά με την ενέργεια. Ποιες μορφές παίρνει η ενέργεια; Μπορούν αυτές οι μορφές να μετατραπούν η μια στην άλλη ή στις άλλες; Πώς και με ποιες μονάδες μετρήσεως μπορεί να μετρηθεί η ενέργεια;

Κάτι που η ενέργεια μπορεί να κάνει άμεσα, σε μια από τις μορφές της, είναι να αναγκάσει την ύλη να μετακινηθεί. Για την ύλη που κινείται λέμε ότι έχει ***κινητική ενέργεια***. Για παράδειγμα, όταν η ράβδος (στέκα) του σφαιριστηρίου (μπιλιάρδου) κτυπά μια μπάλα, η μπάλα κυλά. Η μπάλα που κυλά έχει κινητική ενέργεια. Αν συγκρουσθεί με μια άλλη και στη συνέχεια κινηθούν και οι δύο απομακρυνόμενες η μια από την άλλη, η κινητική ενέργεια θα έχει κατά ένα μέρος μεταφερθεί από την πρώτη στη δεύτερη.

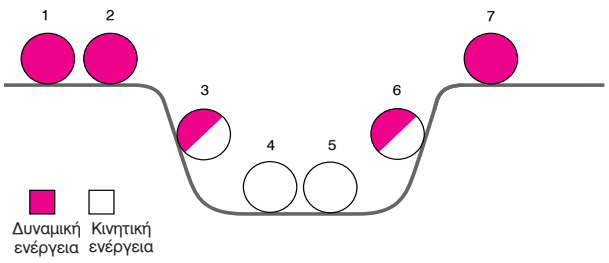
Ένα αυτοκίνητο, ένα ηλεκτροκίνητο αυτοκινητάκι και μια ατμομηχανή όταν κινούνται, έχουν επίσης κινητική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια έχει προσδοθεί σε αυτά από κάποια άλλη μορφή ενέργειας, διαφορετική σε κάθε περίπτωση.

Το αυτοκίνητο κινείται με χημική ενέργεια. Υπάρχει ενέργεια, που βρίσκεται εγκλωβισμένη στα μόρια της βενζίνης και ελευθερώνεται όταν καίγεται η βενζίνη. Ένα μέρος από αυτήν τη χημική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική, που κινεί τα πιστόνια της μηχανής και στη συνέχεια μετατρέπεται με μηχανικό τρόπο σε κίνηση, δηλαδή σε κινητική ενέργεια με την οποία κινείται το αυτοκίνητο.

Το ηλεκτροκίνητο αυτοκινητάκι κινείται με ηλεκτρική ενέργεια. Η ατμομηχανή κινείται με θερμική ενέργεια, δηλαδή με θερμότητα. Το φως είναι μια ακόμα μορφή ενέργειας. Ας εξετάσομε τώρα λίγο πιο προσεκτικά μερικές σημαντικές μορφές ενέργειας.

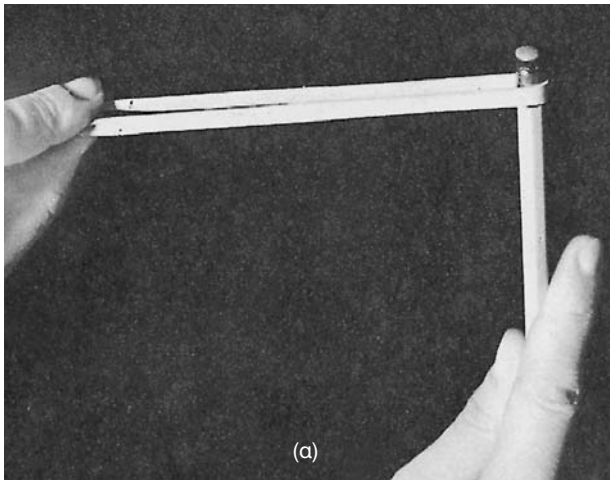
3.2 Δυναμική ενέργεια.

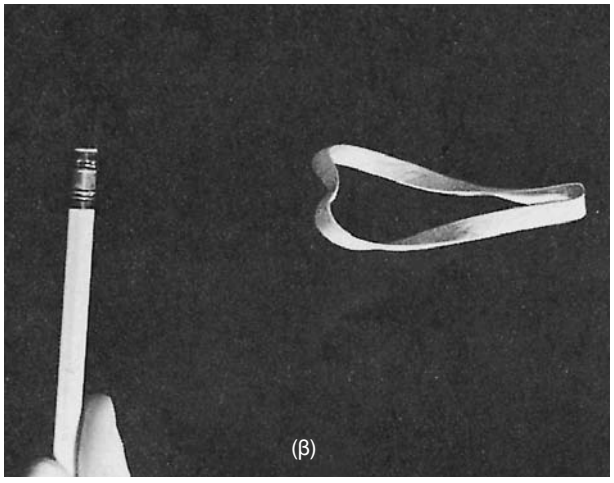
Ας παρατηρήσομε το σχήμα 3-1. Ο βώλος στο υψηλότερο επίπεδο αριστερά, βρίσκεται σε ηρεμία (θέση 1). Στη συνέχεια τον σπρώχνομε ελαφρά προς την άκρη της κοιλότητας (θέση 2) και αρχίζει να κυλά μέσα σε αυτήν (θέση 3). Συνεχίζει περνώντας από το χαμηλότερο σημείο (θέσεις 4 και 5) και μετά ανέρχεται στη δεξιά πλευρά της κοιλότητας (θέση 6). Τελικά ηρεμεί στο υψηλότερο επίπεδο δεξιά (θέση 7). Ανάμεσα στις θέσεις 2 και 7 ο βώλος έχει κινητική ενέργεια. Ας σημειωθεί ότι ο βώλος πριν ξεκινήσει (θέση 1) και όταν σταματήσει (θέση 7) δεν είχε κινητική ενέργεια.



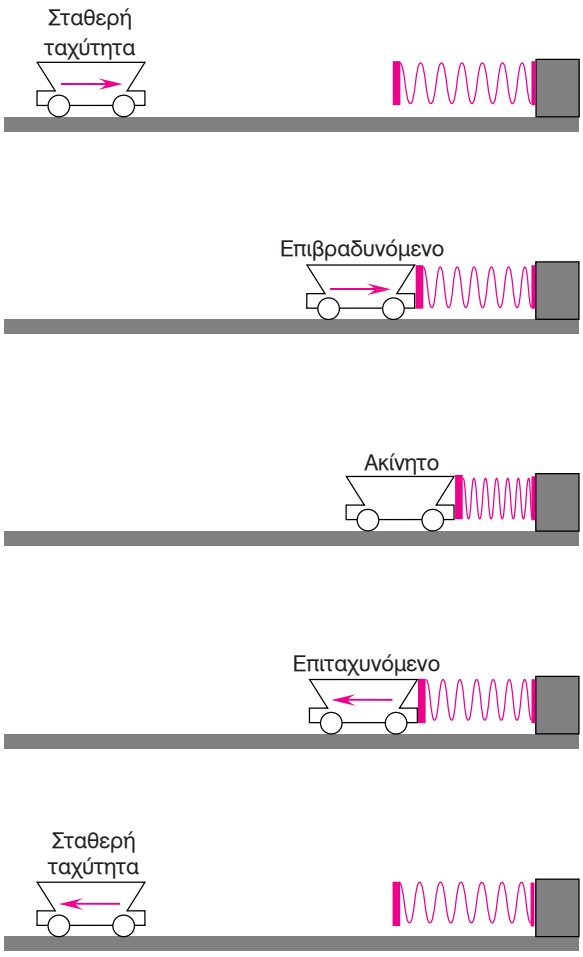
ΣΧΗΜΑ 3-1. *Η δυναμική ενέργεια ενός βώλου που κυλά μέσα και έξω από μία κοιλότητα, μετατρέπεται σε κινητική και η κινητική πάλι σε δυναμική.*

Στις θέσεις 1, 2 και 7 λέμε ότι ο βώλος έχει ***δυναμική ενέργεια***. Αυτήν τη δυναμική ενέργεια, την έχει λόγω θέσεως (ύψους). Όταν αρχίζει να κυλά μέσα στην κοιλότητα, ένα μέρος της δυναμικής ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική. Όταν ο βώλος διέρχεται από το χαμηλότερο επίπεδο (θέσεις 4 και 5), η δυναμική ενέργεια έχει γίνει κινητική, ενώ, όταν ο βώλος ανέρχεται στην άλλη πλευρά, η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται πάλι σε δυναμική. Όταν τελικά σταματά, έχει μόνο δυναμική ενέργεια. Το χαρακτηριστικό είδος δυναμικής ενέργειας που αναφέρεται εδώ μπορεί να ονομασθεί βαρυτική δυναμική ενέργεια, γιατί αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια μιας κατακόρυφης προς τα άνω κινήσεως (δηλαδή με φορά αντίθετη από τη φορά που έχει η δύναμη της βαρύτητας).





ΣΧΗΜΑ 3-2. *Όταν τεντώνομε το λαστιχάκι (α), του δίνομε δυναμική ενέργεια. Στο (β) η δυναμική ενέργεια έχει μετατραπεί σε κινητική.*



ΣΧΗΜΑ 3-3. *Ένα παράδειγμα ελαστικής κρούσεως. Κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε δυναμική και αυτή πάλι σε κινητική με μια αντιστροφή μόνο στη φορά.*

Ένα άλλο πολύ απλό παράδειγμα δυναμικής ενέργειας είναι αυτή που περιέχεται σε ένα τεντωμένο λαστιχάκι [σχ. 3-2(α)]. Αυτή η ενέργεια μπορεί να ονομασθεί μηχανική δυναμική ενέργεια. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3-2(β) αυτή μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (όταν ελευθερωθεί το λαστιχάκι).

Τέλος ας εξετάσομε ακόμη ένα παράδειγμα, που δείχνει αλλαγές στην κινητική και τη δυναμική ενέργεια. Αυτό εισάγει μια καινούργια έννοια, που έχει πολύ μεγάλη σημασία όπως θα φανεί αργότερα.

Στο σχήμα 3-3 φαίνεται ένα βαγονάκι που πλησιάζει με σταθερή ταχύτητα ένα ελατήριο. Από τη στιγμή που το βαγονάκι θα αγγίξει το ελατήριο, η κίνησή του αρχίζει να επιβραδύνεται και χάνει κινητική ενέργεια. Τι γίνεται όμως αυτή η ενέργεια; Μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια

που εναποθηκεύεται στο ελατήριο, το οποίο συσπειρώνεται. Σε κάποια στιγμή το βαγονάκι σταματάει εντελώς. Τότε ολόκληρη η κινητική του ενέργεια έχει μετατραπεί σε δυναμική. Το βαγονάκι στη συνέχεια αρχίζει να ανακτά πάλι ταχύτητα κινούμενο προς την αντίθετη κατεύθυνση, καθώς εκτείνεται. Το ελατήριο και, τελικά, το βαγονάκι απομακρύνεται με σταθερή ταχύτητα.

Όλη η δυναμική ενέργεια έχει μετατραπεί πάλι σε κινητική. Η διαδικασία που περιγράψαμε ονομάζεται ***ελαστική κρούση***. Στην ελαστική κρούση δεν υπάρχει πραγματική μεταβολή στο ποσό της κινητικής ενέργειας που έχει το βαγονάκι. Το μόνο που αλλάζει είναι η φορά της κινήσεώς του. Το ελατήριο έχει παραμείνει έτσι όπως αρχικά ήταν, χωρίς κάποια μεταβολή στη δυναμική του ενέργεια. Η έννοια της ελαστικής κρούσεως είναι μια έννοια που θα τη χρησιμοποιήσετε αργότερα.

3.3 Θερμική ενέργεια και θερμοκρασία.

Μία από τις περισσότερο γνωστές, αλλά και πιο σημαντικές μορφές ενέργειας είναι η θερμότητα ή θερμική ενέργεια. Σχεδόν σε κάθε φυσική και χημική διαδικασία καταναλώνεται ή παράγεται ενέργεια. Θερμική ενέργεια είναι συχνά η τελική μορφή στην οποία μετατρέπονται διάφορες άλλες μορφές ενέργειας. Για παράδειγμα, ας θεωρήσομε ότι ένα τούβλο πέφτει από ένα ράφι στη γη. Αρχικά στο ράφι, το τούβλο έχει δυναμική ενέργεια. Καθώς πέφτει και αποκτά ταχύτητα, η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική. Τέλος, το τούβλο προσκρούει στο έδαφος και σταματά. Τότε το τούβλο δεν έχει πια ούτε κινητική αλλά ούτε και την αρχική του δυναμική ενέργεια. Τι έγινε η ενέργειά του; Έγινε θερμότητα, η οποία στη συνέχεια πολύ γρήγορα διασκορπίσθηκε μέσα στο τούβλο, στο έδαφος, στον αέρα και σε όλα τα άλλα υλικά σώματα που το περιβάλλουν. Δηλαδή, η θερμική ενέργεια διασκορπίζεται στο περιβάλλον. Σε αυτήν την περίπτωση η ποσότητα της θερμότητας είναι πολύ μικρή για να ανιχνευθεί χωρίς τη βοήθεια πολύ ευαισθήτων οργάνων.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, στις οποίες η μηχανική ή η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα, και μάλιστα σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Έτσι, αν κάποιος μοτοσυκλετιστής πατήσει απότομα φρένο, τα ελαστικά αλλά και οι σιαγόνες των φρένων θα ζεσταθούν πάρα πολύ. Τώρα θα μπορούσαμε να συγκρίνομε το παράδειγμα με το τούβλο που πέφτει με το παράδειγμα της ελαστικής κρούσεως. Το τούβλο που κτυπά στο έδαφος είναι ένα παράδειγμα τέλειας ***ανελαστικής κρούσεως***. Όλη η κινητική του ενέργεια χάθηκε και μετατράπηκε σε θερμότητα.

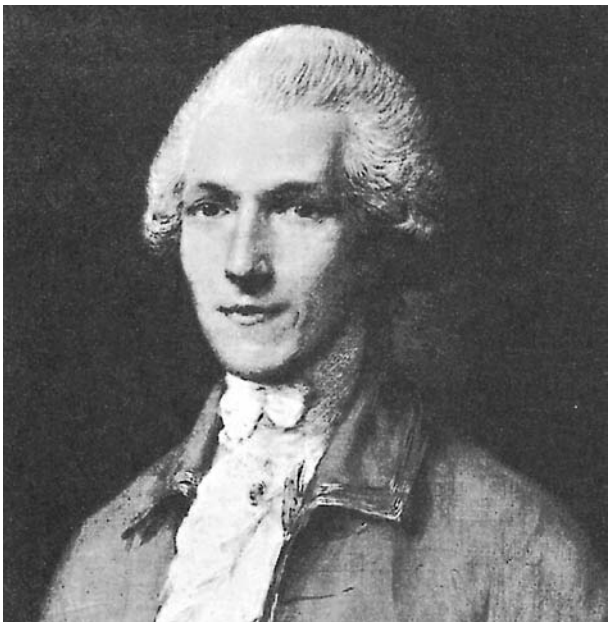
Είναι επίσης γνωστά διάφορα άλλα παραδείγματα απ' ευθείας μετατροπής άλλων μορφών ενέργειας σε θερμική ενέργεια. Η ζεστασιά που αισθάνεστε, όταν στέκεστε στον ήλιο, οφείλεται σε μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε θερμική. Τα ηλεκτρικά φώτα και οι ηλεκτρικές θερμάστρες αποτελούν –και τα δύο– παραδείγματα μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα. Ο ηλεκτρικός λαμπτήρας έχει σχεδιασθεί έτσι, ώστε να μετατρέπει όσο το δυνατόν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε φως, ενώ συγχρόνως παράγεται και κάποιο ποσό θερμότητας. Στην περίπτωση της θερμάστρας η περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ συγχρόνως παράγεται και λίγο φως.

Το ποσό της θερμικής* ενέργειας που περιέχει ένα σώμα καθορίζει τη θερμοκρασία του. Όσο περισσότερη θερμότητα περιέχει το σώμα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμοκρασία του. Αύξηση της θερμοκρασίας ενός σώματος αποτελεί ένδειξη ότι στο σώμα αυτό προστίθεται ενέργεια.

3.4 Μονάδες ενέργειας και θερμοκρασίας.

Ένας πρακτικός τρόπος μετρήσεως της ενέργειας είναι η μετατροπή της σε θερμότητα -αν δεν βρίσκεται ήδη με αυτήν τη μορφή ενέργειας- και στη συνέχεια η απορρόφησή της από το νερό. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού μπορεί να μετρηθεί και έτσι να υπολογισθεί η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που απορροφήθηκε από το νερό. Με αυτόν τον τρόπο θα μετρήσετε την ενέργεια στα πειράματά σας. Η χρησιμοποίηση του νερού και των μεταβολών της θερμοκρασίας του οδήγησαν στις πρώτες ακριβείς μετρήσεις της ενέργειας. Έτσι λοιπόν οι επιστημονικές μονάδες μετρήσεως της ενέργειας και της θερμοκρασίας βασίσθηκαν αρχικά στις ιδιότητες του νερού. Με σκοπό να καθορίσομε μια κατάλληλη μονάδα μετρήσεως της θερμοκρασίας, χωρίσαμε σε 100 ίσα μέρη το διάστημα της μεταβολής της θερμοκρασίας από το σημείο πήξεως ως το σημείο

* *Σ.τ.Μ. Θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας. Θερμοκρασία είναι το μέτρο της κινητικής ενέργειας των μορίων ενός σώματος.*



Benjamin Thomson κόμης του Rumford (1753 - 1814)

Ο Benjamin Thomson που πήρε το όνομα κόμης του Rumford, όταν το 1791 ονομάσθηκε κόμης της Αγίας Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, είναι γνωστός κυρίως για τις εργασίες του πάνω στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στη θερμότητα και τη μηχανική ενέργεια. Ήταν άνδρας με πολλά επιστημονικά προσόντα και έζησε έντονα αναπτύσσοντας ποικίλες δραστηριότητες. Αν και γεννήθηκε στη Μασαχουσέτη το 1753 και αποφάσισε να υποστηρίξει τη βρετανική άποψη στην αμερικανική επανάσταση, εγκατέλειψε την Αμερική και πήγε στην Αγγλία, όταν οι Βρετανοί απωθήθηκαν έξω από την περιοχή της Βοστώνης. Πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στο Λονδίνο, το Μόναχο και το Παρίσι, και μοίραζε το χρόνο του ανάμεσα σε κυβερνητικές υπηρεσίες και την επιστημονική έρευνα πάνω σε διάφορα θέματα, όπως η έκρηξη της πυρίτιδας, καλύτερες μέθοδοι σημάνσεως στη θάλασσα, η εξέλιξη μη ρυπογόνων καπνοδόχων, η μέτρηση της εντάσεως του φωτός και πλήθος άλλων προβλημάτων, που είχαν σχέση με τη θερμότητα.

Επί σειρά ετών ο Rumford κατείχε μερικές μεγάλες θέσεις στη βαυαρική κυβέρνηση του Μονάχου. Ως Γενικός Επιθεωρητής του Πυροβολικού στο βαυαρικό στρατό, ήταν υπεύθυνος για την κατασκευή κανονιών και όπλων. Παρακολουθούσε συχνά τη διαδικασία διατρήσεως των ορειχαλκίνων κανονιών στο οπλοστάσιο του Μονάχου και είχε εντυπωσιασθεί από τη μεγάλη ποσότητα θερμότητας που αναπτυσσόταν στα όπλα, κατά τη διάρκεια της διανοίξεως της οπής τους. Επειδή η θερμότητα που δημιουργούνταν από τη διάνοιξη της οπής έμοιαζε να παραμένει αμετάβλητη όσο διαρκούσε αυτή η διαδικασία, ο Rumford άρχισε να υποπτεύεται ότι η θερμότητα δεν ήταν κάποιο ρευστό υλικό που μπορεί να κυκλοφορεί μέσα και έξω από τα σώματα, όπως πίστευαν πολλοί διακεκριμένοι επιστήμονες της εποχής εκείνης. Μάλιστα ο Lavoisier είχε ονομάσει αυτό το ρευστό, το 1787, θερμικό ρευστό. Θέλοντας να επιβεβαιώσει τις υποψίες του, ο Rumford χρησιμοποίησε αρχικά έναν από τους καλύτερους ζυγούς που υπήρχαν στην Ευρώπη, για να αποδείξει ότι όταν ο πάγος λιώνει και σχηματίζεται νερό, το βάρος δεν αυξάνει. Έτσι εγκατέστησε έναν τροχό, που τον γύριζαν δύο άλογα. Ο τροχός χρησίμευε για να περιστρέφει ένα τραχύ εργαλείο στο εσωτερικό ενός μεταλλικού κυλίνδρου, που περιβαλλόταν από γνωστή ποσότητα νερού. Μετά 2 1/2 ώρες συνεχούς περιστροφής, η θερμότητα που προερχόταν από την τριβή προκάλεσε βρασμό του νερού. Έτσι έγινε φανερή μία σαφής σχέση ανάμεσα στη μηχανική ενέργεια και στη θερμότητα. Από τα πειράματά του έβγαλε το συμπέρασμα ότι η θερμότητα δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως κάποιο υλικό σώμα, παρά ως μια ταλάντωση, στην οποία υποβάλλονται τα στοιχειώδη σωματίδια που συνιστούν το υλικό σώμα.

ζέσεως του νερού. Οι μετρήσεις για τον προσδιορισμό των σημείων πήξεως και ζέσεως του νερού έγιναν κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Κάθε ένα από αυτά τα 100 ίσα μέρη ονομάσθηκε βαθμός Κελσίου. Αν χαρακτηρισθεί με μηδέν το σημείο πήξεως του νερού και με εκατό το σημείο βρασμού του, τότε δημιουργείται η θερμομετρική κλίμακα Κελσίου ή εκατονταβάθμια κλίμακα.

Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου είναι σχεδόν σταθερό μεταξύ 8°C και 80°C. Το ποσό αυτό της ενέργειας μετρημένο πάλι κάτω από καθορισμένες συνθήκες ορίσθηκε ως ***θερμίδα*** (calorie).

Επειδή, όπως μάθατε όλες οι μορφές ενέργειας μετατρέπονται η μια στην άλλη, η χρήση των θερμίδων δεν περιορίζεται μόνο στη μέτρηση θερμικής ενέργειας. Οι θερμίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να μετρηθούν ποσότητες κάθε μορφής ενέργειας, γι' αυτό και οι επιστήμονες τις χρησιμοποιούν συχνά.

Πρόσφατα, για να διευκολυνθεί η ανακοίνωση-κατανόηση των επιστημονικών αποτελεσμάτων, έγινε αποδεκτό από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα ένα νέο σύστημα μονάδων, το Διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.). Αυτό δεν περιλαμβάνει ούτε τις θερμίδες ούτε την κλίμακα Κελσίου. Η διεθνής μονάδα μετρήσεως της ενέργειας είναι το Joule (Τζάουλ) και για συντομία J. Ο βασικός ορισμός του, τον οποίο δεν υπάρχει λόγος να αναφέρομε εδώ, γίνεται με τη βοήθεια κάποιων ηλεκτρικών μονάδων. Μια θερμίδα ισοδυναμεί με 4,184 Joules. Η διεθνής σταθερή μονάδα μετρήσεως θερμοκρασίας είναι ο βαθμός ***Kelvin***, για συντομία ***K***. Ένας βαθμός Kelvin ισούται κατά μέγεθος με ένα βαθμό Κελσίου, αλλά οι θερμομετρικές κλίμακες διαφέρουν (δηλαδή δεν συμπίπτει το μηδέν τους). Η αιτία αυτής της διαφοράς θα εξετασθεί στο κεφάλαιο 6. Επειδή ο βαθμός Kelvin και ο βαθμός Κελσίου είναι ίσοι κατά μέγεθος, οι επιστήμονες βρίσκουν ακόμα βολικό να χρησιμοποιούν την κλίμακα Κελσίου σε πολλές περιπτώσεις, όπου θέλουν να καθορίσουν θερμοκρασίες. Για αυτό και εμείς θα μεταχειρισθούμε σε αυτό το βιβλίο, τις περισσότερες φορές, τις θερμοκρασίες Κελσίου. Όλα τα θερμόμετρα που έχετε στο εργαστήριό σας είναι βαθμολογημένα με την κλίμακα Κελσίου.

Κατ' αναλογία, αν και το Joule είναι η επίσημη διεθνής μονάδα ενέργειας, οι επιστήμονες εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τη θερμίδα (calorie), ως πρακτική μονάδα μετρήσεως. Η χρησιμοποίηση της θερμίδας ενδείκνυται για τις περιπτώσεις, στις οποίες μπορούμε μετρώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού να υπολογίσομε την ποσότητα της θερμικής ενέργειας που έχει απορροφηθεί από αυτό. Σε αυτό το βιβλίο θα χρησιμοποιηθούν ως μονάδες ενέργειας και η θερμίδα και το Joule.

Η θερμίδα (calorie) θα χρησιμοποιηθεί σε μερικά πειράματα και σε πολλές συζητήσεις σχετικές με την ενέργεια χημικών αντιδράσεων. Το Joule θα χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις και με σκοπό μόνο και μόνο να μην το ξεχάσετε.

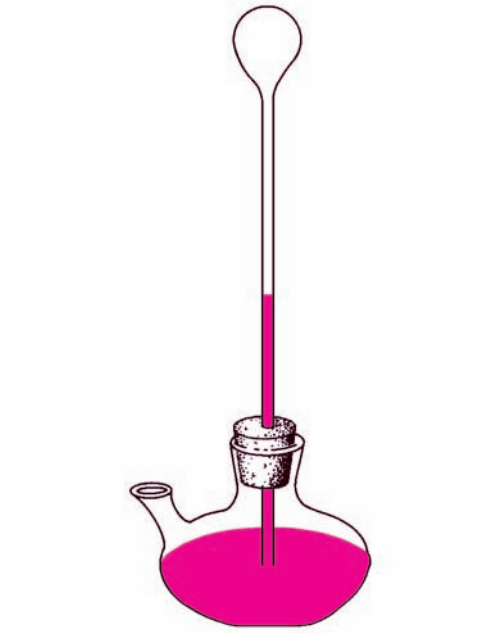
Πρωτοπόροι στη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Η πρώτη σοβαρή απόπειρα για να κατασκευασθεί μια συσκευή που μετρά τη θερμοκρασία έγινε το 1593 από το διάσημο Ιταλό αστρονόμο και επιστήμονα Γαλιλαίο, ο οποίος εφηύρε μια συσκευή, που την ονόμασε θερμοσκόπιο. Το θερμοσκόπιο δεν ήταν πολύ ακριβές όργανο, αλλά η εφεύρεσή του οδήγησε άλλους επιστήμονες να ερευνήσουν ώστε να βρουν και άλλους καλύτερους τρόπους, για να πετύχουν το σκοπό αυτό. Ένα αρκετά ακριβές θερμόμετρο που λειτουργούσε με οινόπνευμα κατασκευάσθηκε το 1641.

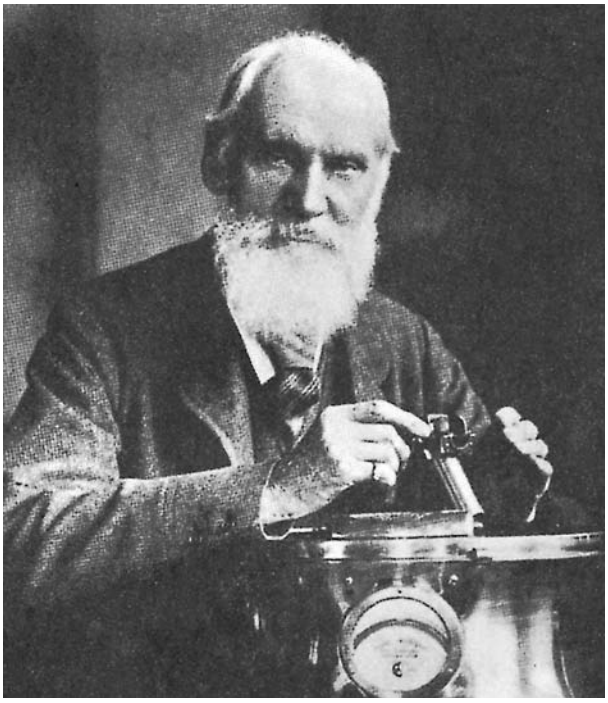
Η πιο σημαντική εργασία όμως έγινε από τον Gabriel D. Fahrenheit στις αρχές του 17ου αιώνα.

Ο Fahrenheit, που γεννήθηκε στην Πολωνία, πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στην Ολλανδία, όπου είχε ιδρύσει ένα εργαστήριο κατασκευής και επισκευής επιστημονικών οργάνων ακριβείας.

Πειραματιζόμενος με θερμόμετρα τόσο οινοπνεύματος όσο και υδραργύρου, διαπίστωσε την ανάγκη καθορισμού κάποιων σταθερών σημείων αναφοράς που θα ήταν εύκολο να αναπαραχθούν, ώστε να κατασκευασθεί μια ικανοποιητική θερμομετρική κλίμακα. Βρήκε ότι σε ένα μίγμα από ίσες ποσότητες πάγου και αλατιού σημειώθηκε η χαμηλότερη θερμοκρασία που είχε επιτευχθεί μέχρι τότε στο εργαστήριό του. Ακόμη υπέθεσε ότι η θερμοκρασία του



Το θερμοσκόπιο του Γαλιλαίου. Η διόγκωση του γυάλινου σωλήνα (γυάλινη μπάλα) θερμαίνεται με το χέρι, και το ανοικτό άκρο του σωλήνα ρυθμίζεται στο νερό. ΄Οταν απομακρυνθεί το χέρι μας και αρχίσει να ψύχεται η γυάλινη μπάλα, το νερό ανέρχεται στο



Ο William Thomson, Λόρδος του Kelvin, πρότεινε πρώτος τη διεθνώς αναγνωρισμένη κλίμακα θερμοκρασιών, που φέρει το όνομά του.

ανθρώπινου αίματος ήταν ίδια για όλο τον κόσμο. Κατασκεύασε λοιπόν μια κλίμακα, σύμφωνα με την οποία διαιρούσε το διάστημα ανάμεσα στη θερμοκρασία του μίγματος αλατιού-πάγου και σε αυτήν του ανθρώπινου αίματος σε ενενήντα έξι ίσα διαστήματα. Με αυτήν την κλίμακα βρήκε ότι το νερό έβραζε στους 212 βαθμούς και πάγωνε στους 32. Επειδή οι χαρακτηριστικές σταθερές του νερού ήταν πολύ ευκολότερο να αναπαραχθούν από τις σταθερές που χρησιμοποίησε αρχικά, αποφάσισε να βασίσει την κλίμακά του στα σημεία ζέσεως και πήξεως του νερού. Το γεγονός ότι η θερμοκρασία που είχε δεχθεί για το ανθρώπινο αίμα ήταν χαμηλότερη από την τιμή που δεχόμαστε σήμερα ίσως οφείλεται σε κάποια ατέλεια που είχαν οι σωλήνες των θερμομέτρων του.

Τριάντα χρόνια περίπου αργότερα ο Anders Celsius, ένας Σουηδός αστρονόμος που είχε κατασκευάσει το Αστεροσκοπείο στο Πανεπιστήμιο της Ουψάλα, υπέθεσε ότι θα ήταν απλούστερο να χρησιμοποιηθεί μια θερμομετρική κλίμακα, στην οποία να διαιρείται σε εκατό βαθμούς το διάστημα ανάμεσα στα σημεία πήξεως και βρασμού του νερού. Για πολλά χρόνια η κλίμακά του ονομαζόταν εκατονταβάθμιος κλίμακα, μέχρι που έγινε ένα διεθνές συνέδριο επιστημόνων το 1948, στο οποίο οι επιστήμονες την ονόμασαν κλίμακα Κελσίου προς τιμή του εφευρέτη της. Η κλίμακα Κέλβιν που ονομάσθηκε έτσι προς τιμή του William Thomson, Λόρδου του Κέλβιν, χρησιμοποιεί βαθμούς του ίδιου μεγέθους, όπως και η κλίμακα Κελσίου, αλλά ορίζει ως μηδέν κάποιο σημείο που βρίσκεται 273 βαθμούς πιο κάτω από το σημείο πήξεως του νερού (βλ. παράγ. 6.4, απόλυτο μηδέν).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

3.5 Η ειδική θερμότητα των μετάλλων.

Ως ***ειδική θερμότητα*** μιας ουσίας ορίζομε το ποσό της θερμοκρασίας που απαιτείται για να αλλάξει τη θερμοκρασία ενός γραμμαρίου αυτής της ουσίας κατά ένα βαθμό Κελσίου. Έχει κιόλας αναφερθεί ότι το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να αλλάξει η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου είναι ίσο με μία θερμίδα. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι μία θερμίδα ανά γραμμάριο και ανά βαθμό Κελσίου.

Είναι φυσικό να αναρωτιέστε αν και άλλες ουσίες θα χρειάζονται επίσης μία θερμίδα, για να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου τους κατά ένα βαθμό Κελσίου ή αν οι ειδικές τους θερμότητες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από αυτήν του νερού.

Ίσως μερικές φορές να επιδιώξετε την ψύξη κάποιου θερμού αντικειμένου τοποθετώντας το μέσα σε κρύο νερό.

Ενώ θα μείνατε ικανοποιημένοι από το γεγονός ότι το θερμό αντικείμενο κρύωσε, δεν θα σας απασχόλησε καθόλου η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού που χρησιμοποιήσατε προκειμένου να επιτύχετε το σκοπό σας. Στο πείραμα που ακολουθεί θα τοποθετήσετε ένα θερμό κομμάτι μετάλλου γνωστής μάζας και θερμοκρασίας μέσα σε κρύο νερό επίσης γνωστής μάζας και θερμοκρασίας. Καθώς το μέταλλο ψύχεται, το νερό γίνεται θερμότερο. Γνωρίζοντας τη μάζα του νερού και ότι μία θερμίδα αυξάνει τη θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου, εύκολα μπορείτε να βρείτε πόσες θερμίδες πέρασαν από το μέταλλο στο νερό.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα μετρήσετε και θα συγκρίνετε τις ειδικές θερμότητες διαφόρων μετάλλων.

ΥΛΙΚΑ

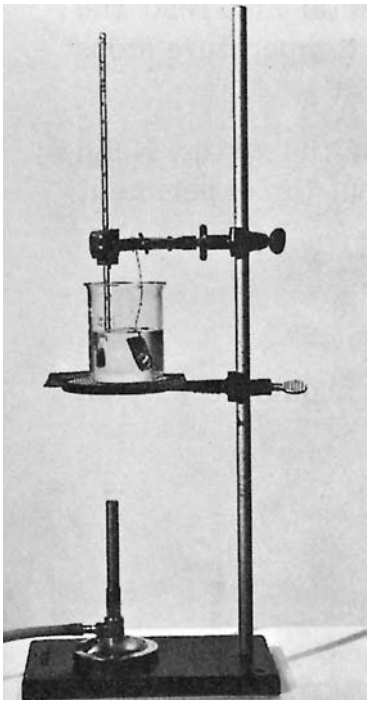
Ορθοστάτης, δακτύλιος	Συρμάτινο νήμα
Λύχνος	Θερμόμετρο
Ογκομετρικός κύλινδρος των 100 ml	Λαβίδα
2 ποτήρια 250 ml	Ζυγός
Δείγματα αλουμινίου, χαλκού, σιδήρου και μολύβδου	Ανθεκτικό νήμα ή σύρμα
	Χαρτοπετσέτα

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Θα μετρήσετε την ειδική θερμότητα τεσσάρων μετάλλων (αλουμινίου, χαλκού, σιδήρου και μολύβδου). Η μέθοδος που θα ακολουθήσετε θα είναι η ίδια για κάθε ένα από αυτά.

1. Προσδιορίστε τη μάζα ενός κομματιού μετάλλου με ακρίβεια ενός γραμμαρίου.
2. Δέστε ένα κομμάτι *ανθεκτικού* νήματος γύρω από το κομμάτι του μετάλλου. Κρεμάστε το κομμάτι του μετάλλου από τη λαβίδα πάνω από ένα κατά το ήμισυ γεμάτο με νερό ποτήρι των 250 ml*. Χαμηλώστε τη λαβίδα μέχρι να βυθισθεί τελείως το μέταλλο μέσα στο νερό αλλά να μην αγγίζει τον πυθμένα του ποτηριού. Μπορείτε να μεταχειρισθείτε την ίδια λαβίδα για να στερεώσετε ένα θερμόμετρο (το σχήμα 3-4 δείχνει τη διάταξη του πειράματος). Θερμάνετε το νερό μέχρι του σημείου βρασμού και κρατήστε το σε αυτήν τη θερμοκρασία μέχρι τη στιγμή που θα είστε έτοιμοι να

* *Σ.τ.Μ. 1 ml (χιλιοστόλιτρο) = 1 cm³ (κυβικό εκατοστό).*



ΣΧΗΜΑ 3-4.

απομακρύνετε το μέταλλο. Διαβάστε τη θερμοκρασία του νερού που βράζει.

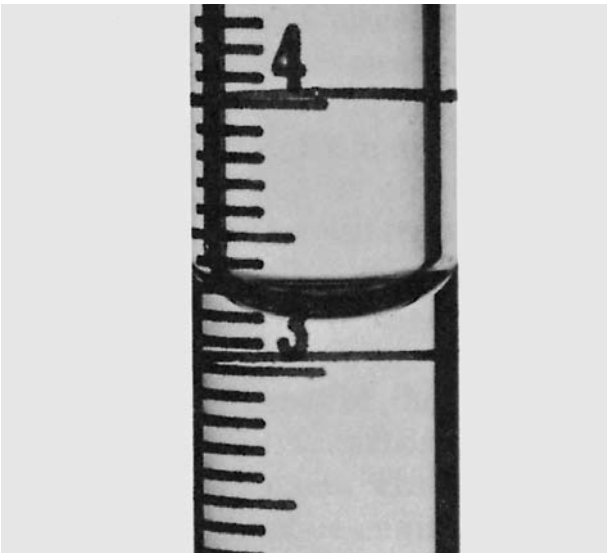
3. Με τη βοήθεια ενός ογκομετρικού κυλίνδρου μετρήστε με ακρίβεια 100 ml νερού (διαβάστε πώς να χρησιμοποιείτε ένα ογκομετρικό κύλινδρο). Αδειάστε αυτό το νερό σε ένα άλλο ποτήρι των 250 ml, τοποθετημένο πάνω σε μία διπλωμένη χαρτοπετσέτα, για να προστατεύσετε τον πάγκο εργασίας από το νερό. Επειδή ένα χιλιοστό του λίτρου νερό έχει μάζα σχεδόν ίση με ένα γραμμάριο, μπορείτε να υποθέσετε σε αυτό το πείραμα ότι η μάζα των 100 ml νερού είναι ίση με 100 γραμμάρια.
4. Μετρήστε τη θερμοκρασία των 100 γραμμαρίων νερού. Προσπαθήστε να διαβάσετε τη θερμοκρασία κατά προσέγγιση 0,1 βαθμού Κελσίου. Για να έχετε καλύτερα αποτελέσματα, είναι προτιμότερο η θερμοκρασία του νερού να είναι 4 βαθμούς πιο κάτω από τη θερμοκρασία του δωματίου.
5. Απομακρύνετε το κομμάτι του μετάλλου από το νερό που βράζει και τοποθετήστε το γρήγορα μέσα στα 100 γραμμάρια του κρύου νερού.
6. Ανακινήστε προσεκτικά το νερό γύρω από το μεταλλικό κομμάτι και διαβάστε το θερμόμετρο με ακρίβεια 0,1 βαθμού, όταν σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία, δηλαδή όταν σταματήσει να ανεβαίνει.
7. Απομακρύνετε το μέταλλο από το ποτήρι και αδειάστε το νερό. Γεμίστε πάλι το ποτήρι με 100 ml φρέσκο νερό και επαναλάβατε το πείραμα με κάποιο κομμάτι άλλου μετάλλου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θα πρέπει, πριν έρθετε στο εργαστήριο, να καταρτίσετε στο τετράδιό σας

Πώς να χρησιμοποιείτε έναν ογκομετρικό κύλινδρο.

Ο ογκομετρικός κύλινδρος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του όγκου ενός υγρού, όταν το πείραμα απαιτεί ένα σχετικό βαθμό ακριβείας. Αν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια, τότε χρησιμοποιείται μία προχοΐδα ή ένα σιφώνιο. Αν συγκρίνετε τις διαβαθμίσεις κυλίνδρων διαφορετικού μεγέθους, θα διαπιστώσετε ότι με τους περισσότερους κυλίνδρους των 10 ml είναι δυνατόν να μετρήσετε όγκους με ακρίβεια 0,1 ml ενώ με έναν κύλινδρο των 100 ml η μέτρηση μπορεί να γίνει με ακρίβεια μόνο 1 ml. Για να εξασφαλίσετε τη μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις σας, θα πρέπει να διαλέξετε ογκομετρικό κύλινδρο με χωρητικότητα όχι πολύ μεγαλύτερη από τον όγκο που επιθυμείτε να μετρήσετε. Θα είναι άσκοπο να χρησιμοποιήσετε π.χ. έναν κύλινδρο των 100 ml, για να μετρήσετε όγκο 9 ml, αν υπάρχει διαθέσιμος ένας μικρότερος κύλινδρος. Τα περισσότερα υγρά, όταν τοποθετηθούν μέσα σε έναν κύλινδρο, σχηματίζουν μία καμπύλη επιφάνεια στο επάνω μέρος τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-5. Θα παρατηρήσατε ότι τα άκρα αυτής της επιφάνειας είναι ελαφρώς υψηλότερα



ΣΧΗΜΑ 3-5.

πίνακες για την καταγραφή των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, όπως πιο κάτω:

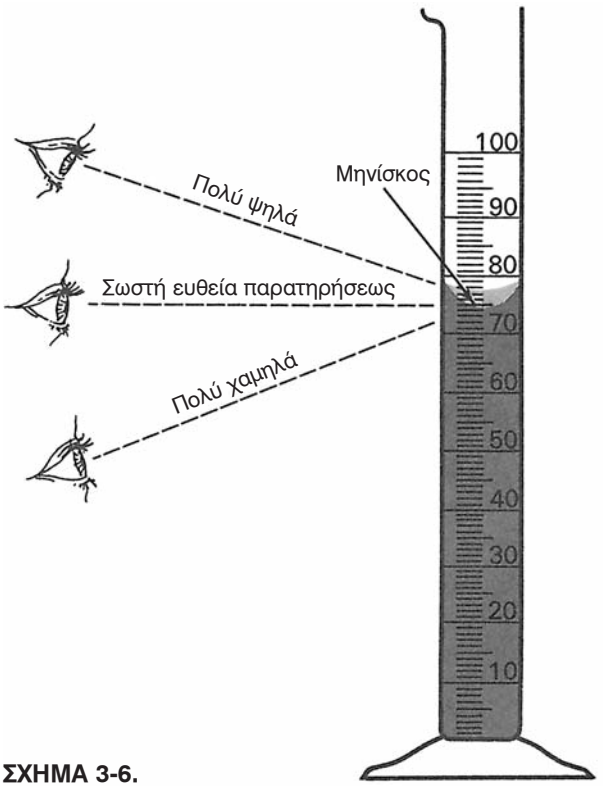
Είδος μετάλλου	Μάζα ψυχρού νερού (g)
Μάζα μετάλλου (g)	Τελική θερμοκρασία ψυχρού νερού και μετάλλου (˚C)
Θερμοκρασία του νερού που βράζει (˚C)	Αρχική θερμοκρασία ψυχρού νερού (˚C)
Τελική θερμοκρασία ψυχρού νερού και μετάλλου (˚C)	Αύξηση της θερμοκρασίας του ψυχρού νερού (˚C)
Απώλεια θερμοκρασίας του μετάλλου	

Υπολογισμοί.

1. Μια αύξηση της θερμότητας κατά *μία* θερμίδα αυξάνει τη θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου. Έτσι, για να προσδιορίσετε τη θερμότητα που απορροφήθηκε από m γραμμάρια νερού, του οποίου μεταβλήθηκε η θερμοκρασία κατά Δt, αρκεί να πολλαπλασιάσετε το $m \times \Delta t$ (το ελληνικό γράμμα Δ χρησιμοποιείται συχνά διεθνώς και με αυτό δηλώνεται μία μεταβολή ενός μεγέθους).
2. Η απώλεια θερμότητας του μετάλλου είναι ίδια με τη θερμότητα που απορροφήθηκε από το νερό, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν άλλες σημαντικές απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια του πειράματος. Έτσι, για να βρείτε την απώλεια θερμότητας για κάθε γραμμάριο μετάλλου και για κάθε ένα βαθμό (δηλαδή την ειδική του θερμότητα) διαιρέστε το αποτέλεσμα από το προηγούμενο ερώτημα με τη μάζα του μετάλλου και με τη μεταβολή της θερμοκρασίας του.

από το κέντρο της. Αυτή η καμπύλη επιφάνεια ονομάζεται ***μηνίσκος*** και δημιουργείται από την έλξη ανάμεσα στα τοιχώματα του δοχείου και στο υγρό. Όταν μετράτε τον όγκο ενός υγρού στον κύλινδρο, πρέπει να βεβαιωθείτε ότι το μάτι σας βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το μηνίσκο. Στη συνέχεια διαβάζετε τον όγκο σημειώνοντας τη γραμμή του κυλίνδρου που βρίσκεται ακριβώς κάτω από τη βάση του μηνίσκου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-6. Αν το μάτι σας βρίσκεται υψηλότερα ή χαμηλότερα από αυτό το επίπεδο, τότε υπολογίζετε πόσο απέχει από τη χαμηλότερη ένδειξη. Με έναν κύλινδρο βαθμολογημένο με διαστήματα του ενός χιλιοστόλιτρου μπορείτε να υπολογίσετε με προσέγγιση 0,1 ml.

Η θερμοκρασία, για την οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ο κύλινδρος, αναγράφεται συνήθως στο επάνω μέρος του. Οι μετρήσεις έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, όταν η θερμοκρασία του υγρού που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο είναι κοντά σε αυτήν τη θερμοκρασία.



ΣΧΗΜΑ 3-6.

3. Καταγράψτε την ειδική θερμότητα που βρήκατε εσείς για κάθε μέταλλο, όπως και το μέσο όρο των ειδικών θερμοτήτων που βρήκε η τάξη για κάθε μέταλλο.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Προσπαθήστε να προτείνετε κάποια θεωρία, που να εξηγεί πώς μεταφέρεται η θερμότητα από το θερμό κομμάτι του μετάλλου στο κρύο νερό.
2. Σε αυτό το πείραμα δεν υπολογίσθηκε η θερμότητα που χρειάσθηκε, για να θερμάνει το γυαλί του ποτηριού που περιείχε το κρύο νερό, επειδή είναι σχετικά μικρή συγκριτικά με τη θερμότητα που απορροφήθηκε από το νερό. Ποιες άλλες θα μπορούσαν να είναι οι πηγές σφάλματος σε αυτό το πείραμα;

Περίληψη.

Υπάρχουν διάφορες μορφές ενέργειας. Μία από τις πιο σημαντικές είναι η θερμότητα ή θερμική ενέργεια. Άλλες σημαντικές μορφές ενέργειας είναι η φωτεινή και η ηλεκτρική ενέργεια. Κινητική ενέργεια είναι η ενέργεια που έχει ένα κινούμενο αντικείμενο και που οφείλεται στην κίνησή του. Δυναμική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που ίσως να μην γίνεται αντιληπτή κάποια στιγμή, αλλά μπορεί να εμφανισθεί μετατρεπόμενη σε κάποια άλλη μορφή. Ένα συμπιεσμένο ελατήριο, ένα τεντωμένο λαστιχάκι ή ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε κάποιο υψηλό σημείο έχουν δυναμική ενέργεια, που μπορεί να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια. Η θερμοκρασία ενός αντικειμένου είναι μέτρο της θερμικής ενέργειας που περιέχει αυτό το αντικείμενο. Όταν ένα αντικείμενο αποκτά θερμική ενέργεια, η θερμοκρασία του αυξάνεται, εκτός αν το σώμα υφίσταται κάποιο είδος μετατροπής, όπως π.χ. μετάπτωση από την υγρή στη στερεά κατάσταση. Μία σημαντική επιστημονική θερμομετρική κλίμακα είναι η εκατονταβάθμιος ή κλίμακα Κελσίου. Σε αυτήν η θερμομετρική περιοχή ανάμεσα στο σημείο πήξεως και στο σημείο ζέσεως του νερού έχει χωρισθεί σε εκατό βαθμούς και έχει ορισθεί το σημείο πήξεως του νερού να ταυτίζεται με 0°C. Η επίσημη διεθνής μονάδα μετρήσεως της θερμικής και κάθε άλλης μορφής ενέργειας είναι το Joule. Μια χρήσιμη μονάδα για εργαστηριακές δραστηριότητες είναι η θερμίδα (calorie), που ισούται περίπου με το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου (ο προσδιορισμός πραγματοποιείται σε θερμοκρασία δωματίου).

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Θεωρήστε τρεις μορφές ενέργειας και σκεφθείτε μια σειρά φαινομένων που μπορεί να συμβούν στην καθημερινή ζωή, τα οποία είναι δυνατόν να οδηγήσουν στη μετατροπή κάθε μιας από αυτές τις μορφές ενέργειας στις άλλες δυο διαδοχικά.
2. Πόσες θερμίδες χρειάζονται για να αυξήσουν τη θερμοκρασία δέκα γραμμαρίων νερού από 15°C σε 25°C;

Οι μετατροπές ενέργειας διέπονται από νόμους

3.6 Διατήρηση της ενέργειας.

Έχετε μάθει ότι η ενέργεια μπορεί να εμφανισθεί με διάφορες μορφές, που όλες είναι μετατρέψιμες η μια στην άλλη. Για περισσότερα από 150 χρόνια, χημικοί και φυσικοί διεξάγουν πειράματα, για να διαπιστώσουν σε ποιο ποσοστό ένα είδος ενέργειας μπορεί να προέλθει από κάποιο άλλο. Πάντα βρίσκουν ότι σε αυτές τις μεταβολές το συνολικό ποσό ενέργειας παραμένει σταθερό. Ένα είδος ενέργειας, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να μετατραπεί τελείως σε άλλη μορφή, όπως σε φως, δηλαδή σε φωτεινή ενέργεια. Σε άλλες περιπτώσεις μια μορφή ενέργειας είναι

δυνατόν να μετατραπεί σε περισσότερες από μία νέες μορφές. Θυμηθείτε για παράδειγμα ότι η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ένας λαμπτήρας φωτισμού παράγει και θερμότητα αλλά και φως. Σε οποιαδήποτε ενεργειακή μεταβολή ή μεταβολές το συνολικό ποσόν της ενέργειας δεν μεταβάλλεται. Αλλάζει η μορφή της ενέργειας αλλά όχι και η ποσότητά της. Εξάλλου, ποτέ δεν έχει παρατηρηθεί αυτόματη εμφάνιση ενέργειας, δηλαδή δημιουργία ενέργειας από το τίποτα. Οι επιστήμονες συνοψίζουν την εμπειρία τους σχετικά με την ενέργεια σε ένα νόμο, που ονομάζεται ***Νόμος της Διατηρήσεως της Ενέργειας*** (είναι επίσης γνωστός και ως Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής). Ο νόμος αυτός ορίζει τα εξής:

> *Η ενέργεια δεν είναι δυνατόν ούτε να δημιουργηθεί αλλά ούτε και να καταστραφεί. Όταν η ενέργεια αλλάζει μορφή, η συνολική της ποσότητα παραμένει αμετάβλητη.*

Ο νόμος αυτός αποτελεί μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις της επιστήμης. Θεωρείται σωστός, γιατί κάθε προσπάθεια να αποδειχθεί ότι είναι λάθος έχει αποτύχει.

Ο Πρώτος Νόμος της Θεμοδυναμικής, όπως και ο Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας, είναι μια γενίκευση. Θυμηθείτε την περίπτωση του μαθητή, που έκανε μια γενίκευση σχετικά με τα καύσιμα. Διαπίστωσε ότι μια γενίκευση μπορεί να είναι λανθασμένη, αν ο αριθμός των παρατηρήσεων στις οποίες βασίσθηκε είναι πολύ περιορισμένος. Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής έχει ελεχθεί με τόσες παρατηρήσεις, τόσο συχνά και από τόσους πολλούς επιστήμονες, ώστε να θεωρείται απόλυτα αξιόπιστος. Οπωσδήποτε όμως δεν ισχύει, αν οι συνθήκες είναι εντελώς διαφορετικές από αυτές με τις οποίες μελετήθηκε και δοκιμάσθηκε. Όπως εξ άλλου δεν ισχύει, σε τέτοια περίπτωση, και ο Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας. Μερικές διαδικασίες, κυρίως αυτές που αφορούν στον ατομικό πυρήνα, διέπονται από έναν περισσότερο θεμελιώδη νόμο, που συνδυάζει τους προηγούμενους δύο. Ονομάζεται "Νόμος της Διατηρήσεως της Μάζας και της Ενέργειας" και θα τον εξετάσομε αργότερα. Πρέπει να τονισθεί ότι στις συνηθισμένες χημικές αντιδράσεις, οι αρχές διατηρήσεως της μάζας και της ενέργειας ισχύουν ξεχωριστά η μια από την άλλη, σύμφωνα με τους δύο παραπάνω νόμους.

3.7 Ενέργεια και έργο.

Όλοι γνωρίζομε τι σημαίνει έργο με τη συνηθισμένη έννοια της λέξεως. Σημαίνει μια προσπάθεια που καταβάλλεται, για να γίνει κάποια εργασία. Καταναλώνομε ενέργεια και όταν ολοκληρώνομε την εργασία είμαστε κουρασμένοι. Ο αυστηρά επιστημονικός ορισμός του έργου δεν διαφέρει πολύ ως προς το νόημα από τα προηγούμενα αλλά είναι περισσότερο ακριβής. Επιστημονικά το έργο ορίζεται ως το γινόμενο της δυνάμεως επί την απόσταση, κατά μήκος της οποίας ασκείται η δύναμη. ***Έργο*** δηλαδή είναι δύναμη επί απόσταση. Οι μονάδες μετρήσεως του έργου είναι ίδιες με τις μονάδες μετρήσεως της ενέργειας, δηλαδή οι θερμίδες και τα Joules. Έργο και ενέργεια είναι έννοιες στενά συνδεδεμένες, αλλά δεν συμπίπτουν. Η σχέση τους είναι η εξής: για να παραχθεί έργο απαιτείται ενέργεια· επίσης, το έργο μπορεί να παράγει ενέργεια.

Ας υποθέσομε ότι ένας βράχος βρίσκεται στους πρόποδες ενός λόφου, και ένας εκσκαφέας τον σπρώχνει στην κορυφή. Αν το όχημα ασκεί μια ορισμένη συνεχή δύναμη F πάνω στο βράχο, για να τον ανεβάσει στην κορυφή, και τον μετακινεί κατά μία απόσταση d, τότε το έργο που εκτελεί ο εκσκαφέας είναι ίσο με $F \times d$. Ο εκσκαφέας είναι σε θέση να εκτελέσει αυτό το έργο, γιατί η μηχανή του καίει πετρέλαιο και παράγει θερμική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του κινούμενου οχήματος και του βράχου που βρίσκεται μπροστά από αυτό. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (και θόρυβο, που είναι μια άλλη μορφή ενέργειας). Ένα άλλο μέρος μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια της βαρύτητας, που απέκτησαν ο εκσκαφέας και ο βράχος μετακινούμενοι προς την κορυφή του λόφου. Αν ο βράχος αφεθεί να κυλήσει πάλι προς τα κάτω, η δυναμική του ενέργεια θα μετατραπεί κατά ένα μέρος σε κινητική ενέργεια και κατά ένα άλλο σε θερμότητα. Η θερμότητα παράγεται από την τριβή, καθώς ο βράχος κατρακυλάει. Τελικά ο βράχος θα σταματήσει, όταν όλη η κινητική του ενέργεια μετατραπεί σε θερμότητα. Αφήνει πίσω του κάποιο ελάχιστο ποσό θερμότητας, που τελικά απορροφάται από το περιβάλλον.

Το ενδιαφέρον μας για την ενέργεια οφείλεται σε πρακτικούς κυρίως λόγους. Μπορούμε να την χρησιμοποιήσομε για την παραγωγή έργου, το οποίο σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να παράγομε οι ίδιοι χρησιμοποιώντας τους μύες μας. Χρησιμοποιούμε πηγές ενέργειας, όπως μηχανές εσωτερικής καύσεως, ηλεκτρογεννήτριες,

συσσωρευτές (μπαταρίες) ή και υδατοπτώσεις, και προσπαθούμε άμεσα ή έμμεσα να παράγομε κάποιο έργο αξιοποιώντας την ενέργεια που προέρχεται από τις παραπάνω πηγές.

Πριν από εκατό χρόνια, η δυναμική ενέργεια του νερού που έφτανε σε ένα καταρράκτη χρησιμοποιείτο σχεδόν άμεσα. Η κινητική ενέργεια του νερού που έπεφτε μετατρεπόταν σε κινητική ενέργεια ενός τροχού, ο οποίος στη συνέχεια κινούσε διάφορα άλλα μηχανικά μέρη. Σήμερα οι φυσικοί καταρράκτες ή και αυτοί που δημιουργούνται με τα τεχνητά φράγματα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται σε άλλους τόπους, όπου χρησιμοποιείται σε διάφορες ηλεκτρικές εφαρμογές για την παραγωγή έργου*.

3.8 *Η ενέργεια έχει την τάση να διασκορπίζεται αυθόρμητα.*

Όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα ενέργειας συγκεντρωμένη σε κάποιο σημείο, αυτή έχει την τάση να διασκορπίζεται στο περιβάλλον. Ενδεικτικό παράδειγμα είναι ότι κάθε σώμα θερμότερο από το περιβάλλον του εκλύει αυθόρμητα θερμότητα προς το περιβάλλον. Η έκλυση της θερμότητας συνεχίζεται μέχρις ότου η θερμοκρασία του σώματος εξισωθεί με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατ' αναλογία, κι ένα σώμα που έχει αυξημένη δυναμική ενέργεια, επειδή βρίσκεται σε μεγάλο ύψος, θα πέσει αυτόματα αν δεν στηρίζεται κάπου, χάνοντας στην πορεία δυναμική ενέργεια.

Σε όλα τα κινούμενα αντικείμενα αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής. Αν δεν τροφοδοτούνται διαρκώς με προωθητική ενέργεια, τότε η κίνησή τους επιβραδύνεται βαθμιαία. Ολόκληρη η κινητική τους ενέργεια μεταφέρεται τελικά στο περιβάλλον με τη μορφή της θερμότητας.

Όταν ο αρνητικός και θετικός πόλος ενός συσσωρευτή ενωθούν με έναν αγωγό ηλεκτρικού ρεύματος, δημιουργείται αυθόρμητα ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Τόσο ο συσσωρευτής όσο και αγωγός που συνδέει τους πόλους θερμαίνονται κατά τη διέλευση του ρεύματος κι αυτή η θερμότητα εκλύεται στο περιβάλλον. Τελικά όλη η ποσότητα της ενέργειας, που αρχικά είχε συσσωρευθεί στο μικρό όγκο του συσσωρευτή, διασκορπίζεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας.

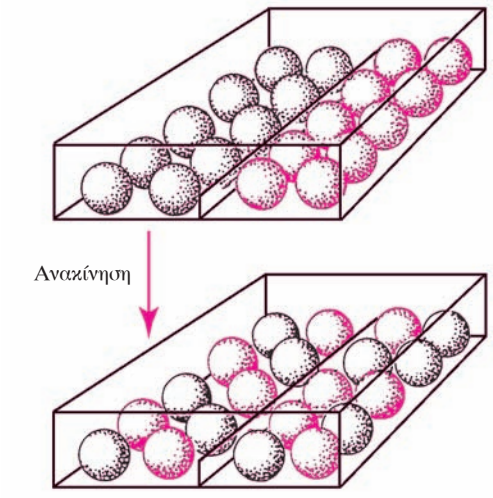
* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή φως, θερμότητα, κίνηση κλπ.*

Στη χημεία, η τάση που έχει η ενέργεια να εκλύεται είναι ένας παράγοντας ιδιαίτερα σημαντικός. Σχεδόν σε όλες τις χημικές διαδικασίες που συντελούνται αυθόρμητα εκλύεται ενέργεια. Είδατε ένα τυπικό παράδειγμα, όταν παρατηρούσατε την καύση του κεριού. Είναι αλήθεια ότι αυτή η διαδικασία δεν είναι αυθόρμητη, με την έννοια ότι δεν αρχίζει από μόνη της. Θα πρέπει κάποιος να ανάψει πρώτα το κερί. Αλλά όταν ανάψει και αν τροφοδοτείται συνεχώς με οξυγόνο, το κερί εξακολουθεί να καίγεται χωρίς άλλη παρέμβαση. Με αυτήν την έννοια, η διαδικασία της καύσεως είναι αυθόρμητη.

3.9 *Η τυχαία διάταξη (ή αταξία) είναι επίσης σημαντικός παράγοντας.*

Εκτός από την τάση της ενέργειας να διασκορπίζεται, υπάρχει και ένας δεύτερος παράγοντας που βοηθάει στο να προκαθορίσομε αν κάτι θα συμβεί από μόνο του, δηλαδή αυθόρμητα. Αυτός ο παράγοντας είναι η φυσική τάση για αύξηση της αταξίας ή για τυχαία διάταξη.

Ας υποθέσομε ότι έχετε ένα δοχείο (όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 3-7) που περιέχει 10 λευκούς βώλους στο ένα τμήμα του και 10 μαύρους στο άλλο. Η τοποθέτηση των βώλων με βάση το χρώμα τους αποτελεί μια πολύ συστηματική και



ΣΧΗΜΑ 3-7. *Όταν ανακινήσομε ένα δοχείο που περιέχει βώλους τοποθετημένους με μεγάλη τάξη, η τάξη χάνεται και παραχωρεί τη θέση της σε μια από τις ένα εκατομμύριο πιθανές τυχαίες διατάξεις των βώλων.*

όχι τυχαία τοποθέτηση. Ας υποθέσομε ότι

ανακινείτε το δοχείο για αρκετή ώρα και στη συνέχεια το τοποθετείτε πάλι πάνω στο τραπέζι. Σύντομα όλη η κινητική ενέργεια που είχε προσδοθεί στους βώλους όση ώρα ανακινούσατε το δοχείο θα έχει χαθεί, και οι βώλοι θα βρίσκονται στο ίδιο ύψος και στην ίδια θερμοκρασία όπως και προηγουμένως. Έτσι από μια πρώτη ματιά, δεν φαίνεται ότι είναι δυνατόν όλη αυτή η διαδικασία της ανακινήσεως να έχει προκαλέσει κάποια μεταβολή στην ενέργεια.

Έχει προκύψει όμως μια τεράστια αλλαγή στη σειρά, με την οποία είναι τοποθετημένοι ο βώλοι. Η τάξη έχει χαθεί! Η τυχαία διάταξη των βώλων είναι τώρα το νέο δεδομένο. Κάθε φορά που ανακινείτε το δοχείο, έχετε ως αποτέλεσμα μια διαφορετική τυχαία τοποθέτηση των βώλων. Υπάρχει μόνο μια πιθανότητα στο ένα εκατομμύριο να προκύψει πάλι η συστηματική διάταξη, από την οποία ξεκινήσατε. Η φυσική τάση είναι η αρχική συστηματική τοποθέτηση να πάψει να ισχύει και αντί αυτής να προκύψει μια τυχαία διάταξη.

Στις περισσότερες χημικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται αυθόρμητα σημειώνεται μια απώλεια ενέργειας και μια αύξηση της αταξίας στην ύλη. Δηλαδή και οι δύο παράγοντες που υποβοηθούν τη δημιουργία μιας αυθόρμητης διαδικασίας ενεργούν κατά την ίδια κατεύθυνση, ενισχύοντας αμοιβαία ο ένας τον άλλο. Στην περίπτωση που και οι δύο παράγοντες είναι ευνοϊκοί, είναι αυτονόητο ότι η διαδικασία θα είναι αυθόρμητη. Για παράδειγμα, καθώς καίγεται ένα κερί, εκλύεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας και φωτός. Ταυτόχρονα, η ύλη που ήταν ταξινομημένη κατά ένα συστηματικό τρόπο μέσα στο κερί, μετατρέπεται σε διάφορα αέρια, τα οποία διασκορπίζονται άτακτα στο περιβάλλον. Περισσότερο δύσκολο είναι να προβλέψομε τα αποτελέσματα, όταν είναι ευνοϊκός μόνο ο ένας παράγοντας και όχι ο άλλος.

3.10 Διατήρηση μάζας και ενέργειας.

Στην παράγραφο 3.6 αναφέρθηκε πολύ σύντομα ότι διαδικασίες, που αφορούν στον πυρήνα του ατόμου και άλλα σωματίδια μικρότερα από τα άτομα, δεν υπακούουν πάντα ξεχωριστά στους νόμους διατηρήσεως της μάζας και της ενέργειας. Υπακούουν όμως σε κάποιο συνδυασμό αυτών των δύο νόμων. Ας εμβαθύνομε λίγο περισσότερο σε αυτό το θέμα.

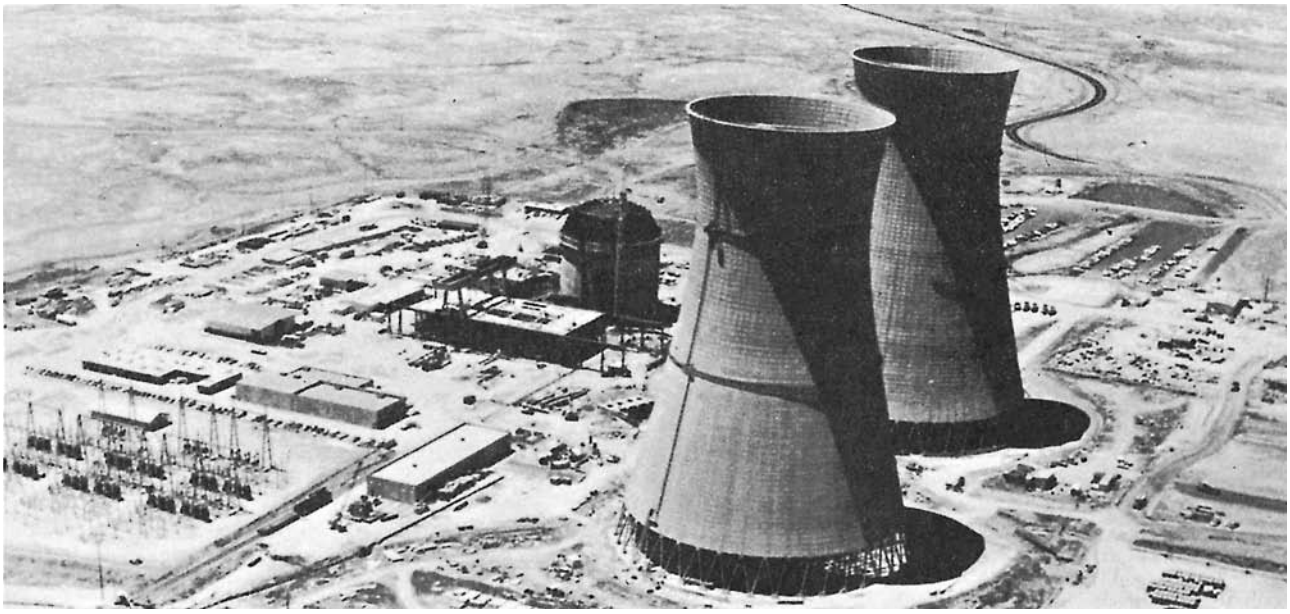
Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η παραγωγή ενέργειας είναι απαραίτητη σε μια τεχνολογικά ανεπτυγμένη κοινωνία. Όλη η ενέργεια που παράγεται, όποια και αν είναι η αρχική της μορφή, μετατρέπεται τελικά σε θερμική ενέργεια, η οποία πρέπει να απορροφηθεί από το περιβάλλον.

Μέχρι πολύ πρόσφατα, η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που προερχόταν από την παραγωγή βιομηχανικής ενέργειας ήταν πολύ λιγότερη από αυτήν που υπήρχε ήδη στη γη, και την οποία παίρνει η γη σταθερά από τον ήλιο. Σήμερα όμως, προστίθενται στο περιβάλλον τόσο μεγάλα ποσά θερμότητας, ώστε η ισορροπία της φύσεως έχει διαταραχθεί. Αυτό το αποτέλεσμα είναι γνωστό ως θερμική ρύπανση!

Οι καταφανέστερες πηγές θερμικής ρυπάνσεως είναι οι εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτές παράγουν θερμότητα καίγοντας κάρβουνο, πετρέλαιο ή εφαρμόζοντας πυρηνικές διαδικασίες (γι' αυτές θα μάθετε στο κεφάλαιο 10). Η παραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την τροφοδότηση ενός κινητήρα ή ενός στροβίλου, που κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια, και έτσι παράγεται ηλεκτρισμός. Όμως είναι αδύνατον να μετατρέψομε ολόκληρη τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι ακόμη και η πιο αποτελεσματική μηχανή που θα μπορούσε να σχεδιασθεί, δεν θα μπορούσε να μετατρέψει όλη τη θερμική ενέργεια σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, όπως είναι ο ηλεκτρισμός. Τουλάχιστον ένα μέρος από τη θερμική ενέργεια διαφεύγει στο περιβάλλον ως θερμότητα, ακόμη και κάτω από τις ιδανικότερες συνθήκες λειτουργίας. Στην πραγματικότητα, το είδος του μηχανολογικού εξοπλισμού που υπάρχει σήμερα μετατρέπει λιγότερο από τη μισή θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η υπόλοιπη εκλύεται με τη μορφή θερμότητας στο άμεσο περιβάλλον της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως. Τελικά ολόκληρη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται επίσης σε θερμική. Η θερμότητα όμως που παράγεται από τον ίδιο τον ηλεκτρισμό δεν επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον, γιατί διασκορπίζεται σε πολύ μεγάλη έκταση (σε όλη την έκταση δηλαδή που τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα). Ως



Αυτοί οι δύο πύργοι ψύξεως σχήματος υπερβολής στον πυρηνικό σταθμό του Rancho Seco της Καλιφόρνιας απομακρύνουν την αποβαλλόμενη θερμότητα ανακυκλώνοντας το νερό ψύξεως με ταχύτητα 2.250.000 λίτρων περίπου το

αποτέλεσμα της θερμικής ρυπάνσεως προκύπτουν δύο προβλήματα. Το πρώτο αφορά στο άμεσο περιβάλλον της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας. Συνήθως για την απορρόφηση της περίσσειας της θερμότητας χρησιμοποιείται νερό από μια λίμνη, ένα ποτάμι ή έναν κόλπο. Το νερό αυτό, μετά τη χρήση του επιστρέφει θερμότερο στην πηγή από την οποία προήλθε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που βρίσκεται κοντά σε αυτά τα εργοστάσια και ιδιαίτερα όταν αυτό προέρχεται από μικρές λίμνες.

Πολλά ψάρια και άλλα υδρόβια όντα μπορούν να ζήσουν μόνο σε σχετικά μικρές θερμοκρασίες. Ακόμα και μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας μπορεί να είναι το ίδιο καταστροφικές όσο και μια δηλητηριώδης ουσία. Έτσι η θερμική ρύπανση διαταράσσει τις σχέσεις ανάμεσα στους οργανισμούς και το περιβάλλον τους, οδηγώντας στην καταστροφή της οικολογικής ισορροπίας. Ο τόπος εγκαταστάσεως των νέων ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων όπως και ο σχεδιασμός της ψύξεώς τους πρέπει να μελετώνται πολύ προσεκτικά. Νερό από οποιαδήποτε περιοχή είναι σχεδόν πάντα κατάλληλο για ένα εργοστάσιο, όμως το εργοστάσιο ίσως να επηρεάζει αρνητικά την οικολογία της περιοχής απ' όπου προέρχεται το νερό. Το δεύτερο πρόβλημα δημιουργείται από τον τρομακτικό και συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενέργειας που μεταφέρεται και διανέμεται σε διάφορα μέρη σε ολόκληρη τη γη (δεν αναφερόμασθε πλέον μόνο στις περιοχές γύρω από τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής). Είναι φανερό ότι τελικά όλη η ενέργεια που παράγεται σε όλες τις εγκαταστάσεις πρέπει να απορροφηθεί από την επιφάνεια της γης κι από την ατμόσφαιρα. Πότε όμως αυτή η θερμική ενέργεια θα αρχίσει να επηρεάζει το κλίμα; Δεν υπάρχει αρκετή πληροφόρηση, ώστε να δοθεί απάντηση σε αυτό το ερώτημα ή να σχεδιασθεί στο μέλλον ένα σύστημα ελέγχου του τρόπου χρήσεως της ενέργειας. Πρέπει να μάθομε ακόμα πολλά για το πώς λειτουργεί η γη και για τις σχετικές φυσικές και χημικές διαδικασίες που συντελούνται. Πρέπει να είμαστε ικανοί να προβλέπομε τις μελλοντικές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια και να αξιολογούμε τις επιπτώσεις που θα έχει στο περιβάλλον η χρήση τους.

Η θερμική ρύπανση αποτελεί βραχυπρόθεσμο αλλά και μακρυπρόθεσμο πρόβλημα. Οι νέοι που ενδιαφέρονται για την επιστήμη και το περιβάλλον, θα προσφέρουν πολύ ενδιαφέρον και σημαντικό έργο, αν βοηθήσουν να λυθεί αυτό το πρόβλημα.

Ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός Albert Einstein είναι ο πρώτος που διαπίστωσε ότι κάτι τέτοιο έπρεπε να συμβαίνει με αυτά τα μικρά σωματίδια. Με αφετηρία τη θεωρία του για τη σχετικότητα κατέληξε να προτείνει μια ακριβή μαθηματική σχέση, που συνδέει τη μάζα και την ενέργεια. Είναι η πολύ γνωστή εξίσωση $E = mc^2$. Το E παριστάνει την ενέργεια, το m τη μάζα και το c την ταχύτητα του φωτός.

Η εξίσωση αυτή έχει σημασία μόνο όταν πρόκειται για τεράστια ποσά ενέργειας. Για να καταλάβομε το γιατί, ας χρησιμοποιήσομε μερικούς αριθμούς. Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι 3,00 x 10^8 μέτρα/δευτερόλεπτο (η ταχύτητά του στον αέρα δεχόμαστε ότι είναι πρακτικά η ίδια).

Ας υποθέσομε ότι ένα γραμμάριο (1,00 g) πρόκειται να μετατραπεί σε ενέργεια

$$E = (1{,}00 \times 10^{-3}\ \text{kg}) \times (3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m/sec})^2 = 9{,}00 \times 10^{13}\ \text{kg m}^2/\text{sec}^2$$

Στο σύστημα μονάδων που χρησιμοποιούμε, ένα Joule είναι εξ ορισμού 1 kg m^2/sec^2. Έτσι:

$$E = 9{,}00 \times 10^{13}\ \text{Joules.}$$

Το ποσό αυτό της ενέργειας είναι φανταστικά μεγάλο. Θα μπορούσε να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια, περίπου 5.000 νοικοκυριά για ένα χρόνο.

Το αξιοσημείωτο είναι ότι μια πολύ μικρή μάζα ύλης αντιστοιχεί σε τεράστια ποσότητα ενέργειας*. Ή ας το εξετάσομε διαφορετικά. Δεν υπάρχει ζυγός, με τον οποίο να μπορούμε να διαπιστώσομε την ελάττωση της μάζας, παρά μόνο αν αντίστοιχα η ποσότητα της ενέργειας που ελευθερώνεται είναι τεράστια. Για παράδειγμα, όταν ένας τόνος κάρβουνο καίγεται, το ποσό της ενέργειας που εκλύεται είναι περίπου 3 x 10^{10} Joules. Με τη βοήθεια αυτών των αριθμητικών δεδομένων, εύκολα υπολογίζετε την αντίστοιχη απώλεια μάζας:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{3 \times 10^{10}\ \text{kg m}^2/\text{sec}^2}{9 \times 10^{16}\ \text{m}^2/\text{sec}^2} = 3 \times 10^{-7}\ \text{kg} = 3 \times 10^{-4}\ \text{g}$$

Δεν υπάρχει γνωστή συσκευή που να προσδιορίζει απώλεια ενός δεκάτου του χιλιοστού του γραμμαρίου σε μια συνολική μάζα των 1000 kg περίπου. Αυτό αντιστοιχεί περίπου σε ένα μέρος στα 10^{10}. Δεν είναι πρακτικά δυνατή η κατασκευή ενός τέτοιου ζυγού, που να προσδιορίζει μια τέτοια διαφορά. Θεωρούμε ότι το κάρβουνο (και το οξυγόνο που βοηθά στην καύση του) περιέχει δυναμική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε θερμική, όταν το κάρβουνο καίγεται. Ίσως αυτή η δυναμική ενέργεια να βρίσκεται στην πραγματικότητα με τη μορφή της μάζας, αλλά δεν υπάρχει τρόπος να το αποδείξομε. Γι' αυτό και δεν το εξετάζομε. Από όσες πληροφορίες είναι δυνατόν να μας δώσουν τα πειράματα, η μάζα παραμένει αμετάβλητη σε όλες τις συνηθισμένες χημικές και φυσικές διαδικασίες. Το ίδιο συμβαίνει και για το συνολικό άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας, με την προϋπόθεση ότι λαμβάνομε υπόψη και την έννοια της δυναμικής ενέργειας. Έτσι δικαιολογημένα θα μεταχειριζόμασθε ξεχωριστά τους νόμους της διατηρήσεως της μάζας και της διατηρήσεως της ενέργειας. Σε μερικές διαδικασίες που αφορούν στον πυρήνα του ατόμου, τα ποσά της ενέργειας που ελευθερώνονται ανά γραμμάριο ύλης είναι τόσο μεγάλα, ώστε υπάρχουν συσκευές που μπορούν να μετρήσουν την αλλαγή της μάζας σε

Περίληψη.

Ένας από τους πιο σημαντικούς νόμους της χημείας αναφέρει ότι η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί από το τίποτα, αλλά ούτε και να καταστραφεί. Το μόνο που είναι δυνατόν να γίνει είναι να μετατραπεί από τη μια μορφή σε κάποιαν άλλη. Αυτός ο νόμος ονομάζεται και Νόμος της Διατηρήσεως της Ενέργειας. Όταν μια δύναμη ενεργεί πάνω σε κάποιο σώμα και το αναγκάζει να κινηθεί σε κάποιαν απόσταση, παράγεται έργο. Το έργο μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια και αντιστρόφως η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε έργο. Γι' αυτό και το έργο μετρείται με τις ίδιες μονάδες, τα Joules και τις θερμίδες, όπως και η ενέργεια.

Υπάρχει μια φυσική τάση της ενέργειας να διασκορπίζεται αυθόρμητα στο περιβάλλον. Υπάρχει επίσης μια φυσική τάση, οποιαδήποτε κανονική διάταξη, αν αφεθεί ελεύθερη, να χάσει αυτήν την τάξη της και να οδηγηθεί σε αταξία. Διαδικασίες στις οποίες είτε το ένα είτε και τα δύο από τα παραπάνω συμβαίνουν, είναι δυνατόν να γίνουν και αυθόρμητα.

---

* *Σ.τ.Μ. Γιατί η μάζα πολλαπλασιάζεται με έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό, δηλαδή το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός.*

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Αναφέρετε με δικά σας λόγια το Νόμο της Διατηρήσεως της Ενέργειας.
2. Γιατί χαρακτηρίζεται ως "Νόμος"; Γιατί πιστεύουν οι επιστήμονες ότι είναι σωστός;
3. Ποια είναι τα δύο χαρακτηριστικά των αυθορμήτων διαδικασιών;

Περίληψη κεφαλαίου

Η ενέργεια εμφανίζεται με διάφορες μορφές. Είναι δυνατόν να μετατραπεί από τη μια μορφή στην άλλη χωρίς απώλεια. Σε πολλές περιπτώσεις η ενέργεια μετατρέπεται τουλάχιστον μερικώς σε θερμική ενέργεια, η οποία και διασκορπίζεται στο περιβάλλον. Σημαντικές μορφές ενέργειας είναι η θερμική, η φωτεινή, η ηλεκτρική, η κινητική και τα διάφορα είδη δυναμικής ενέργειας. Το έργο ορίζεται από τους επιστήμονες ως το γινόμενο της δυνάμεως επί την απόσταση. Η ενέργεια μπορεί να παράγει έργο, ή το έργο να δημιουργήσει ενέργεια. Γι' αυτό, το έργο αλλά και όλες οι μορφές της ενέργειας μετρούνται με τις ίδιες μονάδες. Οι μονάδες αυτές ορίζονται σε συνάρτηση με τη θερμότητα και τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ενός σώματος αυξάνει όταν αυξάνεται και η θερμική του ενέργεια. Μια χρήσιμη επιστημονική κλίμακα θερμοκρασίας ορίζει το σημείο τήξεως του νερού στους 0°C και το σημείο βρασμού του στους 100°C βαθμούς. Είναι η κλίμακα του Κελσίου ή εκατονταβάθμια κλίμακα, και οι βαθμοί ονομάζονται βαθμοί Κελσίου (°C). Μεταξύ 8°C και 80°C, απαιτείται περίπου το ίδιο ποσό ενέργειας για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό °C. Η ποσότητα αυτή της θερμότητας ή και κάθε άλλης μορφής ενέργειας ή έργου ονομάζεται μία θερμίδα (calorie). Μία άλλη μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται διεθνώς είναι το Joule (4,184 Joules αντιστοιχούν σε μία θερμίδα).

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Έστω ότι κρατάτε με το ένα σας χέρι μια κοινή λαστιχένια μπάλα, σε ύψος περίπου ενός μέτρου πάνω από ένα συμπαγές, λείο πάτωμα, και την αφήνετε να πέσει. Σε ποιο σημείο θα έχει τη μέγιστη δυναμική ενέργεια και σε ποιο σημείο τη μέγιστη κινητική ενέργεια;
2. Νομίζετε ότι η λαστιχένια μπάλα (έστω και αν ήταν κατασκευασμένη από ειδικό υλικό, που θα βοηθούσε να αναπηδά ψηλά) θα επέστρεφε στο ίδιο ύψος από όπου ρίχθηκε; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
3. Το νερό που έρχεται από την αμερικανική πλευρά του καταρράκτη του Νιαγάρα, πέφτει σε βράχια από ύψος 167 μέτρων. Νομίζετε ότι θα υπάρχει κάποια διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία που έχει το νερό στην κορυφή του καταρράκτη και σε αυτήν που έχει, όταν κτυπάει τα βράχια; Εξηγήστε το.
4. Φανταστείτε ένα μεγάλο φορτηγό και ένα μικρό επιβατηγό αυτοκίνητο, που κινούνται σε παράλληλες λωρίδες σε έναν αυτοκινητόδρομο. Ποιοι παράγοντες νομίζετε ότι καθορίζουν το ποσό της κινητικής ενέργειας που έχει το κάθε όχημα; Ποιο νομίζετε ότι θα έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα κινητικής ενέργειας; Με ποιον καταστροφικό ίσως τρόπο θα μπορούσε να αποδειχθεί αυτό;
5. Υποθέστε ότι σας δίνεται ένα μικρό τετράτροχο καρότσι μήκους 15-20 cm και ότι μαζί σας δίνονται ένας ζυγός, μια σειρά από βάρη γνωστής μάζας, μια σανίδα μήκους ενός μέτρου περίπου και ένας μικρός ξύλινος τάκος. Ο τάκος τοποθετείται πάνω σε ένα τραπέζι, κάτω από τη μια άκρη της σανίδας*. Περιγράψτε μια σειρά από πειράματα, τα οποία αν γίνουν, θα σας βοηθήσουν να εκτιμήσετε την επίδραση της μάζας και της ταχύτητας στην κινητική ενέργεια ενός κινουμένου σώματος.

* *Σ.τ.Μ. Για να δημιουργηθεί επικλινές επίπεδο.*

6. Ένα αυτοκίνητο κινείται με ταχύτητα 100 χιλιομέτρων την ώρα πάνω σε μακρύ, επίπεδο και εντελώς ευθύγραμμο αυτοκινητόδρομο. Εξηγήστε τι θα συμβεί αν η μηχανή μπει στο νεκρό σημείο, ελευθερώνοντας το συμπλέκτη, ενώ το αυτοκίνητο κινείται με αυτήν την ταχύτητα.
7. Φαντασθείτε έναν ηλεκτρικό κινητήρα συνδεδεμένο με τον άξονα μιας ηλεκτρογεννήτριας. Αν ο κινητήρας ξεκινήσει παίρνοντας ηλεκτρισμό από κάποια άλλη πηγή, νομίζετε ότι ο ηλεκτρισμός της γεννήτριας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να διατηρήσει τον κινητήρα σε κίνηση και μετά την αποσύνδεσή του από την πρώτη πηγή; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
8. Αν βασισθείτε στις απαντήσεις των ερωτήσεων 2, 6 και 7, ποιο νομίζετε ότι είναι το μεγαλύτερο εμπόδιο στην πλήρη αξιοποίηση της μηχανικής ενέργειας;
9. Διά μέσου των αιώνων πολλοί επιστήμονες και ερασιτέχνες προσπάθησαν να σχεδιάσουν μηχανές τύπου αεικινήτου, που έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να κινούνται για πάντα από τη στιγμή που θα ξεκινήσουν. Γιατί κανείς δεν το πέτυχε; Ποιες δυνατότητες υπάρχουν να ανακαλυφθεί μια τέτοια μηχανή στο μέλλον;
10. Τα καύσιμα που παράγονται σε ένα διυλιστήριο πετρελαίου αντλούνται με τη βοήθεια σωλήνων και συχνά διανύουν μεγάλες αποστάσεις μέχρι το σημείο προορισμού τους. Να περιγράψετε όλες τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά του καυσίμου σε απόσταση 300 χιλιομέτρων, δηλαδή από το διυλιστήριο στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού και στη συνέχεια κατά τη μεταφορά του παραγομένου ηλεκτρισμού σε ένα σπίτι, που βρίσκεται περίπου 30 χιλιόμετρα έξω από τα όρια της πόλεως. Επίσης, να περιγράψετε πώς θα ήταν δυνατόν να χαθεί ενέργεια κατά μήκος αυτής της διαδρομής.
11. Ποια νομίζετε ότι είναι η διαφορά ανάμεσα στη θερμότητα και τη θερμοκρασία;
12. Υποθέστε ότι σας δίνουν από ένα κομμάτι μετάλλων όπως ο μόλυβδος, το αλουμίνιο, ο σίδηρος και ο χαλκός (όλα με την ίδια μάζα). Επίσης υποθέστε ότι τα θερμαίνετε στους 100°C, τοποθετώντας τα μέσα σε ένα ποτήρι, που περιέχει βραστό νερό. Με τη βοήθεια ενός θερμομέτρου και τεσσάρων ποτηριών, που θα περιέχουν ίση ποσότητα νερού, πώς μπορείτε να διαπιστώσετε αν τα τέσσερα κομμάτια αυτών των μετάλλων περιείχαν την ίδια ή διαφορετική ποσότητα θερμότητας;
13. Ο κόμης Rumford, σε ένα πείραμα που είχε εκτελέσει παλιά, για να βρει κάποια σχέση ανάμεσα στη μηχανική ενέργεια και τη θερμότητα, χρησιμοποίησε δύο άλογα για να στρέψει ένα τροχό. Αργότερα ο James Watt, ένας Σκωτσέζος μηχανικός, γνωστός για την ανακάλυψη της ατμομηχανής, μέτρησε το ποσό του έργου που μπορεί να παράγει ένα άλογο σε μία ώρα (η εργασία του Watt στην πραγματικότητα οδήγησε στον ορισμό της μονάδας μετρήσεως της ισχύος, δηλ. του ίππου). Αν ως έργο ορίζεται η δύναμη επί την απόσταση, πώς θα βρείτε το έργο που μπορεί να παραχθεί από ένα άλογο σε μία ώρα;
14. Ας υποθέσομε ότι έχετε τρία κέρματα γυρισμένα από την πλευρά που δείχνουν "κορώνα". Αφού τα ανακατέψετε, στη συνέχεια πετάξτε τα στο πάτωμα. Νομίζετε ότι θα έχουν διαφορετική διάταξη; Πόσες διαφορετικές διατάξεις είναι δυνατόν να υπάρξουν με τα τρία κέρματα; Γιατί ανακατεύοντάς τα, κατά τον προηγούμενο τρόπο, έχουν την τάση να αποκτήσουν περισσότερο τυχαία διάταξη;
15. Σε κάποιο Λύκειο φοιτούν 1500 μαθητές. Ποιες ώρες μέσα σε μια τυπική σχολική ημέρα γίνεται η κίνηση των μαθητών περισσότερο άτακτη (τυχαία); Πότε νομίζετε ότι έχουν τη μεγαλύτερη τάξη; Υπάρχει κάποια ώρα κατά την οποία η κίνηση των μαθητών γίνεται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΑΚΡΙΒΕΙΑ



Οι ποσοτικές μετρήσεις αποτελούν ουσιαστικό μέρος της Χημείας.

Οι χημικοί παρατηρούν τη συμπεριφορά της ύλης. Μελετούν τις ιδιότητες των ουσιών, με σκοπό να τις καθαρίσουν, να προσδιορίσουν την ταυτότητά τους και να μάθουν πώς μια ουσία μετατρέπεται σε κάποιαν άλλη. Πολλές από τις παρατηρήσεις των χημικών είναι ποσοτικής φύσεως. Δηλαδή μετρείται το μέγεθος κάποιας ιδιότητας, όπως η θερμοκρασία, το μήκος ή ο όγκος, και εκφράζεται με κάποιους αριθμούς.

Συχνά, αν θέλομε να κατανοήσομε απόλυτα μια χημική διαδικασία, απαιτούνται προσεκτικές μετρήσεις της μάζας και της ενέργειας. Προκειμένου να γίνουν από ένα χημικό τέτοιες μετρήσεις, θα πρέπει να υπάρχει ένα ορισμένο σύστημα μονάδων, σύμφωνα με το οποίο αυτός θα εκφράζει τα δεδομένα του. Βασική προϋπόθεση είναι να κατανοεί τον τρόπο με τον οποίο θα αξιολογεί την ακρίβεια των μετρήσεών του, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο θα εκφράζει τα αποτελέσματά του, ώστε ο βαθμός ακριβείας τους να είναι πάρα πολύ υψηλός. Τέλος, θα πρέπει ο χημικός να γνωρίζει πώς να προσδιορίζει το όριο ακριβείας μιας ποσότητας που έχει υπολογισθεί με άλλες προηγούμενες αριθμητικές μετρήσεις.

Τα πειράματα έχουν ήδη αποτελέσει ένα μέρος της μελέτης σας γύρω από τη χημεία. Είναι απαραίτητο όμως, τώρα στη αρχή, να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα προβλήματα που αφορούν στις μετρήσεις, την ακρίβειά τους και

Μονάδες μετρήσεως

4.1 Το πρακτικό σύστημα.

Μελετώντας χημεία, σύντομα θα διαπιστώσετε ότι σε πολλές έρευνες είναι απαραίτητες οι μετρήσεις. Για παράδειγμα, συχνά θα πρέπει να καταγράψετε μεταβολές στο μήκος, τον όγκο και τη θερμοκρασία. Θα πρέπει επίσης να μετρήσετε τις μάζες ουσιών πριν και μετά από μια αντίδραση, ή τη χρονική διάρκεια μιας αντιδράσεως.

Είναι φανερό λοιπόν ότι έχει ιδιαίτερη σημασία το να μάθετε πώς εκφράζονται συνήθως αυτές οι μετρήσεις. Γνωρίζετε ήδη μερικά για το πρακτικό σύστημα μετρήσεως. Στα προηγούμενα κεφάλαια μάθατε ότι το χιλόγραμμο και το γραμμάριο είναι μονάδες μάζας, ενώ το Joule είναι μονάδα ενέργειας ή έργου. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τις υπόλοιπες κύριες μονάδες του πρακτικού συστήματος μετρήσεως.

Το πρακτικό σύστημα αποτελεί σήμερα σε πολλές χώρες το αποκλειστικό σύστημα μονάδων μετρήσεως. Ακόμα και στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου δεν είναι σε καθημερινή χρήση, χρησιμοποιείται όταν πρόκειται για επιστημονική έρευνα.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των μονάδων μετρήσεως του πρακτικού συστήματος είναι ότι βασίζονται στο δεκαδικό σύστημα. Έτσι, η μετατροπή στις διάφορες μονάδες γίνεται με μια απλή μετατόπιση του δεκαδικού ψηφίου. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι αυτές οι μονάδες είναι κοινές ανάμεσα στους επιστήμονες όλου του κόσμου.

Με σκοπό να δείξομε τα πλεονεκτήματα του δεκαδικού συστήματος, ας φανταστούμε τις μονάδες μετρήσεως του μήκους. Για μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιείται το χιλιόμετρο ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν τα μίλια. Κατ' αναλογία το μέτρο είναι η μονάδα μετρήσεως που αντιστοιχεί στο πόδι* ή τη γυάρδα**. Η σχέση ανάμεσα στα μέτρα και τα χιλιόμετρα είναι απλή και σαφής:

1000 μέτρα = 1 χιλιόμετρο

Συγκρίνετε αυτήν τη σχέση με αυτές που ακολουθούν, οι οποίες όχι μόνο είναι πιο πολύπλοκες, αλλά αποτελούν και περιττό φορτίο για τη μνήμη σας.

5280 πόδια = 1 μίλι

1760 γυάρδες = 1 μίλι

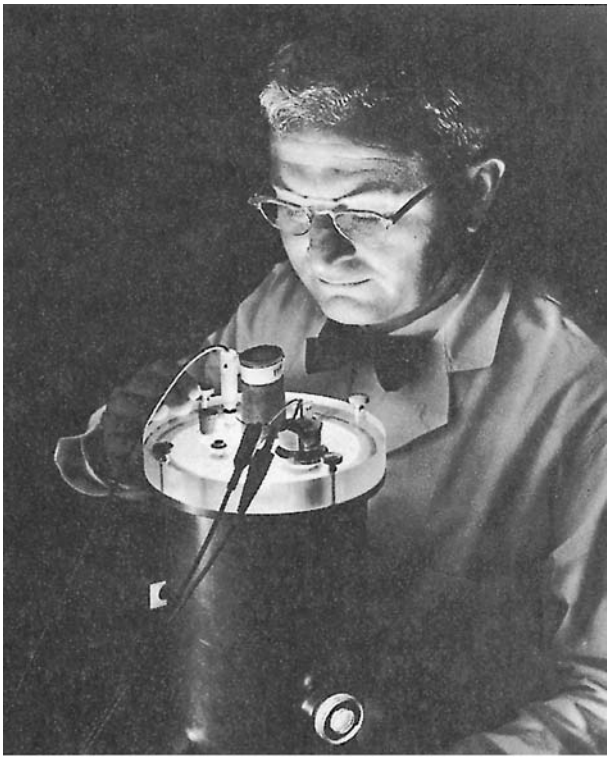
Το μέτρο αποτελεί τη βασική μονάδα μήκους στο πρακτικό σύστημα. Θεωρούμε ότι στην πραγματικότητα αντιστοιχεί σε ένα δεκάκις εκατομμυριοστό της αποστάσεως του ισημερινού από το βόρειο πόλο. Ίσως αυτό να φαίνεται αυθαίρετη επιλογή. Όμως δεν είναι τόσο αυθαίρετη, όσο είναι οι περισσότερες επιλογές για άλλες μονάδες μήκους που δεν ανήκουν στο πρακτικό σύστημα. Τέτοιες μονάδες έχουν καθορισθεί με τη βοήθεια τόσο ποικίλων ποσοτήτων, όπως είναι το μέγεθος του ποδιού

* *Σ.τ.Μ. Είναι μονάδες μετρήσεως του μήκους, που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ.*

** *Σ.τ.Μ. 1 πόδι = 0,305 m, 1 γυάρδα = 0,914 m.*

κάποιου (πόδι), το βήμα ενός άνδρα (γυάρδα) και η απόσταση του αγκώνα ενός άνδρα από την άκρη του μεσαίου δακτύλου του (πήχυς).

Ακόμη όμως και με αυτήν την ισοδυναμία του μέτρου με κάποιο κλάσμα του μήκους ενός μεσημβρινού της γης ο ακριβής προσδιορισμός του παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα. Γι' αυτό, το σταθερό μήκος για το μέτρο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά, ήταν το μήκος μιας μεταλλικής ράβδου. Αυτή η πρότυπη ράβδος του ενός μέτρου κατασκευάσθηκε από Γάλλους* επιστήμονες, οι οποίοι και το φύλαξαν στην Γαλλία φροντίζοντας να βρίσκεται κάτω από υπερβολικά ακριβείς συνθήκες θερμοκρασίας και περιβάλλοντος. Αρκετά ακριβή αντίγραφα της ράβδου έχουν προσεκτικά κατασκευασθεί και φυλάσσονται σε επιστημονικά ιδρύματα διαφόρων χωρών. Ένα τέτοιο αντίγραφο, που φαίνεται στο σχήμα 4-1 (α,β), φυλάσσεται στο εθνικό γραφείο Προτύπων των Ηνωμένων Πολιτειών. Με βάση το σταθερό μήκος αυτής της ράβδου, το μέτρο είναι μια καθορισμένη μονάδα, όπως και το χιλιόγραμμο. Το 1960, οι επιστήμονες εστράφησαν σε έναν ορισμό της μονάδας του μήκους, που βασίζεται σε ένα σταθερό φυσικό μέγεθος, στο μήκος κύματος που εκπέμπεται από το αέριο κρυπτόν**.

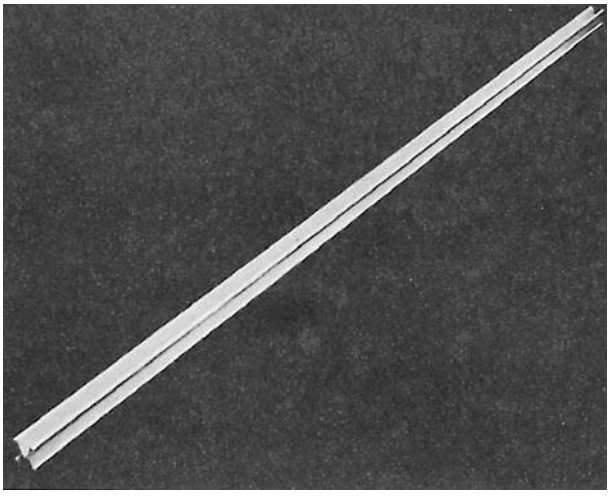


ΣΧΗΜΑ 4-1α. *Επιστήμονας παρατηρεί το φως που εκπέμπεται από το αέριο κρυπτόν. Το μήκος κύματος αυτού του φωτός είναι η νέα σταθερή μονάδα μήκους.*

ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ (S.I.).

Το 1960, σε μια προσπάθεια προτυποιήσεως των μονάδων μετρήσεως των διαφόρων φυσικών μεγεθών, διαμορφώθηκε το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.), που υιοθετήθηκε και από την Ελλάδα το 1983. Τα βασικά φυσικά μεγέθη και οι μονάδες τους στο S.I. είναι τα ακόλουθα:

- Με ειδικά προθέματα όλες οι μονάδες του S.I. πολλαπλασιάζονται ή υποπολλασιάζονται έτσι, ώστε το αριθμητικό εύρος τους να κυμαίνεται από 10^8 μέχρι 10^{-18} φορές την αριθμητική τιμή της μονάδας. Εξαίρεση αποτελεί το χιλιόγραμμο (kg), που έχει το πρόθεμα χιλιο (Kilo), αν και είναι η βασική μονάδα μάζας στο S.I.
- Ορισμένες μονάδες, που δεν συμπεριλαμβάνονται στις βασικές, έχουν διατηρηθεί προσωρινά, π.χ. το λίτρο (l), του οποίου η αντίστοιχη μονάδα στο S.I. είναι το κυβικό δεκατόμετρο (dm^3).



ΣΧΗΜΑ 4-1β. *Η μεταλλική ράβδος είναι ένα ακριβές αντίγραφο του σταθερού μήκους που ίσχυε προηγουμένως.*

* *Σ.τ.Μ. Μέλη της Γαλλικής Ακαδημίας Επιστημών.*

** *Σ.τ.Μ. Ως μέτρο ορίζεται εκείνο το μήκος, το οποίο αντιστοιχεί σε 107 μήκη κύματος του κόκκινου χρώματος φωτός που εκπέμπει υπό ορισμένες συνθήκες, το αέριο κρυπτόν 86.*

Φυσικό μέγεθος	Μονάδα	Σύμβολο
Μήκος	Μέτρο	m
Μάζα	Χιλιόγραμμο	kg
Χρόνος	Δευτερόλεπτο	s
Ηλεκτρικό ρεύμα	Αμπέρ	A
Φωτεινή ένταση	Καντέλα*	Cd
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	Κέλβιν	K
Ποσότητα ουσίας	Μολ(mole)	mol

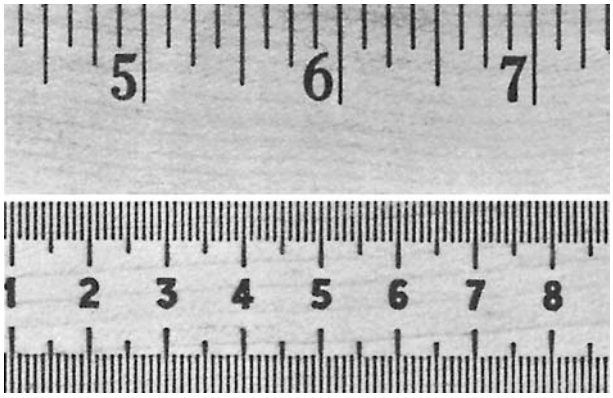
* *Σ.τ.Μ. Από το ιταλικό Candela. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ως μονάδα φωτοβολίας το κηρίο το οποίο είναι ίσο με 0,91 cd.*

4.2 Σύγκριση των μονάδων του Πρακτικού Συστήματος με άλλες πιο γνωστές μονάδες μετρήσεως.

Ένα μέτρο (m) είναι λίγο μακρύτερο από μία γυάρδα, η οποία είναι 39,37 ίντσες. Για πολλές μετρήσεις στο εργαστήριο, όπου χρειάζεται μια μικρότερη μονάδα, χρησιμοποιείται το εκατοστόμετρο (cm). Το εκατοστόμετρο είναι $^1/_{100}$ του μέτρου ή 0,39 της ίντσας. Όταν απαιτείται μία ακόμη μικρότερη μονάδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το χιλιστόμετρο (mm), που ισοδυναμεί με τό $^1/_{1000}$ του μέτρου. Ένα χιλιοστόμετρο είναι βέβαια το $^1/_{10}$ του εκατοστόμετρου. Τα εκατοστόμετρα, τα χιλιοστόμετρα και οι ίντσες αντιπαραβάλλονται στο σχήμα 4-2.

Υπάρχουν και άλλες μονάδες μήκους, αλλά οι τρεις που έχουν ήδη αναφερθεί είναι αρκετές για τις ανάγκες σας. Δεν είναι απαραίτητο να θυμάστε την ακριβή σχέση ανάμεσα στις μετρικές μονάδες του Πρακτικού Συστήματος και τις ίντσες, τα πόδια ή τις γυάρδες. Αρκεί να έχετε μόνο κάποια ιδέα για τη σχέση ανάμεσα στα μεγέθη των διαφόρων μονάδων (στο σχήμα 4-3 αντιπαραβάλλονται διάφορες μονάδες μετρήσεως).

Για εξάσκηση θα πρέπει να μετρήσετε το πλάτος και το μήκος μερικών μικρών αντικειμένων χρησιμοποιώντας τόσο τις μονάδες του Πρακτικού Συστήματος όσο και τις μονάδες που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα διαπιστώσετε την ευκολία, με την οποία γίνονται οι υπολογισμοί στις μετρικές μονάδες του Πρακτικού Συστήματος, οι οποίες εκφράζονται με δεκαδικούς αριθμούς. Ειδικά αυτό φαίνεται



ΣΧΗΜΑ 4-2. *Οι αριθμημένες υποδιαιρέσεις στο υποδεκάμετρο είναι εκατοστόμετρα, και καθένα είναι χωρισμένο σε χιλιοστόμετρα. Οι αριθμημένες υποδιαιρέσεις στο χάρακα με τις γυάρδες είναι ίντσες.*

καθαρά, αν συγκρίνετε τους δεκαδικούς με τους κλασματικούς αριθμούς. Ας υποτεθεί ότι μετρήσατε τις διαστάσεις ενός μικρού ορθογωνίου στερεού σώματος με ένα υποδεκάμετρο, του οποίου οι υποδιαιρέσεις δεν ανήκουν στο δεκαδικό σύστημα και βρήκατε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Μήκος = $4\,^3/_4$ ίντσες
Πλάτος = $3^7/_8$ ίντσες
Ύψος = $2\,^1/_2$ ίντσες

Υπολογίστε (1) την περίμετρο της μεγαλύτερης έδρας και (2) τον όγκο του σώματος. Οι απαντήσεις είναι: (1) $17^1/_4$ ίντσες, (2) $46\,^1/_{64}$ κυβικές ίντσες.

Οι διαστάσεις του ιδίου σώματος αν εκφρασθούν σε μετρικές μονάδες του Πρακτικού Συστήματος είναι:

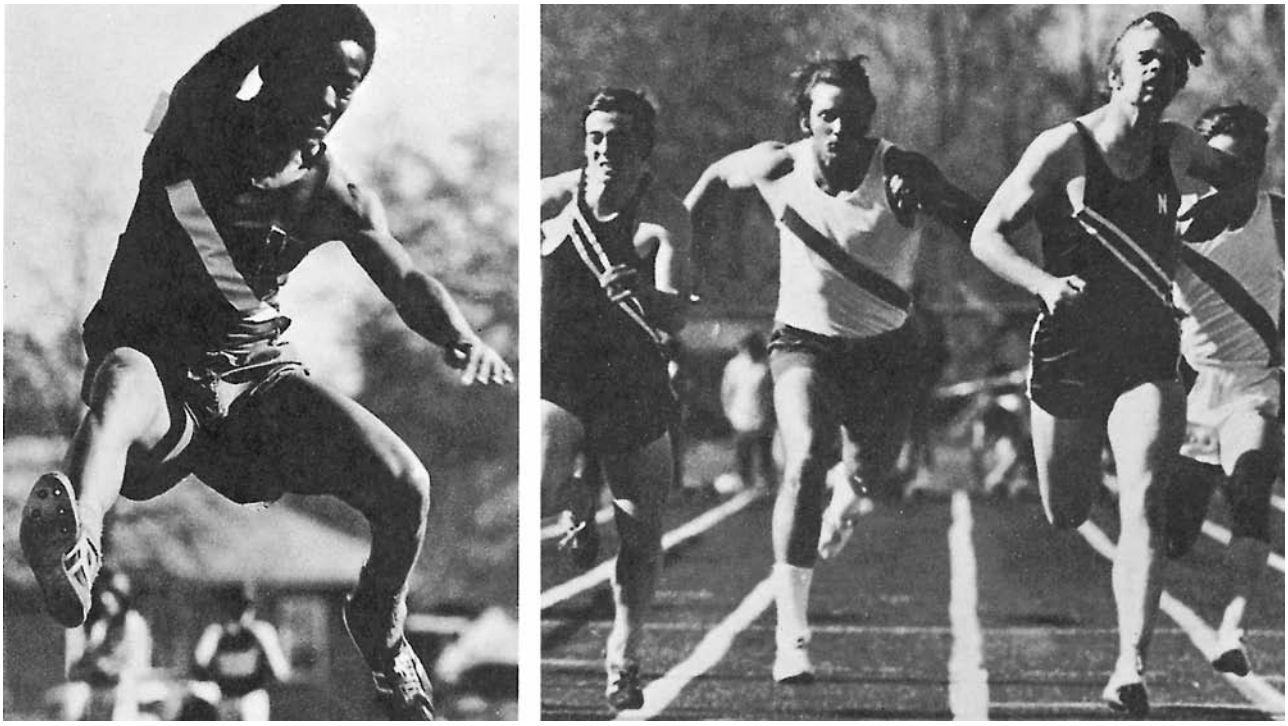
Μήκος = 12,1 cm
Πλάτος = 9,8 cm
Ύψος = 6,4 cm

Τώρα υπολογίστε (1) την περίμετρο της μεγαλύτερης έδρας και (2) τον όγκο του σώματος. Και τα δύο να υπολογισθούν σε μετρικές μονάδες του Πρακτικού Συστήματος. Οι απαντήσεις είναι: (1) 43,8 cm και (2) 759 κυβικά cm.

Ποιοι υπολογισμοί γίνονται ευκολότερα;

Η μονάδα όγκου που χρησιμοποιείται περισσότερο στο Πρακτικό Σύστημα είναι το λίτρο (ισοδυναμεί με 1,057 quarts*). Για μικρότερους όγκους χρησιμοποιείται το χιλιοστό

* *Σ.τ.Μ. Το quart ισοδυναμεί με 1/4 του γαλονιού.*



ΣΧΗΜΑ 4-3. *Η υψηλότερη επίδοση στο άλμα εις μήκος (αριστερά) το 1970 ήταν 8,9 μέτρα ή 29 πόδια και 2 1/2 ίντσες. Ο δρόμος των 100 μέτρων (δεξιά) είναι κατά 9 1/2 γυάρδες μακρύτερος από το δρόμο των 100 γυάρδων.*

του λίτρου (ml). Ισοδυναμεί με $^1/_{1000}$ του λίτρου. Σε άλλα επιστημονικά βιβλία θα δείτε ότι μικροί όγκοι μετρούνται και σε κυβικά εκατοστά, cm^3 (ή c.c.).

Όταν καθιερώθηκε το Πρακτικό Σύστημα μονάδων μετρήσεως οι επιστήμονες επεδίωξαν την ισοδυναμία ανάμεσα στο 1 ml και το 1 cm^3.

Στην πραγματικότητα όμως υπάρχει μια μικρή διαφορά. Για τις περισσότερες μετρήσεις, με εξαίρεση τις μετρήσεις ακριβείας, αυτή η διαφορά είναι ασήμαντη. Το χιλιοστό του λίτρου είναι η μικρή μονάδα όγκου που χρησιμοποιείται σε αυτό το βιβλίο.

Αν θέλετε να αποκτήσετε κάποια άμεση αίσθηση του μεγέθους αυτών των μονάδων, πρέπει να μετρήσετε τη χωρητικότητα μερικών συνηθισμένων δοχείων σε λίτρα ή χιλιοστά του λίτρου. Μια μέτρια κούπα του τσαγιού για παράδειγμα, θα διαπιστώσετε ότι χωράει περίπου 250 ml ή ένα τέταρτο του λίτρου (0,25 l).

Μάθατε προηγουμένως ότι οι μονάδες μάζας είναι το χιλιόγραμμο και το γραμμάριο. Ένα γραμμάριο (g) είναι μια αρκετά μικρή μονάδα (μία ουγγιά είναι ίση με 28,35 g). Είναι ένα μέγεθος βολικό για εργαστηριακές μετρήσεις και θα το χρησιμοποιήσομε συχνά σε αυτό το βιβλίο.

Σε πολλά επιστημονικά άρθρα θα δείτε ότι γίνεται αναφορά σε μία ακόμα μικρότερη μονάδα, το χιλιοστόγραμμο (mg), που ισούται με το $^1/_{1000}$ του ενός γραμμαρίου.

4.3 Πυκνότητα.

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε καθαρής ουσίας είναι η πυκνότητά της. ***Πυκνότητα*** είναι η ποσότητα της ύλης που υπάρχει σε μια γνωστή μονάδα όγκου. Στο Πρακτικό Σύστημα, η πυκνότητα εκφράζεται συνήθως με τον αριθμό των γραμμαρίων ανά χιλιοστό του λίτρου, για συντομία g/ml. Ο συνδυασμός αυτός g/ml, είναι δυνατόν να αποτελέσει τη μονάδα της πυκνότητας. Αυτή η συγκεκριμένη μονάδα πυκνότητας είναι πολύ συνηθισμένη. Τη μεταχειρίζονται οι επιστήμονες χωρίς εξαίρεση για υγρά και στερεά. Για τα αέρια που έχουν πολύ μικρότερη πυκνότητα, χρησιμοποιείται συνήθως η μονάδα γραμμάρια ανά λίτρο, g/l.

Η μονάδα πυκνότητας είναι η πρώτη δευτερογενής ή παράγωγος μετρική μονάδα του Πρακτικού Συστήματος που μαθαίνετε. Ο όρος παράγωγος ή δευτερογενής μονάδα σημαίνει τη

μονάδα εκείνη που προέρχεται από δύο (ή περισσότερες) θεμελιώδεις πρωτογενείς ή βασικές μονάδες*. Στην καθημερινή ζωή, μια από τις πιο κοινές παράγωγες δευτερογενείς μονάδες είναι αυτή που χρησιμοποιούμε για να μετρούμε την ταχύτητα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες αυτή η μονάδα είναι μίλια ανά ώρα. Στο Πρακτικό Σύστημα η ταχύτητα μετρείται σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή χιλιόμετρα ανά ώρα.

Επειδή η πυκνότητα εκφράζεται με τη βοήθεια δύο πρωτογενών-θεμελιωδών μονάδων, των γραμμαρίων και των χιλιοστών του λίτρου, για να την προσδιορίσομε πρέπει να γίνουν δύο μετρήσεις. Θα σας δοθεί η ευκαιρία να κάνετε μερικές μετρήσεις, με τις οποίες θα προσδιορίσετε πυκνότητες. Στις επόμενες παραγράφους δίνονται οδηγίες για το πώς θα γίνει αυτό.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

4.4 Μέτρηση της πυκνότητας.

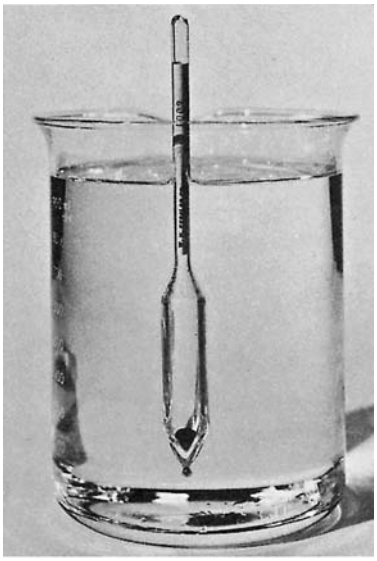
Η πυκνότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα της ύλης. Επειδή διαφορετικές μορφές ύλης συνήθως έχουν διαφορετικές πυκνότητες, γι' αυτό η μέτρηση της πυκνότητας μιας άγνωστης ουσίας είναι δυνατόν να βοηθήσει στον προσδιορισμό της ταυτότητας της ουσίας. Επίσης η πυκνότητα ενός διαλύματος εξαρτάται από το πόση ουσία είναι διαλυμένη σε αυτό. Συχνά είναι δυνατόν να μετρήσομε την πυκνότητα ενός διαλύματος και ανατρέχοντας στη συνέχεια σε πίνακες που δείχνουν τις πυκνότητες μιγμάτων γνωστής συστάσεως να βρούμε το ποσό της διαλυμένης σε αυτό ουσίας. Η πυκνότητα είναι δυνατόν να προσδιορισθεί με διάφορους τρόπους. Σύμφωνα με μια μέθοδο, όταν πρόκειται για αντικείμενα κανονικού σχήματος, μπορούμε πρώτα να βρούμε τη μάζα τους με τη βοήθεια ενός ζυγού.

Για να βρούμε τον όγκο του αντικειμένου μετρούμε τις διαστάσεις του και υπολογίζομε τον όγκο του με τη βοήθεια γνωστών τύπων. Για παράδειγμα, ο όγκος ενός παραλληλεπιπέδου στερεού είναι ίσος με το γινόμενο του μήκους επί το πλάτος επί το ύψος του. Ο όγκος ενός κυλινδρικού στερεού είναι ίσος με π επί το τετράγωνο της ακτίνας επί το ύψος του. Έτσι, χρησιμοποιώντας τώρα το γνωστό τύπο, πυκνότητα $= \frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}}$ ή $d = \frac{m}{V}$, μπορούμε να υπολογίσομε την πυκνότητα.

Για ένα στερεό με ακανόνιστο σχήμα, το οποίο ούτε διαλύεται ούτε αντιδρά με κάποιο υγρό, είναι δυνατόν να βρούμε τον όγκο του βυθίζοντάς το μέσα στο υγρό. Επειδή ένα στερεό αντικείμενο εκτοπίζει τόσον όγκο υγρού όσος και ο δικός του όγκος, μπορούμε να το βυθίσομε μέσα σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο που περιέχει γνωστό όγκο υγρού. Η διαφορά ανάμεσα στο νέο επίπεδο του υγρού που είναι στον κύλινδρο, και στο αρχικό επίπεδο θα ισοδυναμεί με τον όγκο του στερεού.

Στα πειράματα που εκτελέσαμε σχετικά με την άνωση, διαπιστώσαμε ότι η "φαινομενική απώλεια" στη μάζα ενός αντικειμένου που βρίσκεται βυθισμένο σε ένα υγρό ισούται με τη μάζα του υγρού που εκτοπίζεται. Συχνά αυτό αναφέρεται ως αρχή του Αρχιμήδη. Η ίδια αρχή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και όταν πρόκειται να βρεθεί η πυκνότητα του αντικειμένου. Η μάζα ενός αντικειμένου βρίσκεται αρχικά ζυγίζοντάς το στον αέρα με ένα ζυγό. Η μάζα του υγρού που εκτοπίζεται μπορεί στη συνέχεια να βρεθεί ζυγίζοντας το αντικείμενο, όσο αυτό βρίσκεται βυθισμένο στο υγρό. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο ζυγίσεις αντιστοιχεί στη μάζα του εκτοπιζομένου υγρού. Για να βρούμε τον όγκο του υγρού που εκτοπίσθηκε και που είναι ο ίδιος με τον όγκο του βυθισμένου αντικειμένου, βασιζόμαστε στον ίδιο τύπο της πυκνότητας όπως και

* *Σ.τ.Μ. Για παράδειγμα λίτρο, μέτρο κλπ.*



ΣΧΗΜΑ 4-4α.

προηγούμενως (πυκνότητα $=\frac{\text{μάζα}}{\text{όγκος}}$). Ο τύπος αυτός μετασχηματίζεται ως εξής:

$$\text{όγκος} = \frac{\text{μάζα}}{\text{πυκνότητα}} \text{ ή}$$

$$\text{όγκος του υγρού που εκτοπίσθηκε} = \frac{\text{μάζα του υγρού που εκτοπίσθηκε}}{\text{πυκνότητα του υγρού που εκτοπίσθηκε}}$$

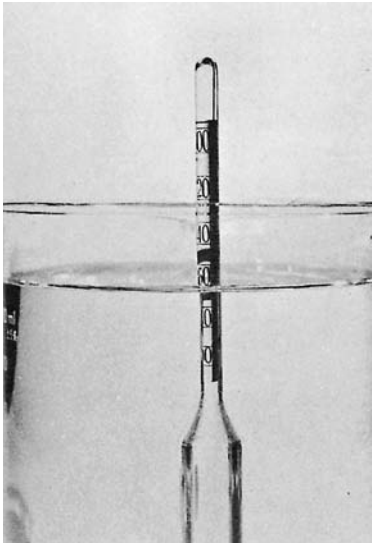
Γνωρίζοντας λοιπόν ότι ο όγκος του υγρού που εκτοπίσθηκε είναι ίσος με τον όγκο του στερεού, μπορούμε τώρα να υπολογίσομε την πυκνότητα του στερεού.

Στα προηγούμενα παραδείγματα περιγράψαμε τον τρόπο με τον οποίο βρίσκομε την πυκνότητα του στερεού. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να βρούμε την πυκνότητα ενός υγρού. Είναι πολύ εύκολο να υπολογίσομε τη μάζα ενός υγρού, του οποίου γνωρίζομε τον όγκο, αν το ζυγίσομε μαζί με τον ογκομετρικό κύλινδρο που το περιέχει, και στη συνέχεια υπολογίσομε την πυκνότητά του κατευθείαν από τις μετρήσεις της μάζας και του όγκου. Προϋποτίθεται ότι έχομε μετρήσει προηγουμένως τη μάζα του άδειου κυλίνδρου.

Ένα πολύ απλό όργανο, γνωστό με το όνομα αραιόμετρο, χρησιμοποιείται επίσης για τον προσδιορισμό της πυκνότητας ενός υγρού. Το ***αραιόμετρο*** αποτελείται από έναν κλειστό γυάλινο σωλήνα με ένα βάρος στο κάτω άκρο του, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-4α. Στο επάνω μέρος του αραιομέτρου υπάρχει μια κλίμακα. Το αραιόμετρο βυθίζεται λιγότερο μέσα σε ένα πυκνό διάλυμα παρά σε ένα λιγότερο πυκνό. Η πυκνότητα του διαλύματος βρίσκεται με ανάγνωση της ενδείξεως της κλίμακας του αραιομέτρου στο σημείο όπου φτάνει η επιφάνεια του υγρού, όπως φαίνεται στο σχήμα 4-4β.

Το αραιόμετρο δεν μετρά απ' ευθείας την πυκνότητα, αλλά έχει σχεδιασθεί έτσι, ώστε να μετρά την τιμή ενός μεγέθους που είναι γνωστό ως "ειδικό βάρος" του υγρού. Ως ***ειδικό βάρος*** ορίζεται ο λόγος της μάζας ενός σώματος προς το λόγο της μάζας ίσου όγκου νερού, ή ο λόγος της πυκνότητας μιας ουσίας προς την πυκνότητα του νερού.

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσομε ότι οι όγκοι και οι πυκνότητες όλων των ουσιών αλλάζουν με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Στους 4°C ένα χιλιοστό του λίτρου νερό ζυγίζει 1,0 γραμμάριο. Στους 25°C ένα χιλιοστό του λίτρου νερό ζυγίζει 0,997 γραμμάρια. Αν το αραιόμετρο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, έχει σχεδιασθεί να μετρά το ειδικό βάρος ενός διαλύματος με βάση την πυκνότητα του νερού στους 4°C, τότε και η ένδειξη του ειδικού βάρους θα ισούται αριθμητικά με την πυκνότητα.



ΣΧΗΜΑ 4-4β.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα μετρήσετε την πυκνότητα ενός στερεού και ενός υγρού με τη βοήθεια αμέσων και εμμέσων μεθόδων.

ΥΛΙΚΑ

Υποδεκάμετρο
Ογκομετρικός κύλινδρος 100 ml
Ογκομετρικός κύλινδρος 25 ml
Ποτήρι 250 ml
Ορθοστάτης, δακτύλιος
Παραλληλεπίπεδο ή κυλινδρικό κομμάτι μετάλλου
Ζυγός, με ακρίβεια εκατοστού του γραμμαρίου (ίσως χρειασθεί ζυγός με δίσκους).
Λεπτό νήμα από σύρμα
Κλωστή
Διάλυμα μαγειρικού άλατος ή αλκοόλης
Αραιόμετρο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Παράγραφος Ι. Εύρεση πυκνότητας στερεού.

Μέρος Α. Απ' ευθείας μέτρηση της μάζας και του όγκου.

1. Πριν ξεκινήσετε αυτό το πείραμα, καταρτίστε έναν πίνακα δεδομένων σαν αυτόν που παρετίθεται στην παράγραφο "Δεδομένα και αποτελέσματα".
2. Θα σας δοθεί ένα παραλληλεπίπεδο ή κυλινδρικό κομμάτι μετάλλου. Να βρείτε τη μάζα του με ζύγιση σε ένα ζυγό και με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Σημειώστε το αποτέλεσμα στον πίνακά σας.
3. Μετρήστε τις διαστάσεις του στερεού σώματος που σας δόθηκε. Ένα υποδεκάμετρο είναι αρκετό, αλλά, αν υπάρχουν και ακριβέστερα όργανα, όπως τα παχύμετρα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Προσπαθήστε, αν είναι δυνατόν, να εκφράσετε τις μετρήσεις σας με προσέγγιση 0,1 του χιλιοστομέτρου. Αν έχετε ένα παραλληλεπίπεδο στερεό, μετρήστε το μήκος, το πλάτος και το ύψος του. Αν το στερεό είναι κυλινδρικό, τότε μετρήστε το ύψος και τη διάμετρό του. Σημειώστε τα αποτελέσματα όλων των μετρήσεων.
4. Με τη βοήθεια του κατάλληλου τύπου υπολογίστε τον όγκο του στερεού.
5. Από τις μετρήσεις του όγκου και της μάζας βρείτε την πυκνότητα του στερεού και γράψτε το αποτέλεσμα στον πίνακά σας.

Μέρος Β. Προσδιορισμός του όγκου και της πυκνότητας με τη μέθοδο του νερού που εκτοπίζεται.

1. Χρησιμοποιήστε το ίδιο κομμάτι μετάλλου, που χρησιμοποιήσατε και στο Α Μέρος.
2. Για να βρείτε τον όγκο του μεταλλικού κομματιού, γεμίστε πρώτα έναν ογκομετρικό κύλινδρο μέχρι τη μέση με νερό. Σημειώστε τον αρχικό όγκο το νερού στον κύλινδρο.
3. Δέστε το μέταλλο με ένα κομμάτι κλωστή και βυθίστε το προσεκτικά μέσα στον κύλινδρο που περιέχει το νερό. Σημειώστε τον τελικό όγκο που καταλαμβάνει το νερό και το μέταλλο μέσα στον κύλινδρο.
4. Βρείτε τον όγκο του μεταλλικού κομματιού, που είναι ίδιος με τον όγκο του νερού που εκτοπίσθηκε, αφαιρώντας τον αρχικό όγκο που καταλάμβανε το νερό μέσα στον κύλινδρο από τον τελικό του όγκο.
5. Με τη βοήθεια του όγκου που βρήκατε στο προηγούμενο στάδιο, και τη μάζα του μετάλλου που είχατε βρει στο Α Μέρος, υπολογίστε την πυκνότητα του στερεού. Γράψτε το αποτέλεσμα στον πίνακά σας.

Μέρος Γ. Εύρεση της πυκνότητας με τη βοήθεια του φαινομένου της ανώσεως.

1. Χρησιμοποιώντας την κλωστή που είναι δεμένη στο κομμάτι του μετάλλου, κρεμάστε το από το άγκιστρο που είναι πάνω από το δίσκο ενός ζυγού τριπλής φάλαγγας όπως στο σχήμα 2-11α (βεβαιωθείτε ότι έχετε στεγνώσει το μέταλλο μετά το Β Μέρος). Προσδιορίστε τη μάζα του μετάλλου ζυγίζοντάς το στον αέρα. Πρέπει να είναι η ίδια με αυτήν που βρήκατε στο Α Μέρος.
2. Χρησιμοποιήστε το δίσκο που είναι στερεωμένος στο ζυγό, ή ένα δακτύλιο στερεωμένο σε έναν ορθοστάτη για να προσαρμόσετε ένα ποτήρι νερό

κάτω από το μεταλλικό κομμάτι, ώστε όλο το μέταλλο να είναι εντελώς βυθισμένο στο νερό (κοιτάξτε το σχήμα 2-11β). Γράψτε τη φαινομενική μάζα του μετάλλου που βρίσκεται βυθισμένο στο νερό.

3. Αφαιρέστε τη φαινομενική μάζα του μετάλλου που βρίσκεται βυθισμένο στο νερό από αυτήν που βρήκατε με ζύγιση στον αέρα. Η διαφορά σας δίνει τη μάζα του νερού που εκτοπίσθηκε.
4. Ο όγκος του νερού που εκτοπίσθηκε ισοδυναμεί με τη μάζα του νερού αυτού, αφού τη διαιρέσομε με την πυκνότητα του νερού. Η πυκνότητα του νερού σε θερμοκρασία δωματίου είναι 1,0 g ανά χιλιοστό του λίτρου. Έτσι, ο όγκος του νερού που εκτοπίσθηκε εκφρασμένος σε χιλιοστά του λίτρου είναι αριθμητικά ίσος με τη μάζα του που εκτοπίσθηκε, εκφρασμένη σε γραμμάρια. Φυσικά, είναι ίσος και με τον όγκο του μετάλλου. Γράψτε και αυτό το αποτέλεσμα στον πίνακά σας.
5. Από τη μάζα του αντικειμένου στον αέρα και τον όγκο του, υπολογίστε την πυκνότητά του.

Παράγραφος ΙΙ. Εύρεση πυκνότητας υγρού.

Μέρος Α. Απ' ευθείας μέτρηση του όγκου και της μάζας.

1. Προσδιορίστε τη μάζα ενός στεγνού, καθαρού κυλίνδρου των 25 ml, ζυγίζοντάς τον σε ένα ζυγό, με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
2. Αδειάστε περίπου 15 ml ενός διαλύματος, που θα σας δώσει ο καθηγητής σας, μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο. Διαβάστε και καταγράψτε τον όγκο του υγρού με όσο περισσότερη ακρίβεια μπορείτε. Προσπαθήστε να εκφράσετε το αποτέλεσμά σας με προσέγγιση 0,1 ml.
3. Βρείτε τη συνολική μάζα του κυλίνδρου και του υγρού που περιέχει ζυγίζοντάς τα στον ίδιο ζυγό που χρησιμοποιήσατε και για τη ζύγιση του κυλίνδρου. Σημειώστε το αποτέλεσμα που βρήκατε.
4. Αφαιρέστε τη μάζα του άδειου κυλίνδρου από τη μάζα του κυλίνδρου μαζί με το υγρό, για να βρείτε τη μάζα του υγρού.
5. Υπολογίστε την πυκνότητα του υγρού.
6. Η απόχυση του υγρού να γίνει σύμφωνα με τις οδηγίες του καθηγητή σας.

Μέρος Β. Χρήση αραιομέτρου.

1. Ρίξτε το διάλυμα σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο και βυθίστε προσεκτικά ένα αραιόμετρο μέσα σε αυτό. Αν το αραιόμετρο δεν είναι δυνατόν να επιπλέει χωρίς να αγγίζει τον πυθμένα, αδειάστε το διάλυμα μέσα σε έναν υψηλότερο κύλινδρο. Διαβάστε το ειδικό βάρος που δείχνει η κλίμακα του αραιομέτρου και γράψτε το στον πίνακα αποτελεσμάτων.
2. Συγκρίνατε αυτήν την ένδειξη με το αποτέλεσμα που πήρατε στο Α Μέρος αυτής της παραγράφου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η συστηματική ταξινόμηση των παρατηρήσεων και των μετρήσεων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη του κάθε πειράματος. Αν έχετε τους κατάλληλους πίνακες καταγραφής στοιχείων έτοιμους στο τετράδιό σας πριν εκτελέσετε ένα πείραμα, τότε η ταξινόμηση των στοιχείων θα γίνει με τον καλύτερο τρόπο.

Πριν αρχίσετε το πείραμα, θα πρέπει να αντιγράψετε στο τετράδιό σας

τους πίνακες που ακολουθούν, και μετά, κατή τη διάρκεια του πειράματος, να καταχωρείτε όλες τις μετρήσεις σας σε αυτούς τους πίνακες. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτό το πείραμα να ακολουθήσετε αυτήν τη σειρά εργασίας, γιατί διαφορετικά υπάρχει περίπτωση να προκληθεί σύγχυση λόγω πιθανής αναμίξεως των δεδομένων ενός μέρους του πειράματος με αυτά άλλων μερών.

Υπολογίστε όλες τις πυκνότητες με προσσέγγιση 0,001 g/ml.

Παράγραφος Ι. Εύρεση πυκνότητας στερεού.

Μέρος Α.

Μάζα στερεού (g)
Μήκος (cm)
Πλάτος ή διάμετρος (cm)
Ύψος (cm)
Όγκος (ml)
Πυκνότητα στερεού (g/ml)

Μέρος Β.

Αρχικός όγκος στον κύλινδρο (ml)
Τελικός όγκος στον κύλινδρο (ml)
Όγκος νερού που εκτοπίσθηκε (ml)
Όγκος στερεού (ml)
Μάζα στερεού (g)
Πυκνότητα στερεού (g/ml)

Μέρος Γ.

Μάζα στερεού στον αέρα (g)
Φαινομενική μάζα του στερεού μέσα στο νερό (g)
Μάζα του νερού που εκτοπίσθηκε (g)
Πυκνότητα του νερού (g/ml)
Όγκος του νερού που εκτοπίζεται (ml)
Όγκος του στερεού (ml)
Πυκνότητα του στερού (g/ml)

Παράγραφος ΙΙ. Εύρεση πυκνότητας υγρού.

Μέρος Α.

Μάζα κυλίνδρου και υγρού (g)
Μάζα κενού κυλίνδρου (g)
Μάζα υγρού (g)
Όγκος υγρού (ml)
Πυκνότητα υγρού (g/ml)

Μέρος Β.

Ειδικό βάρος, σύμφωνα με την ένδειξη του αραιομέτρου

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ο καθηγητής σας θα σας πει τη σωστή πυκνότητα του μεταλλικού κομματιού, το οποίο χρησιμοποιήσατε στις μετρήσεις σας. Πόσο κοντά στην πραγματική τιμή έπεσαν οι μετρήσεις σας για την εύρεση της πυκνότητας του μεταλλικού κομματιού; Πως δικαιολογείτε την οποιαδήποτε διαφορά;
2. Σε ποιο σημείο της κάθε μεθόδου που χρησιμοποιήσατε νομίζετε ότι θα μπορούσαν να γίνουν σφάλματα;
3. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που επιχειρήσατε, σας ζητήθηκε να βρείτε τη μάζα με προσέγγιση 0,01 του γραμμαρίου. Όταν μετρούσατε το μήκος προσπαθήσατε να διαβάσετε το υποδεκάμετρο με ακρίβεια 0,1 του χιλιοστομέτρου. Κατ' αναλογία και τον όγκο του νερού στον ογκομετρικό κύλινδρο προσπαθήσατε να τον διαβάσετε με προσέγγιση 0,1 του χιλιοστού του λίτρου. Νομίζετε ότι αυτές οι προσεγγίσεις ήταν λογικές

σε σχέση με τα όργανα μετρήσεως που χρησιμοποιήσατε; Αν επαναλαμβάνατε τις μετρήσεις σας μερικές φορές, πόσο κοντά νομίζετε ότι θα ήταν τα αποτελέσματά σας σε σχέση με αυτά που βρήκατε την πρώτη φορά (με την προϋπόθεση βέβαια ότι κατά την επανάληψη των μετρήσεων θα "ξεχάσετε" τα αποτελέσματα των αρχικών μετρήσεων);
Ποια νομίζετε ότι είναι τα λογικά όρια προσεγγίσεως που θα έπρεπε να περιμένετε από τα όργανα μετρήσεως που χρησιμοποιήσατε;

4. Αν ήσαστε σε θέση να μετρήσετε 15,0 ml νερού με προσέγγιση 0,1 ml, σε τι ποσοστό σφάλματος θα αντιστοιχούσε μια απόκλιση 0,1 του χιλιοστού του λίτρου; Σε τι ποσοστό θα αντιστοιχούσε ένα σφάλμα 0,2 ml;

Ποσοστό σφάλματος =

$$= \frac{\text{Διαφορά ανάμεσα στην πραγματική και την πειραματική τιμή}}{\text{Πραγματική τιμή}} \text{ x } 100$$

5. Τι ποσοστό σφάλματος νομίζετε ότι θα είχατε, αν μετρούσατε 1,0 ml νερού με προσέγγιση 0,1 ml;
6. Στους 32˚C μια φιάλη των 1000 ml χωράει 995 γραμμάρια νερού. Στην ίδια θερμοκρασία η ίδια φιάλη χωράει 800 γραμμάρια ενός άλλου υγρού. Ποια είναι η πυκνότητα του νερού που βρίσκεται στη φιάλη, σε αυτήν τη θερμοκρασία; Ποια είναι η πυκνότητα του άλλου υγρού; Ποιο είναι το ειδικό βάρος του άλλου υγρού συγκριτικά με το νερό στους 32˚C; Πόσα γραμμάρια νερού χωράει η φιάλη των 1000 ml στους 4˚C;

Ερώτηση για προβληματισμό.

Γιατί νομίζετε ότι διαφορετικές ουσίες έχουν διαφορετικές πυκνότητες;

Περίληψη.

Το Πρακτικό Μετρικό Σύστημα είναι ένα σύστημα μονάδων αποδεκτό από τους επιστήμονες σε όλες τις χώρες, με το οποίο εκτελούν και καταγράφουν επιστημονικές μετρήσεις. Στις περισσότερες χώρες, με εξαίρεση τις ΗΠΑ, το Πρακτικό Σύστημα το χρησιμοποιούν για τις μετρήσεις της καθημερινής ζωής. Η μονάδα που έχει οριστεί για τη μέτρηση της μάζας είναι το χιλιόγραμμο (ή κιλό) ενώ οι μικρότερες μονάδες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το γραμμάριο (= $^1/_{1000}$ του χιλιογράμμου) και το χιλιοστόγραμμο ($^1/_{1000}$ του γραμμαρίου). Για το μήκος, η μονάδα μετρήσεως είναι το μέτρο και μικρότερες συνηθισμένες μονάδες είναι το εκατοστόμετρο ($^1/_{100}$ του μέτρου) και το χιλιοστόμετρο* ($^1/_{1000}$ του μέτρου). Πρακτική μετρική μονάδα όγκου είναι το λίτρο. Μικρότεροι όγκοι μετρούνται με το χιλιοστό του λίτρου**, ($^1/_{1000}$ του λίτρου). Πυκνότητα μιας ουσίας είναι η μάζα της που αντιστοιχεί σε ορισμένη μονάδα όγκου. Μια χρήσιμη μονάδα που εκφράζει την πυκνότητα ενός υγρού ή ενός στερεού είναι γραμμάρια ανά χιλιοστό του λίτρου.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιες είναι οι θεμελιώδεις μονάδες μετρήσεως της μάζας, του μήκους και του όγκου στο Πρακτικό Μετρικό Σύστημα;
2. Τι σημαίνουν τα προθέματα "χιλιο", "εκατο" και "χιλιοστο"; Με τη βοήθεια μονάδων που μάθατε σε αυτό τι κεφάλαιο, δείξτε πώς χρησιμοποιούνται.
3. Πώς μπορείτε να βρείτε την πυκνότητα ενός μικρού κομματιού μιας στερεάς ουσίας (ακανονίστου σχήματος);

* *Σ.τ.Μ. Ή χιλιοστό του μέτρου.*

** *Σ.τ.Μ. Ή κυβικό εκατοστό (cm^3).*

Δεν υπάρχουν απόλυτα ακριβείς μετρήσεις

4.5 Η αβεβαιότητα στη μέτρηση.

Όπως μάθατε, οι επιστήμονες αφιερώνουν ένα μεγάλο μέρος του χρόνου τους στην εκτέλεση μετρήσεων. Όταν κάνουν όμως μετρήσεις ή υπολογίζουν τα αποτελέσματα και τα γνωστοποιούν στον επιστημονικό κόσμο, αντιμετωπίζουν μερικά προβλήματα.

Ένα από αυτά είναι η αβεβαιότητα ή αλλιώς το πιθανό σφάλμα*, που θα γίνει σε όλες τις μετρήσεις. Η αβεβαιότητα έχει δύο πιθανές αιτίες: (1) Οι περιορισμοί που θέτουν τα διάφορα όργανα και συσκευές που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις και (2) η ακρίβεια και η πείρα που διαθέτει ο ίδιος ο παρατηρητής.

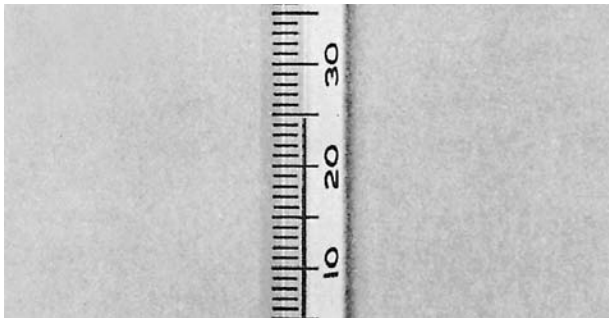
Ανάλογα προβλήματα εμφανίζονται και όταν οι επιστήμονες ασχολούνται με σχετικά μεγάλους ή μικρούς αριθμούς. Οι αριθμοί αυτοί πρέπει να είναι εύχρηστοι και ταυτόχρονα να εκφράζουν μόνο το βαθμό ακριβείας που εξασφαλίζεται από το όργανο ή τη συσκευή, αλλά και από τις συνθήκες του πειράματος. Αν συγκεντρώσετε την προσοχή σας σε λίγα βασικά σημεία, θα καταλάβετε αυτά τα προβλήματα και θα μπορέσετε να συνεχίσετε απερίσπαστοι την εργασία σας στη χημεία.

Ας προσέξομε τα πιο κάτω δεδομένα σχετικά με την τήξη του παραδιχλωροβενζολίου, που μελετήσατε σε προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφο 1.5).

1. Το σημείο τήξεως είναι 53˚C
2. Το σημείο τήξεως είναι 53,2˚C
3. Το σημείο τήξεως είναι 53,203˚C

Ίσως να νομίζετε ότι η τρίτη μέτρηση δίνει περισσότερες λεπτομέρειες από τη δεύτερη και η δεύτερη περισσότερες από την πρώτη. Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με το πείραμα που εκτελέσατε, η δεύτερη είναι αυτή που δίνει τις περισσότερες πληροφορίες. Κάθε επιστημονικό δεδομένο ισοδυναμεί με γνώση κάποιου γεγονότος ή αντικειμένου. Και βέβαια τα δεδομένα θεωρούνται επιπόλαια αν περιγράφουν λιγότερα από όσα είναι γνωστά, ενώ αντίθετα είναι παραπλανητικά, αν εκφράζουν περισσότερα από τα γνωστά. Η περισσότερο ακριβής διατύπωση των δεδομένων είναι αυτή που περιγράφει ακριβώς όσα είναι γνωστά και τίποτα παραπάνω. Ένας επιστήμονας οφείλει να αποφασίζει αν θα καταχωρήσει ως σημείο τήξεως του παραδιχλωροβενζολίου τους 53˚C, τους 53,2˚C ή τους 53,203˚C εκτιμώντας ποια τιμή ανταποκρίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Θυμηθείτε πώς μετρήσατε το σημείο τήξεως του παραδιχλωροβενζολίου (ένα όμοιο θερμόμετρο φαίνεται στο σχήμα 4-5, για να βοηθήσει τη μνήμη σας). Η μέτρηση της θερμοκρασίας που κάνατε σας επιτρέπει να πείτε ότι το σημείο τήξεως είναι 53˚C και όχι 54˚C. Πιθανόν ναι. Δεν είναι δύσκολη η ανάγνωση ενός θερμομέτρου με αυτόν το βαθμό ακριβείας. Είναι δυνατόν να διαβάσετε το θερμόμετρο έτσι, ώστε να διακρίνετε τους 53˚C με τους 53,2˚C; Αυτό βέβαια είναι πιο δύσκολο. Εξαρτάται από το θερμόμετρο αλλά και από την πείρα που έχετε στο να το χρησιμοποιείται. Εξαρτάται ακόμα από το αν η θερμοκρασία του στερεού κατά την τήξη είναι όμοια από την αρχή ως το τέλος της τήξεως. Τέλος, ένας μεγεθυντικός φακός επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανάγνωση της κλίμακας καθώς επίσης και η βραδύτερη θέρμανση βελτιώνει ή διευκολύνει την ομοιομορφία της θερμοκρασίας σε όλη τη μάζα του δείγματος**. Αν εφαρμόσετε αυτόν τον εξαιρετικά προσεκτικό τρόπο εργασίας, θα διαπιστώσετε ότι το σημείο τήξεως του παραδιχλωροβενζολίου είναι 53,2˚C και όχι 53˚C. Ας υποθέσομε τώρα ότι η ένδειξη βρίσκεται ανάμεσα στους 53,200˚C και στους 53,203˚C. Με τα όργανα που διαθέτετε, δεν είναι δυνατόν να το προσδιορίσετε με βεβαιότητα. Μια προσεκτική



ΣΧΗΜΑ 4-5. *Ένα συνηθισμένο εργαστηριακό θερμόμετρο. Ποια θερμοκρασία διαβάζετε;*

μέτρηση όμως είναι δυνατόν να επιβεβαιώσει ότι το σημείο τήξεως είναι 53,2˚C. Γι' αυτό, η δεύτερη

* *Σ.τ.Μ. Στα επόμενα όπου χρησιμοποιείται ο όρος αβεβαιότητα θα εννοείται το πιθανό σφάλμα.*

** *Σ.τ.Μ. Αν το δείγμα θερμαίνεται σιγά σιγά, επιτυγχάνεται καλύτερη ομοιομορφία της θερμοκρασίας και το αποτέλεσμα είναι ακριβέστερο.*

τιμή είναι αυτή που ανταποκρίνεται ακριβώς στη δυνατότητα που παρέχουν τα όργανα μετρήσεως (σ.τ. = 53,2˚C). Αντίθετα η πρώτη τιμή (σ.τ. = 53˚C) δεν λέει ολόκληρη την αλήθεια, επειδή δίνει δύο μόνο ψηφία, αν και μετρήθηκαν τρία, ενώ η τρίτη τιμή (σ.τ. = 53,203˚C) λέει πολύ περισσότερα από όσα είναι γνωστά, μιας και τα δύο τελευταία ψηφία της δεν μπορούν να προσδιορισθούν. Έτσι λοιπόν η πιο ακριβής τιμή* είναι αυτή που περιέχει τρία ψηφία. Ο αριθμός 53,2˚C λέγεται ότι έχει τρία "σημαντικά" ψηφία.

4.6 Αβεβαιότητα σε παράγωγο μέγεθος: Πρόσθεση και αφαίρεση.

Συχνά τα αποτελέσματα των επιστημονικών παρατηρήσεων αλληλοσυνδέονται. Για παράδειγμα στο επόμενο πείραμά σας θα προσδιορίσετε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού την ώρα που καίγεται ένα κερί (ή την ώρα που το κερί στερεοποιείται). Η μεταβολή στη θερμοκρασία που συμβολίζεται με Δt** είναι αποτέλεσμα δύο μετρήσεων και όχι μόνο μίας. Έτσι λοιπόν η μεταβολή αυτή όπως και η πυκνότητα είναι ποσότητες που προκύπτουν ύστερα από μαθηματικούς υπολογισμούς. Δεν προέρχονται δηλαδή από άμεση μέτρηση, αλλά από κάποιους μαθηματικούς συνδυασμούς των απευθείας μετρήσεων.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσομε τα ακόλουθα αποτελέσματα που συγκέντρωσε ένας μαθητής. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας μιας ποσότητας νερού που θερμάνθηκε με ένα κερί.

Θερμοκρασία μετά τη θέρμανση	38,5˚C
Θερμοκρασία πριν τη θέρμανση	9,3˚C
Διαφορά (μεταβολή θερμοκρασίας), Δt	29,2˚C

Αν ακολουθήσετε σωστή επιστημονική πρακτική, πρέπει να εκφράσετε τη μεταβολή της θερμοκρασίας με έναν αριθμό που περιγράφει ακριβώς όσα είναι γνωστά και τίποτα περισσότερο ή λιγότερο. Για να γίνει κάτι τέτοιο, ας εξετάσομε πώς οι αβεβαιότητες στις δύο ενδείξεις της θερμοκρασίας, οριοθετούν και την αβεβαιότητα στη διαφορά, Δt.

Ας υποθέσομε ότι η "θερμοκρασία μετά τη θέρμανση" μετρείται από ένα δεύτερο μαθητή, ο οποίος και διαβάζει 38,3˚C, ενώ ένας τρίτος μαθητής διαβάζει 38,7˚C. Είναι φυσικό διάφοροι μαθητές που εκτελούν την ίδια μέτρηση να δίνουν αποτελέσματα που διαφέρουν μερικά δέκατα του βαθμού. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μαθητών λοιπόν, η θερμοκρασία την οποία κατέγραψαν ως 38,5˚C θα μπορούσε να είναι και λίγο υψηλότερη, όπως 38,7˚C (0,2˚C υψηλότερη) ή και λίγο χαμηλότερη, όπως 38,3˚C (0,2˚C χαμηλότερη). Αυτό εκφράζεται και ως εξής:

Θερμοκρασία μετά τη θέρμανση = 38,5 ± 0,2˚C

(Το σύμβολο ± διαβάζεται "συν ή πλην").

Ας υποθέσομε ότι τα αποτελέσματα των τριών μαθητών αντιπροσωπεύουν ακριβώς το σφάλμα που εμφανίζεται συνήθως σε αυτού του είδους τις μετρήσεις. Έτσι, το ίδιο σφάλμα θα υπάρχει και στη μέτρηση της αρχικής θερμοκρασίας, γι' αυτό οδηγούμεθα στους ακόλουθους υπολογισμούς:

Θερμοκρασία μετά τη θέρμανση	38,5 ± 0,2˚C
Θερμοκρασία πριν τη θέρμανση	9,3 ± 0,2˚C
Διαφορά (μεταβολή θερμοκρασίας), Δt	29,2 ± ;,; ˚C

Για να αποφασίσομε ποιο είναι το σφάλμα του πρέπει, να αποδοθεί στο 29,2 ας καθορίσομε προηγουμένως ποιος είναι ο συνδυασμός εκείνος της θερμοκρασίας που δίνει τη μεγαλύτερη τιμή στο Δt. Η μικρότερη τιμή της αρχικής θερμοκρασίας θα μπορούσε να είναι 9,1˚C, ενώ η μεγαλύτερη τιμή της τελικής θερμοκρασίας θα μπορούσε να είναι 38,7˚C. Έτσι η διαφορά θα ήταν 29,6˚C. Ο συνδυασμός αυτός δημιουργεί στη διαφορά ένα σφάλμα ίσο με το άθροισμα των σφαλμάτων του καθενός μέρους, 0,2 + 0,2 = 0,4.

Ποια είναι η μικρότερη δυνατή τιμή που μπορείτε να πάρετε από τα στοιχεία που σας έχουν δοθεί για το Δt ; Αν απαντήσετε 28,8˚C, τότε απαντάτε σωστά. Το σφάλμα στο αποτέλεσμα είναι πάλι 0,4˚C. Έτσι 0,4˚C είναι το μεγαλύτερο σφάλμα που μπορεί να δημιουργηθεί από την αφαίρεση των δύο θερμοκρασιών. Η τιμή του Δt πρέπει να βρίσκεται κάπου ανάμεσα στα όρια 28,8˚C και 29,6˚C. Η διαφορά θερμοκρασίας που ακολουθεί εκφράζεται έτσι, ώστε να περιέχει και τα όρια του μεγίστου σφάλματος.

$$\Delta t = 29{,}2 \pm 0{,}4^{\circ}\mathrm{C}$$

Το προηγούμενο παράδειγμα δείχνει ότι το

* *Σ.τ.Μ. Με τα όργανα και τη μέθοδο μετρήσεως που χρησιμοποιήσαμε.*

** *Σ.τ.Μ. Το σύμβολο Δ εκφράζει διαφορά ανάμεσα σε δύο καταστάσεις.*

σφάλμα σε μια ποσότητα που προκύπτει με μαθηματικούς υπολογισμούς καθορίζεται από τα σφάλματα των μετρήσεων που είναι πιθανόν να έγιναν για τον υπολογισμό της. Κατ' αναλογία και για κάθε πρόσθεση ή αφαίρεση, το μέγεθος του σφάλματος του αποτελέσματος ισούται με το συνολικό μέγεθος των σφαλμάτων των αριθμών που χρησιμοποιήθηκαν. Η εξίσωση που ακολουθεί εκφράζει την εφαρμογή αυτού του νόμου στην περίπτωση του δικού μας παραδείγματος:

$$(\pm 0{,}2) + (\pm 0{,}2) = \pm 0{,}4$$

Ας δοκιμάσομε να λύσομε ένα άλλο σχετικό πρόβλημα, με τον ίδιο κανόνα. Η μάζα ενός δείγματος νερού προσδιορίζεται με αφαίρεση της μάζας του άδειου δοχείου από τη μάζα του δοχείου όταν περιέχει νερό.

(μάζα νερού) =
= (μάζα δοχείου + νερό) – (μάζα άδειου δοχείου)

Ας υποθέσομε ότι η μάζα του δοχείου είναι 61 ± 1 γραμμάρια και η μάζα του δοχείου μαζί με το νερό είναι 406 ± 1 γραμμάρια. Να δειχθεί ότι αν υπολογισθεί το μέγιστο και το ελάχιστο των τιμών, τότε το σωστό αποτέλεσμα είναι αυτό που προβλέπεται από τον κανόνα της προσθέσεως και της αφαιρέσεως, δηλαδή 345 ± 2 γραμμάρια.

4.7 Αβεβαιότητα σε παράγωγα (ή δευτερογενή) μεγέθη: Πολλαπλασιασμός και διαίρεση.

Όταν, για να βρούμε μια ποσότητα που προκύπτει ύστερα από μαθηματικούς υπολογισμούς*, πρέπει να πολλαπλασιάσομε ή να διαιρέσομε αριθμούς, επιβάλλεται πάλι να λάβομε υπόψη μας τα διάφορα σφάλματα, ώστε να υπολογίσομε το σφάλμα του τελικού αποτελέσματος. Δηλαδή, πρέπει να υπολογισθούν πάλι η μέγιστη και η ελάχιστη των τιμών. Σε αυτήν την περίπτωση όμως το σύνολο των σφαλμάτων των διαφόρων μετρήσεων δεν μας ορίζει και το τελικό σφάλμα, όπως συνέβαινε με την πρόσθεση και την αφαίρεση. Η διερεύνηση που ακολουθεί σχετικά με τον υπολογισμό του σφάλματος σε ένα αποτέλεσμα που λαμβάνεται με πολλασιασμό, καθιστά φανερή αυτήν τη διαφορά.

Ας υποθέσομε ότι θέλομε να υπολογίσομε το εμβαδόν μιας έδρας ενός παραλληλεπιπέδου. Τα μήκη των πλευρών της, που μπορούμε να μετρήσομε με ακρίβεια ± 0,1 cm βρέθηκαν ότι είναι 12,1 cm και 9,9 cm. Το εμβαδόν αυτής της επιφάνειας είναι:

$$12{,}1 \text{ cm} \times 9{,}9 \text{ cm} = 119{,}79 \text{ cm}^2$$

Το αποτέλεσμα αυτό μοιάζει να είναι πολύ ακριβές. Όμως πόσο ακριβές είναι; Πόσα από τα πέντε ψηφία θα είναι σημαντικά; Δηλαδή πόσα από αυτά μπορούμε πραγματικά να τα εμπιστευθούμε;

Επειδή κάθε μέτρηση είναι ακριβής κατά ± 0,1 cm, τα μήκη αυτά θα μπορούσαν να είναι το πολύ 12,2 cm και 10,0 cm ή το λιγότερο 12,0 και 9,8 cm. Για άλλη μια φορά θα πρέπει να θεωρήσομε τη χειρότερη περίπτωση του συνδυασμού των αβεβαιοτήτων στις ποσότητες που μετρήθηκαν. Έτσι θα βρούμε ότι η επιφάνεια θα μπορούσε ή να είναι το πολύ

$$12{,}2 \text{ cm} \times 10{,}0 \text{ cm} = 122{,}00 \text{ cm}^2$$

ή να είναι το λιγότερο

$$12{,}0 \text{ cm} \times 9{,}8 \text{ cm} = 117{,}60 \text{ cm}^2$$

Οι δύο αυτές απαντήσεις διαφέρουν κατά 4,40 cm^2. Έτσι το εμβαδόν της επιφάνειας θα είναι 119,79 ± 2,20 cm^2. Οι χημικοί θα θεωρούσαν λάθος τη διατύπωση ότι το εμβαδόν είναι 119,79, γιατί αυτό θα σήμαινε ότι η απάντηση δίνει ακρίβεια μέχρι εκατοστό του τετραγωνικού εκατοστού, ενώ μόλις προηγουμένως είδατε ότι η απάντηση στην πραγματικότητα δίνει μια ακρίβεια μερικών τετραγωνικών εκατοστών, και συγκεκριμένα ±2,20 cm^2. Αν και αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει αβεβαιότητα σε τρία ψηφία, η μέγιστη συνεισφορά στην αβεβαιότητα οφείλεται στο πρώτο ψηφίο που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της υποδιαστολής. Για να γίνομε σαφέστεροι, αν αμφιβάλλομε για ένα ολόκληρο cm^2, δεν υπάρχει λόγος να ανησυχούμε για τα δέκατα του cm^2. Έτσι λοιπόν οι χημικοί θα στρογγύλευαν το αποτέλεσμα δίνοντας μόνο τους ακέραιους αριθμούς. Η απάντηση θα ήταν 120 ± 2 cm^2 δίνοντας μόνο ένα αβέβαιο ψηφίο και παραλείποντας τα άλλα αβέβαια ψηφία, επειδή συγκριτικά είναι αρκετά μικρά.

Αν θέλομε να συγκρίνομε το σφάλμα στη διαίρεση με αυτό στον πολλαπλασιασμό, ας προσέξομε το ακόλουθο παράδειγμα. Με τη βοήθεια της μέγιστης και της ελάχιστης των τιμών, καταλήγομε σε έναν υπολογισμό του σφάλματος

* *Σ.τ.Μ. Βλέπε παράγραφο 4.3.*

της πυκνότητας ενός θραύσματος σιδηρούχου μετεωρίτη που βρέθηκε στις ΗΠΑ.

Παράδειγμα.

$$
\begin{aligned}
m &= 950{,}3 \pm 0{,}2\ \text{g} \cdot \text{V} = 120 \pm 1\ \text{ml} \\
d &= m/\text{V} \\
d &= 950{,}3\ \text{g}/120\ \text{ml} = 7{,}919\ \text{g/ml} \\
d_{max} &= 950{,}5\ \text{g}/119\ \text{ml} = 7{,}987\ \text{g/ml} \\
d_{min} &= 950{,}1\ \text{g}/121\ \text{ml} = 7{,}852\ \text{g/ml} \\
\frac{d_{max} - d_{min}}{2} &= 0{,}068\ \text{g/ml} \\
d &= 7{,}919 \pm 0{,}068\ \text{g/ml}
\end{aligned}
$$

Ο καθορισμός του σφάλματος στην τελευταία σειρά δείχνει ότι τη μεγαλύτερη σημασία για τον καθορισμό της αβεβαιότητας έχει το δεύτερο ψηφίο που βρίσκεται δεξιά από την υποδιαστολή. Επειδή όλα τα άλλα ψηφία που βρίσκονται δεξιότερα από αυτό είναι συγκριτικά αμελητέα, τα αγνοούμε. Έτσι, ένας χημικός θα έγραφε το αποτέλεσμα στρογγυλεύοντας τον αριθμό ως εξής:

$$d = 7{,}92 \pm 0{,}07\ \text{g/ml}$$

Η απάντηση στρογγυλεύθηκε στο 7,92, γιατί το 7,919 είναι πιο κοντά στο 7,92 από ό,τι στο 7,91.

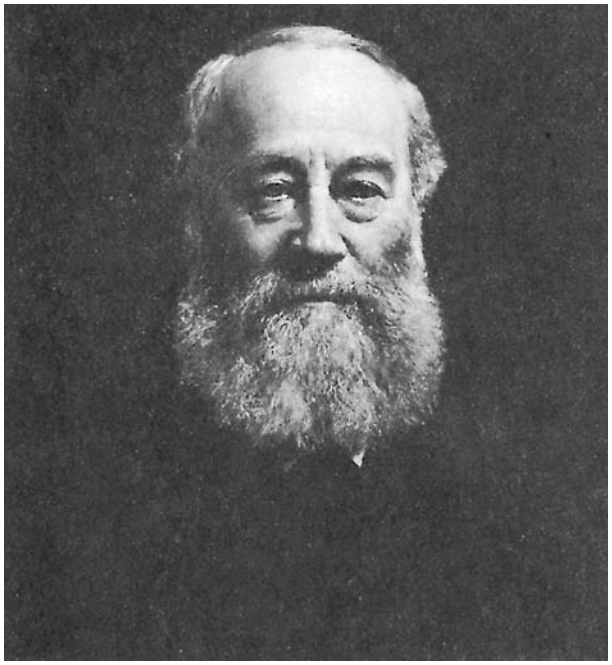
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

4.8 Μέτρηση των μεταβολών της θερμότητας κατά την καύση και κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσεως.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας, όπως και αυτές που διερευνήθηκαν στο παράδειγμα που αναφέρθηκε κατά την περιγραφή του προσδιορισμού της αβεβαιότητας στην πρόσθεση και την αφαίρεση (παράγρ. 4.6), σας έδωσαν την ευκαιρία να υπολογίσετε την ποσότητα της θερμότητας που ελευθερώνεται, όταν καίγεται ένα κερί γνωστής μάζας. Η θερμότητα, ως μια μορφή ενέργειας, μετρείται σε Joules ή θερμίδες. Ένας συνηθισμένος τρόπος για να μετρήσομε τη θερμότητα είναι να τη διοχετεύσομε σε μια γνωστή ποσότητα νερού και να μετρήσομε την αύξηση της θερμοκρασίας του. Έχει βρεθεί με ακριβείς μετρήσεις ότι για νερό, του οποίου η θερμοκρασία είναι ανάμεσα στους 8°C και τους 80°C, η θερμοκρασία του θα αυξάνει κατά 1,00°C, όταν 1,00 γραμμάριο νερού απορροφά 4,18 Joules ή θερμότητα μιας (1) θερμίδας. Αντίστροφα ελευθερώνεται θερμότητα μιας (1) θερμίδας, όταν 1,00 γραμμάριο νερού ψύχεται κατά 1,00°C. Η ειδική θερμότητα του νερού κυμαίνεται γύρω από το 1,00 cal/g °C, και αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού. Η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή και το 1,00 είναι ελάχιστη για την περιοχή θερμοκρασιών που μελετούμε. Το σφάλμα που εισάγεται στους υπολογισμούς, όταν θεωρούμε την ειδική θερμότητα 1,00 cal/g°C, συγκριτικά με τα σφάλματα στη μέτρηση άλλων ποσοτήτων είναι μικρό. Γι' αυτό θα πρέπει να αγνοήσετε στους υπολογισμούς σας οποιοδήποτε σφάλμα προέρχεται από τις διαφορές της ειδικής θερμότητας του νερού.

Όπως ορίσθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, η επίσημη διεθνής μονάδα ενέργειας ή θερμότητας είναι το Joule. Παρ' όλα αυτά η θερμίδα αποτελεί μια πολύ πιο εύχρηστη μονάδα για τους πρόχειρους υπολογισμούς γιατί έχει πιο απλή σχέση με τις ιδιότητες του νερού. Για να υπολογίσετε το ποσό της θερμότητας, q, που έχει απορροφηθεί από m γραμμάρια νερού, όταν η θερμοκρασία του αυξήθηκε κατά Δt°C, αρκεί να κάνετε τον πολλαπλασιαμό: m x Δt. Η απάντηση βγαίνει αμέσως σε θερμίδες (cal), όπως δείχνουν και οι ακόλουθοι υπολογισμοί:

μάζα (g) x μεταβολή θερμοκρασίας (°C) x ειδική θερμότητα (cal/g°C) = θερμότητα (cal).



James Prescott Joule (1818 - 1889)

Όταν ο James Joule ήταν δεκαεπτά ετών είχε την τύχη να έχει για δάσκαλο τον John Dalton, αυτόν που διατύπωσε την Ατομική Θεωρία της Ύλης. Μέσα σε πέντε χρόνια ο Joule, είχε ξεκινήσει μια σειρά μελετών, τις οποίες συνέχισε για μισό περίπου αιώνα. Έχοντας διαβάσει τον τρόπο με τον οποίο ο κόμης Rumford (B. Thomson) είχε επιβεβαιώσει τη σχέση ανάμεσα στη μηχανική ενέργεια και τη θερμότητα, το 1798, αποφάσισε να προσδιορίσει αν το ποσό της θερμότητας που παράγεται από ορισμένη ποσότητα έργου είναι πάντα το ίδιο ανεξάρτητα από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της θερμότητας.

Στα πρώτα του πειράματα μέτρησε την ποσότητα της μηχανικής ενέργειας που απαιτείται, για να λειτουργήσει μια ηλεκτρική γεννήτρια. Στη συνέχεια προσδιόρισε την ποσότητα της θερμότητας που παράγεται από τον ηλεκτρισμό, όταν περάσει μέσα από ένα σύρμα. Κατόπιν άντλησε νερό μέσα από λεπτούς σωλήνες και σύγκρινε τη θερμότητα που δημιουργήθηκε από την τριβή του νερού στους σωλήνες, με την ποσότητα του έργου που χρειάσθηκε, για να λειτουργήσει η αντλία. Σε επόμενα πειράματα, μέτρησε τη θερμότητα που παράγεται συμπιέζοντας ένα αέριο, αναδεύοντας διάφορα υγρά σε μονωμένα δοχεία και τρίβοντας δύο μεταλλικούς δίσκους μεταξύ τους μέσα σε νερό. Μελέτησε ακόμη το πείραμα του Ράμφορντ, ο οποίος με ένα κοφτερό εργαλείο χάραξε ένα μεταλλικό κύλινδρο και υπολόγισε τη σχέση ανάμεσα στη μηχανική ενέργεια που καταναλώθηκε από τα άλογα που έσερναν τον τροχό του Ράμφορντ και τη θερμότητα που παρήχθη κατά τη χάραξη του κυλίνδρου. Αυτός ήταν ένας υπολογισμός που ο Ράμφορντ ποτέ δεν επιχείρησε να πραγματοποιήσει.

Μετά από οκτώ χρόνια μελέτης και ερευνών, συγκέντρωσε όλα τα αποτελέσματά του και ανακοίνωσε μια τιμή για αυτό που σήμερα χαρακτηρίζεται ως “μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας”. Αν, για να εκφράσομε το αποτέλεσμα που βρήκε, χρησιμοποιήσομε σύγχρονες μονάδες (που έχουν το όνομα αυτού του έξοχου επιστήμονα)*, το αποτέλεσμα των 4,150 Joules μηχανικής ενέργειας για κάθε θερμίδα, που είχε βρει, δεν απέχει πολύ από την αποδεκτή σήμερα τιμή των 4,184 Joules ανά θερμίδα.

Η εργασία του Joule γύρω από τη θερμότητα, τον οδήγησε σύντομα στη διατύπωση μιας κινητικής θεωρίας για την ύλη, που συσχέτιζε όλα τα αποτελέσματα που έχει η επίδραση της θερμότητας πάνω στην ύλη με την κίνηση των σωματιδίων της ύλης και την μεταξύ τους έλξη.

Ο Joule είχε ενθουσιασθεί τόσο πολύ με αυτήν την ερευνητική εργασία του ώστε ακόμη και κατά το μήνα του μέλιτος που πέρασε στην Ελβετία, βρήκε το χρόνο να μετρήσει την αύξηση στη θερμοκρασία του νερού ενός καταρράκτη όταν ο όγκος του νερού φτάνει στο κατώτερο σημείο της διαδρομής του. Η ιστορία δεν αναφέρει αν και η σύντροφός του εκείνη την περίοδο χαρακτηριζόταν από τον ίδιο ενθουσιασμό για την εργασία του συζύγου της.

* *Σ.τ.Μ. Μονάδες έργου Joule.*

Επειδή η ειδική θερμότητα του νερού είναι 1 cal/g ˚C, η εξίσωση μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$m \times \Delta t = q$$

Η μεταβολή που σημειώνεται, όταν ένα στερεό λιώνει ή ένα υγρό στερεοποιείται, αποτελεί ένα παράδειγμα ***αλλαγής φάσεως***. Στην παράγραφο 1.5 διαπιστώσατε ότι η θερμοκρασία ενός στερεού που λιώνει ή ενός υγρού που στερεοποιείται παραμένει σταθερή, όσο διάστημα συνυπάρχουν και οι δύο φάσεις, η υγρή και η στερεά. Η ίδια θερμική ενέργεια που απορροφάται, όταν αλλάζει το στερεό σε υγρό, ελευθερώνεται και όταν η ουσία αλλάζει από υγρό σε στερεό.

Ο τύπος της μεταβολής, κατά την οποία σχηματίζονται νέες ουσίες, ονομάζεται ***χημική μεταβολή***. Όταν εξετάζατε τα προϊόντα καύσεως του κεριού, στην παράγραφο 1.13, βρήκατε ότι το κερί όταν καίγεται μετατρέπεται σε δύο τουλάχιστον ουσίες: διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Επειδή αυτά τα προϊόντα διαφέρουν σε σύσταση από τα αρχικά υλικά, αυτή η διαδικασία αποτελεί παράδειγμα χημικής μεταβολής.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα βρείτε το ποσό της θερμότητας που παράγεται από ένα κερί που καίγεται (Μέρος Α) και θα το συγκρίνετε με το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται, όταν το κερί μετατρέπεται από υγρό σε στερεό (Μέρος Β). Επίσης θα προσδιορίσετε το σφάλμα που δημιουργείται, όταν πολλαπλασιάζετε ή διαιρείτε ποσότητες που έχουν προκύψει από τις μετρήσεις σας.

ΥΛΙΚΑ

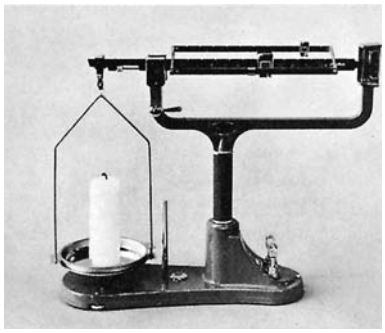
Κερί και ένα καπάκι για τη στερέωση του κεριού
Ζυγός
15-20 cm γυάλινη ράβδος
Παγάκια
Λύχνος
Δοκιμαστικός σωλήνας που περιέχει κερί, 18 x 150 mm
Σύρμα
Θερμόμετρο
Ορθοστάτης και δακτύλιος
Δοκιμαστικός σωλήνας κενός, 18 x 150 mm
2 ποτήρια, 250 ml
Λαβίδα για δοκιμαστικό σωλήνα

Ένα μεγάλο στρογγυλό κουτί από κονσέρβα, που έχει ανοίγματα γύρω από τη βάση του και από το οποίο έχουν αφαιρεθεί η πάνω και η κάτω πλευρά. Ένα μικρό κουτί από κονσέρβα με δύο αντικριστές τρύπες, από το οποίο έχει αφαιρεθεί η μία μόνο πλευρά.

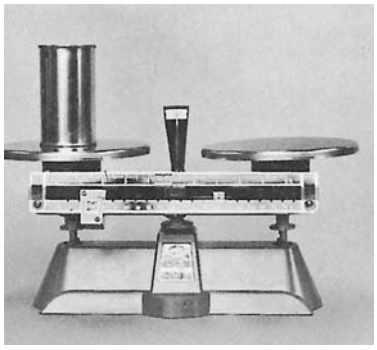
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Θερμότητα καύσεως.

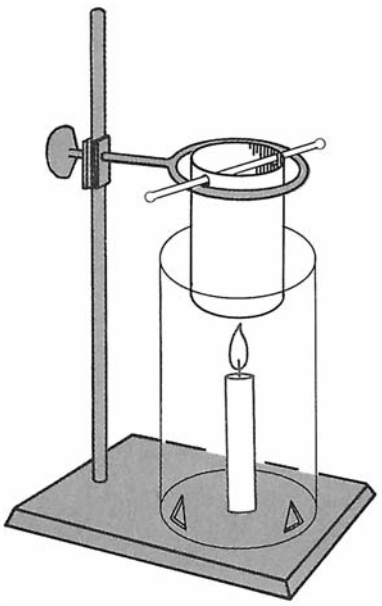
Στο πείραμα αυτό θα θερμάνετε γνωστή μάζα νερού εκμεταλλευόμενοι τη θερμότητα που εκλύεται από ένα αναμμένο κερί, και θα βρείτε την αύξηση που προκαλείται στη θερμοκρασία του νερού. Αν γνωρίζετε τη μάζα του νερού και την αύξηση της θερμοκρασίας του μπορείτε να υπολογίσετε το ποσό της θερμότητας που ελευθερώθηκε από το κερί, αφού δεχθείτε ως προϋπόθεση ότι ολόκληρη η θερμότητα του κεριού χρησιμοποιήθηκε μόνο για να θερμάνει το νερό*. Θα βρείτε επίσης τη μάζα του κεριού πριν και μετά την καύση του. Αν



ΣΧΗΜΑ 4-6.



ΣΧΗΜΑ 4-7.



ΣΧΗΜΑ 4-8.

γνωρίζετε τη μάζα του κεριού που κάηκε και τη θερμότητα που ελευθερώθηκε κατά τη διεξαγωγή αυτού του πειράματος, είστε σε θέση να υπολογίσετε τη θερμότητα που παράγεται ανά μονάδα μάζας του κεριού.

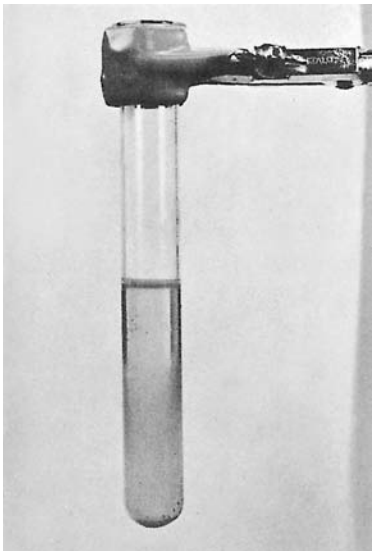
Πριν αρχίσετε, διαβάστε προσεκτικά την πορεία που θα ακολουθήσετε και καταρτίστε ένα κατάλληλο πίνακα δεδομένων. Στον πίνακα πρέπει να υπάρχουν δύο στήλες: "τα δεδομένα και τα αποτελέσματα".

1. Στερεώστε το κερί σε ένα μεταλλικό καπάκι από κουτί κονσέρβας και προσδιορίστε με ζύγιση τη μάζα τους με ακρίβεια 0,01 g, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4-6. Σημειώστε τη μάζα του κεριού και του καπακιού στον πίνακα των δεδομένων. Σημειώστε επίσης κάποιο χαρακτηριστικό αριθμό του ζυγού, ώστε, αν χρειασθεί να επαναλάβετε το πείραμα, να χρησιμοποιήσετε τον ίδιο ζυγό (αυτό θα περιορίσει την πιθανότητα σφάλματος που οφείλεται σε διαφορετικούς ζυγούς).
2. Τοποθετήστε ένα άδειο κουτί κονσέρβας, ανοικτό από τη μια πλευρά, στο δίσκο ενός ζυγού, όπως στο σχήμα 4-7, και μετρήστε τη μάζα του με ακρίβεια 1 g. Σημειώστε τη μάζα του στον πίνακά σας, στη στήλη των δεδομένων.
3. Κατασκευάστε τη διάταξη του σχήματος 4-8 έτσι, ώστε η φλόγα του κεριού, όταν είναι αναμμένο (μην το ανάψετε ακόμη) σχεδόν να αγγίζει, όχι ακριβώς, τον πυθμένα του κουτιού. Για καμινάδα χρησιμοποιήστε ένα φαρδύ κουτί, ανοικτό και από τις δύο πλευρές.
4. Γεμίστε το δοχείο που ζυγίσατε κατά τα 2/3 με κρύο νερό. Προς το παρόν μην μετρήσετε τον όγκο ή τη μάζα του νερού.
5. Κρυώστε το νερό με πάγο, αν χρειασθεί, ώστε η θερμοκρασία του να είναι περίπου στους 10 με 15°C, κάτω δηλαδή από τη θερμοκρασία του δωματίου. Προσθέστε τον πάγο κατ' ευθείαν στο νερό. Όταν επιτύχετε τη θερμοκρασία που θέλετε, αφαιρέστε τον πάγο που δεν έλιωσε.
6. Διαβάστε και σημειώστε τη θερμοκρασία του νερού με προσέγγιση 0,2°C. Ανάψτε το κερί και θερμάνετε το νερό αναδεύοντάς το αργά μέχρι να φθάσει σε μια θερμοκρασία τόσο υψηλότερη από τη θερμοκρασία του δωματίου, όσο χαμηλότερη ήταν στην αρχή του πειράματος. Προσεκτικά σβήστε το κερί. Συνεχίστε να αναδεύετε το νερό, παρακολουθώντας την ένδειξη του θερμομέτρου, μέχρι να φθάσετε στη μέγιστη θερμοκρασία. Καταγράψτε τη μέγιστη θερμοκρασία με ακρίβεια 0,2°C, όπως προηγουμένως.
7. Προσδιορίστε τη μάζα του κεριού μαζί με το καπάκι στον ίδιο ζυγό που χρησιμοποιήσατε προηγουμένως. Κατά τον προσδιορισμό της νέας μάζας ζυγίστε και τις σταγόνες που είχαν σχηματισθεί από το λιώσιμο του κεριού. Καταγράψτε τη μάζα.
8. Προσδιορίστε τη μάζα που έχει το νερό με το κουτί στον ίδιο ζυγό που χρησιμοποιήσατε προηγουμένως και σημειώστε την στον πίνακά σας. Επαναλάβατε το πείραμα, αν το επιτρέπει ο χρόνος σας.

Μέρος Β. Θερμότητα στερεοποιήσεως.

Στο πείραμα αυτό θα χρησιμοποιήσετε κάποια ποσότητα λιωμένου κεριού, που βρίσκεται στο σημείο τήξεως, για να προκαλέσετε μεταβολή στη θερμοκρασία γνωστής μάζας νερού. Μπορείτε να υποθέσετε ότι όλη η θερμότητα που ανταλλάσσεται ανάμεσα στο κερί και το νερό παράγεται από τη στερεοποίηση του κεριού. Η θερμότητα που απαιτείται για τη μεταβολή της

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή δεχόμαστε ότι δεν διασκορπίζεται μέρος αυτής στο περιβάλλον.*

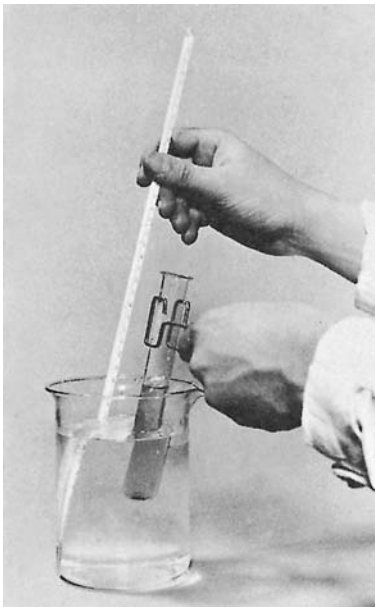


ΣΧΗΜΑ 4-9.

θερμοκρασίας του ποτηριού είναι πολύ μικρή, για να μπορέσει να επηρεάσει αυτό το πείραμα.

Καταρτίστε έναν πίνακα μετρήσεων στον οποίο θα υπάρχουν δύο στήλες για τη καταχώρηση των "δεδομένων και των αποτελεσμάτων".

1. Πάρτε ένα δοκιμαστικό σωλήνα 18 x 150 mm με λίγο κερί (περίπου 10 g κεριού). Προσδιορίστε με ζύγιση και καταγράψτε τη μάζα του δοκιμαστικού σωλήνα μαζί με το κερί, με προσσέγγιση 0,1 g.
2. Στον ίδιο ζυγό μετρήστε τη μάζα ενός όμοιου καθαρού, στεγνού δοκιμαστικού σωλήνα, που θα σας δώσει ο καθηγητής σας ώστε να υπολογίσετε κατά προσέγγιση της μάζα ενός άδειου δοκιμαστικού σωλήνα. Καταγράψτε την με ακρίβεια 0,1 g.
3. Προσδιορίστε με ζύγιση τη μάζα ενός άδειου ποτηριού των 250 ml. Σε αυτό το ποτήρι θα βάλετε το κρύο νερό που θα θερμανθεί από το στερεοποιούμενο κερί. Καταγράψτε τη μάζα στον πίνακά σας με ακρίβεια γραμμαρίου.
4. Γεμίστε το ποτήρι περίπου μέχρι τη μέση με κρύο νερό της βρύσης. Αν χρειασθεί, χρησιμοποιήστε πάγο, για να ρυθμίσετε τη θερμοκρασία του νερού της βρύσης κατά 1 ή 2˚C κάτω από τη θερμοκρασία του δωματίου. Προσδιορίστε τη μάζα του ποτηριού και του νερού με τον ίδιο ζυγό, και καταγράψτε το αποτέλεσμα της ζυγίσεως.
5. Προσθέστε νερό σε ένα δεύτερο ποτήρι των 250 ml ή σε ένα μικρό μεταλλικό χυτρίδιο, περίπου μέχρι τη μέση και κατόπιν θερμάνετε το νερό μέχρι να βράσει. Τοποθετήστε το δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει λίγο κερί μέσα στο νερό που βράζει, και διατηρήστε το εκεί μέχρι ακριβώς τη στιγμή που θα έχει λιώσει όλο το κερί. Προσέξτε να αποφύγετε την υπερθέρμανση.
6. Με τη βοήθεια μιας λαβίδας για δοκιμαστικούς σωλήνες απομακρύνατε το δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει το λιωμένο κερί από το ζεστό νερό. Αφήστε το κερί να κρυώσει, μέχρι να αρχίσουν να διακρίνονται τα πρώτα σημάδια θολώματος (στερεοποιήσεως), όπως στο σχήμα 4-9. Όση ώρα κρυώνει το κερί, μετρήστε και καταγράψτε τη θερμοκρασία του κρύου υδρόλουτρου με ακρίβεια 0,2˚C. Γρήγορα τοποθετήστε το δοκιμαστικό σωλήνα με το ελαφρά θολό κερί μέσα στο κρύο νερό και αναδεύσατε αργά το νερό με το δοκιμαστικό σωλήνα (σχ. 4-10). Σημειώστε τη θερμοκρασία του νερού καθώς αναδεύετε και συνεχίστε να παρατηρείτε τη θερμοκρασία μέχρι του σημείου που να μην γίνεται αισθητή άλλη αύξηση (όταν διαβάζετε το θερμόμετρο, φροντίστε να είναι βυθισμένο στο νερό, ανάμεσα στο δοκιμαστικό σωλήνα και τα τοιχώματα του ποτηριού). Καταγράψτε αυτήν τη μέγιστη θερμοκρασία με ακρίβεια 0,2˚C και, αν σας επιτρέπει ο χρόνος, επαναλάβετε το πείραμα.



ΣΧΗΜΑ 4-10.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μέρος Α.

Αριθμός ζυγού. (Δίνεται από τον κατασκευαστή).
Θερμοκρασία δωματίου (˚C).
Μάζα κεριού και καπακιού πάνω στο οποίο στερεώνεται το κερί πριν την καύση (g).
Μάζα κεριού και καπακιού μετά την καύση (g).
Μάζα κεριού που κάηκε (g).
Μάζα κουτιού κονσέρβας με το νερό (g).
Μάζα άδειου κουτιού κονσέρβας (g).
Μάζα νερού που θερμάνθηκε (g).

Θερμοκρασία νερού πριν τη θέρμανση (˚C).
Θερμοκρασία νερού μετά τη θέρμανση (˚C).
Μεταβολή θερμοκρασίας νερού, Δt (˚C).
Ποσότητα θερμότητας που χρειάσθηκε, για να θερμανθεί το νερό, q (cal).
Θερμότητα καύσεως της ουσίας από την οποία αποτελείται το κερί (cal/g).

Μέρος Β.

Αριθμός ζυγού.
Μάζα δοκιμαστικού σωλήνα με το κερί (g).
Μάζα άδειου δοκιμαστικού σωλήνα (g).
Μάζα κεριού (g).
Μάζα ποτηριού με το νερό (g).
Μάζα άδειου ποτηριού (g).
Μάζα νερού (g).
Θερμοκρασία νερού πριν (˚C).
Θερμοκρασία νερού μετά (˚C).
Μεταβολή θερμοκρασίας νερού, Δt (˚C).
Ποσότητα θερμότητας που απορροφήθηκε από το νερό, q (cal).
Θερμότητα στερεοποιήσεως του κεριού (cal/g).

Υπολογισμοί.

Με τη βοήθεια των δεδομένων, και με τους κανόνες που διδαχτήκατε τους σχετικούς με τα σφάλματα, να γίνουν οι υπολογισμοί που χρειάζονται στους προηγούμενους πίνακες.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Αν εξετάσετε ό,τι παραδεχθήκαμε κατά τον υπολογισμό της "θερμικής στερεοποιήσεως" ή της "θερμότητας καύσεως", νομίζετε ότι οι πραγματικές τιμές θα είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από αυτές που εσείς βρήκατε; Δώστε εξηγήσεις.
2. Συγκρίνατε το μέσο όρο για τη θερμότητα καύσεως με αυτόν για τη θερμότητα στερεοποιήσεως που βρήκε όλη η τάξη. Πόσο διαφέρει ο μέσος όρος της θερμότητας καύσεως από αυτόν της θερμότητας στεροποιήσεως;

Ερώτηση για προβληματισμό.

Γιατί η θερμότητα καύσεως διαφέρει τόσο πολύ από τη θερμότητα που συνοδεύει την αλλαγή φάσεως;

ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ

1. Σχεδιάστε ένα πείραμα, για να μετρήσετε τη μεταβολή της θερμότητας κατά την αλλαγή φάσεως (αέριο σε υγρό ή υγρό σε αέριο) για μερικές κατάλληλες ουσίες.
2. Σχεδιάστε μερικές βελτιώσεις στο Α Μέρος αυτού του πειράματος, με σκοπό να περιορίσετε τις σημαντικότερες πηγές σφάλματος. Προσδιορίστε τη θερμότητα καύσεως μιας καθαρής ουσίας, όπως το στεατικό οξύ, και στη συνέχεια συγκρίνατε τα αποτελέσματά σας με αυτά που υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

4.9 Υπολογισμός της αβεβαιότητας ενός δευτερογενούς μεγέθους.

Στο προηγούμενο πείραμα υπολογίσατε τα μέγιστα δυνατά σφάλματα στα αποτελέσματα για τη θερμότητα καύσεως και τη θερμότητα στερεοποιήσεως του κεριού. Στο παράδειγμα που θα ακολουθήσει, γίνεται υπολογισμός του σφάλματος σε μια τυπική τιμή του q, με τη βοήθεια των μεγίστων και ελαχίστων τιμών. Είναι χρήσιμο να συγκρίνετε το αποτέλεσμα που θα προκύψει με αυτά που θα προκύψουν με την εφαρμογή άλλων μεθόδων προσδιορισμού του σφάλματος, οι οποίες πρόκειται να συζητηθούν στις επόμενες παραγράφους. Σε κάθε περίπτωση θα χρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην παράγραφο 4.6 για τη μάζα του νερού που θερμάνθηκε από το κερί και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού που προκλήθηκε.

Παράδειγμα.

$$m = 345 \pm 2\ \text{g} \cdot \quad \Delta t = 29{,}2 \pm 0{,}4\ ^\circ\text{C}$$

$$q = m \times \Delta t = (345 \pm 2)\ (29{,}2 \pm 0{,}4) =$$

$$= 10.074{,}0 \pm ;\ \text{cal}$$

$$q_{max} = (347)\ (29{,}6) = 10.271{,}2\ \text{cal}$$

$$q_{min} = (343)\ (28{,}8) = 9.878{,}4\ \text{cal}$$

$$\frac{q_{max} - q_{min}}{2} = \frac{392{,}8}{2} = 196{,}4$$

$$q = 10.074{,}0 \pm 196{,}4\ \text{cal}$$

Το αποτέλεσμα δείχνει αβεβαιότητα στο τρίτο ψηφίο αριστερά από την υποδιαστολή. Έτσι, τα ψηφία που βρίσκονται δεξιά από αυτό το ψηφίο είναι "μη σημαντικά" και για την ποσότητα που έχει υπολογισθεί αλλά και για την εκτίμηση της αβεβαιότητας. Ένας χημικός θα έδινε το ακόλουθο αποτέλεσμα, στο οποίο έχει στρογγυλέψει και τους δύο αριθμούς στο τρίτο ψηφίο αριστερά από την υποδιαστολή.

$$q = 10.100 \pm 200\ \text{cal}$$

4.10 Υπολογισμός της αβεβαιότητας με τη βοήθεια της εκατοστιαίας αναλογίας.

Στην παράγραφο 4.9 αναφέρθηκε τρόπος, για να υπολογίζετε την αβεβαιότητα σε ένα δευτερογενές αποτέλεσμα. Είναι ο ίδιος τρόπος που χρησιμοποιήσατε, για να υπολογίσετε την αβεβαιότητα στο πειραματικό σας αποτέλεσμα. Θα αναρωτιέστε μήπως υπάρχει και κάποιος άλλος εύκολος τρόπος, επειδή αυτός απαιτεί αρκετό χρόνο και προσπάθεια για τον υπολογισμό της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής. Οι επιστήμονες έχουν πράγματι μια περισσότερο εύχρηστη μέθοδο για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας. Η μέθοδος που χρησιμοποιούσατε μέχρι τώρα ήταν καλή, για να σας βοηθήσει ταυτόχρονα να καταλάβετε τι είναι γενικά η αβεβαιότητα. Από τώρα όμως και εξής θα είστε σε θέση να χρησιμοποιείτε μια περισσότερο πρακτική μέθοδο.

Οι επιστήμονες ακολουθούν συνήθως τον παρακάτω κανόνα για να υπολογίζουν το σφάλμα όταν πρόκειται για αποτελέσματα που προέρχονται από πολλαπλασιασμό και διαίρεση.

Το ***επί τοις εκατό σφάλμα*** στο αποτέλεσμα ισούται με το άθροισμα των επί τοις εκατό σφαλμάτων που υπάρχουν σε όλους τους συντελεστές ή διαιρετέους.

Για να αντιληφθείτε πώς λειτουργεί η μέθοδος του "εκατοστιαίου κανόνα", μελετήστε το παράδειγμα που ακολουθεί. Με σκοπό να σας δοθεί η δυνατότητα να συγκρίνετε εύκολα την εκατοστιαία μέθοδο για τον υπολογισμό του σφάλματος, με αυτήν που χρησιμοποιήσατε στην προηγούμενη παράγραφο, χρησιμοποιούμε τους ίδιους αριθμούς.

Παράδειγμα.

$m = 345 \pm 2$ g·

$$\text{σφάλμα} = \left(\frac{2}{345}\right)\ (100) = 0{,}58\%$$

$\Delta t = 29{,}2 \pm 0{,}4\ ^\circ\text{C}$·

$$\text{σφάλμα} = \left(\frac{0{,}4}{29{,}2}\right)\ (100) = 1{,}37\%$$

Σύνολο των επί τοις εκατό σφαλμάτων

$$= 1{,}37\% + 0{,}58\% = 1{,}95\%$$

$$m \times \Delta t = 10.074 \pm \left(\frac{1{,}95}{100} \times 10{,}074\right)\ \text{cal} =$$

$$= 10.074 \pm 196\ \text{cal} = 10.100 \pm 200\ \text{cal}$$

Το σφάλμα που υπολογίσθηκε με αυτόν τον τρόπο, 196 cal, δεν διαφέρει από αυτό που βρήκατε προηγουμένως μετά από μια αρκετά πιο κοπιώδη διαδικασία.

4.11 Σημαντικά ψηφία: Σφάλμα κατά προσέγγιση.

Μάθατε προηγουμένως ότι όταν η ποσότητα των 10.074 cal υπολογίζεται από τις τιμές μετρήσεως του m, του Δt και της ειδικής θερμότητας του νερού, τότε το σφάλμα σε αυτό το αποτέλεσμα είναι ± 196 cal (υπενθυμίζεται ότι το σφάλμα στην ειδική θερμότητα του νερού είναι αμετηλέο κι έτσι το παραλείψαμε). Κατά συνέπεια, κανένας από τους αριθμούς που βρίσκεται μετά το τρίτο ψηφίο στο 10.074 δεν έχει καμιά σημασία. Έτσι στρογγυλεύομε και τον 10.074 αλλά και τον 196 προς την πλησιέστερη εκατοντάδα και τους γράφομε 10.100 ± 200. Ο αριθμός 10.100 περιέχει τρία μόνο σημαντικά ψηφία. Τα τρία πρώτα ψηφία είναι αξιόπιστα, μέσα σε κάποια μάλλον στενά όρια, ενώ όλα τα άλλα ψηφία που είναι δεξιότερα δεν έχουν καμιά αξιοπιστία.

Ένας γενικός κανόνας ορίζει ότι ***σημαντικά ψηφία*** είναι τα ψηφία που είναι απολύτως βέβαια και ένα ακόμα. Το "ένα ακόμα" εμπεριέχει κάποια αβεβαιότητα. Για παράδειγμα στον αριθμό 10.100 ± 200, τα δύο πρώτα ψηφία είναι απολύτως βέβαια. Το τελευταίο σημαντικό ψηφίο πιθανόν να είναι το 1, αλλά θα μπορούσε να διαφέρει από το 1 και κατά ± 2.

Τώρα που δόθηκε ένας ορισμός για τα σημαντικά ψηφία, είναι εύκολο να διατυπωθεί ένας εύχρηστος κανόνας για τον καθορισμό της μέγιστης αβεβαιότητας σε ένα παράγωγο ή δευτερογενές μέγεθος. "*Ένα παράγωγο μέγεθος μπορεί να έχει τόσα σημαντικά ψηφία, όσα έχει το λιγότερο ακριβές μέγεθος, από το οποίο έχει προέλθει ο υπολογισμός του*".

Στο παράδειγμα που εξετάσαμε, υπάρχουν μόνο τρία σημαντικά ψηφία σε κάθε ένα από τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν· έτσι θα υπάρχουν επίσης μόνο τρία σημαντικά ψηφία στον αριθμό των θερμίδων που υπολογίσθηκαν, σύμφωνα με τον προηγούμενο κανόνα. Σε αυτήν την περίπτωση ο κανόνας συμφωνεί με τους προηγούμενους υπολογισμούς μας, που έδειχναν ότι το τρίτο ψηφίο είναι αβέβαιο.

Ας εξετάσομε τώρα ένα άλλο παράδειγμα. Υποθέτομε ότι προσδιορίζετε την πυκνότητα ενός στερεού τεμαχίου αλουμινίου που έχει κανονικές διαστάσεις. Υποθέτομε επίσης, ότι είστε σε θέση να προσδιορίσετε τη μάζα του με ακρίβεια ± 0,01 g και το μήκος κάθε πλευράς του με ακρίβεια ± 0,2 cm. Με τη βοήθεια των στοιχείων που δίνονται στο παράδειγμα που ακολουθεί και με τον κανόνα που αναφέρθηκε προηγουμένως σας δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσετε εύκολα την πυκνότητα με το σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων. Θα επιθυμείτε ίσως να διαπιστώσετε αν η απάντησή σας συμφωνεί με το αποτέλεσμα που προκύπτει, αν προσθέσετε τα επί μέρους εκατοστιαία σφάλματα.

Παράδειγμα.

$m = 41{,}93 \pm 0{,}01$ g· $l = 4{,}02 \pm 0{,}02$ cm
$w = 2{,}80 \pm 0{,}02$ cm· $h = 1{,}38 \pm 0{,}02$ cm

$$d = \frac{m}{l \times w \times h} = \frac{41{,}93\text{g}}{(4{,}02)(2{,}80)(1{,}38)\text{cm}^3} =$$

$= 2{,}70$ g/cm^3 $= 2{,}70$ g/ml

Η απάντηση δίνεται με τρία σημαντικά ψηφία, γιατί αυτός είναι ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων στη(ις) λιγότερο ακριβή(είς) μέτρηση (-σεις).

Ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα, αν προσθέταμε τα επί μέρους εκατοστιαία σφάλματα;

$l = 4{,}02 \pm 0{,}02$· $(0{,}02/4{,}02)$ $(100) = 0{,}5\%$
$w = 2{,}80 \pm 0{,}02$· $(0{,}02/2{,}80)$ $(100) = 0{,}7\%$
$h = 1{,}38 \pm 0{,}02$· $(0{,}02/1{,}38)$ $(100) = 1{,}4\%$
$m = 41{,}93 \pm 0{,}01$· $(0{,}01/41{,}93)$ $(100) = 0{,}02\%$
Σύνολο των επί % σφαλμάτων = 2,6%
$d = 2{,}70 \pm (0{,}026)$ $(2{,}70) = 2{,}70 \pm 0{,}07$ g/ml

Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι το μηδέν είναι το αβέβαιο ψηφίο, κάτι που είχε προβλεφθεί με τον πολύ απλό κανόνα μας.

Σημειώστε, για σύγκριση, ότι η επίσημη τιμή για την πυκνότητα του αλουμινίου, που έχει προσδιορισθεί με 4 σημαντικά ψηφία, στους 20°C, είναι 2,698 g/ml. Νομίζετε ότι αυτή η τιμή βρίσκεται μέσα στα όρια των αποτελεσμάτων που μόλις υπολογίσατε;

4.12 Μεγάλοι και μικροί αριθμοί.

Στη χημεία υπάρχει συχνά η ανάγκη να χρησιμοποιούμε πολύ μεγάλους καθώς και πολύ μικρούς αριθμούς. Για παράδειγμα, μια διάσταση ενός μορίου μπορεί να είναι 0,000000021 cm, ενώ ο αριθμός των μορίων σε ένα χιλιοστό του λίτρου ενός αερίου το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου είναι κατά

προσέγγιση ίσος με 20.000.000.000.000.000.000. Προφανώς δεν είναι καθόλου πρακτικό να γράφομε τέτοιους αριθμούς με τον τρόπο που τους γράψαμε προηγουμένως. Είναι δυνατόν να γράψομε πολύ μικρούς και πολύ μεγάλους αριθμούς, αλλά και συνήθεις αριθμούς με ένα πιο σύντομο τρόπο. Αριθμοί γραμμένοι με αυτόν τον τρόπο λέγεται ότι βρίσκονται σε "εκθετική μορφή".

Αριθμοί γραμμένοι με εκθετική μορφή είναι δυνάμεις του δέκα, που δείχνουν σε ποιο σημείο βρίσκεται η υποδιαστολή. Για παράδειγμα, όλοι οι αριθμοί που είναι μεγαλύτεροι από 100 ($10 \times 10 = 10^2$) αλλά μικρότεροι από 1000 εκφράζονται ως ένας αριθμός από 1 μέχρι 10 επί 10^2. Έτσι, το 200 είναι 2×10^2, το 635 είναι $6{,}35 \times 10^2$, το 527,28 είναι $5{,}2728 \times 10^2$ κοκ.

Ακολουθεί μια σειρά από μερικές δυνάμεις του δέκα, που εκφράζονται είτε με τη συνήθη είτε με την εκθετική μορφή. Αξιοσημείωτο είναι ότι αριθμοί μικρότεροι του ένα αντιστοιχούν σε αρνητικές δυνάμεις του δέκα.

$$
\begin{aligned}
1.000.000 &= 10^6 \\
100.000 &= 10^5 \\
10.000 &= 10^4 \\
1000 &= 10^3 \\
100 &= 10^2 \\
10 &= 10^1 \\
1 &= 10^0 \\
0{,}1 &= 10^{-1} \\
0{,}01 &= 10^{-2} \\
0{,}001 &= 10^{-3} \\
0{,}0001 &= 10^{-4} \\
0{,}00001 &= 10^{-5} \\
0{,}000001 &= 10^{-6}
\end{aligned}
$$

Όταν έχετε να πολλαπλασιάσετε εκθετικούς αριθμούς, αρκεί να προσθέσετε τους εκθέτες, όπως στο παράδειγμα που ακολουθεί.

$$
\begin{aligned}
(3 \times 10^4)\,(2 \times 10^5) &= 6 \times 10^9 \\
(4 \times 10^{-5})\,(1 \times 10^{-7}) &= 4 \times 10^{-12} \\
(6 \times 10^6)\,(4 \times 10^{-8}) &= 24 \times 10^{-2} = 2{,}4 \times 10^{-1}
\end{aligned}
$$

Όταν θέλετε να διαιρέσετε, αρκεί να αφαιρέσετε τους εκθέτες.

$$
\begin{aligned}
(8 \times 10^3)/(4 \times 10^6) &= 2 \times 10^{-3} \\
(6 \times 10^{-4})/(2 \times 10^{-7}) &= 3 \times 10^3 \\
(2 \times 10^{-8})/(4 \times 10^{-5}) &= 5 \times 10^{-4}
\end{aligned}
$$

Αν θέλετε να υψώσετε στο τεράγωνο αυτούς τους αριθμούς, πολλαπλασιάζετε τους εκθέτες τους επί δύο.

Το τετράγωνο του 2×10^4 είναι 4×10^8

Το τετράγωνο του 5×10^{-6} είναι $2{,}5 \times 10^{-11}$

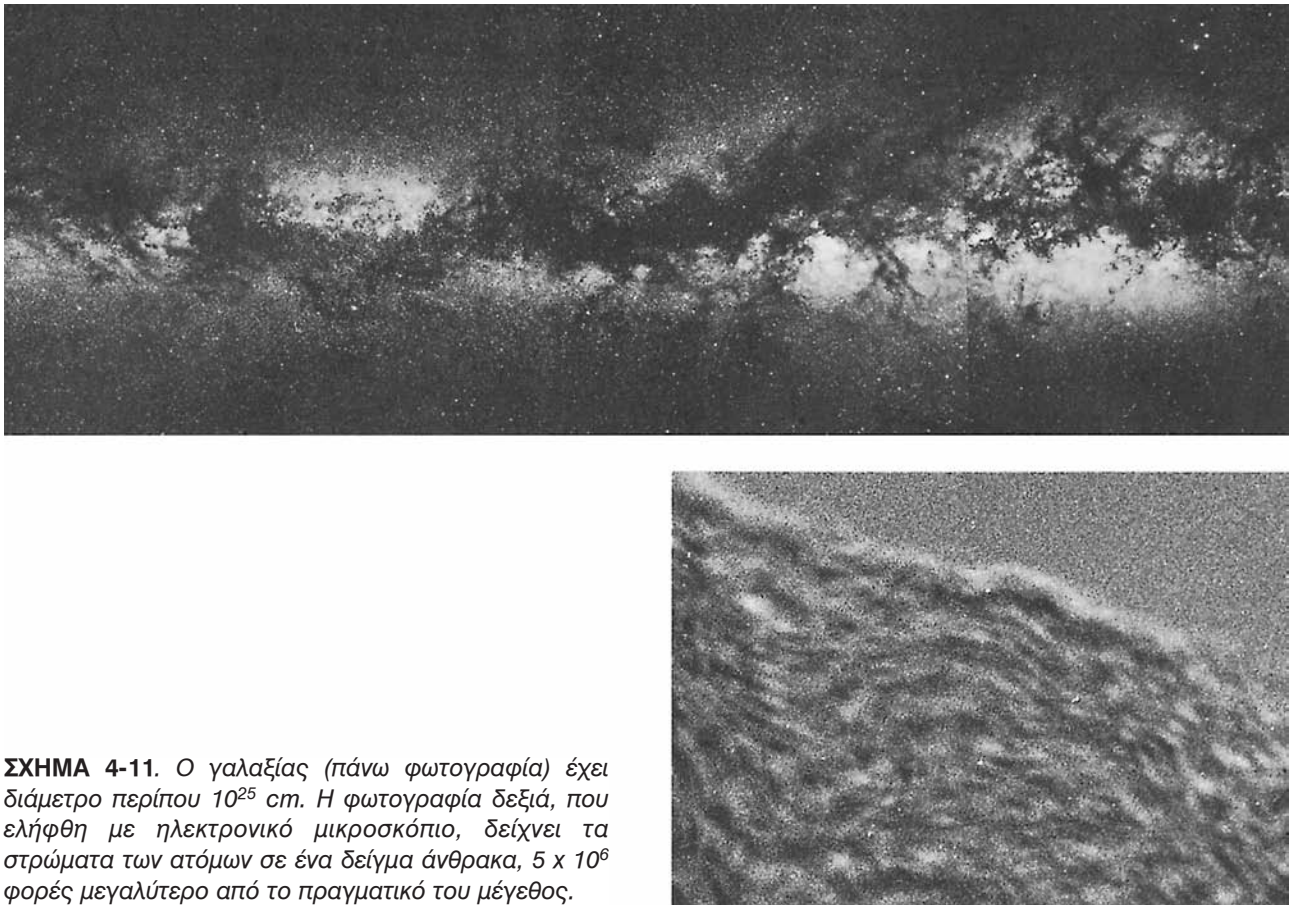
Αν θέλετε την τετραγωνική ρίζα, διαιρείτε τον εκθέτη διά του δύο. Αν δεν διαιρείται ακριβώς διά του δύο, τότε μετατοπίζετε την υποδιαστολή τόσο, ώστε ο εκθέτης να γίνει πολλαπλάσιο του δύο.

Η τετραγωνική ρίζα του 9×10^{-8} είναι 3×10^{-4}.
Η τετραγωνική ριζα του $2{,}5 \times 10^5$ είναι 5×10^2
($2{,}5 \times 10^5 = 25 \times 10^4$)
Η τετραγωνική ρίζα του $3{,}6 \times 10^{-7}$ είναι 6×10^{-4}.
($3{,}6 \times 10^{-7} = 36 \times 10^{-8}$).

Ας επιστρέψομε τώρα στους δύο δύσχρηστους αριθμούς, με τους οποίους ξεκινήσαμε αυτήν την παράγραφο (με εκθετική μορφή) οι οποίοι εκφράζονται ως εξής: $2{,}1 \times 10^{-8}$ cm και 2×10^{19} μόρια ανά ml, (το σχήμα 4-11 απεικονίζει μερικές ακόμη εφαρμογές εκθετικής μορφής). Η εκθετική μορφή, εκτός από το σύντομο τρόπο γραφής των πολύ μεγάλων και των πολύ μικρών αριθμών, προσφέρει ακόμη ένα πλεονέκτημα. Εξασφαλίζει έναν τρόπο για να φαίνονται τα σημαντικά ψηφία σε ένα πολύ μεγάλο αριθμό. Αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό αν πάρετε τον αριθμό 10.100 ± 200 που υπολογίσατε λίγο πιο πριν. Για να δηλώσετε ότι μόνο τα τρία πρώτα ψηφία είναι σημαντικά, χωρίς να δείξετε ότι η αβεβαιότητα στο τρίτο από αυτά είναι $\pm$ 2, θα πρέπει να γράψετε τον αριθμό σε εκθετική μορφή ως $1{,}01 \times 10^4$. Όταν γράφετε 10.100, δεν είναι σαφές αν τα δύο τελευταία ψηφία είναι σημαντικά ή αν υπάρχουν εκεί μόνο για να δείχνουν τη σωστή θέση των ψηφίων. Ενώ, όταν γράφετε $1{,}01 \times 10^4$, είναι απόλυτα σαφές ότι μόνο τρία ψηφία είναι σημαντικά. Αν υπήρχαν πέντε σημαντικά ψηφία, θα ήταν δυνατόν να το υποδηλώσετε, χωρίς καμιά αμφιβολία, γράφοντας $1{,}0100 \times 10^4$. Στην εκθετική μορφή τα δύο τελευταία μηδενικά σημειώνονται μόνο και μόνο για να υποδηλωθεί ότι είναι σημαντικά ψηφία.

4.13 Τυχαία και συστηματικά σφάλματα.

Όπως μάθατε στα προηγούμενα, δεν υπάρχουν μετρήσεις που να είναι απόλυτα ακριβείς. Αυτό σας το έδειξαν εξ άλλου και τα πειράματα που εκτελέσατε στο εργαστήριό σας. Πάντα υπάρχει κάποιο σφάλμα σε μια μέτρηση, όσο προσεκτικά κι αν έχει γίνει. Ένας επιστήμονας δεν μπορεί να ελπίζει ότι θα πραγματοποιήσει απόλυτα ακριβείς μετρήσεις.



ΣΧΗΜΑ 4-11. *Ο γαλαξίας (πάνω φωτογραφία) έχει διάμετρο περίπου 10^{25} cm. Η φωτογραφία δεξιά, που ελήφθη με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, δείχνει τα στρώματα των ατόμων σε ένα δείγμα άνθρακα, 5 x 10^{6} φορές μεγαλύτερο από το πραγματικό του μέγεθος.*

Αυτό όμως που πρέπει να ελπίζει και να επιδιώκει είναι να βεβαιώνεται ότι οι μετρήσεις του είναι τόσο ακριβείς, όσο χρειάζεται για τη δουλειά όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα.

Με στόχο να προετοιμάσει τα πειράματά του έτσι, ώστε να εξασφαλισθεί η ακρίβεια που του χρειάζεται, οφείλει να αντιληφθεί από πριν τις πιθανές πηγές των σφαλμάτων. Δηλαδή πρέπει να καταλάβει τι ειδών σφάλματα είναι δυνατόν να προκύψουν κατά τις μετρήσεις του.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να εξετάσει είναι τα όργανα και οι συσκευές που μεταχειρίζεται. Είναι σε θέση το όργανο ή η συσκευή να μετρήσει με την απαιτούμενη ακρίβεια αυτά για τα οποία προορίζεται; Αν είναι για παράδειγμα απαραίτητο να προσδιορισθεί η μάζα ενός αντικειμένου με ακρίβεια 0,1 του γραμμαρίου, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας ζυγός με ακρίβεια 0,1 ή και ακόμη λιγότερο, π.χ. 0,01. Η μεταβολή κατά 0,1 γραμμάριο πρέπει να είναι αισθητή, καθώς και η κλίμακα την οποία διαβάζετε πρέπει να έχει διαβαθμίσεις αυτού του μεγέθους ή μικρότερες.

Στην παράγραφο 2.5 έγινε από αρκετά παιδιά της τάξεώς σας ένα πείραμα, σύμφωνα με το οποίο προσδιορίσθηκε η μάζα ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ζυγούς. Όλοι αυτοί οι ζυγοί είχε υποτεθεί ότι διέθεταν την ίδια ευαισθησία, δηλαδή ακρίβεια 0,1 του γραμμαρίου. Στο τετράδιό σας πρέπει να υπάρχουν συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα που είχαν εξαχθεί από ολόκληρη την τάξη. Αν εξετάσετε τώρα αυτά ακριβώς τα αποτελέσματα, θα διαπιστώσετε ότι παρ' όλο που είχε υποτεθεί ότι όλοι οι ζυγοί διέθεταν ευαισθησία 0,1 του γραμμαρίου, τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν μόνο κατά 0,1 του γραμμαρίου. Οι διαφορές που εμφανίζονται στα περισσότερα αποτελέσματα, κατατάσσονται συνήθως σε δύο κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά στα οποία κατέληξαν διάφορες ομάδες που μεταχειρίσθηκαν τον ίδιο ζυγό και τα οποία, ενώ δεν είναι ακριβώς ίδια μεταξύ τους, δεν

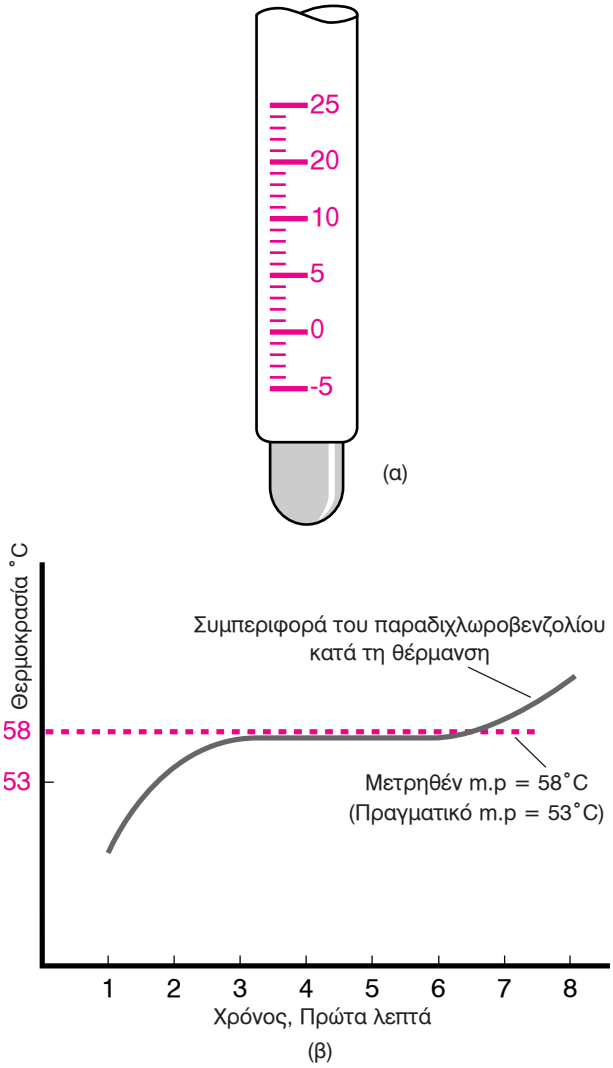
εμφανίζουν και σημαντική διαφορά.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν αποτελέσματα, που προέρχονται από κάποιο ζυγό που δίνει μονίμως αποτελέσματα μικρότερα ή μεγαλύτερα, ανεξάρτητα από το χειριστή του.

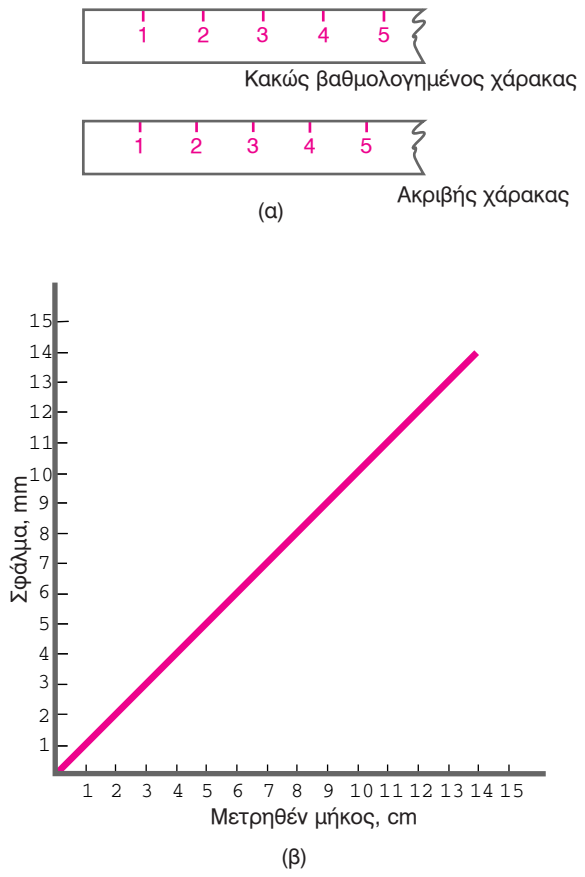
Οι δύο κατηγορίες που αναφέρθηκαν, στην πραγματικότητα προκύπτουν λόγω του ότι σημειώνονται δύο ειδών σφάλματα. Η πρώτη προκύπτει λόγω των ***τυχαίων σφαλμάτων***. Έτσι ονομάζονται, τα σφάλματα που γίνονται όταν κάποιος εργάζεται στα όρια της ευασθησίας ενός οργάνου. Οι μετρήσεις που γίνονται από διαφορετικούς ανθρώπους ή και διαφορετικές ομάδες, ίσως να διαφέρουν κατά μία ή δύο μονάδες στα τελευταία ψηφία των αριθμών που προέκυψαν από αυτές. Ένα ανάλογο πρόβλημα είχαμε αντιμετωπίσει, όταν διαβάζαμε το θερμόμετρο με ακρίβεια 0,1˚C. Αν κάποιοι άνθρωποι προσπαθήσουν να διαβάσουν τις ενδείξεις ενός οργάνου με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, τότε οι διάφορες μετρήσεις τους θα διαφέρουν ελάχιστα. Κάτι ανάλογο συμβαίνει, όταν κάποιος προβεί σε επανειλημμένες μετρήσεις του ιδίου μεγέθους. Αν γίνουν πολλές μετρήσεις, τότε μερικές θα βρίσκονται πιο ψηλά και άλλες πιο χαμηλά από την πραγματική τιμή. Αυτός είναι και ο λόγος που αυτό το είδος του σφάλματος ονομάζεται τυχαίο. Κάθε μεμονωμένη μέτρηση έχει τις ίδιες πιθανότητες να είναι μικρότερη καθώς και μεγαλύτερη από όσο πρέπει.

Είναι εύκολο να ελαχιστοποιήσομε την επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων, ακριβώς επειδή είναι τυχαία. Αν πάρομε ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων και υπολογίσομε το μέσο όρο τους, τότε είναι βέβαιο πως ο μέσος όρος αυτός θα βρίσκεται πλησιέστερα προς την "αληθινή" τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί, όταν έχομε μεγάλο αριθμό μετρήσεων, τότε τα θετικά σφάλματα αντισταθμίζουν τα αρνητικά.

Όταν παρατηρούσατε τα αποτελέσματα των συμμαθητών σας, ίσως προσέξατε και ένα δεύτερο είδος ομοιομορφίας. Κάποιος ζυγός έδινε πάντα ένα αποτέλεσμα μεγαλύτερο (ή μικρότερο) από ό,τι οι άλλοι ζυγοί. Αυτό ακριβώς αποτελεί ένα παράδειγμα συστηματικού σφάλματος. ***Συστηματικό σφάλμα*** είναι αυτό που ακολουθεί πάντα την ίδια κατεύθυνση. Ανεξάρτητα από τον αριθμό των μετρήσεων ή από το πλήθος των ανθρώπων που κάνουν τη μέτρηση, αν υπάρχει σε κάποια συσκευή ή στη μέθοδο που χρησιμοποιούμε για να πραγματοποιήσομε τις μετρήσεις ένα συστηματικό σφάλμα, τότε τα αποτελέσματα θα αποκλίνουν πάντα προς την ίδια κατεύθυνση. Στο παράδειγμα που μελετούμε, η αιτία του συστηματικού σφάλματος είναι αποτέλεσμα κάποιας κακής ρυθμίσεως που ίσως οφείλεται σε βλάβη ενός ορισμένου ζυγού. Αυτή η μόνιμη πηγή σφάλματος θα υπάρχει σε κάθε μέτρηση με το ζυγό και, όσες φορές και αν επαναληφθεί η μέτρηση, ένα τέτοιο σφάλμα δεν μπορεί να εξουδετερωθεί. Μερικά ακόμη παραδείγματα σχετικά με αυτόν τον τύπο σφάλματος αναφέρονται στα σχήματα 4-12 και 4-13.



ΣΧΗΜΑ 4-12. *Παράδειγμα συστηματικού σφάλματος που προέκυψε λόγω της εσφαλμένης βαθμολογήσεως του θερμομέτρου.*



ΣΧΗΜΑ 4-13. *Παράδειγμα συστηματικού σφάλματος που οφείλεται στην εσφαλμένη βαθμολόγηση ενός υποδεκαμέτρου.*

Τα συστηματικά σφάλματα είναι δυνατόν να γίνουν και εξ αιτίας άλλων παραγόντων εκτός από τις εγγενείς ατέλειες του οργάνου. Για παράδειγμα, μπορούν να προκύψουν λόγω της χρησιμοποιήσεως υλικών που δεν έχουν καθαρή σύσταση. Ας υποτεθεί ότι προσδιορίζετε την πυκνότητα του μετάλλου αλουμινίου με τη μέθοδο που ακολουθεί: Παίρνετε ένα κομμάτι αλουμινίου και κόβετε από αυτό μερικούς μικρούς κύβους. Για κάθε κομμάτι μετράτε τη μάζα δέκα φορές και υπολογίζετε το μέσο όρο των αποτελεσμάτων. Επίσης, για κάθε κομμάτι μετράτε τις πλευρές του δέκα φορές και υπολογίζετε από αυτές τους όγκους καθώς και το μέσο όρο των όγκων. Στη συνέχεια υπολογίζετε την πυκνότητα καθενός κομματιού. Τέλος προσδιορίζετε το μέσο όρο των αποτελεσμάτων για κάθε κομμάτι. Αν είχατε ακολουθήσει προσεκτικά όλες αυτές τις οδηγίες, θα περιμένατε χωρίς αμφιβολία ότι η τιμή που βρήκατε για την πυκνότητα θα ήταν τόσο ακριβής, όσο ήταν και οι μετρήσεις που πραγματοποιήσατε για τη μάζα και το μήκος. Ας υποθέσομε όμως ότι το δείγμα του αλουμινίου εν αγνοία σας δεν ήταν καθαρό και περιείχε ένα μικρό ποσοστό σιδήρου (ο σίδηρος έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το αλουμίνιο). Τότε παρά τις προσπάθειές σας να αποφύγετε ένα τυχαίο σφάλμα, θα εξακολουθούσε να υπάρχει ένα συστηματικό αυτή τη φορά σφάλμα στα αποτελέσματά σας. Γι' αυτό και η τελική τιμή που θα δίνατε θα βρισκόταν λίγο υψηλότερα από την πραγματική. Τα συστηματικά λάθη συνήθως σημειώνονται επειδή παραβλέπονται ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα. Αν υποτεθεί, για παράδειγμα, ό,τι έχετε ένα ζυγό, με τον οποίο πρέπει να υπολογίσετε τη μάζα ενός λίτρου νερού (στους 25°C είναι περίπου 1000 g) με ακρίβεια 0,1 του γραμμαρίου, και ότι ο όγκος που είναι διαθέσιμος είναι πρακτικά σωστός με ακρίβεια 0,1 ml. Ίσως θα νομίζετε ότι είναι δυνατόν να υπολογίσετε την πυκνότητα με ακρίβεια ± 0,0002 g/ml (η προσέγγιση αυτή υπολογίζεται με τη βοήθεια των εκατοστιαίων σφαλμάτων). Αν δεν λάβετε υπόψη σας το αποτέλεσμα που προκαλεί η άνωση, τότε θα έχετε κάνει λάθος. Ένα λίτρο αέρα, κάτω από κανονικές συνθήκες, έχει μάζα 1,20 g. Στην περίπτωση που δεν θα υπολογίσετε τη διόρθωση λόγω ανώσεως, τότε για τον υπολογισμό της πυκνότητας θα μεταχειρισθείτε ως μάζα του νερού μια ποσότητα μικρότερη κατά 1,20 g από την πραγματική. Αυτό ακριβώς θα δημιουργήσει ένα συστηματικό σφάλμα στον προσδιορισμό της πυκνότητας περίπου 0,0012 g/ml. Δεν έχει σημασία πόσες φορές θα επαναλάβετε τις μετρήσεις σας. Άν εξακολουθήσετε να ξεχνάτε τη διόρθωση που οφείλεται στην άνωση, η τιμή που θα δίνετε είναι πάντα κατά 0,0012 g/ml μικρότερη από την πραγματική τιμή.

Όταν ένας χημικός διεξάγει πειράματα που έχουν σχέση με ποσοτικές μετρήσεις, πρέπει να προσέξει τρία σημεία. Πρώτον, πρέπει να έχει στη διάθεσή του αρκετά ευαίσθητα όργανα, ώστε να πραγματοποιήσει μετρήσεις τόσο ακριβείς, όσο του χρειάζονται. Δεύτερον πρέπει να επαναλάβει τις μετρήσεις του αρκετές φορές και να υπολογίσει το μέσο όρο των αποτελεσμάτων, ώστε

Περίληψη.

Σε όλες τις μετρήσεις γίνονται σφάλματα. Υπάρχει πάντα κάποιο σφάλμα στην τιμή που προσδιορίζεται για κάθε ποσότητα μετά από μέτρηση ή υπολογισμό. Είναι σημαντικό να καθορισθούν σωστά τα σφάλματα στις ποσότητες που μετρήθηκαν και να υπολογισθούν οι επιδράσεις αυτών των σφαλμάτων επάνω στα σφάλματα των δευτερογενών ποσοτήτων, δηλαδή αυτών που προέκυψαν από υπολογισμούς ποσοτήτων που έχουν μετρηθεί. Ένα μέγεθος που προέρχεται από πρόσθεση ή αφαίρεση άλλων μεγεθών, θα έχει ένα σφάλμα ίσο με το άθροισμα των σφαλμάτων όλων των μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του. Ένα μέγεθος που προέρχεται από πολλαπλασιασμό ή διαίρεση, έχει ένα εκατοστιαίο σφάλμα ίσο με το άθροισμα των εκατοστιαίων σφαλμάτων των μεγεθών που χρησιμοιήθηκαν για τον υπολογισμό του. Σε κάθε ποσότητα τα σημαντικά ψηφία είναι τα ψηφία που είναι βέβαια και ένα ακόμα. Ένα παράγωγο μέγεθος μπορεί να έχει τόσα σημαντικά ψηφία, όσα υπάρχουν στο λιγότερο ακριβές μέγεθος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του. Οι πολύ μεγάλοι και οι πολύ μικροί αριθμοί εκφράζονται κατά τρόπο πιο εύχρηστο με εκθετική μορφή.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Όταν προσδιορίζομε την τιμή ενός μεγέθους, πόσα ψηφία πρέπει να γράφομε;
2. Πόσα σημαντικά ψηφία μπορεί να έχει ένα μέγεθος που προέκυψε από υπολογισμούς;

Περίληψη κεφαλαίου

Όπως μάθατε στο κεφάλαιο 1, το πείραμα είναι το κλειδί για τη χημεία. Το κεφάλαιο αυτό έδειξε ότι η ακρίβεια είναι το κλειδί για το πείραμα. Ο βαθμός ακριβείας που είναι δυνατόν να επιτευχθεί, καθορίζεται κατά ένα μέρος από τους περιορισμούς των οργάνων μετρήσεως που χρησιμοποιούνται και από την εμπειρία του χειριστή. Εξαιτίας αυτών των περιορισμών ο προσδιορισμός όλων των μεγεθών ενέχει κάποια σφάλματα. Αυτά τα σφάλματα επαυξάνονται, όταν τα μεγέθη που μετρήθηκαν πρόκειται να συνδυασθούν μαθηματικά με σκοπό τον υπολογισμό άλλων παραγώγων μεγεθών. Με τη βοήθεια των σημαντικών ψηφίων οι επιστήμονες μπορούν να εκφράσουν χωρίς δυσκολίες το βαθμό αβεβαιότητας που υπάρχει στα αποτελέσματά τους. Η εκθετική απεικόνιση είναι χρήσιμη τόσο για την ένδειξη των σημαντικών ψηφίων, όσο και για τη γραφή πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών αριθμών.

Επιστήμονες από όλο τον κόσμο μεταχειρίζονται το Πρακτικό Μετρικό Σύστημα για τις δικές τους εργασίες, αλλά και για την ανακοίνωση των αποτελεσμάτων τους. Η πυκνότητα είναι ένα παράγωγο μέγεθος που εκφράζει το ποσό της μάζας στη μονάδα του όγκου. Οι πυκνότητες των υγρών και των στερεών εκφράζονται συνήθως σε γραμμάρια ανά χιλιοστό του λίτρου.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Από πόσα μέτρα αποτελείται ένα χιλιόμετρο; Πόσα γραμμάρια έχει ένα χιλιόγραμμο;
2. Πόσα χιλιοστά του λίτρου υπάρχουν σε ένα λίτρο; Πόσα χιλιοστόγραμμα σε ένα γραμμάριο;
3. Ένα λίτρο είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από ένα γαλόνι; Ποιο είναι μεγαλύτερο, το μέτρο ή ο πήχυς;
4. Στους αγώνες δρόμου, τα 1500 μέτρα αναφέρονται συνήθως ως ένα “μετρικό μίλι”. Σε ποιο αγώνισμα η διαδρομή θα είναι μακρύτερη, του ενός μιλίου ή των 1500 μέτρων;
5. Πώς ορίζεται η πυκνότητα; Γιατί η πυκνότητα θεωρείται παράγωγο ή δευτερογενές μέγεθος;
6. Πώς ορίζεται η θερμομετρική κλίμακα Κελσίου;
7. Τι σημαίνει συνήθως το σύμβολο δέλτα (Δ);
8. Πώς ορίζεται μια θερμίδα; Η θερμίδα είναι πρωτογενής ή δευτερογενής μονάδα;
9. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα σε Joules και σε θερμίδες;

10. Ποιο μέρος της επιφάνειας της γης είχε επιλεγεί αρχικά, για να ορισθεί το μήκος του ενός μέτρου; Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη απόσταση για τον προσδιορισμό του ενός μέτρου;
11. Ποια είναι η συνήθης αιτία σφάλματος, όταν γίνονται μετρήσεις θερμοκρασίας με ένα θερμόμετρο; Ποιες είναι οι αιτίες σφάλματος όταν εκτελούνται μετρήσεις της μάζας με ένα ζυγό;
12. Πώς προσδιορίζεται το σφάλμα στο αποτέλεσμα που έχει προέλθει από πρόσθεση ή αφαίρεση άλλων ποσοτήτων που έχουν μετρηθεί;
13. Πώς προσδιορίζεται το σφάλμα σε αποτελέσματα που έχουν προκύψει από πολλαπλασιασμό ή διαίρεση άλλων ποσοτήτων που έχουν μετρηθεί;
14. Πώς προσδιορίζεται το επί τοις εκατό σφάλμα σε έναν αριθμό που εκφράζει κάποιαν αβεβαιότητα;
15. Πόσα σημαντικά ψηφία υπάρχουν στον αριθμό 1.253,7; Αν αυτός ο αριθμός αντιστοιχεί σε μια ποσότητα που έχει μετρηθεί, τότε ποιο ψηφίο είναι αυτό που περιέχει το μεγαλύτερο πιθανό σφάλμα;
16. Εκφράστε τους αριθμούς που ακολουθούν με εθετική μορφή: α) 14.729, β) 368, γ) 0,0059.
17. Τι σημαίνει ένας αρνητικός εκθέτης σε έναν εκθετικό αριθμό;
18. Πόσα χιλιοστόγραμμα υπάρχουν σε ένα χιλιόγραμμο; Χρησιμοποιήστε εκθετική γραφή;
19. Στον αριθμό 6240 το μηδέν είναι σημαντικό ψηφίο; Τι είναι αντίστοιχα το μηδέν στον αριθμό $6{,}240 \times 10^{37}$;
20. Αν ένα σφάλμα δύο μερών στα εκατό αποδίδεται ως σφάλμα 2%, τότε πόσα τοις εκατό είναι το σφάλμα τέσσερα μέρη στα 400;
21. Ας υποθέσομε ότι έχετε ένα ζυγό που μπορεί να ζυγίσει τη μάζα ενός αντικειμένου με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Αν κάποιο πείραμα απαιτεί αποτελέσματα με σφάλμα που να μην ξεπερνά το 0,1%, θα χρησιμοποιούσατε κάποιο δείγμα με μάζα 1,00 g, 10,00 g, ή 100,00 g; Εξηγήσατε.
22. Ποιο είναι το μικρότερο μέγεθος δείγματος που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε σε ένα ζυγό, που έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει μάζα με ακρίβεια 0,0001 g, όταν το επιτρεπόμενο σφάλμα είναι 0,1%;
23. Αν 2,54 cm αντιστοιχούν σε μία ίντσα, πόσα εκατοστά του μέτρου αντιστοιχούν σε $6\ ^{7}/_{8}$ ίντσες;
24. Πόσες ίντσες αντιστοιχούν σε 6,5 μέτρα;
25. Ποια είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο αριθμός $68{,}5 \pm 0{,}4$;
26. Ποιο είναι το σφάλμα που υπάρχει στο άθροισμα των αριθμών 16 ± 3 και 14 ± 2;
27. Ποιος είναι ο μικρότερος αριθμός που μπορεί να προκύψει από την αφαίρεση των αριθμών 16 ± 4 από 23 ± 2;
28. Λύστε και εκφράστε με εκθετική μορφή την παράσταση:

$$\frac{625 \times 5200}{0{,}0013 \times 0{,}025}$$

29. Στρογγυλέψτε τον αριθμό 26.060 χρησιμοποιώντας τρία σημαντικά ψηφία.
30. Ποιο είναι το πηλίκο της διαιρέσεως του $6{,}25 \times 10^{2}$ διά του 25;
31. Προσδιορίστε την τετραγωνική ρίζα του 1.440.000 χρησιμοποιώντας εκθετική γραφή.
32. Η πυκνότητα ενός σώματος που μετρήθηκε βρέθηκε 2,36 g/ml. Η καλύτερη επίσημη τιμή είναι 2,41 g/ml. Ποιο είναι το επί τοις εκατό σφάλμα;
33. Πόσα σημαντικά ψηφία υπάρχουν στο πηλίκο: 122/31,29;
34. Μετατρέψτε την απόσταση του ενός μιλίου σε μέτρα.
35. Με πόσα μίλια ισοδυναμούν τρία χιλιόμετρα;
36. Ποιο είναι το σφάλμα που υπάρχει στο γινόμενο: $(314 \pm 3)\ (696 \pm 4)$;
37. Πόσα σημαντικά ψηφία υπάρχουν στον αριθμό 26.400;
38. Πόσα σημαντικά ψηφία έχει ο αριθμός 0,0140;
39. Ποιο είναι το πηλίκο του $1{,}50 \times 10^{4}$ διά του $3{,}75 \times 10^{2}$;
40. Με τη βοήθεια εκθετικών μορφών, πολλαπλασιάστε το 62.800 επί το 0,005.
41. Εκφράστε με εκθετική μορφή και λύστε την παράσταση;

$$\frac{1500 \times \sqrt{16900}}{225.000 \times 0{,}00013}$$

42. Μια ομάδα μετρά μία ποσότητα εξήντα πέντε φορές και το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι $25{,}6 \pm 0{,}3$. Ποιο είναι το επί τοις εκατό σφάλμα των μετρήσεων;

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ



Άτομα και μόρια: Δομικοί λίθοι της ύλης

Ο ορισμός της ύλης ως κάτι που έχει μάζα, είναι μια καλή αρχή, αλλά δεν είναι και η σωστή απάντηση στην ερώτηση, από τι αποτελείται η ύλη.

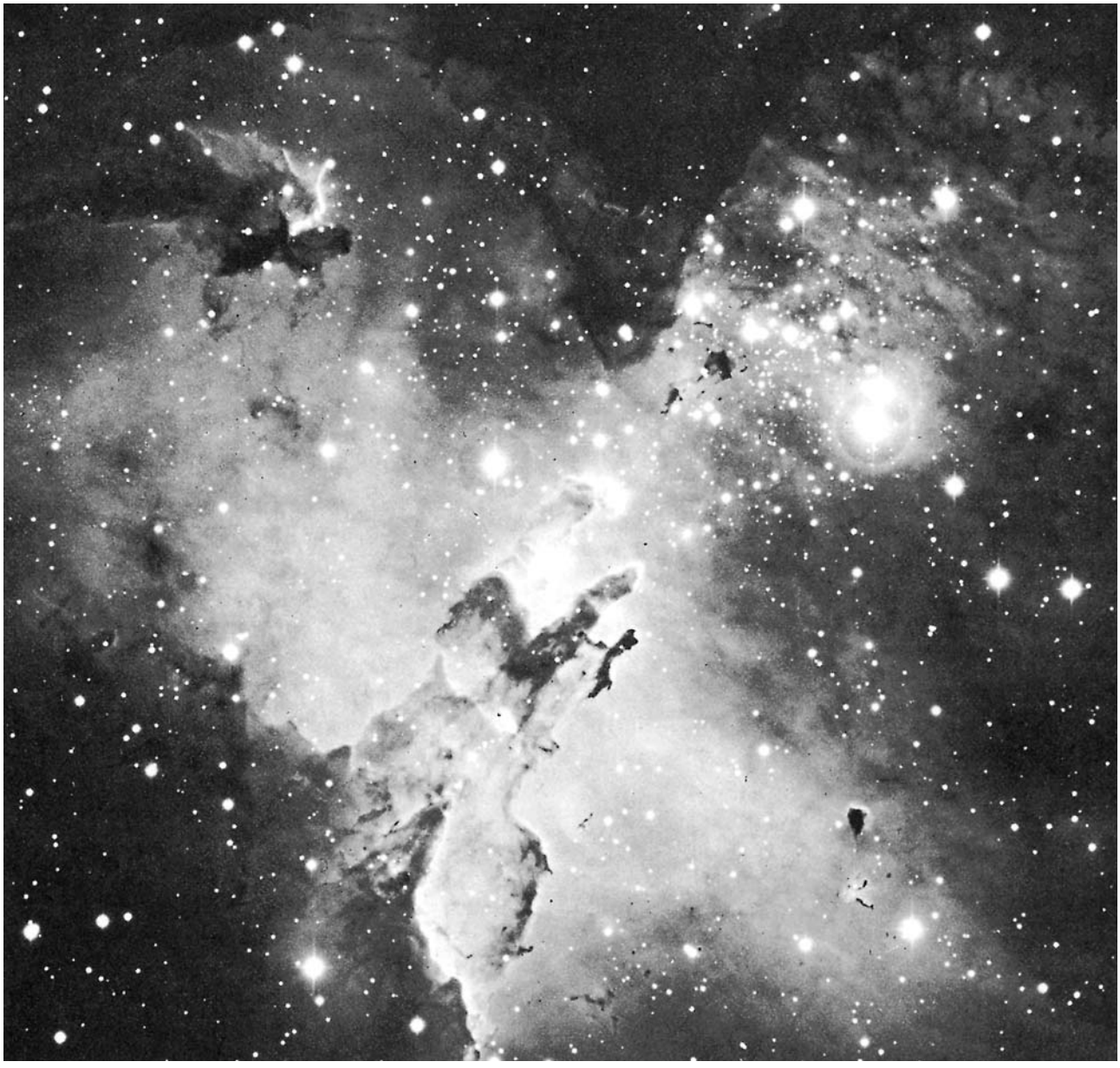
Επί εκατοντάδες χρόνια οι άνθρωποι διετύπωναν αυτήν την ερώτηση. Στην προσπάθεια να την απαντήσουν, δημιούργησαν πολλές θεωρίες και διεξήγαγαν πολλά πειράματα. Το πρόβλημα αυτό είχε γίνει ένα από τα πιο προκλητικά της επιστήμης γιατί οι επιστήμονες έπρεπε να κατανοήσουν πράγματα που ήταν τόσο μικρά, ώστε δεν μπορούσαν να τα δουν ή να τα χειρισθούν χωριστά. Χρειάσθηκε μεγάλη ευφυία και προσπάθεια για να καταλήξουν σε κάποιες ενδείξεις των ατόμων και των μορίων. Τα μεμονωμένα άτομα έχουν διάμετρο της τάξεως των 10^{-8} cm, και η μικρότερη ποσότητα της ύλης που είναι δυνατόν να ανιχνευθεί από τα συνήθη μέσα είναι κιόλας μερικά δισεκατομμύρια μόρια (μια εξαίρεση αποτελεί η φωτογραφία που έχει ληφθεί από ένα μικροσκόπιο πεδίου ιόντων και η οποία βρίσκεται στην αρχή του κεφαλαίου 7).

Σήμερα είναι δυνατόν να δείξομε την ύπαρξη των ατόμων με τη βοήθεια σειράς συλλογισμών που έχουν ως βάση πειράματα τα οποία εύκολα επαναλαμβάνονται και πιστοποιούνται σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Επί πλέον, μπορούμε να δείξομε ότι υπάρχουν διάφορα είδη ατόμων, και ότι όλα αποτελούνται από ακόμα μικρότερα σωματίδια. Είναι δυνατόν επίσης να δείξομε και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα άτομα, για να σχηματίσουν μόρια, αλλά και να μετρήσομε τις δυνάμεις που τα συγκρατούν ενωμένα.

Οι εκαντοντάδες χιλιάδες γνωστές χημικές ενώσεις γίνονται κατανοητές με βάση τα μόρια που τις συνθέτουν.

Αυτό το μέρος του βιβλίου θα σας βοηθήσει να αντιληφθείτε πώς είναι δυνατόν να διαπιστώσετε την ύπαρξη των ατόμων και των μορίων μέσα από τα αποτελέσματα πειραμάτων που θα εκτελέσετε εσείς οι ίδιοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
Άτομα και μόρια στα αέρια



Αέριο νεφέλωμα στον αστερισμό του Οφιούχου, που έχει φωτογραφηθεί με ερυθρό φως.

Πώς είναι δυνατόν να διαπιστώσετε κάτι που δεν μπορείτε να δείτε; Ένας τρόπος είναι να το φέρετε στο νου σας συγκριτικά με κάτι άλλο που μπορείτε να δείτε. Αν υπάρχουν αρκετές ομοιότητες ανάμεσα στα δύο, θα υποθέσετε ότι το ορατό μοιάζει με το αόρατο. Στην περίπτωση αυτή ένας επιστήμονας θα ονόμαζε το ορατό πρότυπο ή μοντέλο του αοράτου αντικειμένου*.

Οι χημικοί για πολλά χρόνια, όταν επρόκειτο να μελετήσουν κάτι που είχε σχέση με τους όρους "άτομο" και "μόριο", εργάζονταν πάνω σε μοντέλα. Παρ' όλο που τα άτομα και τα μόρια είναι πολύ μικρά για να μπορέσει να τα δει ο οποιοσδήποτε, οι χημικοί κατόρθωσαν να περιγράψουν τη συμπεριφορά αυτών των τόσο μικρών σωματιδίων με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των αερίων έδωσαν πολλές ενδείξεις για την ύπαρξη των ατόμων και των μορίων. Στα στερεά και στα υγρά τα άτομα και τα μόρια είναι πολύ περισσότερο περιορισμένα από ό,τι στα αέρια. Επειδή λοιπόν στα αέρια υπάρχει μεγαλύτερη ελευθερία να εκδηλωθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, ένα λογικό πρώτο βήμα στη μελέτη των ατόμων είναι η μελέτη των αερίων. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ιδιότητες των αερίων και συσχετίζονται με τα ατομικά πρότυπα.

Σχέσεις ανάμεσα στις πιέσεις και τους όγκους των αερίων

5.1 Από την καθημερινή εμπειρία στο επιστημονικό πρότυπο.

Συχνά οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ένα γνώριμο σύστημα, που θα τους βοηθήσει να κατανοήσουν ένα άγνωστο. Το γνώριμο σύστημα ονομάζεται πρότυπο του αγνώστου. Συνήθως, αν και όχι πάντα, στο πρότυπο καταλήγουν ύστερα από παρατηρήσεις που έκαναν απ' ευθείας με τη βοήθεια των αισθήσεών τους, δηλαδή τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις. Το φαινόμενο που θα μελετήσομε δημιουργείται συνήθως από πολύ μικρά ή μικροσκοπικά αντικείμενα που δεν είναι απ' ευθείας ορατά.

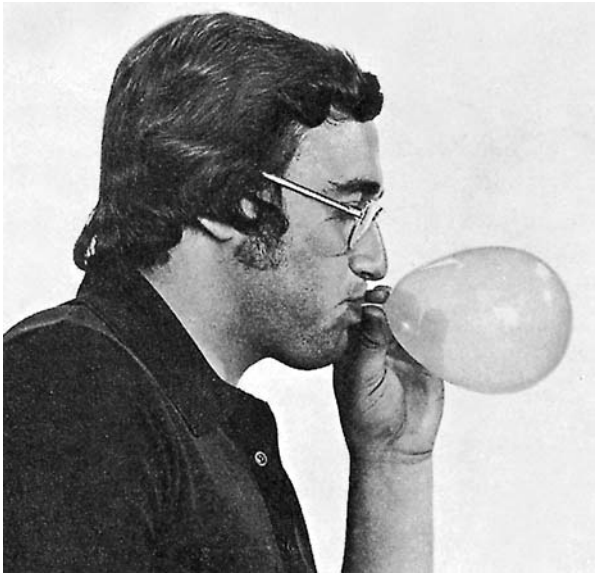
Ένα ***πρότυπο***, με αυτήν την επιστημονική έννοια, δεν πρέπει να συγχέεται με ένα απλό αντικείμενο υπό κλίμακα, όπως π.χ. γίνεται με ένα μοντέλο αεροπλάνου ή ένα μοντέλο τρένου. Είναι κάτι ανάλογο και όχι ένα αντίγραφο ή μια απομίμηση (όπως η "αλυσίδα των σκέψεων" είναι μια σειρά σκέψεων που διαδέχονται η μια την άλλη, σαν τα βαγόνια μιας αμαξοστοιχίας). Ένα πρότυπο δεν είναι απαραίτητο να είναι κάποιο φυσικό αντικείμενο. Μπορεί καμιά φορά να είναι ένα μαθηματικό μοντέλο, δηλαδή μια ομάδα από εξισώσεις. Στην περίπτωση αυτή, έχομε ένα θεωρητικό πρότυπο, η βασική ιδέα παραμένει όμως η ίδια.

Ένα ***πρότυπο*** εξηγεί κάτι νέο και ασυνήθιστο ή αόρατο, με τη βοήθεια αυτών που είναι γνωστά και ορατά. Βέβαια, ένα πρότυπο (μοντέλο) δεν μπορεί να είναι ακριβώς το ίδιο πιστό με το πραγματικό φαινόμενο που περιγράφει, αλλά, έστω κι έτσι, μπορεί να προσφέρει σημαντική βοήθεια στην προσπάθεια να ερμηνεύσομε το σύνολο των παρατηρήσεων. Αν εφαρμόσετε τη μεθοδολογία των προτύπων (μοντέλων), θα σκεφθείτε συχνά ότι πρέπει να διεξαγάγετε νέα πειράματα. Τα αποτελέσματά τους θα υποστηρίξουν ακόμα περισσότερο το πρότυπο ή θα δείξουν τους περιορισμούς του. Και στις δύο περιπτώσεις θα έχετε αποκτήσει περισσότερες πληροφορίες για το αληθινό, το πραγματικό σύστημα.

Ας υποθέσομε ότι φουσκώνετε ένα μπαλόνι, όπως δείχνει και το σχήμα 5-1. Καθώς φυσάτε ξανά και ξανά, το μπαλόνι αυτό διογκώνεται και γίνεται πιο σκληρό. Προφανώς ο αέρας ωθείται στο εσωτερικό του μπαλονιού και τεντώνει την ελαστική του επιφάνεια. Γιατί ο αέρας πιέζει προς τα έξω όλο και πιο δυνατά την εσωτερική επιφάνεια το μπαλονιού που φουσκώνετε; Γιατί ο αέρας εξακολουθεί να πιέζει προς τα έξω, εμποδίζοντας το μπαλόνι να ξεφουσκώσει, ακόμη και όταν σταματήσετε να φυσάτε μέσα στο μπαλόνι και έχετε δέσει το άνοιγμά του;

Οι πολύ απλές παρατηρήσεις που μπορεί να

* *Σ.τ.Μ. Οι όροι πρότυπο και μοντέλο θα χρησιμοποιούνται εφεξής εναλλακτικά.*



ΣΧΗΜΑ 5-1. *Ο αέρας που φυσάμε μέσα σε ένα μπαλόνι το φουσκώνει. Πώς μπορεί να εξηγηθεί αυτή η τόσο γνωστή διεργασία;*

γίνουν, καθώς και τα ερωτήματα που είναι φυσικό να δημιουργηθούν στο μυαλό σας ενώ παρατηρείτε το φούσκωμα του μπαλονιού, ίσως σας αναγκάσουν να σκεφθείτε κάποιο πρότυπο, με σκοπό να εξηγήσετε τις παρατηρήσεις και να δώσετε απάντηση στα ερωτήματα. Πώς θα μπορούσε να είναι αυτό το πρότυπο; Για να σχεδιάσετε ένα καλό πρότυπο δεν πρέπει να χρησιμοποιήσετε μόνο τις άμεσες παρατηρήσεις, αλλά και ό,τι άλλο γνωρίζετε, που μπορεί να σχετίζεται με το πρόβλημα.

Στην περίπτωση του μπαλονιού θα πρέπει να υιοθετήσετε την ιδέα ότι ο αέρας που φυσάτε μέσα στο μπαλόνι, έχει θεωρηθεί ότι αποτελείται από μικρά σωματίδια που δεν μένουν ποτέ ακίνητα. Δηλαδή η κίνηση αυτών των σωματιδίων δεν επιβραδύνεται και δεν σταματάει ποτέ (διαφορετικά, ο αέρας που υπάρχει μέσα σε ένα κουτί, για παράδειγμα, θα μετατρεπόταν τελικά σε μια χούφτα από σωματίδια σωρευμένα στον πυθμένα του κουτιού, κάτι που δε συμβαίνει στην πραγματικότητα).

Τα σωματίδια του αέρα που περιέχονται σε ένα δοχείο, θα μπορούσαμε να τα παρομοιάσομε με τις μπάλες του μπιλιάρδου που κινούνται πάνω σε ένα τραπέζι, όπως δείχνει το σχήμα 5-2.

Ας υποθέσομε ότι μια μπάλα αναγκάζεται να κινηθεί και να κτυπήσει σε μια πλευρά του τραπεζιού του μπιλιάρδου. Εκεί συγκρούεται



ΣΧΗΜΑ 5-2. *Οι μπάλες του μπιλιάρδου που συγκρούονται με τις πλευρές του τραπεζιού είναι ένα πρότυπο, που εξηγεί πώς φουσκώνει ένα μπαλόνι.*

ελαστικά (όπως περιγράφεται στην παράγραφο 3.2), επιστρέφει και κινείται πάλι μέχρι να ξανακτυπήσει σε κάποια άλλη πλευρά. Κατόπιν κινείται ξανά προς άλλη κατεύθυνση και συγκρούεται με άλλη πλευρά. Αν η μπάλα αφεθεί να κυλάει ελεύθερα, θα εξακολουθήσει να συγκρούεται με τις πλευρές του τραπεζιού, σε διαφορετικά σημεία. Αν επάνω στο τραπέζι τοποθετηθούν περισσότερες μπάλες και τεθούν σε κίνηση, θα επαναληφθεί το ίδιο πράγμα, ενώ ταυτόχρονα θα συγκρούονται και μεταξύ τους και θα επιστρέφουν. Όσο περισσότερες μπάλες προστεθούν τόσο περισσότερες θα είναι και οι συγκρούσεις ανάμεσα σε αυτές και τις πλευρές του τραπεζιού.

Οι πλευρές του τραπεζιού του μπιλιάρδου δεν είναι ελαστικές, όπως το λαστιχένιο μπαλόνι. Αν ήταν και κτυπούσαν επάνω τους πολλές μπάλες, τότε οι πλευρές θα υποχωρούσαν απομακρυνόμενες όλο και περισσότερο, ακριβώς όπως συμβαίνει με το μπαλόνι, όταν φυσήξομε μέσα σε αυτό πολλά σωματίδια αέρα.

Αν και η ιδέα με τις μπάλες και το τραπέζι του μπιλιάρδου δεν είναι καθ' όλα όμοια με αυτήν των σωματιδίων του αέρα μέσα σε ένα μπαλόνι, υπάρχουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά. Αυτά τα κοινά χαρακτηριστικά βοηθούν να δοθεί μια απάντηση στο ερώτημα: Γιατί τεντώνεται το μπαλόνι, όταν συμπιέζεται ο αέρας μέσα του; Με αυτό το πρότυπο μπορείτε να δώσετε μια πιθανή εξήγηση, ότι δηλαδή τα σωματίδια του αέρα, καθώς συσσωρεύονται μέσα στο μπαλόνι, το πιέζουν ακριβώς, όπως οι μπάλες του μπιλιάρδου σφυροκοπούν τις πλευρές του τραπεζιού. Όσο

περισσότερος αέρας εισέρχεται στο μπαλόνι, τόσο περισσότερα σωματίδια συγκρούονται με τα εσωτερικά του τοιχώματα και αναγκάζουν το ελαστικό μπαλόνι να φουσκώνει.

Αυτό ήταν ένα παράδειγμα για το πώς χρησιμοποιείται ένα πρότυπο. Η διαδικασία αρχίζει με μια ερώτηση σχετικά με κάποιο περιστατικό, που δεν είναι απόλυτα κατανοητό. Προτείνεται μια απάντηση με τη μεσολάβηση κάποιου άλλου περιστατικού περοσσότερο γνωστού.

Στο παράδειγμά μας, αυτό που θέλαμε να εξηγήσομε ήταν η φύση της πιέσεως του αερίου μέσα στο μπαλόνι. Όμως, τα σωματίδια του αέρα (όχι μόνο), είναι αόρατα, αλλά είναι δύσκολο ακόμη και να αισθανθείς την παρουσία τους. Σε κανονικές συνθήκες, δεν μπορούμε να δούμε, να γευθούμε ή να μυρίσομε τον αέρα. Δεν είναι δυνατόν να ακουσθεί ή να γίνει αντιληπτός, αν δεν φυσάει. Αν όμως τα σωματίδια του αέρα συμπεριφέρονται όπως οι μπάλες του μπιλιάρδου, τότε αυτές οι μπάλες που είναι εύκολα ορατές κι αντιληπτές, είναι δυνατόν να χρησιμεύσουν ως πρότυπο. Η συμπεριφορά τους έχει μελετηθεί προσεκτικά και είναι απόλυτα κατανοητή.

Ένα πρότυπο θεωρείται επιτυχές εάν πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Πρέπει να είναι εύκολα κατανοητό. Οι ιδιομορφίες της συμπεριφοράς του πρέπει να έχουν περιγραφεί προσεκτικά.
2. Πρέπει να υπάρχουν ομοιότητες ανάμεσα στο σύστημα που πρόκειται να μελετηθεί και στο πρότυπο σύστημα.

Το πρότυπο που αναπτύξαμε στο παράδειγμά μας θεωρείται επιτυχές κυρίως για τους δύο λόγους που ακολουθούν:

1. Είναι εύκολα κατανοητός ο τρόπος κατά τον οποίον αναπηδά η μπάλα του μπιλιάρδου. Το ποσό της ωθήσεως που ασκεί η μπάλα του μπιλιάρδου πάνω στις πλευρές του τραπεζιού σε κάθε πρόσκρουση, είναι δυνατόν να υπολογισθεί με μαθηματικό τρόπο.
2. Υπάρχει πολύ μεγάλη ομοιότητα ανάμεσα στη συμπεριφορά που εμφανίζουν οι μπάλες του μπιλιάρδου και στη συμπεριφορά των αερίων σωματιδίων. Αυτό διαπιστώνεται και από το γεγονός ότι οι υπολογισμοί που ερμηνεύουν τη συμπεριφορά της μπάλας του μπιλιάρδου περιγράφουν απολύτως σωστά και τη συμπεριφορά πιέσεως των αερίων.

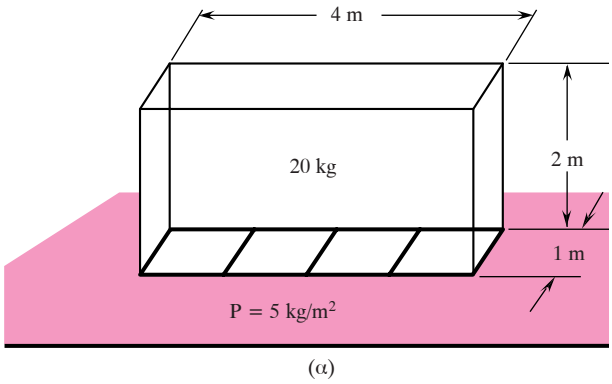
5.2 Ορισμός και μέτρηση της πιέσεως.

Προηγουμένως αναπτύξαμε μερικές απλές έννοιες σχετικά με τη φύση των αερίων, όπως επίσης εξηγήσαμε γιατί ασκούν πίεση και καταλαμβάνουν όγκο.

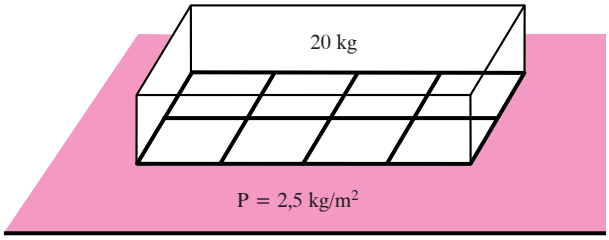
Το πρότυπο που χρησιμοποιήσαμε είναι βασικά σωστό, αλλά χρειάζεται να γίνει πιο λεπτομερειακό και πιο ποσοτικό. Ένα ποσοτικό πρότυπο θα πρέπει να συμφωνεί με τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων, όπως και με κάθε άλλο αποτέλεσμα που έχει προέλθει από αυτές με υπολογισμούς. Ας ξεκινήσομε λοιπόν με την έννοια της πιέσεως ενός αερίου και ας εξετάσομε πώς μπορούμε να την ορίσομε έτσι, ώστε να τη μετατρέψομε σε μια ποσότητα ικανή να μετρηθεί με ακρίβεια. Οι επιστήμονες συμφώνησαν να ορίσουν την πίεση ως την ποσότητα της δυνάμεως ή της "ωθήσεως" που εξασκείται στη μονάδα της επιφάνειας. Η πίεση που δημιουργεί ένα αντικείμενο εξαρτάται όχι μόνο από τη δύναμη που ασκεί, αλλά και από το εμβαδόν της επιφάνειας, επάνω στην οποία κατανέμεται αυτή η δύναμη. Για παράδειγμα, ένα αντικείμενο που ζυγίζει 1000 kg και στηρίζεται πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια με εμβαδόν 10 τετραγωνικών μέτρων, ασκεί μια πίεση των 100 kg/m^2. Αν κάποιο άλλο αντικείμενο του ιδίου βάρους καλύπτει 100 τετραγωνικά μέτρα επιφάνειας, η πίεση θα είναι μόνο 10 kg/m^2. Στο σχήμα 5-3 φαίνεται ένα στερεό αντικείμενο που ζυγίζει 20 kg. Αν τοποθετηθεί, όπως στο σχήμα (α), ασκεί πίεση 29 kg στα 4 m^2. Η πίεση που δημιουργείται είναι 5 kg/m^2. Στο σχήμα 5-3 (β) η ίδια δύναμη κατανέμεται σε 8 m^2 και η πίεση είναι 2,5 kg/m^2. Ποια είναι η πίεση που ασκείται στο σχήμα 5-3 (γ), όπου η ίδια δύναμη ασκείται πάνω σε επιφάνεια μόνον 2 m^2;

Σε πολλά χημικά πειράματα χρησιμοποιείται μια μονάδα πιέσεως, που ονομάζεται ***ατμόσφαιρα***. Όπως εικονίζεται στο σχήμα 5-4, αυτή ισούται με τη δύναμη που ασκείται από την ατμόσφαιρα της γης, στο επίπεδο της θάλασσας, πάνω στη μονάδα επιφάνειας (ισοδυναμεί περίπου με 1,013 kg/cm^2). Στην επιστημονική έρευνα, αυτή η ποσότητα, η

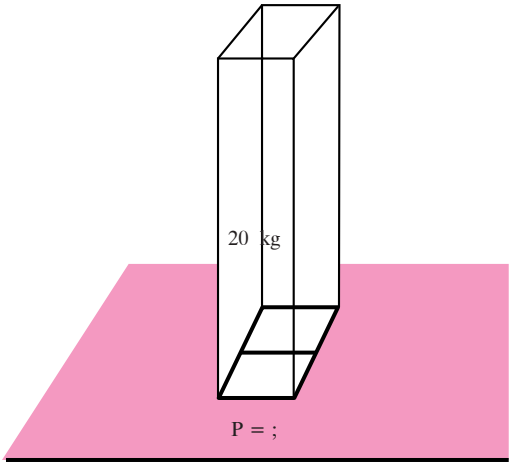
* *Σ.τ.Μ. Πίεση = ύψος στήλης Hg x πυκνότητα Hg x επιτάχυνση βαρύτητας. 1 Atm = 0,76 m Hg x 13595,1 kg/m^3 x 9,806665 m/sec^2 = 101324 N/m^2 και επειδή 1 Pa = 1N/m^2 (N = Newton) 1 Atm = 101324 Pa = (Pa Pascal).*



(α)



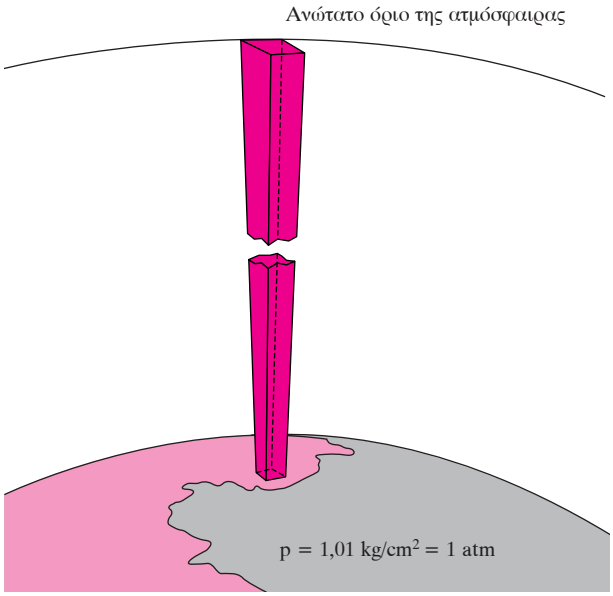
(β)



(γ)

ΣΧΗΜΑ 5-3. *Το στερεό σώμα των 20 kg στην (α) περίπτωση εξασκεί πίεση 5 kg/m². Αν τοποθετηθεί όπως στην (β) περίπτωση το ίδιο σώμα θα ασκεί τη μισή πίεση. Ποια πίεση θα ασκείται στην περίπτωση (γ);*

ατμόσφαιρα, χρησιμοποιείται ως μονάδα. Όμως η πίεση της ατμόσφαιρας της γης ποικίλλει ανάλογα με τη υγρασία, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος. Έτσι, για να αποφύγομε τέτοιες



ΣΧΗΜΑ 5-4. *Μία στήλη αέρα που υψώνεται κατακόρυφα πάνω από την επιφάνεια της γης και έχει εμβαδόν βάσεως τη μονάδα επιφάνειας, ασκεί πίεση μιας ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα της γης στην πραγματικότητα δεν έχει αυστηρώς καθορισμένα όρια.*

διακυμάνσεις, η μονάδα πιέσεως που ονομάσθηκε ***ατμόσφαιρα, (για συντομία atm)*** καθορίσθηκε με περισσότερη ακρίβεια. Η ατμόσφαιρα, είναι ίση με την πίεση που ασκείται από μια στήλη καθαρού υδραργύρου ύψους ακριβώς 760 mm, μετρημένη στους 0°C*.

Δεν είναι απαραίτητο να καθορίσομε το σχήμα ή το εμβαδόν της διατομής που θα έχει η στήλη του υδραργύρου. Αυτό εξηγείται αν δεχθούμε ότι κάθε μονάδα επιφάνειας πιέζεται από τη μάζα εκείνη της στήλης του υδραργύρου που βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω της. Οποιαδήποτε μεταβολή στο σχήμα ή στο μέγεθος ολόκληρης της στήλης οδηγεί μόνο σε μεταβολή του συνολικού αριθμού των επιμέρους στηλών που την αποτελούν, και οι οποίες στηρίζονται πάνω σε βάσεις που αντιστοιχούν στις μονάδες επιφάνειας.

Έτσι, όταν είναι σταθερό το ύψος της στήλης, τότε είναι σταθερή και η πίεση που ασκεί, επειδή αυτή ακριβώς η πίεση δεν εξαρτάται από τη συνολική μάζα, αλλά μόνο από τη μάζα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από κάθε μανάδα επιφάνειας.

Μερικές φορές η ατμόσφαιρα αποτελεί πολύ μεγάλη μονάδα μετρήσεως και γι' αυτό δεν είναι πολύ εύχρηστη. Έτσι, συνήθως στην πράξη

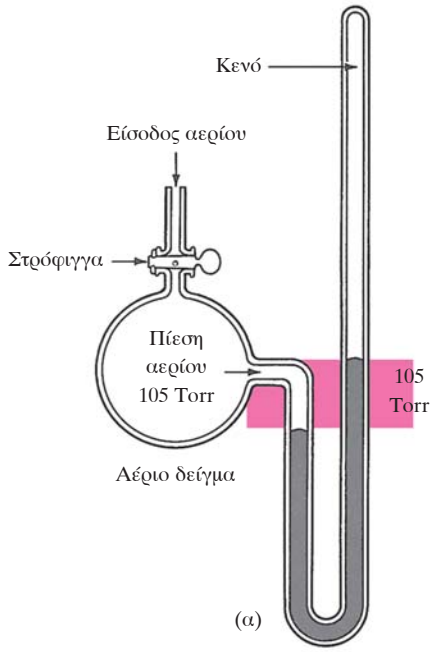
χρησιμοποιείται ως μονάδα η πίεση που ασκείται από μια στήλη υδραργύρου ύψους μόλις ενός χιλιοστού του μέτρου. Αυτή η νέα μονάδα είναι ακριβώς ίση με το 1/760 της ατμόσφαιρας.

Αυτή η μικρή μονάδα, για πολύ καιρό, ονομαζόταν (και συχνά ακόμη ονομάζεται) απλά "ένα χιλιοστό υδραργύρου", επειδή είχε ορισθεί ως η πίεση που οφείλεται σε ύψος ενός χιλιοστού του μέτρου υδραργύρου. Αυτή η ονομασία για διάφορους λόγους έχει εγκαταλειφθεί και σήμερα έχει επικρατήσει αυτή η μονάδα να ονομάζεται ***Torr***. Το Torr προέρχεται από το όνομα του Ιταλού επιστήμονα Evangelista Torricelli (1608-1647), που προώθησε την ιδέα ότι ζούμε μέσα σε μια θάλασσα από αέρα, ο οποίος μας πιέζει. Εργάσθηκε κατά πρωτοποριακό τρόπο πάνω στη μέτρηση της πιέσεως και ανακάλυψε το βαρόμετρο. Βαρόμετρο είναι ένα όργανο με το οποίο μετρούμε την πίεση και περιγράφεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

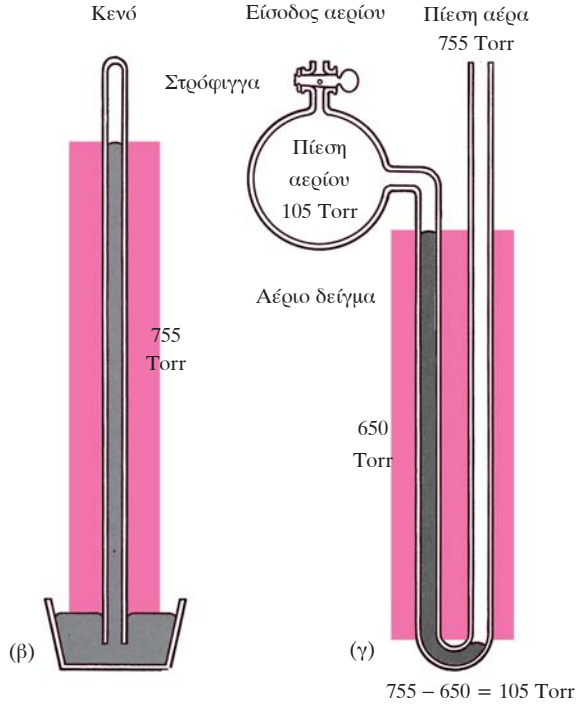
5.3 Όργανα για τη μέτρηση της πιέσεως.

Για να μετρήσομε την πίεση των αερίων κατ' ευθείαν σε Torr, χρησιμοποιούμε ένα όργανο που ονομάζεται ***μανόμετρο***. Η πιο απλή μορφή μανομέτρου είναι ο τύπος του κλειστού άκρου που φαίνεται στο σχήμα 5-5α. Στο χώρο που βρίσκεται πάνω από το δεξιό άκρο της στήλης υδραργύρου υπάρχει κενό, δηλαδή δεν υπάρχει εκεί αέρας ή αέριο. Έτσι δεν υπάρχει τίποτα που να πιέζει προς τα κάτω την επιφάνεια του υδραργύρου σε αυτό το άκρο. Στην άλλη πλευρά, το μανόμετρο συνδέεται με ένα σφαιρικό δοχείο, που περιέχει κάποιο αέριο. Σημειώστε ότι η στήλη του υδραργύρου βρίσκεται υψηλότερα στη μια πλευρά από ό,τι στην άλλη. Έχει χαραχθεί μια οριζόντια γραμμή στο επίπεδο, όπου βρίσκεται η στήλη του υδραγύρου της αριστερής πλευράς. Όλη η ποσότητα του υδραργύρου που είναι κάτω από αυτήν τη γραμμή στη μια πλευρά της στήλης, εξισορροπείται από την ποσότητα του υδραργύρου που βρίσκεται κάτω από την ίδια γραμμή στην άλλη πλευρά της.

Έτσι, η προς τα κάτω πίεση που ασκείται από τον επί πλέον υδράργυρο στη δεξιά πλευρά θα πρέπει να εξισορροπεί την πίεση του αερίου στην αριστερή πλευρά. Αν θέλομε να εκφράσομε την πίεση του αερίου σε Torr, τότε αυτή η σχέση προκύπτει αμέσως από την αύξηση του μήκους της στήλης του υδραργύρου στη δεξιά πλευρά. Στο παράδειγμα που βλέπετε στο σχήμα 5-5α αυτή η πίεση είναι 105 Torr.



ΣΧΗΜΑ 5-5α. *Ένα μανόμετρο κλειστού άκρου. Δείχνει μια πίεση αερίου ίση με 105 Torr.*

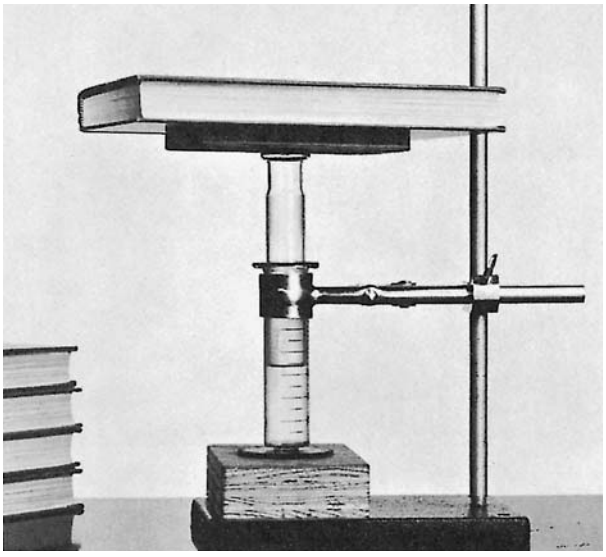


ΣΧΗΜΑ 5-5β,γ. *Το βαρόμετρο (β) δείχνει ατμοσφαιρική πίεση ίση με 755 Torr. Το μανόμετρο ανοικτού άκρου (γ) δείχνει 650 Torr, δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στην ατμοσφαιρική πίεση και την πίεση του αερίου.*

Στο σχήμα 5-5β εμφανίζεται ένα βαρόμετρο, που στην πραγματικότητα είναι ένα μανόμετρο κλειστού άκρου, σε μια λίγο τροποποιημένη μορφή. Σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει μόνο ένας γυάλινος σωλήνας, που δεν περιέχει αέριο. Η στήλη του υδραργύρου δημιουργείται από την πίεση της ατμόσφαιρας πάνω στην επιφάνεια του υδραργύρου που περιέχεται στη λεκάνη. Έτσι, το ύψος της στήλης υδραργύρου αντιστοιχεί στην πίεση της ατμόσφαιρας σε Torr. Γενικά ο όρος ***βαρόμετρο*** χρησιμοποιείται για οποιαδήποτε συσκευή που μετρά την ατμοσφαιρική πίεση. Ο τύπος που φαίνεται στο σχήμα 5-5β είναι ο πιο συνηθισμένος. Προσέξτε ότι στο παράδειγμα αναφέρεται πως η ατμοσφαιρική πίεση είναι 755 Torr, δηλαδή 5 Torr λιγότερα από την τιμή που έχει προσδιορισθεί ότι έχει η μονάδα, δηλαδή η μια ατμόσφαιρα.

Το σχήμα 5-5γ δείχνει έναν άλλο τύπο μανομέτρου που ονομάζεται μανόμετρο ανοικτού άκρου. Η διαφορά του από το μανόμετρο κλειστού άκρου είναι ότι δεν υπάρχει κενό πάνω από τη δεξιά στήλη. Επειδή είναι ανοικτό επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα και γι' αυτό αυτή η στήλη υδραργύρου έχει στην κορυφή της πίεση ίση με την ατμοσφαιρική που επικρατεί στον πειραματικό χώρο που γίνεται η μέτρηση. Έτσι, η διαφορά στα ύψη των δύο πλευρών της στήλης του υδραργύρου μας δίνει και τη διαφορά ανάμεσα στην πίεση του αερίου που υπάρχει στο σφαιρικό δοχείο και την ατμοσφαιρική πίεση.

Στο παράδειγμα που αναφέρθηκε, οι δύο πλευρές της στήλης του υδραργύρου διαφέρουν κατά 650 mm σε ύψος. Αυτό σημαίνει ότι η διαφορά πιέσεως που υπάρχει ανάμεσα στο αέριο του δοχείου και την ατμόσφαιρα είναι 650 Torr.



ΣΧΗΜΑ 5-6. *Μια απλή συσκευή, για να δείξουμε το νόμο του Boyle. Η πίεση που ασκείται πάνω στον αέρα που βρίσκεται παγιδευμένος μέσα στη σύριγγα μπορεί να μεταβληθεί, και μπορούν να σημειωθούν οι όγκοι που προκύπτουν αντίστοιχα.*

Επειδή το βαρόμετρο δείχνει ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 755 Torr, τότε η πίεση του αερίου στο δοχείο θα είναι 755 - 650 = 105 Torr. Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγομε και αν μεταχειρισθούμε μανόμετρο κλειστού άκρου.

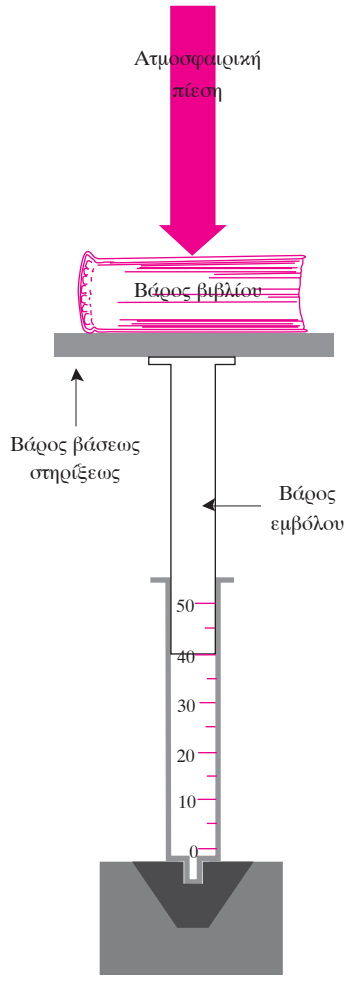
5.4 *Σχέση ανάμεσα στην πίεση και τον όγκο. Ο νόμος του Boyle.*

Η προσωπική σας εμπειρία από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ίσως σας έχει διδάξει κάτι σχετικά με τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.
Σχέσεις πιέσεως - όγκου.

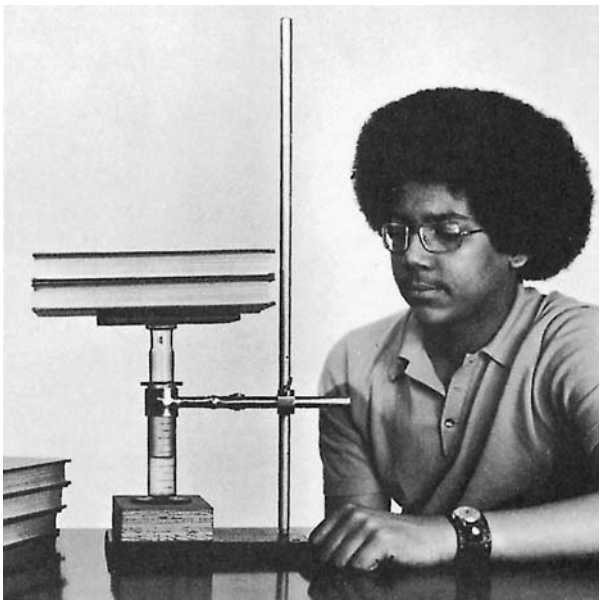
Παρατηρήσεις		Υπολογισθείσες σχέσεις	
Αριθμός βιβλίων N	Όγκος (ml) V	Πίεση (g/cm^2) P	 P x V
1	34,2	1,43 x 10^3	4,89 x 10^4
2	27,4	1,82 x 10^3	4,99 x 10^4
3	21,4	2,22 x 10^3	4,75 x 10^4
4	18,1	2,61 x 10^3	4,72 x 10^4
5	16,3	3,01 x 10^3	4,91 x 10^4

Εσωτερική διάμετρος σύριγγας = 2,0 cm
Ατμοσφαιρική πίεση = 1025 g/cm^2



ΣΧΗΜΑ 5-7. *Η πίεση που ασκείται στον αέρα που βρίσκεται μέσα στη σύριγγα είναι ίση με το αποτέλεσμα που προκύπτει, αν διαιρέσομε το συνολικό βάρος του εμβόλου, του επιπέδου στηρίξεως και του βιβλίου, με το εμβαδόν που έχει η άκρη του εμβόλου και στη συνέχεια προσθέσομε την ατμοσφαιρική πίεση.*

πίεση και τον όγκο ενός αερίου. Για παράδειγμα, όταν φουσκώνετε ένα μπαλόνι ή το λάστιχο ενός αυτοκινήτου, θα έχετε διαπιστώσει ότι όσο αυξάνεται η ποσότητα του αέρα που εισχωρεί μέσα στο μπαλόνι ή το λάστιχο του αυτοκινήτου, τόσο αυξάνεται και η πίεση. Αυτό ισοδυναμεί με το εξής: Όταν πάρομε μια ορισμένη ποσότητα αέρα από ένα μεγάλο χώρο (όπως η ατμόσφαιρα της γης) όπου βρίσκεται σε χαμηλή πίεση, και την αναγκάσομε να χωρέσει μέσα σε ένα πολύ μικρότερο χώρο, τότε η πίεση που θα ασκήσει στα τοιχώματα του χώρου αυτού θα γίνει πολύ μεγαλύτερη. Γενικά, όταν μία συγκεκριμένη ποσότητα αερίου βρίσκεται μέσα σε κάποιο δοχείο

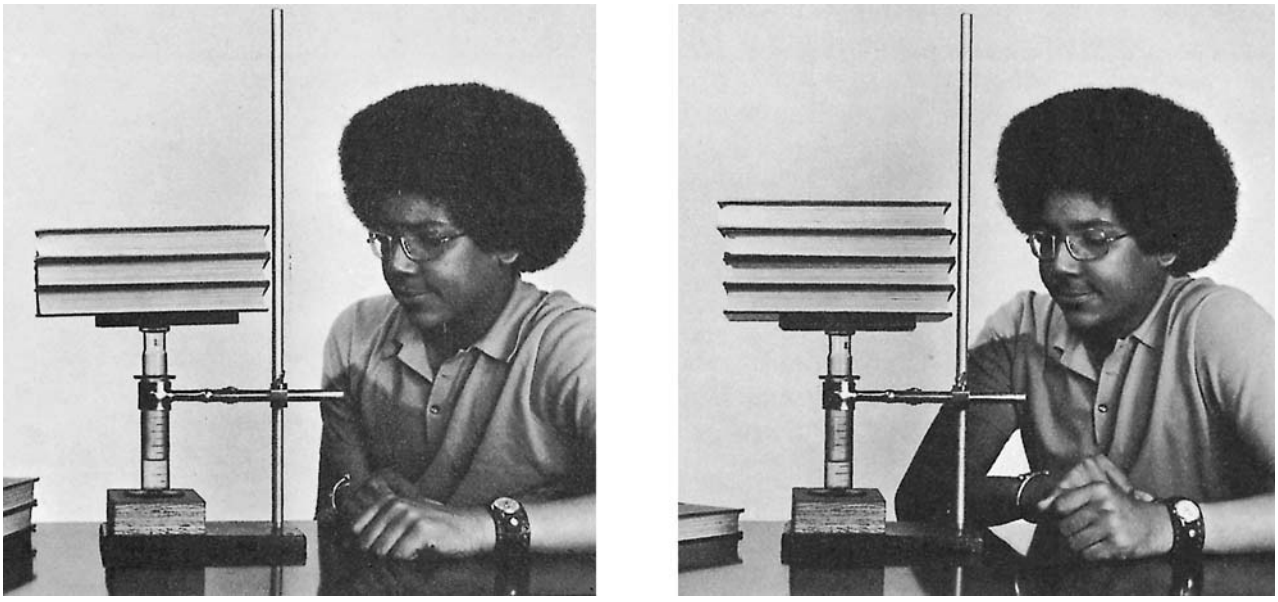


μεγάλου όγκου, η πίεση που ασκεί πάνω στα τοιχώματά του είναι μικρή. Αν τοποθετηθεί μέσα σε ένα μικρότερο δοχείο, τότε θα ασκήσει μεγαλύτερη πίεση πάνω στα τοιχώματα.

Η έννοια αυτή μπορεί να εκφρασθεί ***ποσοτικά***. Δηλαδή, υπάρχει μια ακριβής σχέση, ικανή να μετρηθεί, ανάμεσα στον όγκο που καταλαμβάνει μια ορισμένη ποσότητα οποιουδήποτε αερίου και την πίεση που ασκεί. Η σχέση αυτή βρέθηκε περίπου πριν 300 χρόνια από έναν Ιρλανδό επιστήμονα, τον Robert Boyle και ονομάσθηκε νόμος του Boyle. Με τη διάταξη του σχήματος 5-6, φαίνεται εύκολα η σχέση που ανακάλυψε ο Boyle. Ο καθηγητής σας ίσως μπορεί να πραγματοποιήσει και σχετική επίδειξη. Αν όχι, τότε τα στοιχεία του πίνακα 5.1 θα σας δείξουν τι ακριβώς συμβαίνει.

Μια κάποια ποσότητα αέρα έχει παγιδευθεί μέσα στη σύριγγα, στην οποία έχει προσαρμοσθεί ένα ειδικό λαστιχένιο πώμα, ώστε να εμποδίζει τη διαφυγή του αέρα (σχ. 5-7).

Επειδή όλα τα βιβλία που τοποθετούνται πάνω στο επίπεδο στηρίξεως υποβαστάζονται από τη στήλη του αέρα που βρίσκεται μέσα στη σύριγγα, η οποία έχει σταθερό εμβαδόν διατομής, η προσθήκη του κάθε βιβλίου οδηγεί στην ομοιόμορφη αύξηση της πιέσεως. Αυτό προϋποθέτει βέβαια ότι τα βιβλία έχουν την ίδια μάζα, γεγονός που επαληθεύεται με κάποια προσέγγιση. Στο σχήμα 5-8 μπορείτε να παρατηρήσετε ότι, καθώς προστίθενται βιβλία, ο όγκος του αέρα ελαττώνεται. Στον πίνακα 5.1 δίνονται οι



ΣΧΗΜΑ 5-8. *Καθώς προστίθενται βιβλία στη συσκευή, ο όγκος του αέρα που είναι εγκλωβισμένος μέσα στη σύριγγα ελαττώνεται.*

πραγματικοί όγκοι, όπως προκύπτουν από ανάγνωση των διαβαθμίσεων της σύριγγας σε ένα χαρακτηριστικό πείραμα.

Τώρα πια που διαθέτομε κάποια αριθμητικά δεδομένα μπορούμε να αρχίσομε να σκεπτόμασθε και ποσοτικά. Μπορούμε να διατυπώσομε την ερώτηση: Υπάρχει κάποια απλή μαθηματική σχέση ανάμεσα στην πίεση και τον όγκο; Πριν απαντήσομε σε αυτό το ερώτημα, πρέπει να γνωρίζομε την πραγματική πίεση που αντιστοιχεί σε κάθε όγκο. Θα υπολογίσομε τις πιέσεις σε γραμμάρια ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο. Βέβαια, αν θέλομε να ακριβολογήσομε, το γραμμάριο είναι μια μονάδα μάζας και όχι δυνάμεως. Γι' αυτό δεν είναι η κατάλληλη μονάδα, ώστε να μας βοηθήσει να εκφράσομε την πίεση (δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας). Παρ' όλα αυτά, όπως μάθατε στο κεφάλαιο 2, η δύναμη είναι ευθέως ανάλογη προς τη μάζα: $F = mC$ (C είναι μία σταθερά, που εξηγείται στην παράγραφο 2.2). Όλες οι μετρήσεις που θα γίνουν στο πείραμα αυτό, πραγματοποιούνται κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Έτσι επιτρέπεται και μας εξυπηρετεί περισσότερο να χρησιμοποιήσομε γραμμάρια αντί για την αντίστοιχη μονάδα μετρήσεως που υπάρχει για τη δύναμη στο πρακτικό σύστημα.

Η συνολική πίεση που ασκείται στο περιορισμένο δείγμα του αέρα είναι αποτέλεσμα της "συνεργασίας" τριών παραγόντων. Είναι φανερό ότι ο ένας από αυτούς είναι η πίεση, που οφείλεται στο ή στα βιβλία. Αν διαλέξομε μία σύριγγα με εσωτερική διάμετρο 2 cm, τότε το εμβαδόν της διατομής της υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Εμβαδόν} = \pi \times r^2 = 3{,}14 \times (1\ \text{cm})^2 = 3{,}14\ \text{cm}^2$$

Η μέση μάζα ενός βιβλίου μπορεί να προσδιορισθεί. Ας υποθέσομε ότι είναι 1240 γραμμάρια. Έτσι, κάθε βιβλίο που βρίσκεται πάνω στο επίπεδο στηρίξεως θα συμμετέχει κατά

$$\frac{1240\ \text{γραμ.}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 395\ \text{g/cm}^2$$

στη συνολική πίεση που ασκείται πάνω στο εγκλωβισμένο αέριο.

Ένας άλλος παράγοντας που συμμετέχει στη συνολική πίεση είναι η μάζα του εμβόλου της σύριγγας και του επιπέδου στηρίξεως των βιβλίων που υπάρχει στην κορυφή της. Και αυτά ακουμπούν επίσης στη διατομή του εμβόλου που έχει εμβαδόν 3,14 cm^2. Ας υποθέσομε ότι η μάζα αυτών των αντικειμένων είναι 16,0 γραμμάρια. Η συνεισφορά τους στην πίεση είναι:

$$P \times V = 22{,}4\ \frac{\text{lit} \times \text{atm}}{\text{mole}}$$

Τέλος, υπάρχει και η συμμετοχή ενός τρίτου

παράγοντα, που δεν είναι τόσο εμφανής όσο οι άλλοι, είναι όμως από τους περισσότερο σημαντικούς. Η ατμόσφαιρα της γης πιέζει σταθερά προς τα κάτω ολόκληρη τη συσκευή, συμπεριλαμβανομένης και της επιφάνειας που βρίσκεται μέσα στη σύριγγα και έχει εμβαδόν 3,14 cm^2. Ας υποθέσομε ότι διαβάζομε ένα βαρόμετρο και βρίσκομε ότι κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος η ατμοσφαιρική πίεση είναι 754 Torr. Η ένδειξη αυτή ισοδυναμεί με 1025 g/cm^2, γιατί ο υδράργυρος έχει πυκνότητα σε θερμοκρασία δωματίου 13,6 g/cm^3. Μια στήλη υδραργύρου ύψους 75,4 cm ασκεί πίεση 1025 g/cm^2.

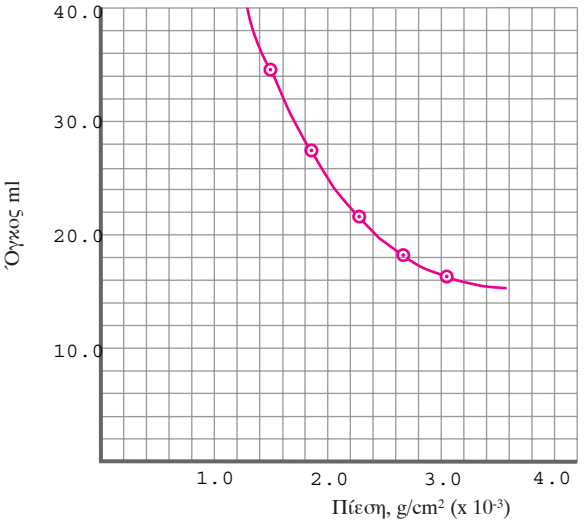
$$75{,}4 \text{ cm} \times 13{,}6 \text{ g/cm}^3 = 1025 \text{ g/cm}^2$$

Είναι εύκολο να υπολογίσομε τώρα τη συνολική πίεση που ασκείται πάνω στον περιορισμένο αέρα για κάθε ένδειξη του όγκου. Με βάση τα προηγούμενα, αν τοποθετηθούν πάνω στο επίπεδο στηρίξεως τρία βιβλία, τότε θα έχομε την ακόλουθη συνολική πίεση.

Συμμετοχή στην πίεση	Πίεση (g/cm^2)
τρία βιβλία	3 x 395 = 1185
έμβολο-επίπεδο στηρίξεως κλπ.	5
ατμόσφαιρα της γης	1025
	2215

Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να το στρογγυλέψομε σε τρία σημαντικά ψηφία και να το γράψομε 2,22 x 10^3 g/cm^2. Οι άλλες πιέσεις που αναφέρονται στον πίνακα 5.1 υπολογίζονται κατά τον ίδιο τρόπο. Μόνο η πίεση που οφείλεται στα βιβλία είναι κάθε φορά διαφορετική. Ο Boyle παρατήρησε και κατέγραψε ανάλογα δεδομένα και στη συνέχεια αναζήτησε κάποια νομοτέλεια* που πιθανόν να υπήρχε. Και πράγματι, βρήκε μία πολύ απλή ομοιομορφία: Η πίεση, όταν πολλαπλασιαζόταν επί τον όγκο που είχε ο αέρας σε αυτήν την πίεση, έδινε πάντα τον ίδιο αριθμό, με ανοχή κάποιου πειραματικού σφάλματος. Προκειμένου να εξασφαλίσει αυτήν τη νομοτέλεια, ήταν υποχρεωμένος να πραγματοποιήσει όλες τις μετρήσεις στην ίδια ακριβώς θερμοκρασία. Για τα δεδομένα που αναφέρονται στον πίνακα 5.1, τα γινόμενα αυτά, P x V, είναι γραμμένα στην τελευταία στήλη.

Ο νόμος του Boyle μπορεί να εκφρασθεί ως



ΣΧΗΜΑ 5-9. *Η γραφική παράσταση των δεδομένων για την πίεση P και για τον όγκο V, καθιστά φανερή την αντίστροφη σχέση ανάμεσα στο P και το V, όπως ορίζεται και από το νόμο του Boyle.*

εξής: Σε μια καθορισμένη θερμοκρασία, το γινόμενο της πιέσεως επί τον όγκο μιας ορισμένης μάζας αερίου είναι σταθερό. Η αλγεβρική παράσταση του νόμου του Boyle είναι:

$$P \times V = C$$

όπου P η πίεση, V ο όγκος και C μια σταθερά.

Ένας άλλος τρόπος για να εκφράσομε το νόμο του Boyle είναι ο εξής: Για ορισμένη σταθερή θερμοκρασία και μάζα ενός αερίου, η πίεση είναι αντίστροφα ανάλογη προς τον όγκο (ή διαφορετικά ο όγκος είναι αντιστρόφως ανάλογος της πιέσεως). Αυτό σημαίνει ότι αν κάποια από αυτές τις ποσότητες μεταβληθεί κατά ένα συντελεστή n (π.χ. 2), τότε η άλλη μεταβάλλεται κατά τον αντίστροφο συντελεστή, $1/n$ (π.χ. 1/2). Αλλιώς, αν διπλασιαθεί η πίεση, ο όγκος υποδιπλασιάζεται.

Υπάρχει όμως και ένας άλλος εξ ίσου ενδιαφέρων τρόπος, για να δείξομε τη σχέση που προκύπτει από το νόμο του Boyle. Όταν οι τιμές για το P και το V συνδυασθούν, δημιουργούν μια καμπύλη όμοια με αυτήν του σχήματος 5-9. Αυτή η ιδιόμορφη καμπύλη προήλθε από τη γραφική παράσταση των δεδομένων του πίνακα 5.1. Με βάση το σχήμα της καμπύλης αντιλαμβανόμαστε ότι τα ποσά είναι αντιστρόφως ανάλογα.

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή αν οι μετρήσεις ακολουθούσαν κάποια ομαλή μεταβολή.*

** *Σ.τ.Μ. Δηλαδή τη σύσταση ενός αερίου από σωματίδια.*



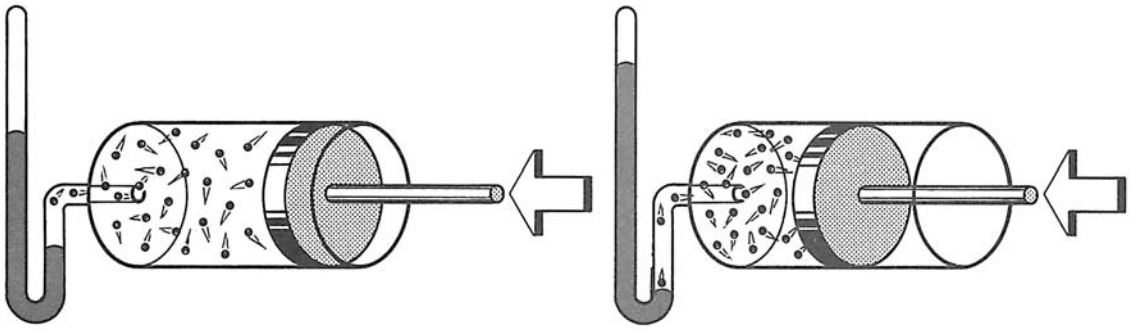
Ο Robert Boyle, δεξιά, ενώ περιγράφει μια από τις εργαστηριακές συσκευές του.

Robert Boyle (1627 - 1691)

Ο Robert Boyle, ο οποίος γεννήθηκε στην Ιρλανδία, ήταν ο δέκατος τέταρτος γυιος του κόμητα του Cork και έλαβε τη βασική του μόρφωση στην Αγγλία, την Ελβετία και την Ιταλία. Σε νεαρή ηλικία, έδειξε ενδιαφέρον για την ιατρική, τη γεωργία, τη χημεία, την αστρονομία και τις φυσικές επιστήμες. Παρ' όλα αυτά, ο Boyle είναι περισσότερο γνωστός για το έργο του στο χώρο της χημείας και τα πρωτοποριακά του πειράματα με τα αέρια και τις ιδιότητές τους.

Στις αρχές του 1650 ο Otto von Cuericke, ένας Γερμανός επιστήμονας, κατασκεύασε μία αντλία με την οποία μπορούσε να δημιουργεί κενό. Μετά από πολλά θεαματικά πειράματα και επιδείξεις, δημοσίευσε το 1654 τα αποτελέσματα των εργασιών του. Ο Boyle διάβασε για την επιτυχία του von Cuericke το 1657 και άρχισε αμέσως τις προσπάθειες για την κατασκευή άλλης μιας αντλίας, η οποία ήταν πιο αποτελεσματική από εκείνη για την οποία είχε διαβάσει. Το βασικό χαρακτηριστικό της συσκευής του Boyle ήταν ο γυάλινος θάλαμος, μέσα στον οποίο μπορούσε να παρατηρήσει τη συμπεριφορά διαφόρων αντικειμένων, καθώς ο αέρας θα απομακρυνόταν από το θάλαμο. Δεν χρειάστηκε πολύ για να ανακαλύψει ότι τα μικρά ζώα μέσα στο θάλαμο πέθαιναν και ότι τα κεριά έσβηναν καθώς έφευγε ο αέρας. Έδειξε ότι ο αέρας δεν διερχόταν μέσα από το κενό και επιβεβαίωσε επίσης ότι η πίεση του αέρα ευθυνόταν για τη λειτουργία του βαρομέτρου, το οποίο είχε ανακαλυφθεί στην Ιταλία 27 χρόνια νωρίτερα. Ο Boyle ανέφερε επίσης ότι ο αέρας εμφανίζει ελαστικότητα. Ο Boyle συνέχισε να πειραματίζεται με την αντλία του και το θάλαμο του κενού, ενώ δύο χρόνια αργότερα ανέφερε ότι η πίεση και ο όγκος του αέρα, στην περίπτωση που η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή, είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα. Η σχέση αυτή είναι γνωστή σήμερα ως "Νόμος του Boyle". Ο Boyle δεν έφθασε ποτέ σε μια ικανοποιητική ερμηνεία της συμπεριφοράς του αέρα, αν και διαφωνούσε με άλλους επιστήμονες, οι οποίοι πίστευαν ότι ο αέρας πρέπει να είναι κάτι σαν μια στίβα από κουβάρια, από μαλλί, που αναπηδούν καθώς προσπαθείς να τα συμπιέσεις προς τα κάτω.

Αναφέροντας πολλά από τα επόμενα πειράματα του στους τομείς της θερμότητας και της θερμοκρασίας, του φωτός και του χρώματος, και της αναλύσεως πολλών γνωστών ουσιών, ο Boyle περιέγραψε με πολλές λεπτομέρειες τις πειραματικές του μεθόδους. Υπήρξε από τους πρώτους επιστήμονες που έδωσε έμφαση στη σημασία της συστηματικότητας της επιστημονικής διαδικασίας, και της εκλεπτισμένης τεχνικής κατά τη διεξαγωγή επιστημονικών πειραμάτων. Αν και έζησε πριν από 300 περίπου χρόνια, το έργο του Robert Boyle εξακολουθεί να χρησιμεύει ως εξαιρετικό πρότυπο της καλής επιστημονικής διαδικασίας.



ΣΧΗΜΑ 5-10. *Ένας καθορισμένος αριθμός αερίων μορίων που βρίσκονται μέσα σε έναν κύλινδρο (αριστερά), ασκεί πίεση η οποία οφείλεται σε συγκρούσεις αυτών με τα τοιχώματα. Αν ο όγκος τους περιορισθεί στο μισό (δεξιά), ενώ η θερμοκρασία παραμένει σταθερή (και κατά συνέπεια και η κινητική ενέργεια των μορίων), ο αριθμός των συγκρούσεων στη μονάδα του χρόνου διπλασιάζεται. Έτσι διπλασιάζεται και η πίεση.*

*5.5 Μια διαφορετική ματιά στο πρότυπο της σωματιδιακής** υφής ενός αερίου.*

Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου δεχθήκαμε ένα πολύ απλό πρότυπο, που είχε τα χαρακτηριστικά τα οποία θα έπρεπε να εμφανίζει ένα αέριο, ώστε να εξηγήσομε μερικές απλές παρατηρήσεις. Τώρα όμως έχομε ορίσει κάποια ποσοτική σχέση, το νόμο του Boyle. Με τη βοήθεια του νόμου αυτού είναι δυνατόν πια να ελέγξομε με μεγαλύτερη προσοχή το σωματιδιακό πρότυπο (μοντέλο).

Είναι δυνατόν το παραπάνω πρότυπο να μας δώσει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα αέρια; Για να είναι αποδεκτό ένα πρότυπο θα πρέπει να επαληθεύει όλα τα χαρακτηριστικά του. Αν δεν επαληθεύει έστω και ένα από αυτά τότε δεν είναι δυνατόν να ληφθεί υπόψη. Γνωρίζετε ήδη μερικά χαρακτηριστικά των αερίων. Έτσι, είναι γνωστό ότι έχουν σχετικά μικρό βάρος, αφού οι φυσαλίδες ανεβαίνουν στην επιφάνεια των υγρών όπως π.χ. στο νερό. Γνωρίζετε επίσης ότι τα αέρια διαρρέουν ή διαχέονται πολύ γρήγορα μέσα από πολύ μικρές τρύπες. Για παράδειγμα, ακόμη και η μικρότερη ρωγμή ή πόρος διευκολύνει τον αέρα να ξεφύγει από ένα λάστιχο αυτοκινήτου. Έτσι, προκειμένου να ορίσομε ένα πρότυπο, θα πρέπει να έχομε στο νου μας τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται με λεπτομέρειες στα ακόλουθα. Ένα αέριο αποτελείται από μεγάλο αριθμό πολύ μικρών σωματιδίων που κινούνται πολύ γρήγορα προς τυχαίες κατευθύνσεις. Τα σωματίδια αυτά βρίσκονται κατά μέσο όρο σε μεγάλη απόσταση το ένα από το άλλο συγκριτικά με το δικό τους μέγεθος.

Και η ευκολία με την οποία τα αέρια διαχέονται, αλλά και οι χαμηλές τους πυκνότητες δικαιολογούνται από ένα τέτοιο πρότυπο. Επίσης, εξηγούνται και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με την πίεση των αερίων. Κάθε φορά που ένα σωματίδιο συγκρούεται με τα τοιχώματα του δοχείου μέσα στο οποίο βρίσκεται και αναπηδά, προσδίδει και μια μικρή ώθηση στο τοίχωμα. Επειδή ο αριθμός των σωματιδίων που περιέχονται μέσα σε ένα, έστω και μετρίου μεγέθους, δοχείο είναι τεράστιος και επειδή οι διευθύνσεις κατά τις οποίες κινούνται είναι εντελώς τυχαίες, το συνολικό αποτέλεσμα όλων των διαφορετικών συγκρούσεων ευθύνεται για την άσκηση μιας συνεχούς και ομοιόμορφης πιέσεως.

Και τώρα ας εξετάσομε αν το πρότυπό μας

Περίληψη.

Κατά τη μελέτη των αερίων είναι σημαντική η έννοια της πιέσεως. Πίεση είναι η δύναμη που ασκείται στη μονάδα επιφάνειας. Μονάδες για τη μέτρησή της είναι τα γραμμάρια ανά τετραγωνικό εκατοστό ή, όπως συνηθίζεται στη χημεία, οι ατμόσφαιρες. Μια ατμόσφαιρα είναι ίση με 14,7 lbs/in^2 ή 1034 g/cm^2. Επίσης είναι ίση με την πίεση που ασκεί μια στήλη υδραργύρου ύψους 760 mm. Μικρότερη μονάδα είναι το Torr, που ισούται με 1/760 της ατμόσφαιρας ή με την πίεση μιας στήλης υδραργύρου ύψους 1 mm.

Η πίεση μετρείται με μανόμετρα ανοικτού ή κλειστού άκρου ή με βαρόμετρα, δηλαδή με όργανα που αποτελούνται από ένα γυάλινο

σωλήνα γεμισμένο με υδράργυρο και ανεστραμμένο μέσα σε μια μικρή λεκάνη με υδράργυρο. Η επιφάνεια της λεκάνης είναι ανοικτή στην ατμόσφαιρα. Η πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα πάνω σε αυτήν την επιφάνεια αντισταθμίζεται από την πίεση που ασκεί μια στήλη υδραργύρου ύψους 760 mm, κάτω από κανονικές συνθήκες ατμοσφαιρικής πιέσεως.

Ο νόμος του Boyle συσχετίζει το γεγονός της μεταβολής του όγκου με τη μεταβολή της πιέσεως ή το αντίστροφο, για ορισμένη μάζα αερίου σε σταθερή θερμοκρασία. Μαθηματικά εκφράζεται: $P \times V = C$. Μια διαφορετική διατύπωση είναι η εξής: Πίεση και όγκος είναι αντιστρόφως ανάλογα. Αν η πίεση αυξηθεί, ο όγκος ελαττώνεται.

Το πρότυπο των σωματιδίων συνδυάζει όσα είναι γνωστά για τα αέρια. Σύμφωνα με αυτό, τα αέρια αποτελούνται από πολλά μικροσκοπικά σωματίδια, που κινούνται πολύ γρήγορα και που βρίσκονται σχετικά μακριά το ένα από το άλλο, σε σχέση με το μέγεθός τους. Αυτό συμφωνεί και με τις παρατηρήσεις ότι τα αέρια είναι ελαφριά και μπορούν να ξεφύγουν μέσα από μικρά ανοίγματα. Το προηγούμενο πρότυπο συμφωνεί επίσης και με το νόμο του Boyle. Αν η πίεση οφείλεται στις συγκρούσεις των σωματιδίων με τα τοιχώματα του δοχείου που τα περιέχει, τότε όταν το δοχείο γίνεται μικρότερο σημειώνονται περισσότερες συγκρούσεις ανά μονάδα χρόνου μεταξύ αυτών των ιδίων σωματιδίων και των τοιχωμάτων. Γι' αυτό η πίεση αυξάνεται, όταν ο όγκος μειώνεται.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια ισοδυναμία υπάρχει ανάμεσα σε Torr και σε ατμόσφαιρα;
2. Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα σε ένα μανόμετρο ανοικτού και σε ένα κλειστού άκρου;
3. Περιγράψτε ένα υδραργυρικό βαρόμετρο.
4. Ποιες είναι οι μονάδες της σταθεράς στο νόμο του Boyle, $P \times V = C$;
5. Ποιος είναι ο όγκος που προκύπτει, αν αυξηθεί η πίεση ενός λίτρου αερίου κατά ένα συντελεστή ίσο με 25 και με την

Σχετικές μοριακές μάζες - Άτομα, μόρια και moles

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ *5.6 Οι μάζες ίσων όγκων αερίων.*

Τα αέρια μοιάζουν να μην έχουν βάρος. Όμως, εφ' όσον αποτελούνται από μόρια και τα μόρια ανήκουν σε κάποιες ουσίες, θα πρέπει να έχουν και κάποια μάζα. Αν υπήρχε δυνατότητα να μετρηθεί η μάζα ενός αερίου, ίσως θα αναρωτιόσαστε αν ίσοι όγκοι όλων των αερίων έχουν τις ίδιες μάζες ή αν οι μάζες τους διαφέρουν.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα συγκρίνετε τις μάζες ίσων όγκων διαφόρων αερίων που βρίσκονται κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως.

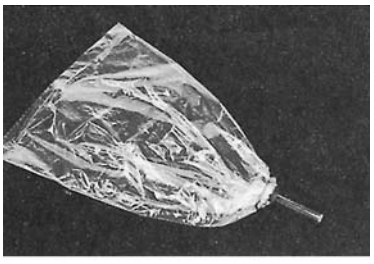
ΥΛΙΚΑ

Πλαστική σακούλα χωρητικότητας 1 λίτρου
Πλαστική ταινία
Θερμόμετρο
Βαρόμετρο
50-60 cm λαστιχένιος σωλήνας
Σταγονόμετρο
Ζυγός
Δοχείο νερού ή λεκάνη
Ογκομετρικός κύλινδρος 2 λίτρων
Παροχές οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, και ίσως κάποιου ακόμα αερίου
Φιάλη ή κανάτα χωρητικότητας περίπου 2 1/2 λίτρων
Λαστιχένιο πώμα με μια τρύπα μεγέθους 5 ή 6

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Επειδή ο όγκος ενός αερίου μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία του και την πίεση (συνθήκες που μεταβάλλονται), πρέπει να λάβετε τα μέτρα σας, ώστε οι μεταβλητές αυτές να παραμείνουν σταθερές κατά τον προσδιορισμό των μαζών. Ιδιαίτερα, πρέπει να προσέξετε να μην γίνουν σφάλματα κατά τη ζύγιση, επειδή οι μάζες των αερίων δειγμάτων θα είναι το πολύ μερικά γραμμάρια. Μερικά λιπαρά αποτυπώματα από τα χέρια ή μια σταγόνα υγρασίας έχουν αρκετή μάζα, ώστε να επηρεάσουν το πείραμα.

Πριν αρχίσετε την εργασία στο εργαστήριο διαβάστε προσεκτικά τις οδηγίες του πειράματος και καταστρώστε έναν πίνακα για τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των υπολογισμών σας. Συμβουλευθείτε τους πίνακες που σας προτείνομε στο τέλος του πειράματος.



ΣΧΗΜΑ 5-11.



ΣΧΗΜΑ 5-12.

Μέρος Α. Αέριο οξυγόνο.

1. Γύρω-γύρω από το τρυπημένο πώμα και σε απόσταση 1 cm από το φαρδύ άκρο του, κατασκευάστε ένα βαθύ αυλάκι. Διπλώστε το ανοικτό άκρο της πλαστικής σακούλας γύρω από το φαρδύ άκρο του πώματος και στερεώστε την γύρω από το αυλάκι με ένα λαστιχάκι.
2. Αφαιρέστε το λαστιχένιο κάλυμμα από το σταγονόμετρο και, αφού το πιάσετε με ένα χαρτομάντηλο, σπρώξτε το μέσα στην τρύπα του πώματος από τη μυτερή πλευρά, μέχρι να στερεωθεί εκεί. Θα πρέπει να έχετε μια διάταξη σαν αυτήν που φαίνεται στο σχήμα 5-11.
3. Αφαιρέστε όλο τον αέρα από τη σακούλα, ισιώνοντάς την με το χέρι σας. Τοποθετήστε πάλι το λαστιχένιο κάλυμμα στο σταγονόμετρο και ζυγίστε όλη αυτήν τη διάταξη με ακρίβεια 0,01 g. Καταγράψτε και το σφάλμα με ακρίβεια ± 0,01 g.
4. Απομακρύνατε πάλι το λαστιχένιο κάλυμμα από το σταγονόμετρο και συνδέστε το σταγονόμετρο, διά μέσου ενός πλαστικού σωλήνα, με κάποια πηγή παροχής αερίου οξυγόνου, που θα σας υποδείξει ο καθηγητής σας. Όταν φουσκώσει καλά η σακούλα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5-12, κρατήστε την από το λαστιχένιο πώμα και αποσυνδέστε από το σταγονόμετρο τον πλαστικό σωλήνα. Αφήστε όλη την περίσσεια του αερίου να φύγει, ώστε το αέριο που θα παραμείνει μέσα στη σακούλα να βρίσκεται σε ατμοσφαιρική πίεση. Προσέξτε όμως μην τη συμπιέσετε.
5. Τοποθετήστε ολόκληρη τη διάταξη της σακούλας, που περιέχει το αέριο σε θερμοκρασία και πίεση δωματίου, πάνω σε ένα ζυγό και σημειώστε τη μάζα με ακρίβεια 0,01 g. Καταγράψτε επίσης το σφάλμα, όπως προηγουμένως. ***Προαιρετικό***: Αν συμφωνεί και ο καθηγητής σας, καλόν είναι να επαναλάβετε τα στάδια 4-5, ώστε να ελέγξετε τη δουλειά σας.

Μέρος Β. Αέριο διοξείδιο του άνθρακα.

1. Γεμίστε τη σακούλα με αέριο διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιώντας κάποια παροχή που θα σας υποδείξει ο καθηγητής σας. Βεβαιωθείτε προηγουμένως ότι η σακούλα και το πώμα είναι άδεια και στεγνά.
2. Επαναλάβατε τα στάδια 4 και 5 του Α Μέρους. Προσπαθήστε να πετύχετε τον ίδιο όγκο του αερίου στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, όπως προηγουμένως.
3. Επαναλάβατε το γέμισμα και τον προσδιορισμό της μάζας χρησιμοποιώντας διοξείδιο του άνθρακα, αν συμφωνεί και ο καθηγητής



ΣΧΗΜΑ 5-13.

σας.

Μέρος Γ. Εύρεση του όγκου της σακούλας.

Αν η σακούλα περιέχει κάποιο αέριο διαφορετικό από οξυγόνο, να το απομακρύνετε. Στη συνέχεια, φυσώντας, γεμίστε τη σακούλα με αέρα. Προσπαθήστε να έχετε τον ίδιο όγκο αερίου με αυτόν που είχατε στα δύο προηγούμενα πειράματα.

1. Μετρήστε τον όγκο του αέρα ή του οξυγόνου που βρίσκεται μέσα στη σακούλα εφαρμόζοντας τη μέθοδο που φαίνεται στο σχήμα 5-13. Γεμίστε τελείως μια μεγάλη φιάλη ή κανάτα (που να έχει όγκο περίπου 2 λίτρα) με νερό της βρύσης. Σκεπάστε την με ένα πώμα και αναστρέψτε την μέσα σε ένα μεγάλο δοχείο με νερό. Αφαιρέστε το πώμα της μέσα στο νερό.
2. Αφαιρέστε το λαστιχένιο πώμα από το σταγονόμετρο και στη θέση του προσαρμόστε ένα μακρύ λαστιχένιο σωλήνα, το άλλο άκρο του οποίου να βρίσκεται περασμένο μέσα από το στόμιο της ανεστραμμένης φιάλης.
3. Πιέστε ελαφρά τη σακούλα έτσι, ώστε όλο το αέριο που περιέχει να περάσει μέσα από το σωλήνα στη φιάλη, μετατοπίζοντας ίσο όγκο νερού. Τέλος, πιέστε με το χέρι σας τελείως τη σακούλα έτσι ώστε να απομακρυνθεί από αυτήν και το υπόλοιπο αέριο.
4. Διπλώστε το σωλήνα, για να φράξει, και απομακρύνετέ τον από το δοχείο με το νερό. Τοποθετήστε ένα πώμα στο στόμιο της φιάλης, ενώ βρίσκεται ακόμη κάτω από το νερό. Τέλος, απομακρύνετε την κλεισμένη με το πώμα φιάλη από το νερό και τοποθετήστε την όρθια πάνω στο τραπέζι.
5. Μετρήστε την ποσότητα του νερού που χρειάζεστε, για να ξαναγεμίσετε τη φιάλη με τη βοήθεια ενός αρκετά μεγάλου ογκομετρικού κυλίνδρου. Σημειώστε τον όγκο του αερίου που εκτοπίσθηκε και το σφάλμα από αυτήν τη μέτρηση.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο πίνακας που έχετε καταρτίσει για την καταγραφή των διαδοχικών πληροφοριών, θα σας βοηθήσει να ταξινομήσετε τα δεδομένα και τα αποτελέσματα σας. Στην επόμενη παράγραφο περιγράφεται ο τρόπος που πρέπει να εργασθείτε για να υπολογίσετε τα αποτελέσματα.

Μέρος Α. Αέριο οξυγόνο.

(Όλες οι μετρήσεις σε γραμμάρια).
Μάζα της σακούλας με το πώμα και το οξυγόνο (O_2).
Μάζα κενής σακούλας με το πώμα.
Φαινομενική μάζα αερίου O_2.
Μάζα αέρα που εκτοπίσθηκε από το αέριο με το οποίο γέμισε η σακούλα.
Πραγματική μάζα αερίου O_2.

Μέρος Β. Αέριο διοξείδιο του άνθρακα.

(Όλες οι μετρήσεις σε γραμμάρια).
Μάζα της σακούλας με το πώμα και με το αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).
Μάζα κενής σακούλας με το πώμα.
Φαινομενική μάζα του αερίου CO_2.
Μάζα του αέρα που εκτοπίσθηκε από το αέριο με το οποίο γέμισε η σακούλα.
Πραγματική μάζα του αερίου CO_2.

Λόγος αυτής της μάζας προς τη μάζα του O_2.

Μέρος Γ. Όγκος της σακούλας.

Όγκος του νερού που αντικαταστάθηκε από τον αέρα της σακούλας.
Θερμοκρασία δωματίου (°C).
Ατμοσφαιρική πίεση (Torr).
Πυκνότητα αέρα στις παραπάνω τιμές θερμοκρασίας και πιέσεως (g/l), από τον πίνακα 5.2.

Υπολογισμοί.

Αν θέλετε να βρείτε την πραγματική μάζα των αερίων που ζυγίσατε σε αυτό το πείραμα, θα πρέπει να κάνετε κάποιες διορθώσεις που οφείλονται στην άνωση. Όπως μάθατε προηγουμένως η φαινομενική μάζα ενός αντικειμένου που ζυγίζεται στον αέρα είναι μικρότερη από την πραγματική, κατά τη μάζα του αέρα που εκτοπίζει το αντικείμενο. Συνήθως, όταν ένα αντικείμενο ζυγίζεται στον αέρα, η μάζα του αέρα που εκτοπίζεται είναι τόσο μικρή συγκριτικά με τη μάζα του αντικειμένου, ώστε μπορεί να παραλειφθεί. Όμως, όταν το αντικείμενο που ζυγίζεται είναι μεγάλο και η πυκνότητά του δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα, τότε η διόρθωση της ανώσεως θα επηρεάσει σημαντικά τη φαινομενική μάζα. Μόνο με αυτήν τη διόρθωση είναι δυνατόν να προσσεγγίσομε την πραγματική μάζα του αερίου που μετρούμε. Οι απαραίτητοι υπολογισμοί γι' αυτό το πείραμα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Βρείτε τη φαινομενική μάζα του οξυγόνου της σακούλας, με αφαίρεση της μάζας της κενής σακούλας από τη φαινομενική μάζα της σακούλας που είναι γεμάτη με οξυγόνο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.

Πίεση (Torr)	Θερμοκρασία			
	15°C	20°C	25°C	30°C
600	0,97 g/l	0,95 g/l	0,94 g/l	0,92 g/l
610	0,98	0,97	0,95	0,93
620	1,00	0,98	0,97	0,95
630	1,02	1,00	0,98	0,97
640	1,03	1,01	1,00	0,98
650	1,05	1,03	1,01	1,00
660	1,06	1,05	1,03	1,01
670	1,08	1,06	1,04	1,03
680	1,10	1,08	1,06	1,04
690	1,11	1,09	1,07	1,06
700	1,13	1,11	1,09	1,07
710	1,14	1,12	1,10	1,09
720	1,16	1,14	1,12	1,10
730	1,18	1,16	1,14	1,12
740	1,19	1,17	1,15	1,13
750	1,22	1,19	1,17	1,15
760	1,23	1,21	1,19	1,16
770	1,24	1,22	1,20	1,18

2. Υπολογίστε τη μάζα του αέρα που εκτοπίσθηκε από το αέριο με το οποίο γέμισε η σακούλα. Ο όγκος του νερού που εκτοπίσθηκε από το αέριο μιας γεμάτης σακούλας είναι ίσος με τον αέρα που εκτοπίσθηκε από τη σακούλα τη γεμάτη με αέριο. Η μάζα του αέρα που εκτοπίσθηκε από το αέριο μπορεί να βρεθεί, αν πολλαπλασιασθεί ο όγκος του αέρα που εκτοπίσθηκε (σε λίτρα) επί την πυκνότητα του αέρα (σε γραμμάρια/λίτρα), με βάση τον πίνακα 5.2 (στο αποτέλεσμά σας να περιληφθούν τα όρια του μεγίστου σφάλματος).
3. Προσδιορίστε την πραγματική μάζα του οξυγόνου της σακούλας, προσθέτοντας τη μάζα του εκτοπισμένου αέρα στη φαινομενική μάζα που βρήκατε στο στάδιο 1.
4. Κατ' ανάλογο τρόπο, προσδιορίστε τη μάζα του διοξειδίου του άνθρακα της σακούλας καθώς και τη μάζα οποιουδήποτε άλλου αερίου το οποίο χρησιμοποιήσατε.
5. Συγκρίνετε τη μάζα καθενός αερίου που μετρήσατε με αυτήν του οξυγόνου, διαιρώντας την καθεμία μάζα με τη μάζα του αντίστοιχου όγκου οξυγόνου. Εκφράστε κάθε αναλογία με δεκαδικό αριθμό. Στο αποτέλεσμα που θα προκύψει να λάβετε υπόψη και το σφάλμα.

Ένα πρόβλημα που χρειάζεται διερεύνηση.

Υπάρχει σχέση ανάμεσα στις μάζες ίσων όγκων αερίων και τις σχετικές μάζες των μορίων;

ΜΕΡΙΚΕΣ ΑΚΟΜΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ

Ποιο συμπέρασμα βγαίνει, αν συγκρίνετε τις μάζες ίσων όγκων αερίων που συλλέχθηκαν υπό ατμοσφαιρική πίεση, αλλά σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη συνήθη, με εκείνες τις μάζες που βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος;

5.7 Σχέσεις πιέσεως όγκου διαφόρων αερίων.

Δεδομένα της πιέσεως και του όγκου, όπως αυτά που περιέχονται στον πίνακα 5.2, επαληθεύουν το νόμο του Boyle για την περίπτωση του ατμοσφαιρικού αέρα. Ανάλογα πειράματα με άλλα αέρια δείχνουν ότι ο νόμος του Boyle ισχύει επίσης για όλα αυτά. Έτσι, για όλα τα αέρια, $P \cdot V =$ μία σταθερά. Η αριθμητική τιμή αυτής της σταθεράς για κάθε αέριο είναι ανάλογη με τη μάζα αυτού του αερίου. Αν διπλασιασθεί η μάζα, το μέγεθος του $P \cdot V$ διπλασιάζεται. Γι' αυτό, αν πρόκειται να συγκριθεί με ακρίβεια η συμπεριφορά του ζεύγους πίεση - όγκος για κάποιο αέριο με αυτήν ενός άλλου αερίου, πρέπει πρώτα να ορισθούν οι μάζες των αερίων. Ίσως το πιο απλό θα ήταν να χρησιμοποιούσαμε την ίδια μάζα από το κάθε αέριο (πρέπει να προσέξετε, ώστε να μετρήσετε τα γινόμενα $P \cdot V$ όλων των αερίων στην ίδια θερμοκρασία, διότι η θεμοκρασία, όπως θα δείτε αργότερα, επηρεάζει, επίσης, το μέγεθος του $P \cdot V$). Ας φαντασθούμε ότι θα διεξαχθεί ένα πείραμα ανάλογο με αυτό που έγινε με τη σύριγγα και τα βιβλία, σύμφωνα με τα ακόλουθα.

1. Το αέριο που είναι εγκλωβισμένο είναι δείγμα καθαρού οξυγόνου (αντί για αέρα, ο οποίος είναι μίγμα διαφόρων αερίων).
2. Η ποσότητα του εγκλωβισμένου οξυγόνου είναι 32,0 γραμμάρια.
3. Η θερμοκρασία είναι °C (προφανώς είναι λίγο δύσκολο να το επιτύχομε αυτό με την απλή συσκευή μας).
4. Όλες οι μετρήσεις γίνονται με αρκετή ακρίβεια, ώστε να δίνουν τρία σημαντικά ψηφία.
5. Οι πιέσεις εκφράζονται σε ατμόσφαιρες και ο όγκος σε λίτρα.

   Οι προηγούμενες πειραματικές μετρήσεις δεν

επελέγησαν τυχαία (θα αντιληφθείτε τους λόγους γι' αυτές τις επιλογές αργότερα).

Το αποτέλεσμα που εξάγεται σύμφωνα με αυτές τις συνθήκες είναι πάντα: $P \cdot V = 22{,}4$ λίτρα - ατμόσφαιρες (η μονάδα που προκύπτει όταν ένας όγκος σε λίτρα πολλαπλασιάζεται επί μια πίεση σε ατμόσφαιρες γράφεται συμβατικά "λίτρα - ατμόσφαιρες" ή "liter - atm"). Ας υποθέσομε τώρα ότι διεξάγεται το ίδιο πείραμα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες με δύο διαφορετικά αέρια. Το ένα ονομάζεται υδροχλώριο, το άλλο αμμωνία. Αν χρησιμοποιηθούν 32,0 g από κάθε αέριο στους 0°C, λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα.

Οξυγόνο	$P \cdot V = 22{,}4$ l - atm (λιτρατμόσφαιρες)
Υδροχλώριο	$P \cdot V = 19{,}6$ l - atm (λιτρατμόσφαιρες)
Αμμωνία	$P \cdot V = 42{,}1$ l - atm (λιτρατμόσφαιρες)

Το κάθε αέριο ακολουθεί το νόμο του Boyle, αλλά τα 32 g του καθενός δίνουν διαφορετική "σταθερά".

Υπάρχει όμως και ένας ακόμη τρόπος, για να εκφράσομε τα αποτελέσματά μας. Στην πραγματικότητα, ο τρόπος αυτός προέρχεται από μια συνηθισμένη ερώτηση. Ποια μάζα πρέπει να πάρομε από κάθε αέριο, ώστε να έχομε την ίδια σταθερά με αυτήν που δίνουν τα 32 g οξυγόνου, (22,4 liter - atm); Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι εύκολη. Το μέγεθος της σταθεράς είναι ανάλογο με τη μάζα του αερίου που χρησιμοποιούμε. Έτσι, αν τα 32 g για την αμμωνία, δίνουν μια σταθερά που θεωρείται πολύ μεγάλη, πρέπει να χρησιμοποιήσομε λιγότερο αέριο. Για να μειώσομε τη σταθερά από 42,1 σε 22,4 πρέπει να χρησιμοποιήσομε μόνο 22,4/42,1 φορές λιγότερο αέριο.

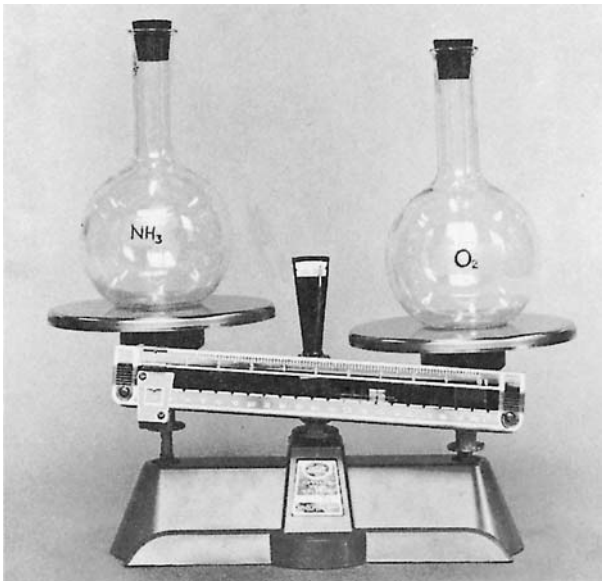
$$\frac{22{,}4}{42{,}1} \times 32{,}0 = 17{,}0\,\text{g}$$

Αντίθετα, για το υδροχλώριο χρειάζονται περισσότερα από 32,0 g, ενώ το ακριβές ποσό είναι

$$\frac{22{,}4}{42{,}1} \times 32{,}0 = 17{,}0\,\text{g}$$

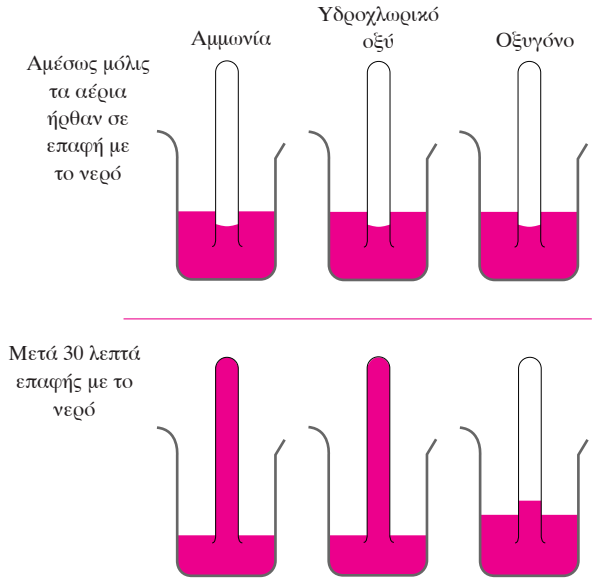
5.8 Μερικές ακόμη ιδιότητες των αερίων.

Οι σχέσεις ανάμεσα σε πίεση και όγκο, που μόλις μελετήσαμε αναλυτικά για τρία αέρια, μας οδήγησαν σε δύο ισοδύναμες διαπιστώσεις. Η μία είναι ότι ίσες μάζες διαφορετικών αερίων που μετρήθηκαν στην ίδια θερμοκρασία δίνουν διαφορετικά γινόμενα PV. Η δεύτερη είναι ότι ίσος όγκος αερίων που μετρήθηκαν στην ίδια θερμοκρασία και πίεση έχουν διαφορετικές μάζες (σχ. 5-14).



ΣΧΗΜΑ 5-14. *Ίσοι όγκοι αερίων, που μετρήθηκαν στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, έχουν διαφορετικές μάζες.*

Το πρότυπό μας για τα αέρια που αποτελείται από σωματίδια ή μπάλες του μπιλιάρδου, δεν εξασφαλίζει κάποια εξήγηση για τη συμπεριφορά που περιγράφεται σε αυτές τις δύο διαπιστώσεις. Πρέπει λοιπόν να εγκαταλείψομε το πρότυπο; Αν χρειασθεί θα γίνει και αυτό, γιατί ένα πρότυπο είναι εύχρηστο μόνο για όσο διάστημα συμφωνεί με όλα τα πειραματικά αποτελέσματα. Συμβαίνει συχνά όμως ένα πρότυπο να επιδέχεται τροποποιήσεις κατά τρόπο που να εξηγεί νέα αποτελέσματα εξ ίσου καλά με τα παλιά για τα οποία και αρχικά σχεδιάσθηκε. Για να αποφασίσομε τι είδους τροποποιήσεις χρειάζονται για το πρότυπο των αερίων, ας εξετάσομε μερικές άλλες ιδιότητές τους. Η αμμωνία, το οξυγόνο και το υδροχλώριο παρασκευάζονται πολύ εύκολα στο εργαστήριο και γι' αυτό τις ιδιότητές τους εύκολα μπορούμε να τις παρατηρήσομε. Βέβαια, πολλές από τις παρατηρήσεις μας που έχουν σχέση με το οξυγόνο, είναι δυνατόν να γίνουν με μια απλή ματιά που θα ρίξομε γύρω μας. Επειδή ο καθαρός αέρας που περιέχει οξυγόνο είναι άχρωμος και άοσμος, είναι φυσικό να συμπεράνομε ότι και το



ΣΧΗΜΑ 5-15. *Ένα πείραμα που δείχνει διαφορετικές διαλυτότητες διαφόρων αερίων στο νερό. Η αμμωνία και το υδροχλώριο είναι πολύ διαλυτά.*

οξυγόνο πρέπει να είναι ένα αέριο άχρωμο και άοσμο. Όπως το οξυγόνο, έτσι και η αμμωνία και το υδροχλώριο -όχι όμως όλα τα αέρια- είναι άχρωμα. Δεν είναι όμως άοσμα. Οποιοσδήποτε έχει κάποια εμπειρία γύρω από τη χαρακτηριστική μυρωδιά της αμμωνίας, επειδή για παράδειγμα έχει μυρίσει είτε κάποια άλατα της αμμωνίας είτε ένα υγρό καθαρισμού που περιέχει αμμωνία, θα συμφωνήσει με αυτό. Η μυρωδιά του αερίου υδροχλωρίου δεν είναι λιγότερο ερεθιστική από τη μυρωδιά της αμμωνίας· είναι όμως διαφορετική, είναι "όξινη".

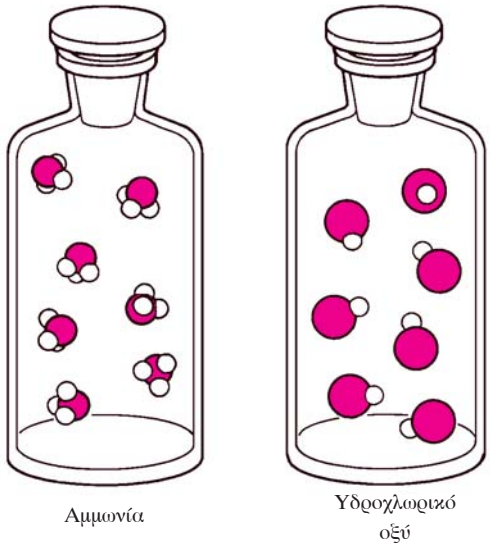
Το οξυγόνο που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό είναι απαραίτητο για την υδρόβια ζωή, όμως μόνο μια σχετικά μικρή ποσότητα οξυγόνου διαλύεται στο νερό (31,6 ml ανά λίτρο νερού σε 25°C). Τόσο η αμμωνία όσο και το υδροχλώριο διαλύονται στο νερό σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ό,τι το οξυγόνο. Τουλάχιστον τριάντα φορές περισσότερος όγκος από αυτά τα αέρια διαλύεται στο νερό στους 25°C. Το σχήμα 5-15 απεικονίζει ένα απλό πείραμα, που μας δείχνει αυτές τις σημαντικές διαφορές στη διαλυτότητα.

Πώς μπορούμε να εξηγήσομε γιατί αυτά τα τρία αέρια είναι τόσο διαφορετικά, ενώ ταυτόχρονα ακολουθούν όλα το νόμο του Boyle; Κατορθώσαμε να εξηγήσομε το νόμο του Boyle, αφού παραδεχθήκαμε πως τα αέρια αποτελούνται από πολύ μικρά (αόρατα) σωματίδια, που βρίσκονται σε γρήγορη κίνηση. Ίσως όμως να διαφέρουν τα ίδια τα σωματίδια. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, τότε θα πρέπει να αποδοθούν σε αυτές τις διαφορές και οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στις ιδιότητες των αερίων, όπως η διαλυτότητα, το χρώμα και η οσμή. Και, αν αυτά τα σωματίδια διαφέρουν τόσο ώστε να προκαλούν τόσο διαφορετικές μακροσκοπικές ιδιότητες, είναι απίθανο να μην διαφέρουν επίσης και στις μάζες τους. Έτσι, η παραδοχή ότι τα σωματίδια όλων των αερίων δεν είναι ίδια, μας οδηγεί στην πιθανή εξήγηση της διαπιστώσεως ότι ίσοι όγκοι αερίων έχουν διαφορετικές μάζες. Ας επεκτείνομε αυτή τη δυνατότητα λίγο περισσότερο.

5.9 Υπόθεση του Avogadro.

Αναφέρθηκε νωρίτερα ότι ο όγκος ενός μπαλονιού αυξάνει καθώς το φουσκώνομε με αέρα. Με την απλή αυτήν παρατήρηση είναι φανερό ότι ο όγκος ενός αερίου εξαρτάται από τον αριθμό των σωματιδίων που περιέχει το αέριο. Έτσι, δικαιολογημένα μπορούμε να υποθέσομε ότι αέρια που έχουν τον ίδιο όγκο, έχουν και τον ίδιο αριθμό σωματιδίων με την προϋπόθεση ότι οι αέριοι όγκοι έχουν μετρηθεί στις ίδιες συνθήκες πιέσεως και θερμοκρασίας.

Ας υποθέσομε ότι ένα σωματίδιο αμμωνίας



ΣΧΗΜΑ 5-16. *Ίσοι όγκοι αερίων που βρίσκονται στην ίδια πίεση και θερμοκρασία, έχουν τον ίδιο αριθμό μορίων, τα μόρια όμως είναι διαφορετικά.*

έχει μάζα μικρότερη από αυτήν που έχει ένα σωματίδιο οξυγόνου κατά ένα συντελεστή 17,0/32,0, ενώ ένα σωματίδιο υδροχλωρίου έχει μάζα μεγαλύτερη από αυτήν που έχει ένα σωματίδιο οξυγόνου, κατά ένα συντελεστή 36,5/32,0 (σχ. 5-16). Στην παράγραφο 5.7 αναφέρθηκε ότι το γινόμενο $P \cdot V$ προκειμένου για 32,0 g οξυγόνου στους 0°C είναι 22,4 λιτρατμόσφαιρες. Αν η πίεση ήταν ίση με μία ατμόσφαιρα, τότε ο όγκος που θα κατελάμβανε το αέριο οξυγόνο θα ήταν 22,4 λίτρα. Αν αληθεύει η υπόθεση ότι ίσοι όγκοι αερίων περιέχουν ίσους αριθμούς σωματιδίων, τότε ποιες θα ήταν οι μάζες που θα είχαν ίσοι όγκοι αμμωνίας και υδροχλωρίου, αν είχαν μετρηθεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες; Αν υπάρχουν n σωματίδια οξυγόνου σε 22,4 λίτρα, τότε η μάζα του καθενός σωματιδίου είναι 32,0/n γραμμάρια. Ύστερα από αυτό μπορείτε να διαπιστώσετε ότι η μάζα του καθενός σωματιδίου αμμωνίας είναι 17,0/n γραμμάρια, ενώ η μάζα του καθενός σωματιδίου υδροχλωρίου είναι 36,5/n γραμμάρια. Είναι φανερό ότι τα n σωματίδια αμμωνίας θα έχουν μάζα 17,0 γραμμάρια, και τα n σωματίδια υδροχλωρίου θα έχουν μάζα 36,5 γραμμάρια. Αυτά είναι και τα αποτελέσματα που υπολογίσαμε με τα δεδομένα πιέσεως-όγκου στην παράγραφο 5.7 (σχ. 5-16).

Η υπόθεση ότι ίσοι όγκοι αερίων, όταν μετρηθούν στην ίδια πίεση και θερμοκρασία, περιέχουν ίσους αριθμούς σωματιδίων, συμφωνεί με όλες τις προηγούμενες υποθέσεις σχετικά με τα αέρια, καθώς και με όλα τα πειραματικά αποτελέσματα που έχουν αναφερθεί. Την υπόθεση αυτήν πρότεινε το 1811 ο Ιταλός επιστήμονας Amadeo Avogadro και γι' αυτό είναι γνωστή ως ***υπόθεση του Avogadro***. Η ορθότητα αυτής της ιδέας έχει αποδειχθεί με πολλά πειράματα και έχει γίνει επίσης αποδεκτή χωρίς καμιά αμφιβολία. Θα ήταν δυνατόν επομένως να ονομασθεί νόμος, αλλά κατά περίεργο τρόπο έχει επικρατήσει γενικά να αναφέρεται ως "υπόθεση" του Avogadro.

5.10 Άτομα και μόρια.

Στις προηγούμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου αναφέρθηκαν κάποια πειράματα, παρατηρήσεις και συλλογισμοί, που υποστηρίζουν το μοντέλο που δεχθήκαμε για τα αέρια. Πριν όμως συνεχίσομε τη διερεύνηση σχετικά με άλλες ιδιότητες των αερίων, είναι χρήσιμο να αναπτύξομε περισσότερο την εικόνα που έχομε σχηματίσει γύρω από τα σωματίδια των αερίων.

Για το σκοπό αυτό θα αναφερθούν μερικά φαινόμενα και συμπεράσματα από πειράματα χημείας, αν και αυτά τα ίδια τα πειράματα δεν θα αναπτυχθούν προς το παρόν. Θα σας γίνει γνωστή επίσης μια νέα ορολογία. Η διαδικασία προσεγγίσεως και εξοικιώσεως με την οποιαδήποτε επιστήμη περιλαμβάνει τη μάθηση της ειδικής ονομασίας των πραγμάτων και τη γνώση των φαινομένων και των εννοιών τους. Στην πραγματικότητα, η επιστήμη εξετάζει τα φαινόμενα και τις έννοιες. Το εξειδικευμένο όμως λεξιλόγιο διευκολύνει τη μελέτη και τη γνωστοποίηση των φαινομένων και των εννοιών.

Τα σωματίδια από τα οποία συνίστανται σχεδόν όλα τα γνωστά αέρια (όλα εκτός από έξι) ονομάζονται ***μόρια***. Αυτά τα ίδια τα μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα μικρότερα σωματίδια, που ονομάζονται ***άτομα***. Τα έξι αέρια που δεν αποτελούνται από μόρια είναι εκείνα, στα οποία τα σωματίδια δεν είναι παρά αυτά τα ίδια τα άτομα. Συνθέτουν μια ιδιαίτερη ομάδα χημικών ουσιών που ονομάζεται ομάδα ***ευγενών αερίων***. Η λέξη "ευγενή"* έχει την έννοια ότι τα άτομά τους δεν συνενώνονται, για να σχηματίσουν μόρια.

Είναι σημαντικό να θυμάστε ότι οι γενικές ιδιότητες των αερίων, οι οποίες βασίζονται στα μικρά και γρήγορα κινούμενα σωματίδια που τα αποτελούν, δεν εξαρτώνται καθόλου από το αν τα σωματίδια αυτά είναι μεμονωμένα άτομα ή ομάδες ατόμων που τις ονομάζομε μόρια. Τα ***ειδικά*** χαρακτηριστικά κάθε αερίου, όπως είναι το χρώμα, η μυρωδιά, η διαλυτότητα στο νερό και η μάζα των σωματιδίων του, εξαρτώνται από το είδος των ατόμων που συνιστούν τα μόρια.

Μερικές ιδιότητες εξαρτώνται από τον ακριβή τρόπο με τον οποίο τα άτομα βρίσκονται τοποθετημένα στο χώρο προκειμένου να σχηματίσουν τα μόρια. Η τοποθέτηση αυτή των ατόμων ονομάζεται ***δομή*** των μορίων. Ένα από τα σημαντικά προβλήματα του χημικού είναι να προσδιορίσει τις μοριακές δομές και να κατανοήσει ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στις ιδιότητες των ουσιών που παρατηρεί και στις δομές των μορίων. Το πρόβλημα αυτό δεν είναι

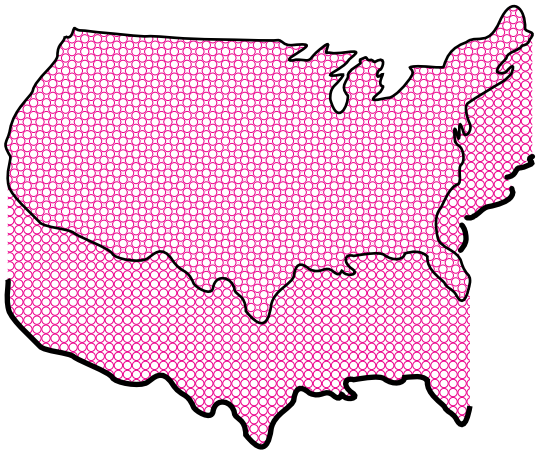
* *Σ.τ.Μ. Ή αδρανή αέρια.*

εύκολο να λυθεί, γιατί τα άτομα και τα μόρια είναι πάρα πολύ μικρά. Κατά συνέπεια, οι δομές και οι άλλες ιδιότητές τους μελετώνται έμμεσα, από τη συμπεριφορά ενός πλήθους ατόμων και μορίων και όχι άμεσα με παρατήρηση της συμπεριφοράς του καθενός μορίου χωριστά. Με σκοπό να γίνομε περισσότερο σαφείς, όσον αφορά στο ελάχιστο μέγεθος των ατόμων και των μορίων, αλλά και στο τεράστιο πλήθος μορίων που συνήθως μελετάμε, θα πρέπει να εξετάσομε μερικές σημαντικές ποσότητες.

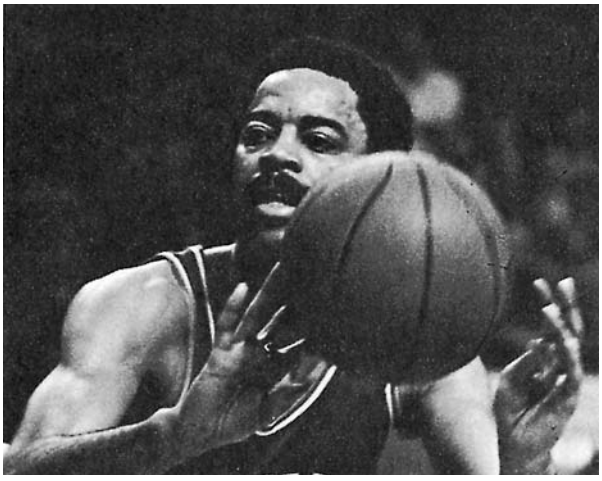
5.11 Το mole.

Τα δείγματα ύλης με τα οποία εργαζόμαστε συνήθως, ακόμα και αν πρόκειται για μικροσκοπικές κηλίδες που δύσκολα είναι ορατές με το γυμνό μάτι, περιέχουν τεράστιο αριθμό ατόμων και μορίων. Για το λόγο αυτό εξυπηρετεί να υπολογίζομε τα μόρια σε μεγάλες ομάδες, σε πακέτα μεγάλου πλήθους μορίων. Οι ομάδες αυτές ονομάζονται ***moles***.

Δεν είναι ασυνήθιστο να μετράμε πολυάριθμα αντικείμενα πακεταρισμένα σε ομάδες. Για παράδειγμα, συχνά τα αυγά πωλούνται κατά δωδεκάδες, που λέγονται και ντουζίνες, ενώ συχνά υπολογίζετε και τις δραχμές κατά χιλιάδες, όπου η μονάδα 1000 ονομάζετε και χιλιάρικο. Το mole (μολ) είναι μια πολύ μεγαλύτερη ομάδα αντικειμένων, αλλά βασίζεται στην ίδια αρχή. Είναι εξ ίσου δυνατόν να ομιλούμε για mole



ΣΧΗΜΑ 5-17. *Αν ήταν δυνατόν να καλύψομε ολόκληρη την επιφάνεια των ηπειρωτικών Ηνωμένων Πολιτειών με στοιβάδες από χάντρες διαμέτρου 1 cm τότε θα σχηματίζαμε περίπου ένα εκατομμύριο στοιβάδες (στρώσεις) προκειμένου να χρησιμοποιήσομε όλες τις στρώσεις που περιέχονται σε ένα mole.*



ΣΧΗΜΑ 5-18. *Ένα mole (32 g) αερίου οξυγόνου είναι ποσότητα εύκολα μετρήσιμη. Σε 1 atm και 0 °C, ένα mole οξυγόνου θα μπορούσε να γεμίσει λίγο περισσότερο από τρεις μπάλες καλαθοσφαιρίσεως.*

αυγών ή δραχμών αλλά συνήθως το χρησιμοποιούμε, όταν πρόκειται για πάρα πολύ μικρά αντικείμενα. Προς το παρόν, τα μόνα τόσο μικρά αντικείμενα, με τα οποία πρόκειται να ασχοληθείτε, είναι τα άτομα και τα μόρια. Αργότερα, θα συναντήσετε και άλλα αντικείμενα, για τα οποία το mole θα είναι η κατάλληλη μονάδα.

Πόσο ακριβώς μεγάλη ομάδα αντικειμένων είναι ένα mole; Ο αριθμός των αντικειμένων σε ένα mole έχει βρεθεί με πειράματα ότι είναι 6,02 x 10^{23}. Ένα mole περιέχει 6,02 x 10^{23} άτομα, μόρια ή άλλα σωματίδια. Ίσως να μην εκπλήσσεστε από το γεγονός ότι η μονάδα των μορίων είναι πολύ μεγάλη (το σχήμα 5-17 ίσως να σας δώσει κάποια καλύτερη εικόνα για το πόσο μεγάλη μονάδα είναι το mole). Θα σας εντυπωσιάζει όμως το γεγονός ότι το mole είναι ένας τόσο ιδιόμορφος αριθμός (για την ακρίβεια είναι 6,02252 x 10^{23}). Γιατί είναι αυτός ο αριθμός και όχι κάποιος άλλος που έχει στρογγυλευθεί με ακρίβεια σε 10^{23} ή 10^{20} ή και ένα δισεκατομμύριο (10^{9});

Ο λόγος είναι ότι αυτός ο μάλλον παράξενος αριθμός προήλθε από πειραματικές μετρήσεις. Καθορίσθηκε με βάση κάποια μετρήσιμη ποσότητα. Το mole ορίσθηκε αρχικά ως ο αριθμός των μορίων που περιέχονται σε μια ποσότητα οξυγόνου με μάζα ακριβώς 32 γραμμάρια (σχ. 5-18). Το 1961 άλλαξε ο ορισμός και έκτοτε το mole βασίσθηκε σε μετρήσεις που μπορούν να γίνουν

με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Τώρα το mole έχει ορισθεί ως ο αριθμός των ατόμων που περιέχονται σε ακριβώς 12 γραμμάρια μιας μορφής άνθρακα, που είναι γνωστή ως άνθρακας 12. Η μορφή αυτή του άνθρακα είναι γνωστή και ως ισότοπο 12 του άνθρακα. Τα ισότοπα θα εξετασθούν στο κεφάλαιο 10. Ο νέος αυτός ορισμός οδήγησε σε μια μεταβολή της τάξεως (μόνο) του -0,0045% του αριθμού των σωματιδίων που περιέχονται σε ένα mole. Μεταβολή που είναι ασήμαντη, εκτός αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένα, λίγα, απόλυτα εξειδικευμένα θέματα της χημείας. Ο πραγματικός ορισμός του mole είναι χρήσιμος σε όλα τα πρακτικά προβλήματα. Αν υποθέσομε ότι το mole είναι ο αριθμός των μορίων που υπάρχουν σε 32,0 γραμμάρια οξυγόνου, τότε κάθε σφάλμα, που είναι δυνατόν να προκύψει, θα είναι πολύ μικρότερο από ό,τι μπορούμε να μετρήσομε στο εργαστήριό μας. Στην παράγραφο 5.9 διδαχτήκατε την υπόθεση του Avogadro. Σύμφωνα με αυτήν, ίσοι όγκοι αερίων, αν μετρηθούν στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως, περιέχουν ίσους αριθμούς μορίων. Κατά συνέπεια, ο αριθμός των μορίων που υπάρχουν σε 32,0 γραμμάρια οξυγόνου, είναι ίδιος με αυτόν των 17,0 γραμμαρίων αμμωνίας ή των 36,5 γραμμαρίων υδροχλωρίου ή και οποιασδήποτε ουσίας, η οποία, όταν βρίσκεται στην αέρια φάση, καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο με αυτόν που καταλαμβάνουν τα 32,0 γραμμάρια οξυγόνου. Έτσι, ένα mole οποιουδήποτε αερίου αποτελείται από 6,02 x 10^{23} μόρια (ή άτομα). Ο αριθμός όμως 6,02 x 10^{23} είναι γνωστός ως αριθμός του Avogadro, προς τιμήν της συμβολής αυτού του επιστήμονα στον τελικό προσδιορισμό του.

Είναι σημαντικό να γνωρίζομε με ακρίβεια ποια είναι τα σωματίδια που αποτελούν το κάθε μόριο. Όταν οι χημικοί αναφέρονται σε ένα mole του αερίου οξυγόνου, εννοούν 6,02 x 10^{23} ***μόρια***. Όταν αναφέρονται σε ένα mole του ευγενούς αερίου νέον, εννοούν 6,02 x 10^{23} ***άτομα***. Σε μερικές περιπτώσεις, είναι χρήσιμο να καθορίζομε ποιο ακριβώς είδος αντικειμένων εξετάζομε. Για παράδειγμα, ένα mole μορίων νερού (H_2O) περιέχει 6,02 x 10^{23} άτομα οξυγόνου και 12,04 x 10^{23}* άτομα υδρογόνου.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

1. Η μάζα ενός mole (σωματιδίων γενικά), μετρημένη σε γραμμάρια, λέγεται μολαρική μάζα.
2. Η μάζα ενός mole μορίων, μετρημένη σε γραμμάρια, λέγεται γραμμομόριο.
3. Η μάζα ενός mole ατόμων, μετρημένη σε

Περίληψη.

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι προκειμένου για 32,0 γραμμάρια οξυγόνου στους 0°C το γινόμενο της πιέσεως *P* (σε ατμόσφαιρες), επί τον όγκο *V* (σε λίτρα) ισούται με 22,4 λιτρατμόσφαιρες (l-atm). Έχει βρεθεί ότι το γινόμενο *P* επί *V* των 32,0 γραμμαρίων ενός άλλου αερίου αν μετρηθεί στους 0°C, δεν είναι ίσο με 22,4, αν και το $P \cdot V$ είναι σταθερό. Για να εξισωθεί το γινόμενο *P* επί *V* με 22,4, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί διαφορετική μάζα από το κάθε αέριο. Αυτό συμβαίνει επειδή τα σώματα που συνιστούν τα διάφορα αέρια έχουν διαφορετικές μάζες.

Στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, ίσοι όγκοι όλων των αερίων περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων. Η διαπίστωση αυτή ονομάζεται υπόθεση του Avogadro, αν και δεν είναι πια υπόθεση αλλά μια καλά θεμελιωμένη αρχή. Σε 22,4 λίτρα οποιουδήποτε αερίου στους 0°C και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας -που για το οξυγόνο ισοδυναμούν με 32,0 γραμμάρια- υπάρχουν 6,02 x 10^{23} σωματίδια. Ο αριθμός αυτός λέγεται αριθμός του Avogadro και ισούται εξ ορισμού με ένα mole του αερίου.

Τα σωματίδια που συνιστούν ένα αέριο ονομάζονται γενικά μόρια. Τα μόρια αποτελούνται από άτομα. Ένα mole αποτελείται από 6,02 x 10^{23} άτομα, μόρια ή άλλα σωματίδια.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Το γινόμενο $P \cdot V$ 40 γραμμαρίων ενός αερίου Α έδωσε μια σταθερά ίση με 10, ενώ το γινόμενο $P \cdot V$ 40 γραμμαρίων ενός αερίου Β έδωσε μια σταθερά ίση με 20. Ποια μάζα του αερίου Β θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί, ώστε να δώσει την ίδια σταθερά με αυτήν που έδωσε το αέριο Α;
2. Τι είναι ο αριθμός του Avogadro;
3. Να διατυπώσετε τον ορισμό του mole για οποιαδήποτε ουσία.

* *Σ.τ.Μ. = 2 x 6,02 x 10^{23}.*

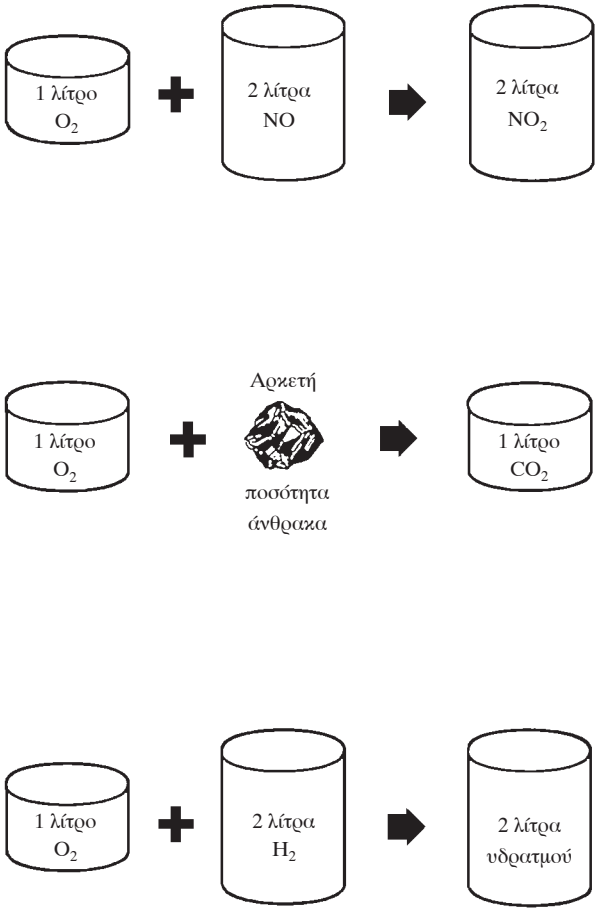
Αντιδράσεις σε αέρια φάση

5.12 Εφαρμογή της υποθέσεως του Avogadro σε αντιδράσεις αερίων.

Μερικά ζεύγη αερίων, όταν ανακατατευθούν μεταξύ τους, αλληλοαντιδρούν και σχηματίζουν νέα αέρια ή υγρές ή και στερεές ουσίες. Βέβαια, αυτό δεν σημαίνει ότι όλα τη ζεύγη των αερίων συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο. Για παράδειγμα, αν αναμιχθεί οξυγόνο με αμμωνία ή υδροχλώριο δεν γίνεται καμιά αντίδραση σε θερμοκρασία δωματίου. Τα μόρια αναμιγνύονται, αλλά τίποτα άλλο δεν συμβαίνει. Όμως, αν αναμιχθεί αμμωνία με υδροχλώριο, σχηματίζεται αμέσως μια λευκή σκόνη.

Ας υποθέσομε ότι ένα δοχείο που περιέχει υδροχλώριο σε μια ορισμένη πίεση συνδέεται με ένα άλλο δοχείο που περιέχει ίδιο όγκο αμμωνίας στην ίδια πίεση, και ότι ο σωλήνας που τα συνδέει ανοίγεται έτσι, ώστε να επιτραπεί η ανάμιξη των αερίων. Το λευκό στερεό σχηματίζεται αμέσως και η πίεση των αερίων πέφτει στο μηδέν.

Σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro, τα δύο δοχεία των αερίων πρέπει να περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων, γιατί είχαν τον ίδιο όγκο και πίεση και βρίσκονταν και τα δύο σε θερμοκρασία δωματίου. Το πείραμα έδειξε ότι ο αριθμός των μορίων της αμμωνίας ήταν όσος ακριβώς χρειαζόταν, για να αντιδράσει με όλα τα μόρια του υδροχλωρίου, αφού τίποτε δεν απέμεινε από τα αέρια που αντέδρασαν μεταξύ τους. Το προφανές συμπέρασμα είναι ότι το λευκό στερεό προϊόν αποτελείται από μόρια αμμωνίας και υδροχλωρίου σε ακριβώς ίσες αναλογίες, δηλαδή με λόγο 1 : 1.



ΣΧΗΜΑ 5-19. *Μετρήσιμοι όγκοι αερίων είναι δυνατόν να αντιδράσουν χημικώς και να σχηματίσουν μετρήσιμους όγκους προϊόντων.*

Υπάρχουν πολλές άλλες αντιδράσεις ανάμεσα σε αέρια ή ανάμεσα σε ένα αέριο και ένα υγρό ή στερεό, κατά τις οποίες καταναλίσκονται ή σχηματίζονται αέρια, με απλές ογκομετρικές αναλογίες. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα τα οποία περιγράφονται στο σχήμα 5-19.

1 λίτρο του αερίου οξυγόνου και 2 λίτρα του αερίου με το όνομα οξείδιο του αζώτου σχηματίζουν 2 λίτρα αερίου με το όνομα διοξείδιο του αζώτου.

1 λίτρο αερίου οξυγόνου καίει κάρβουνο (που αποτελείται κυρίως από άνθρακα) και σχηματίζει 1 λίτρο αερίου διοξειδίου του άνθρακα.

1 λίτρο αερίου οξυγόνου (στους 100°C) και 2 λίτρα αερίου υδρογόνου (στους 100°C) σχηματίζουν 2 λίτρα νερού (στους 100°C βρίσκεται με τη μορφή ατμού).

Με βάση την υπόθεση του Avogadro, όλα αυτά τα αποτελέσματα μας παρέχουν πληροφορίες, προκειμένου για ουσίες που βρίσκονται στην αέρια φάση, για το πόσα μόρια ενός είδους αντιδρούν με πόσα μόρια κάποιου δεύτερου είδους, ώστε να σχηματίσουν πόσα μόρια προϊόντος. Από το πρώτο παράδειγμα

συνάγεται ότι:

1 μόριο οξυγόνου αντιδρά με
2 μόρια οξειδίου του αζώτου και σχηματίζονται
2 μόρια διοξειδίου του αζώτου.

Ομοίως και από τα άλλα δύο παραδείγματα προκύπτουν εύκολα οι ακόλουθες εξισώσεις:

1 μόριο οξυγόνου αντιδρά με
κάρβουνο (κυρίως άνθρακα) και σχηματίζεται
1 μόριο διοξειδίου του άνθρακα
1 μόριο οξυγόνου αντιδρά με 2 μόρια υδρογόνου
και σχηματίζονται 2 μόρια νερού.

Τα προηγούμενα παραδείγματα περιγράφουν μια εξαιρετικά σημαντική ακολουθία συλλογισμών. Χωρίς να έχετε δει κάποιο μόριο, ή ακόμη χωρίς να έχετε καταβάλει την ελάχιστη προσπάθεια για να δείτε κάποιο μόριο, κατορθώσατε να προβλέψετε πόσα μόρια από το κάθε είδος πρέπει να συνδυασθούν, για να σχηματισθούν μόρια άλλων ειδών. Αν θέλετε να ακολουθήσετε αυτήν τη σημαντική σειρά συλλογισμών, είναι φυσικά απαραίτητο να μάθετε τα αποτελέσματα των αντιστοίχων πειραμάτων. Τα πειράματα που δίνουν αυτό το είδος αποτελεσμάτων περιλαμβάνουν τρία βασικά στάδια. Πρώτον, οι όγκοι των αερίων δειγμάτων που πρόκειται να αντιδράσουν προσδιορίζονται στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Στη συνέχεια, οι όγκοι των αερίων που έχουν μετρηθεί αναμιγνύονται έτσι, ώστε να είναι δυνατόν να αντιδράσουν. Τελικά πρέπει να προσδιορισθούν και οι όγκοι των αερίων προϊόντων, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση με αυτήν των αερίων που αντέδρασαν.

5.13 Η συντομογραφία των χημικών: Τύποι και εξισώσεις.

Στο σχήμα 5-19, ίσως θα παρατηρήσατε ότι τα δοχεία ήταν σημειωμένα με κάποιο κώδικα ή συντομογραφία. Για παράδειγμα, σε μια περίπτωση, υπήρχε κάτι που μπορούμε να το ξαναγράψομε εδώ παρακάτω, παραλείποντας τα σχέδια των δοχείων, όπως:

$$O_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O$$

Αυτό μας λέει ακριβώς τα ίδια με τη λεκτική διατύπωση που επιλέξαμε πιο πριν:

1 μόριο οξυγόνου αντιδρά με
2 μόρια υδρογόνου
και σχηματίζονται 2 μόρια νερού

Είναι φανερό ότι η λεκτική διατύπωση, ακόμη και αν γραφεί σε συνεχόμενες γραμμές, είναι εκτεταμένη και κουραστική. Η συνεπτυγμένη μορφή του κώδικα ή της συντομογραφίας αποτελεί και το κύριο πλεονέκτημα τους, αν και υπάρχουν και άλλα.

Τα χημικά σύμβολα, οι τύποι και οι εξισώσεις θα εξετασθούν με περισσότερες λεπτομέρειες λίγο παρακάτω, αλλά εν τω μεταξύ καλόν είναι να αρχίσετε να εξοικειώνεστε με αυτά. Η χρήση τους θα σας φανεί χρήσιμη στην παράγραφο που ακολουθεί.

Στην "κωδική διατύπωση", που παρουσιάσθηκε στην αρχή αυτής της παραγράφου, χρησιμοποιήθηκαν τα γράμματα Η και Ο, αριθμοί που προηγούνται στην ίδια σειρά με τα γράμματα και αριθμοί - δείκτες στο κάτω μέρος των γραμμάτων*. Τα γράμματα Η και Ο παριστάνουν αντίστοιχα άτομα υδρογόνου και οξυγόνου (άλλα σύμβολα που είδατε στο σχήμα 5-19, είναι Ν για τα άζωτο και C για τον άνθρακα).

Ένας δείκτης που ακολουθεί ένα γράμμα, δηλαδή ο αριθμός που είναι γραμμένος στο κάτω δεξιό μέρος του γράμματος, δηλώνει πόσα τέτοια άτομα, αν υπάρχουν περισσότερα από ένα, περιέχονται σε κάθε μόριο. Έτσι η κωδική μορφή ή ***χημικός τύπος*** για ένα μόριο νερού είναι H_2O. Αναφέρει ότι αυτό το μόριο περιέχει δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Ανάλογα, και το μόριο του οξυγόνου O_2 αλλά και αυτό του υδρογόνου H_2 περιέχουν δύο άτομα του ιδίου είδους.

Ο αριθμός που γράφεται μπροστά από τον τύπο ενός μορίου, δείχνει πόσα τέτοια μόρια συμμετέχουν στην αντίδραση. Αν υπάρχει ένα μόνο μόριο, τότε ο αριθμός 1 παραλείπεται.

Τελικά το σύνολο των τύπων που γράφονται με ένα σύμβολο προσθέσεως (+) ανάμεσά τους, και ένα βέλος [ή ίσως ένα ίσον (=)], δημιουργούν αυτό που αποκαλούμε ***εξίσωση***. Δηλώνει ότι μερικά μόρια συνενώνονται με κάποια άλλα, σε ορισμένες αναλογίες, για να

* *Σ.τ.Μ.* $2H_2 + O = 2H_2O$.

παράγουν επίσης κάποια άλλα, σε ορισμένες αναλογίες.

5.14 *Αντιδράσεις αερίων είναι δυνατόν να δώσουν πληροφορίες για τους μοριακούς τύπους.*

Συχνά είναι δυνατόν να πάρομε πληροφορίες για τον αριθμό των ατόμων που αποτελούν κάποια μόρια με προσεκτική ανάλυση των δεδομένων των αντιδράσεων που αφορούν αυτά τα αέρια. Για παράδειγμα, ο τύπος O_2 του μορίου του οξυγόνου (και όχι O ή O_3) δικαιολογείται με ένα παρόμοιο συλλογισμό. Ας εξετάσομε την αντίδραση του οξειδίου του αζώτου που είναι ένα άχρωμο αέριο, με ένα επίσης άχρωμο αέριο, το οξυγόνο. Η αντίδραση οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του αζώτου, ενός καστανοκόκκινου αερίου. Στην αντίδραση αυτή δύο μόρια οξειδίου του αζώτου αντιδρούν με ένα μόριο οξυγόνου και παράγουν δύο μόρια διοξειδίου του αζώτου.

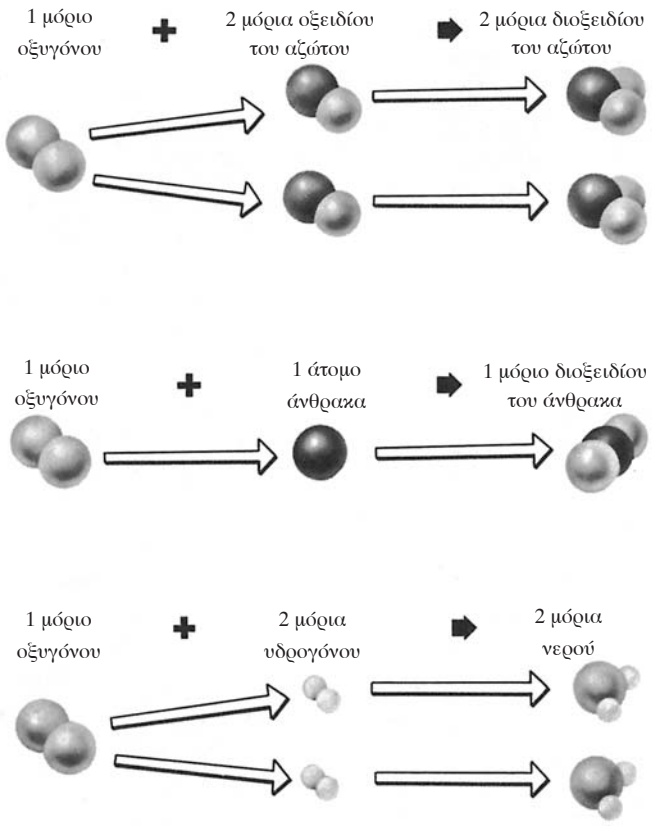
Ο συλλογισμός εφεξής είναι πολύ απλός. Όλα τα άτομα που υπάρχουν σε ένα μόριο οξυγόνου έχουν μοιρασθεί ανάμεσα στα δύο μόρια οξειδίου του αζώτου. Επειδή τα δύο μόρια οξειδίου του αζώτου είναι όμοια, θα έχουν πάρει και τα δύο ίσο αριθμό ατόμων από το μόριο του οξυγόνου. Συμπέρασμα: Το μόριο του οξυγόνου δεν είναι δυνατόν να περιέχει λιγότερα από δύο όμοια άτομα. Μπορεί να περιέχει 4,6,8 κλπ., αλλά δεν είναι δυνατόν να περιέχει 1,3,5, ή οποιονδήποτε άλλο μονό αριθμό ατόμων. Έτσι, η απλούστερη αποδεκτή δομή για ένα μόριο οξυγόνου είναι αυτή που περιέχει συνδεδεμένα δύο άτομα. Υπάρχουν και διάφορα άλλα δεδομένα που δείχνουν ότι αυτό το πολύ απλό (διατομικό) πρότυπο είναι σωστό.

Αφού μάθαμε ότι τα μόρια του υδρογόνου και του οξυγόνου είναι H_2 και O_2, αντίστοιχα, είναι δυνατόν να οδηγηθούμε στο μοριακό τύπο του μορίου του νερού από την αντίδραση, κατά την οποία αυτά τα δύο αέρια σχηματίζουν νερό.

Ας σκεφτούμε τώρα πώς θα γίνει αυτό. Αρχικά, αναμιγνύονται ακριβώς δύο όγκοι υδρογόνου με έναν όγκο οξυγόνου. Και οι δύο μετρήσεις των όγκων πρέπει βεβαίως να έχουν γίνει στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Στη συνέχεια, διοχετεύεται στο μίγμα ένας ηλεκτρικός σπινθήρας. Τα δύο αέρια δεν αντιδρούν, όταν απλά αναμιχθούν, όμως αντιδρούν βίαια μόλις επιδράσει πάνω τους μια ελάχιστη διαταραχή, όπως π.χ. ο σπινθήρας. Η αντίδραση είναι στιγμιαία και καταναλώνεται όλο το υδρογόνο και το οξυγόνο.

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει τη μέτρηση του όγκου του νερού που παράγεται από την αντίδραση. Πρέπει να μετατραπεί όλο σε αέριο αφού θερμανθεί πάνω από το σημείο βρασμού του, στους 100°C. Έτσι μετρείται ο όγκος του και συγκρίνεται με τον όγκο του υδρογόνου που μετρήθηκε πιο πριν (και οι δύο όγκοι πρέπει να μετρηθούν και να συγκριθούν στην ίδια θερμοκρασία και πίεση). Ο όγκος των ατμών του νερού που δημιουργήθηκε βρέθηκε ότι είναι ίσος με τον όγκο του υδρογόνου που αντέδρασε.

Το γεγονός αυτό, αν εκφρασθεί σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro, σημαίνει ότι το δύο μόρια υδρογόνου ενώνονται με ένα μόριο οξυγόνου και σχηματίζουν δύο μόρια νερού. Η μόνη ερμηνεία που είναι δυνατόν να δοθεί είναι ότι κάθε μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα



ΣΧΗΜΑ 5-20. *Αν είναι γνωστοί οι μοριακοί τύποι, τότε είναι εύκολο να περιγραφούν και οι διάφορες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα άτομα και τα μόρια. Αυτές που περιγράφονται εδώ καθιστούν σαφή τη λογική που οδήγησε στη δημιουργία των χημικών εξισώσεων.*

υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου. Δηλαδή ο μοριακός τύπος των μορίων του νερού είναι: H_2O. Η συνολική διαδικασία της συνδέσεως μορίων υδρογόνου με μόρια οξυγόνου για το σχηματισμό μορίων νερού, είναι δυνατόν να εκφρασθεί με σύμβολα από μια χημική εξίσωση, με την οποία έχετε κιόλας εξοικειωθεί από τα προηγούμενα.

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

Το σχήμα 5-20 δείχνει τις μοριακές παραστάσεις των αντιδράσεων που αναφέρθηκαν σε αυτήν την παράγραφο, καθώς και την αντίδραση του άνθρακα με το οξυγόνο, που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Μόλις πριν από λίγο διδαχθήκατε πώς είναι δυνατόν να φθάσετε σε κάποιο συμπέρασμα γύρω από τους μοριακούς τύπους με τη βοήθεια των πειραματικών αποτελεσμάτων. Αν και δεν έχομε εξετάσει ακόμη πώς καθορίζεται το σχήμα των μορίων, αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο μερικά μοριακά πρότυπα, για να σας βοηθήσουν να συνειδητοποιήσετε τι συμβαίνει. Το κεφάλαιο 15 είναι αφιερωμένο στη μελέτη του σχήματος των μορίων.

5.15 Απόδειξη του τύπου του οξειδίου του αζώτου.

Το άζωτο και το οξυγόνο συνδέονται, για να σχηματίσουν μερικές διαφορετικές ενώσεις, που ονομάζονται οξείδια του αζώτου. Δύο από αυτά είναι το NO και το NO_2, που ονομάζονται αντίστοιχα οξείδιο (ή μονοξείδιο του αζώτου) και διοξείδιο του αζώτου. Έχει βρεθεί ότι το αέριο με το όνομα διοξείδιο του αζώτου είναι πρακτικά μίγμα δύο ειδών μορίων, του NO_2 και του N_2O_4. Σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας τα περισσότερα μόρια σε ένα δείγμα διοξειδίου του αζώτου είναι στην πραγματικότητα μόρια N_2O_4. Δημιουργείται το ερώτημα: Άραγε συμβαίνει κάτι ανάλογο και για το οξείδιο του αζώτου (NO); Το οξείδιο του αζώτου αποτελείται πράγματι από μόρια NO μόνο ή από μόρια N_2O_2; Μήπως είναι μίγμα από μόρια NO και N_2O_2;

Πριν εκατό περίπου χρόνια, μερικοί χημικοί, για λόγους που δεν μας ενδιαφέρουν πια, νόμιζαν ότι τα μόρια του οξειδίου του αζώτου είχαν τον τύπο N_2O_2 και όχι NO.

Το ερώτημα ποιος από τους δύο τύπους ήταν ο σωστός δεν έμεινε για πολύ καιρό αναπάντητο, από τη στιγμή που κάποιος γνώριζε και αποδεχόταν την υπόθεση του Avogadro. Βέβαια, ενώ η υπόθεση του Avogadro είχε διατυπωθεί νωρίτερα, το 1811, πολλοί ήταν εκείνοι που δεν την παραδέχθηκαν παρά πενήντα χρόνια αργότερα. Ακόμη μέχρι το 1899 υπήρχαν βιβλία χημείας γραμμένα από πολύ γνωστούς χημικούς, στα οποία αναφερόταν ως τύπος του οξειδίου του αζώτου ο N_2O_2. Με την υπόθεση του Avogardo και με τη διεξαγωγή ενός απλού πειράματος είναι δυνατόν να αποδειχθεί ότι αυτή η άποψη είναι λανθασμένη και ότι ο σωστός τύπος πρέπει να είναι NO. Ας εξετάσομε πώς γίνεται αυτό.

Το πείραμα διεξάγεται πολύ εύκολα, για τους λόγους που αναφέρονται αμέσως πιο κάτω (1). Το οξείδιο του αζώτου και το οξυγόνο είναι ελάχιστα διαλυτά στο νερό. Έτσι μπορούν να συλλεγούν και να αποθηκευθούν στο νερό (2). Το οξείδιο του αζώτου και το οξυγόνο αντιδρούν ταχύτατα και παράγουν διοξείδιο του αζώτου ($NO_2 + N_2O_4$). (3) Το διοξείδιο του αζώτου είναι πολύ διαλυτό στο νερό.

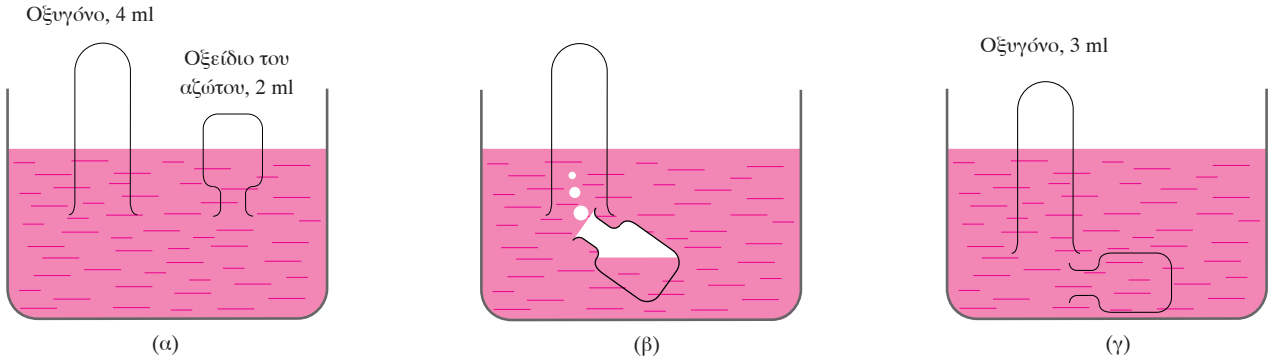
Το πείραμα συνίσταται στην αντίδραση γνωστού όγκου οξειδίου του αζώτου με μεγαλύτερο, γνωστό όγκο οξυγόνου. Ο όγκος του οξυγόνου, που περισσεύει από την αντίδραση, είναι δυνατόν στη συνέχεια να μετρηθεί και από αυτόν να υπολογισθεί ο όγκος του οξυγόνου που αντέδρασε (σχ. 5-21).

Το πείραμα δείχνει ότι ορισμένος όγκος οξειδίου του αζώτου αντιδρά με τον μισό από αυτόν όγκο οξυγόνου. Ας εξετάσομε τώρα τις δύο δυνατότητες, που υπάρχουν ανάλογα με το ποιον θεωρούμε ως σωστό τύπο του οξειδίου του αζώτου.

Περίπτωση 1: $2NO + O_2 = 2NO_2$ (που έχει διαλυθεί)
Περίπτωση 2: $N_2O_2 + O_2 = 2NO_2$ (που έχει διαλυθεί)

Περίληψη.

Συχνά είναι δυνατόν, αν μετρηθούν οι σχετικοί όγκοι αερίων που συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, να προβλέψουμε πόσα μόρια από το κάθε είδος παίρνουν μέρος στην κάθε αντίδραση. Είναι επίσης δυνατόν να πληροφορηθούμε πόσα άτομα υπάρχουν σε κάθε τύπο μορίου. Τα μόρια



ΣΧΗΜΑ 5-21. *(α) Στην ίδια θερμοκρασία και πίεση συλλέγονται πάνω από νερό, 4 ml οξυγόνου και 2 ml οξειδίου του αζώτου. (β) Το οξείδιο του αζώτου μεταφέρεται στο μεγαλύτερο σωλήνα, όπου και αντιδρά με το οξυγόνο. (γ) Μετά την αντίδραση έχουν περισσέψει 3 ml οξυγόνου.*

παριστάνονται και με συντομογραφία, όπως το H_2O για το μόριο του νερού. Οι αντιδράσεις είναι δυνατόν να παρασταθούν και με εξισώσεις, όπως:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Αυτό σημαίνει ότι δύο μόρια υδρογόνου, H_2, αντιδρούν με ένα μόριο οξυγόνου, O_2 και σχηματίζονται δύο μόρια νερού, H_2O.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς ξέρετε ότι ο πιο απλός τύπος για το οξυγόνο είναι O_2;
2. Γράψτε τη χημική εξίσωση σχηματισμού του νερού, από τα αέρια υδρογόνο και οξυγόνο.
3. Το μόριο της αμμωνίας αποτελείται από ένα άτομο αζώτου, N, και τρία άτομα υδρογόνου, H. Γράψτε το μοριακό τύπο της αμμωνίας.

Περίληψη κεφαλαίου

Πολύ απλές, καθημερινές παρατηρήσεις, όπως είναι η διαδικασία κατά την οποία φουσκώνομε ένα μπαλόνι και η συμπεριφορά που εμφανίζουν οι μπάλες του μπιλιάρδου πάνω στο τραπέζι του μπιλιάρδου, μας οδηγούν να πιστεύομε ότι είναι δυνατόν να εξηγήσομε τις ιδιότητες των αερίων με τη βοήθεια ενός προτύπου. Σύμφωνα με το πρότυπο, τα αέρια αποτελούνται από μικροσκοπικά αόρατα σωματίδια, που ονομάζονται μόρια. Αυτά κινούνται πολύ γρήγορα και συγκρούονται ελαστικά με τα τοιχώματα του δοχείου που τα περιέχει. Αυτές οι συγκρούσεις προκαλούν την πίεση που ασκείται από ένα αέριο.

Η πίεση ορίζεται ως η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Χρήσιμες μονάδες πιέσεως είναι η ατμόσφαιρα και το Torr. Αυτές ισοδυναμούν με τις πιέσεις που ασκούνται από στήλες υδραργύρου ύψους 760 και 1 χιλιοστού του μέτρου αντίστοιχα. Οι πιέσεις των αερίων μετρούνται με συσκευές που ονομάζονται μανόμετρα και βαρόμετρα.

Ο νόμος του Boyle ορίζει ότι, για ορισμένη ποσότητα αερίου και σε σταθερή θερμοκρασία, το γινόμενο της πιέσεως επί τον όγκο, P x V, είναι σταθερό.

Το μοριακό πρότυπο συμφωνεί με όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά των αερίων και ταυτόχρονα βοηθά στην εξήγηση της σχέσεως πιέσεως - όγκου.

Η υπόθεση του Avogadro ορίζει ότι ίσοι όγκοι αερίων στην ίδια πίεση και θερμοκρασία περιέχουν ίσους αριθμούς μορίων. Ένα mole ενός αερίου περιέχει 6,02 x 10^{23} άτομα ή μόρια. Ο αριθμός αυτός είναι γνωστός ως αριθμός του Avogadro.

Από τη συμπεριφορά των αερίων έχομε οδηγηθεί στο συμπέρασμα ότι μόρια διαφορετικών αερίων έχουν και διαφορετικές μάζες. Με τη μελέτη των σχετικών όγκων των αερίων που καταναλώνονται (ή παράγονται) σε μια χημική αντίδραση, οι χημικοί μπορούν να προσδιορίσουν πόσα μόρια από το κάθε είδος παίρνουν μέρος στην αντίδραση.

Για να γράψομε τη σύσταση των μορίων, όσον

αφορά στα άτομα που περιέχουν, υπάρχει μια συντομογραφία, όπως π.χ. O_2, H_2, H_2O και NH_3 για τα μόρια του οξυγόνου, του υδρογόνου, του νερού και της αμμωνίας αντίστοιχα. Οι αντιδράσεις με τις οποίες συνενώνονται τα αέρια και παράγουν νέα μόρια, μπορούν να εκφρασθούν κατά συνεπτυγμένο τρόπο με τη βοήθεια αυτών των συμβόλων και να γραφούν χημικές εξισώσεις. Για παράδειγμα, η αντίδραση του οξειδίου του αζώτου, NO, με το οξυγόνο, O_2, για την παραγωγή διοξειδίου του αζώτου, NO_2, γράφεται ως εξής:

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Τα μπαλόνια που χρησιμοποιούνται στις μετεωρολογικές μελέτες έχουν πολύ μεγάλη χωρητικότητα. Όταν ελευθερώνονται στην επιφάνεια της γης, περιέχουν ένα σχετικά μικρό όγκο αερίου σε σχέση με αυτόν που αποκτούν όταν βρεθούν ψηλά. Εξηγήστε γιατί συμβαίνει αυτό.
2. Υποθέστε ότι έχετε δύο όμοια μπαλόνια. Στο επίπεδο της θάλασσας φουσκώνονται και τα δύο με υδρογόνο. Το ένα μπαλόνι έχει φουσκώσει έτσι, ώστε ο όγκος του να είναι τριπλάσιος από του άλλου. Ποια σχέση θα υπάρχει ανάμεσα στους όγκους αυτών των μπαλονιών, όταν θα φθάσουν σε ύψος 10.000 μέτρων; Εξηγήστε.
3. Το μεθάνιο, CH_4, και το οξυγόνο, O_2, έχουν την ιδιότητα να αντιδρούν, όταν βρεθούν μέσα σε ένα μεταλλικό σφραγισμένο δοχείο. Στις συνθήκες που γίνεται η αντίδραση, τα προϊόντα είναι υδρογόνο, H_2, και διοξείδιο του άνθρακα, CO_2. Γράψτε την εξίσωση για την αντίδραση.
4. Με τη βοήθεια της εξισώσεως που γράψατε στην ερώτηση 3, να βρείτε αν η πίεση μέσα στο δοχείο αλλάζει, και αν ναι, πόσο.
5. Υποθέστε ότι έχετε δύο κλειστά δοχεία του ιδίου όγκου. Το ένα είναι γεμάτο με αέριο υδρογόνο, το άλλο με αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Και τα δύο έχουν θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας.
   (α) Ποια σχέση έχουν, όταν συγκριθούν, οι αριθμοί των moles των δύο αερίων;
   (β) Ποια σχέση έχουν, όταν συγκριθούν, οι αριθμοί των μορίων των δύο αερίων;
6. Στον κενό θάλαμο ενός μανομέτρου κλειστού άκρου, σαν αυτό που φαίνεται στο σχήμα 5-5α, προστίθεται αργά αέριο. Σχεδιάστε μια εικόνα του μανομέτρου, η οποία να δείχνει σε χιλιοστά του μέτρου τη διαφορά ύψους που θα έχουν οι δύο στήλες του υδραργύρου.
   (α) Πριν προστεθεί αέριο στον άδειο θάλαμο.
   (β) Όταν η πίεση του αερίου στο θάλαμο είναι 300 Torr.
   (γ) Όταν η πίεση του αερίου στο θάλαμο είναι 760 Torr.
   (δ) Όταν η πίεση του αερίου στο θάλαμο είναι 865 Torr.
7. Επαναλάβατε την ερώτηση 6(β), χρησιμοποιώντας όμως ένα μανόμετρο ανοικτού άκρου, σαν αυτό που υπάρχει στο σχήμα 5-5γ. Υποθέσατε ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 760 Torr.
8. Το αέριο διοξείδιο του θείου ενώνεται με οξυγόνο και σχηματίζει αέριο τριοξείδιο του θείου, όπως περιγράφεται πιο κάτω.

   $$2SO_2\ (\text{αέριο}) + O_2\ (\text{αέριο}) \rightarrow 2SO_3\ (\text{αέριο})$$

   Ποια τιμή περιμένετε να έχει καθένα από τα κλάσματα που ακολουθούν;

   (α) $$P \times V = 22{,}4\ \frac{\text{lit x atm}}{\text{mole}}$$

   (β) $$\frac{1240\ \text{γραμ.}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 395\ \text{g/cm}^2$$

9. Το αέριο άζωτο ενώνεται με αέριο υδρογόνο και σχηματίζεται αέρια αμμωνία ως εξής:

   $$N_2\ (\text{αέριο}) + 3H_2\ (\text{αέριο}) \rightarrow 2NH_3\ (\text{αέριο})$$

   Ποια αναλογία νομίζετε ότι θα υπάρχει σε καθένα από τα κλάσματα που ακολουθούν;

   (α) $$\frac{1240\ \text{γραμ.}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 395\ \text{g/cm}^2$$

   (β) $$\frac{1240\ \text{γραμ.}}{3{,}14\ \text{cm}^2} = 395\ \text{g/cm}^2$$

10. Ένα λίτρο αερίου υδρογόνου αντιδρά με ένα λίτρο αερίου χλωρίου και σχηματίζονται δύο λίτρα αερίου υδροχλωρίου. Όλοι οι όγκοι προσδιορίσθηκαν στην ίδια θερμοκρασία και

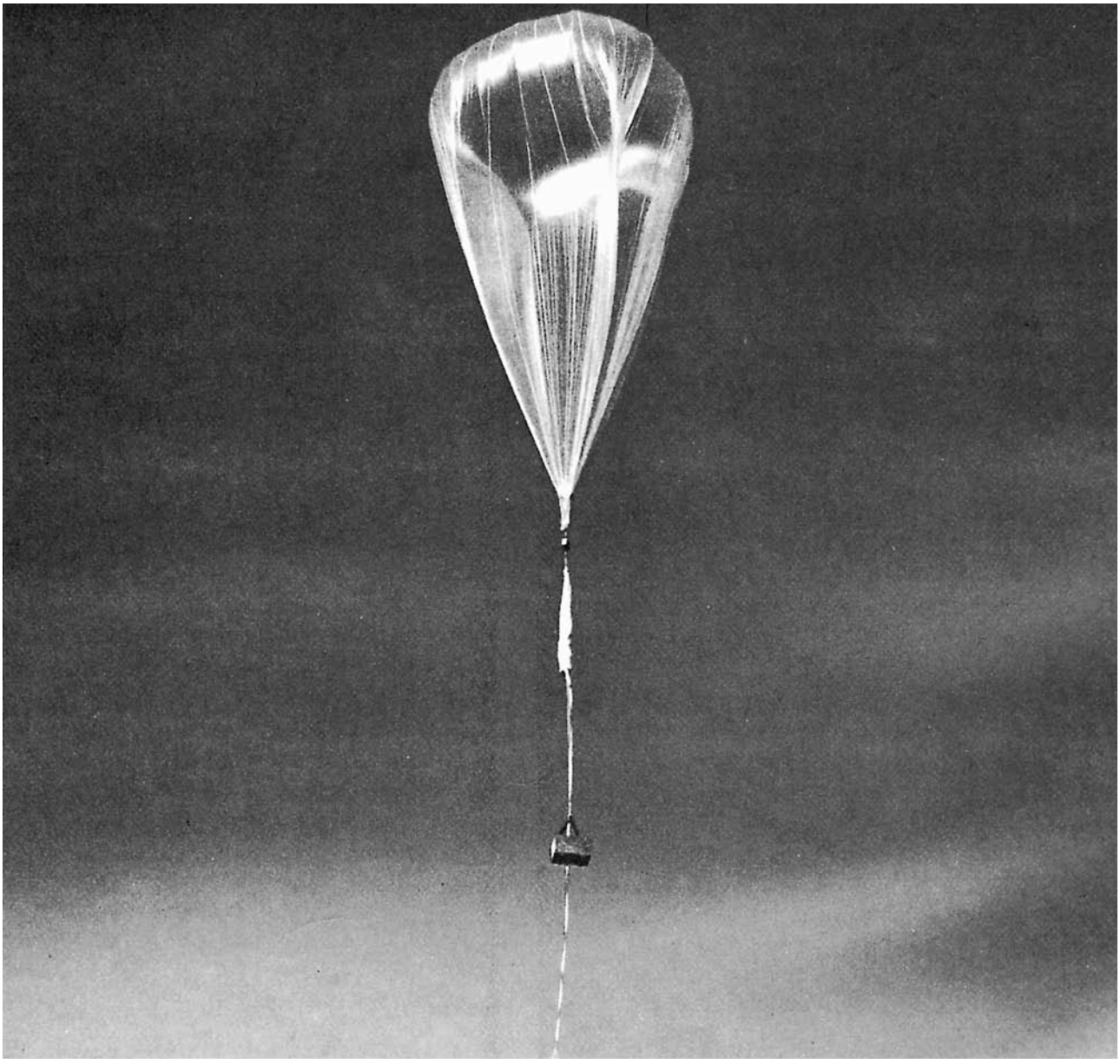
πίεση. Από αυτήν την πληροφορία να δείξετε πόσα άτομα περιέχονται στο μόριο του υδρογόνου και πόσα στο μόριο του χλωρίου.

11. Τέσσερα λίτρα ενός αερίου περιέχονται μέσα σε έναν κύλινδρο, σε θερμοκρασία 15°C και πίεση 300 Torr. Ενώ η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, ένα έμβολο αρχίζει να κινείται μέσα στον κύλινδρο και μειώνει τον όγκο του σε τρία λίτρα. Ποια είναι η πίεση που υπάρχει σε αυτόν το νέο όγκο;
12. Ας υποθέσομε ότι στο λάστιχο ενός αυτοκινήτου υπάρχει μια συνολική πίεση ίση με 2 Atm (περίπου 30 lbs/in^2) και ότι θέλομε να την αυξήσομε σε 2,7 Atm (περίπου 40 lbs/in^2)*. Πόσο θα μεταβληθεί η ποσότητα του αέρα που περιέχεται στο λάστιχο; Θεωρήστε ότι η θερμοκρασία και ο όγκος του λάστιχου παραμένουν αμετάβλητα.
13. Η πυκνότητα του υδραργύρου σε θερμοκρασία δωματίου είναι 13,6 g/ml, ενώ του νερού είναι 1,0 g/ml. Πόσο υψηλή πρέπει να είναι μια στήλη νερού για να ασκήσει πίεση μιας ατμόσφαιρας; Εκφράστε την απάντησή σας σε χιλιοστά του μέτρου.
14. Αν με 80 g μιας ουσίας, που έχει πυκνότητα 10 g/ml, κατασκευάσομε ένα κύβο, ποια πίεση σε g/ml, θα ασκεί αυτός ο κύβος πάνω στην επιφάνεια που τον υποβαστάζει;
15. Υποθέστε ότι έχετε δύο μανόμετρα, ένα κλειστού άκρου και ένα ανοικτού, τα οποία είναι συνδεδεμένα ταυτόχρονα με ένα μπαλόνι, που περιέχει αέριο. Αυτό με το κλειστό άκρο δείχνει ότι μέσα στο μπαλόνι υπάρχει πίεση 430 Torr. Ποια θα είναι η διαφορά ανάμεσα στις δύο στήλες του υδραργύρου στο μανόμετρο ανοικτού άκρου, αν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 750 Torr;
16. Ένα δείγμα αγνώστου αερίου με όγκο 11,2 λίτρα σε 0°C και πίεση 1 ατμόσφαιρας, έχει μάζα ίση με αυτήν που έχουν 22,4 λίτρα οξυγόνου στις ίδιες συνθήκες.
    (α) Ποιος είναι ο λόγος που έχουν οι μάζες των μορίων του αγνώστου αερίου προς τις μάζες των μορίων του οξυγόνου;
    (β) Πόσα moles του αγνώστου αερίου περιέχονται στον παραπάνω όγκο;
17. Ένα ορισμένο αέριο συμβολίζεται με X_n όπου το n συμβολίζει τον αριθμό των ατόμων του στοιχείου X που περιέχονται σε ένα μόριο. Είναι γνωστό ότι 6,02 x 10^{23} άτομα του στοιχείου X έχουν μάζα ίση με 35,5 γραμμάρια. Αν 11,2 λίτρα του X_n στους 0°C και σε πίεση 1 ατμόσφαιρας έχουν επίσης μάζα ίση με 35,5 γραμμάρια, τότε ποια θα

* *Σ.τ.Μ. 1 lb*/in^2 *= 0,068 Atm.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Περισσότερες γνώσεις σχετικά με το μοριακό πρότυπο των αερίων



Οι επιστήμονες μελετούν τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας στέλνοντας εκεί ψηλά ειδικά αερόστατα, που μεταφέρουν διάφορες συσκευές.

Το μοριακό πρότυπο των αερίων αποδείχθηκε χρήσιμο στην προσπάθεια να κατανοήσομε τη σχέση ανάμεσα στην πίεση και τον όγκο μιας ορισμένης ποσότητας ενός αερίου. Η νομοτέλεια αυτή την οποία ονομάσαμε νόμο του Boyle, εκφράζει ποσοτικά αυτήν τη σχέση ανάμεσα σε πίεση και όγκο και συμφωνεί με αυτό το πρότυπο. Με τη βοήθεια της υποθέσεως του Avogadro, μπορούμε να προσδιορίσομε τις σχετικές μάζες των μορίων, αν έχομε προηγουμένως μετρήσει την πίεση και τον όγκο τους. Υπάρχουν όμως μερικά ακόμα βασικά ερωτήματα σχετικά με τη συμπεριφορά των αερίων και με τη δυνατότητα να εξηγηθεί η συμπεριφορά αυτή με τη βοήθεια του μοριακού προτύπου. Δεν έχει ακόμη αναφερθεί τίποτα σχετικά με την πραγματική μάζα των μορίων, τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε πίεση και όγκο προκειμένου για μίγμα αερίων, καθώς και την επίδραση της θερμοκρασίας πάνω στην πίεση και τον όγκο ενός αερίου. Αυτά ακριβώς τα θεμελιώδη προβλήματα εξετάζονται σε αυτό το

Τα άτομα και τα μόρια έχουν καθορισμένες μάζες

6.1 Ο προσδιορισμός των μολαρικών (ατομικών ή μοριακών) μαζών.

Στο κεφάλαιο 5 έγινε εισαγωγή στην έννοια του mole. Ορίσθηκε ως 6,02 x 10^{23} μόρια, άτομα ή άλλα μικρά σωματίδια. Ορίσθηκε επίσης ότι ένα mole οξυγόνου ισούται με 32,0 γραμμάρια οξυγόνου. Με τη βοήθεια αυτών των δύο δεδομένων, μπορεί να υπολογισθεί εύκολα η μάζα ενός μορίου οξυγόνου.

$$\frac{32{,}0\ \text{g / mole } O_2}{6{,}02 \times 10^{23}\ \text{μόρια / mole } O_2} = 5{,}32 \times 10^{-23}\ \text{g /μόριο}$$

Για πρακτικές εφαρμογές, αυτός ο αριθμός δεν είναι ούτε εύχρηστος ούτε και χρήσιμος. Η πραγματική μάζα ενός μορίου, όπως φαίνεται από τους παραπάνω υπολογισμούς, είναι παρά πολύ μικρή για να μετρηθεί κατευθείαν. Είναι πολύ πιο χρήσιμο για ένα χημικό να χρησιμοποιεί μια μονάδα μάζας που να είναι δυνατόν να μετρηθεί με ένα εργαστηριακό ζυγό*, και η οποία να αντιστοιχεί στο μεγάλο αριθμό μορίων με τον οποίο ασχολείται συνήθως κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων του. Έτσι κρίθηκε πρακτικότερο να χρησιμοποιούνται μάζες μετρημένες σε moles παρά οι απόλυτες μάζες του καθενός ατόμου ή μορίου.

Η μάζα ενός mole μιας ουσίας λέγεται ***μολαρική μάζα*** της ουσίας αυτής. Η μολαρική μάζα μιας ουσίας ισούται με τη μάζα των 6,02 x 10^{23} ατόμων, μορίων ή άλλων σωματιδίων**. Για παράδειγμα η μολαρική μάζα μιας ουσίας που αποτελείται από άτομα (όπως είναι το αέριο αργόν) είναι ίση με τη μάζα 6,02 x 10^{23} ατόμων***. Ομοίως η μολαρική μάζα μιας ουσίας που αποτελείται από μόρια (όπως το αέριο οξυγόνο) είναι ίση με τη μάζα των 6,02 x 10^{23} μορίων του****.

Θα πρέπει να σημειώσετε ότι συχνά οι χημικοί, όταν αναφέρονται στη μάζα ενός mole ατόμων, την ονομάζουν "ατομική μάζα" ή και "ατομικό βάρος" της ουσίας. Κατ' αναλογία και τη μάζα ενός mole μορίων την ονομάζουν "μοριακή μάζα" ή "μοριακό βάρος". Οι ονομασίες αυτές, αν θέλομε να κυριολεκτήσομε, έχουν την έννοια της μάζας του καθενός ατόμου ή μορίου ξεχωριστά, αν και οι χημικοί δεν τις χρησιμοποιούν συνήθως για να περιγράψουν κάτι τέτοιο. Αντίθετα, με τον όρο "μολαρική μάζα" περιγράφεται με περισσότερη ακρίβεια η μάζα του ενός mole, και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί είτε για άτομα, είτε για μόρια. Σε αυτό το βιβλίο θα χρησιμοποιούμε και αυτόν τον όρο.

Η μάζα ενός γραμμομορίου αερίου οξυγόνου είναι 32,0 g. Αυτή είναι η γραμμομοριακή του μάζα. Η μάζα οποιουδήποτε άλλου αερίου που καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο με τον όγκο που

---

* *Σ.τ.Μ. Του οποίου η ακρίβεια δεν ξεπερνά συνήθως τα 10^{-6} g.*

** *Σ.τ.Μ. Βλέπε και σημείωση στην παράγραφο 5.11.*

*** *Σ.τ.Μ. Και λέγεται γραμμοάτομο.*

**** *Σ.τ.Μ. Και λέγεται γραμμομόριο.*

καταλαμβάνουν τα 32,0 g οξυγόνου, στην ίδια πίεση και θερμοκρασία, είναι η γραμμομοριακή μάζα του αερίου αυτού.

Επειδή ένας όγκος αερίου υδροχλωρίου, που είναι ίσος με τον όγκο των 32,0 g αερίου οξυγόνου στην ίδια πίεση και θερμοκρασία, έχει μάζα 36,5 g, γι' αυτό η γραμμομοριακή μάζα* του υδροχλωρίου θα είναι 36,5 g. Κατ' αναλογία και η γραμμομοριακή μάζα της αμμωνίας είναι 17,0 g.

Πειραματικά προσδιορίζεται ότι ένα γραμμομόριο αερίου υδρογόνου έχει μάζα 2,0 g. Επειδή το μόριο του υδρογόνου περιέχει δύο άτομα, η μάζα ενός γραμμοατόμου υδρογόνου είναι 2,0/2 = 1,0. Επίσης, η μάζα ενός γραμμοατόμου οξυγόνου θα είναι ίση με το μισό της γραμμομοριακής μάζα του, 32,0/2 = 16,0.

Η γραμμομοριακή μάζα του νερού είναι δυνατόν να υπολογισθεί απλά, αν προστεθούν οι γραμμοατομικές μάζες των ατόμων που αποτελούν το μόριό του, όπως παρακάτω.

2 x γραμμοατομική μάζα των ατόμων του	H = 2 x 1,0 =	2,0
1 x γραμμοατομική μάζα των ατόμων του	O = 1 x 16,0 =	16,0
		18,0

Αυτό σημαίνει ότι ένα γραμμομόριο νερού είναι ίσο με 18,0 g νερού.

Οι μάζες όλων των γνωστών ειδών ατόμων έχουν μετρηθεί και εκφρασθεί με τη βοήθεια της μονάδας που εκφράζεται ως γραμμάρια ανά mole ατόμων, δηλαδή της μολαρικής (ή γραμμοατομικής) μάζας. Σε πολλές περιπτώσεις αυτές οι μάζες έχουν προσδιορισθεί με μεγάλη ακρίβεια. Για παράδειγμα, η μολαρική (γραμμομοριακή) μάζα του μέσου όρου των ατόμων οξυγόνου που έχει βρεθεί στη φύση είναι 15,9994**. Για τους σκοπούς αυτού του βιβλίου όμως είναι αρκετή η στρογγυλευμένη τιμή 16,0. Στο τέλος αυτού του βιβλίου, καθώς και στο Παράρτημα 3, υπάρχουν πίνακες, που δίνουν τις μολαρικές/γραμμοατομικές μάζες όλων των ατόμων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Εκεί μπορείτε να βρείτε για παράδειγμα ότι η μέση μολαρική/γραμμοατομική μάζα των ατόμων του άνθρακα που απαντούν στη φύση είναι 12,01. Αν το στρογγυλέψομε για τους υπολογισμούς μας στο ένα δεκαδικό ψηφίο, γίνεται 12,0.

Το παράδειγμα που ακολουθεί δείχνει πώς να χρησιμοποιείτε τον πίνακα, για να προσδιορίζετε τη γραμμομοριακή μάζα μιας ουσίας, όταν γνωρίζετε το μοριακό τύπο της. Η ουσία που πρόκειται να εξετασθεί είναι το αέριο διοξείδιο του άνθρακα (πρόκειται για το προϊόν καύσεως που ανιχνεύσατε στο πείραμα της παραγράφου 1.13).

Παράδειγμα.

Έχει βρεθεί ότι το αέριο διοξείδιο του άνθρακα αποτελείται από μόρια CO_2. Δηλαδή, κάθε μόριο περιέχει ένα άτομο άνθρακα και δύο άτομα οξυγόνου. Ποια είναι η γραμμομοριακή του μάζα;

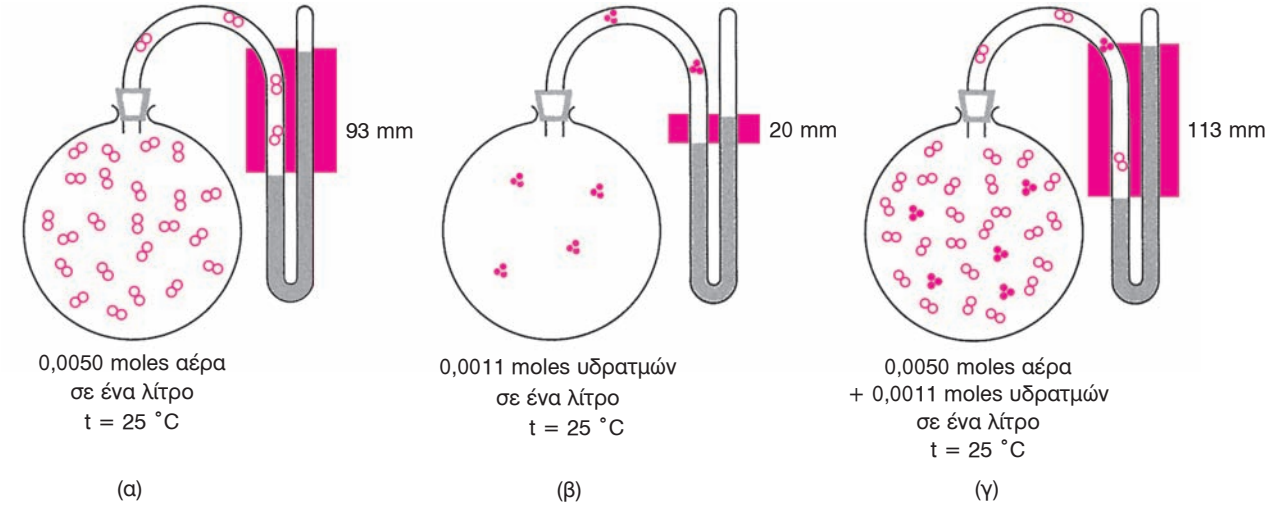
1 x μολαρική/γραμμοατομική μάζα του άνθρακα	(C) = 1 x 12,0 =	12,0
2 x μολαρική/γραμμοατομική μάζα του οξυγόνου	(O) = 2 x 16,0 =	32,0
Μολαρική/γραμμομοριακή μάζα του CO_2		44,0

6.2 Πίεση ενός μίγματος αερίων. Μερικές πιέσεις.

Έως τώρα μελετήσαμε τη συμπεριφορά καθαρών αερίων, δηλαδή αερίων, στα οποία όλα τα μόρια που υπάρχουν είναι όμοια. Πώς θα συμπεριφέρεται ένα μίγμα αερίων; Προσέξτε την πειραματική διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 6-1, η οποία δείχνει τρεις σφαιρικές φιάλες του ενός λίτρου στους 25°C. Η πρώτη περιέχει 0,0050 mol αέρα και έχει πίεση, σύμφωνα με την ένδειξη του μανομέτρου της, 93 Torr. Η δεύτερη περιέχει 0,0011 mol υδρατμών που ασκούν πίεση 20 Torr. Η τρίτη σφαιρική φιάλη περιέχει 0,0050 mol αέρα και 0,0011 mol υδρατμών. Το μανόμετρο αυτής της φιάλης δείχνει πίεση 113 Torr. Προκύπτει λοιπόν ότι η πίεση που ασκείται από το μίγμα των αερίων, είναι ίση με το άθροισμα των πιέσεων που ασκεί κάθε αέριο, όταν βρίσκεται μόνο του μέσα στο σφαιρικό δοχείο. Αυτό εκφράζεται και με την εξίσωση που ακολουθεί, όπου με P_T παριστάνομε τη συνολική πίεση. Τα P_1 και P_2 παριστάνουν τις

* *Σ.τ.Μ. Η ποσότητα αυτή συνήθως (στην ελληνική βιβλιογραφία) ονομάζεται ατομική μάζα ή ατομικό βάρος. Δεν γίνεται δηλαδή διάκριση μεταξύ μάζας και βάρους.*

** *Σ.τ.Μ. Για να ισχύει αυτό, θα πρέπει τα στοιχειώδη σωματίδια που την αποτελούν να βρίσκονται με τη μορφή μορίων.*



ΣΧΗΜΑ 6-1. *Το πείραμα αυτό δείχνει την προσθετική ιδιότητα των μερικών πιέσεων. Η συνολική πίεση ισούται με το άθροισμα των μερικών πιέσεων.*

πιέσεις που ασκούνται από τον αέρα και το νερό αντίστοιχα, όταν βρίσκεται το καθένα μόνο του μέσα στο δοχείο.

$$P_T = P_1 + P_2$$

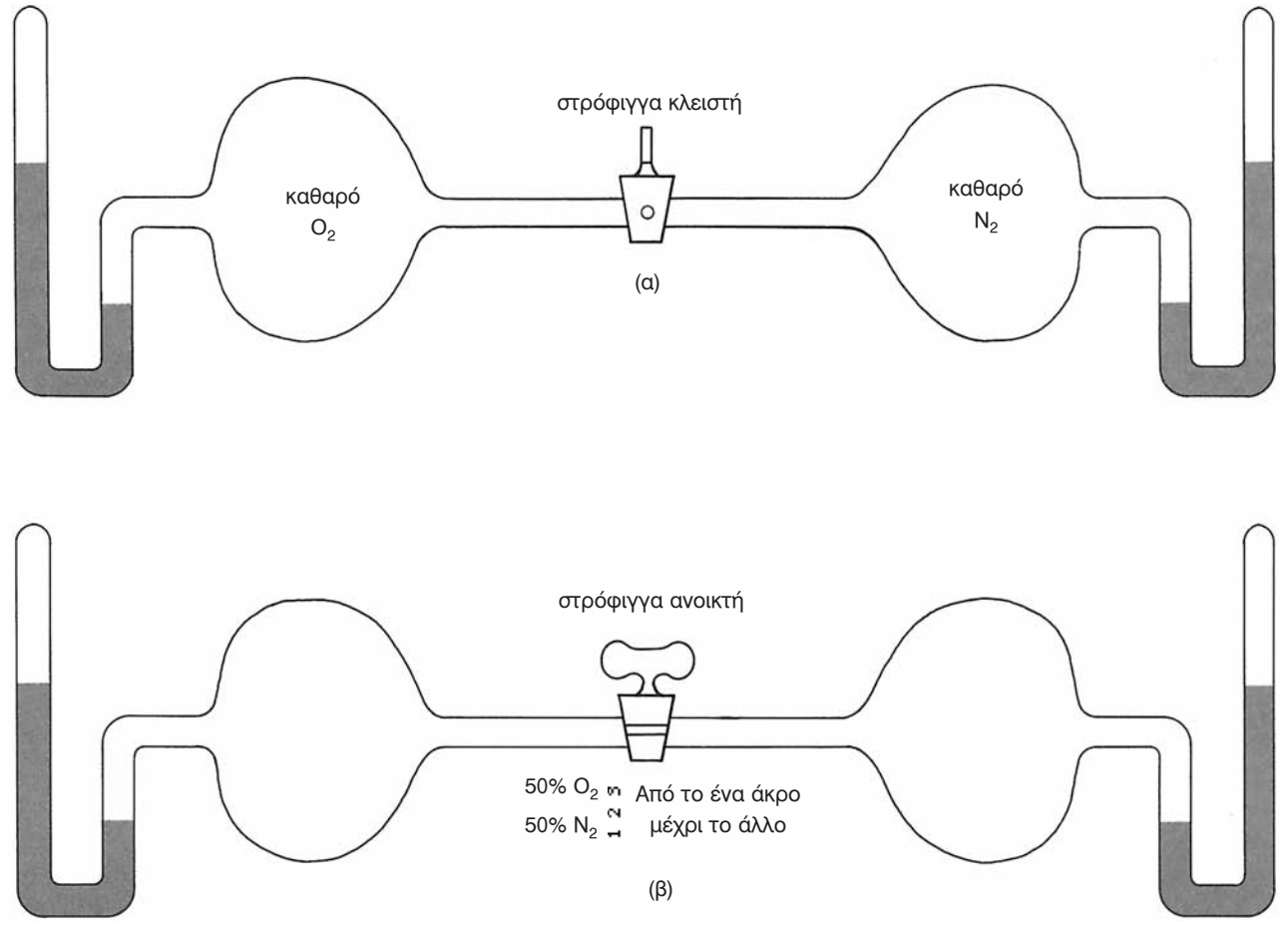
113 Torr = 93 Torr + 20 Torr

Η συμμετοχή στην πίεση που οφείλεται στην παρουσία του καθενός αερίου του μίγματος (στο προηγούμενο παράδειγμα P_1 και P_2) ονομάζεται ***μερική πίεση*** του αερίου αυτού. Είναι ίδια με την πίεση που θα ασκούσε το αέριο, αν βρισκόταν μόνο του στο ίδιο δοχείο και στην ίδια θερμοκρασία. Στο παράδειγμα αυτό, η συνολική πίεση είναι 113 Torr και η μερική πίεση των υδρατμών 20 Torr.

Η συμπεριφορά της πιέσεως ενός μίγματος αερίων, από τα οποία το καθένα εξασκεί τη δική του πίεση ανεξάρτητα από τα άλλα, συμφωνεί και με την κινητική θεωρία των αερίων. Καθώς κινούνται με μεγάλη ταχύτητα μέσα στο δοχείο τα διαφορετικά είδη των μορίων συγκρούονται τυχαία μεταξύ τους. Οι συγκρούσεις είναι ελαστικές και τα σωματίδια εξακολουθούν την πορεία τους ενώ συγκρούονται συμπτωματικά και με τα τοιχώματα του δοχείου δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο την πίεση. Έτσι, η μέση πίεση είναι ίδια σαν να μην υπάρχουν συγκρούσεις ανάμεσα στα διαφορετικά είδη των μορίων. Βέβαια, με αυτόν τον απλό τρόπο συμπεριφέρονται μόνο τα αέρια που δεν αντιδρούν ή δεν συνδυάζονται με οποιονδήποτε άλλο τρόπο μεταξύ τους.

Η έννοια των μερικών πιέσεων είναι σημαντική. Για να την ελέγξετε και να την κατανοήσετε καλύτερα, εξετάστε το παράδειγμα του σχήματος 6-2.

Στην αρχή υπάρχει στη μια σφαιρική φιάλη καθαρό οξυγόνο, O_2, και στην άλλη καθαρό άζωτο, N_2. Οι δύο σφαιρικές φιάλες έχουν τον ίδιο όγκο. Οι πιέσεις, όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι ίδιες, ενώ ολόκληρη η συσκευή βρίσκεται στην ίδια ομοιόμορφη θερμοκρασία. Από τη υπόθεση του Avogadro προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο αριθμός των μορίων του οξυγόνου (O_2) θα είναι ίσος με τον αριθμό των μορίων του αζώτου (N_2). Τι θα συμβεί με την πίεση, όταν ανοίξει η στρόφιγγα; Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6-2β, το κάθε μανόμετρο εξακολουθεί να δείχνει την ίδια πίεση. Ακριβώς αυτό έπρεπε να περιμένομε. Όταν ανοίγει η στρόφιγγα, όλα τα μόρια έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν μέσα από αυτήν και αυτό ακριβώς κάνουν. Πολύ σύντομα ολόκληρη η συσκευή έχει γεμίσει με ένα ομοιόμορφο μίγμα με αναλογία μορίων 50% O_2 και 50% N_2. Τα μόρια οξυγόνου (O_2) κατελάμβαναν τώρα το διπλάσιο όγκο από αυτόν που κατελάμβαναν στην αρχή. Το ίδιο συμβαίνει και με τα μόρια του N_2. Σύμφωνα με το νόμο του Boyle, το κάθε αέριο τώρα ασκεί μόνο τη μισή πίεση από αυτήν που ασκούσε αρχικά. Και τα δύο αέρια συμμετέχουν εξ ίσου στη συνολική



ΣΧΗΜΑ 6-2. *Σε αυτό το πείραμα, όταν ανοίγει η ενδιάμεση στρόφιγγα, η συνολική πίεση παραμένει ίδια, γιατί το κάθε αέριο ασκεί στο μίγμα μια μερική πίεση ίση με το μισό της αρχικής του πιέσεως.*

πίεση.

Ας εξετάσομε τώρα αυτές τις σχέσεις από μια διαφορετική σκοπιά.

1. Αρχική πίεση του O_2
   = αρχική πίεση του N_2.
2. Η τελική πίεση του O_2
   = ½ της αρχικής πιέσεως του O_2.
3. Τελική πίεση του N_2
   = ½ της αρχικής πιέσεως του N_2.
4. Τελική συνολική πίεση
   = τελική πίεση O_2 + τελική πίεση N_2
   = ½ αρχικής πιέσεως O_2 + ½ αρχικής πιέσεως N_2.
5. Επομένως, τελική συνολική πίεση
   = αρχική πίεση οξυγόνου
   = αρχική πίεση αζώτου.

Χωρίς αμφιβολία, το πιο ενδιαφέρον μίγμα αερίων που έχομε ποτέ συναντήσει είναι ο αέρας που μας περιβάλλει.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο (παράγραφος 1.13) είδατε ότι ένα σημαντικό συστατικό του αέρα είναι το οξυγόνο. Περίπου το ένα πέμπτο των μορίων που υπάρχουν στον αέρα είναι μόρια O_2. Πρακτικά, όλα τα υπόλοιπα είναι μόρια N_2. Αν, σε μια δεδομένη στιγμή, είναι η ατμοσφαιρική πίεση 750 Torr, τότε οι μερικές πιέσεις του οξυγόνου και του αζώτου υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$P_{O_2} = 1/5 \times 750 \text{ Torr} = 150 \text{ Torr}$$
$$P_{N_2} = 4/5 \times 750 \text{ Torr} = 600 \text{ Torr}$$

* *Σ.τ.Μ. Παράγεται από όλους τους ζωϊκούς οργανισμούς με την καύση των τροφών τους.*

Μαζί με τα μόρια του O_2 και του N_2, ο αέρας περιέχει και μικρές ποσότητες μερικών άλλων αερίων. Ανάμεσα σε αυτά είναι και το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, που δημιουργείται από την καύση των καυσίμων ή από διάφορους άλλους τρόπους*, καθώς και οι υδρατμοί. Υπάρχουν ακόμη μόρια ορισμένων αερίων που αποτελούνται από μεμονωμένα άτομα. Ονομάζονται ευγενή ή αδρανή αέρια και ανάμεσά τους είναι το αργό, το ήλιο, το κρυπτό και το νέο. Το συστατικό εκείνο του αέρα που μεταβάλλεται από τόπο σε τόπο και ανάλογα με την εποχή και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, είναι οι υδρατμοί. Πάνω από τις ερήμους υπάρχουν μόνο ελάχιστα ίχνη υδρατμών, ενώ πάνω από τους τροπικούς ωκεανούς είναι δυνατόν να αποτελούν το 5% του αέρα. Δυστυχώς παντού ο αέρας και ειδικά πάνω ή κοντά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, περιέχει μικρές αλλά επικίνδυνες ποσότητες διαφόρων άλλων αερίων (σχ. 6-3). Αυτά είναι τα επιβλαβή για την υγεία αέρια, που δημιουργούν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Τα τρία πιο σημαντικά είναι το διοξείδιο του αζώτου, NO_2, το μονοξείδιο του άνθρακα, CO, και το διοξείδιο του θείου, SO_2. Τα δύο πρώτα προέρχονται κυρίως από τη



ΣΧΗΜΑ 6-3. *Οι επιστήμονες με τη βοήθεια φορητών συσκευών προσδιορίζουν τη φύση και τη συγκέντρωση των ουσιών που μολύνουν την ατμόσφαιρα.*

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.
Η κατά προσέγγιση σύσταση του ξηρού αέρα στη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας σε μια μεγαλούπολη.

Ουσία	Τύπος	% μορίων
Άζωτο	N_2	78,1
Οξυγόνο	O_2	20,9
Αργό και άλλα αδρανή αέρια	Ar (Ne, Kr, He, Xe, Rn)	0,9
Διοξείδιο του άνθρακα	CO_2	0,03
Υδρογόνο	H_2	0,07
Ρύποι	NO_2, SO_2, και άλλα	0,07

Περίληψη.

Οι χημικοί, όταν ασχολούνται με υπολογισμούς μαζών, δεν χρησιμοποιούν τις πραγματικές μάζες των διαφόρων ατόμων και μορίων**, αλλά τις μάζες των γραμμομορίων. Ως παράδειγμα αναφέρομε τις μάζες των γραμμομορίων του H_2 και του N_2, που είναι αντίστοιχα 2,0 και 28,0 (γραμμάρια ανά γραμμομόριο). Με τη βοήθεια αυτών των αριθμών υπολογίζομε ότι η μάζα ενός γραμμομορίου αμμωνίας, NH_3, είναι 14,0 g/mole + (3 x 1,0 g/mole) = 17,0 g/mole.

Προκειμένου για ένα μίγμα αερίων, η

* *Σ.τ.Μ. Κατά την καύση της βενζίνης στους κινητήρες αναπτύσσεται υψηλή θερμοκρασία και ενώνεται το άζωτο του ατμοσφαιρικού αέρα με το οξυγόνο.*

** *Σ.τ.Μ. Μάζες που είναι πολύ μικρές.*



Η πλατεία Trafalgar, στο Λονδίνο, ξημερώματα της 12 Μαΐου του 1952.

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗ

Ο όρος "ρύπανση του αέρα" αναφέρεται απλά στην παρουσία ανεπιθυμήτων ουσιών στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυτές οι ανεπιθύμητες ουσίες ονομάζονται ρυπαντές. Πρακτικά οτιδήποτε υπάρχει στον αέρα και δεν οφείλεται σε φυσικές διαδικασίες είναι ανεπιθύμητο και πρέπει να θεωρείται ρυπαντής. Μερικοί από τους ρύπους είναι αέρια, άλλοι όμως είναι μικροσκοπικά σωματίδια, διασκορπισμένα στον αέρα. Σε αυτήν, όπως και σε μια επόμενη παράγραφο, θα εξεταστεί η φύση, η προέλευση και οι κίνδυνοι μερικών από τους κυριότερους ρυπαντές της ατμόσφαιρας.

Η αιθαλομίχλη του Λονδίνου (smog)*. Η λέξη αιθαλομίχλη προέρχεται από το συνδυασμό των λέξεων αιθάλη** (smoke = καπνός) και ομίχλη*** (= fog). Είναι μια σωστά επιλεγμένη λέξη, γιατί τονίζεται δι' αυτής ότι η ορατή ρύπανση στην οποία αναφέρεται, προέρχεται από ένα συνδυασμό του καπνού (και των άλλων συναφών προϊόντων της καύσεως) με την υγρασία του αέρα.

Η σημαντικότερη αιτία για τη δημιουργία αυτού του τύπου της αιθαλομίχλης είναι η καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου, που περιέχουν θειάφι. Το θείο αντιδρά με το οξυγόνο και σχηματίζει το αέριο διοξείδιο του θείου, SO_2. Αφού σχηματισθεί στην ατμόσφαιρα το διοξείδιο του θείου, οξειδώνεται σταδιακά ακόμη περισσότερο και σχηματίζει τριοξείδιο του θείου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση.

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

΄Οταν ο αέρας είναι υγρός, δηλαδή το ποσοστό της υγρασίας στην ατμόσφαιρα είναι αυξημένο, το τριοξείδιο του θείου αντιδρά με τους υδρατμούς και σχηματίζει θειικό οξύ.

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \text{ (θειικό οξύ)}$$

Τα μόρια του θειικού οξέος, στη συνέχεια, συγκρατούν και άλλα μόρια νερού, μέχρι να σχηματισθεί τελικά ένα νέφος από σταγονίδια θειικού οξέος, ουσίας διαβρωτικής και δηλητηριώδους, η οποία μπορεί να προκαλέσει

* *Σ.τ.Μ. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως του Λονδίνου έχει αντιμετωπισθεί με ικανοποιητική επιτυχία και η αιθαλομίχλη σχεδόν έχει εξαφανισθεί· όμως ο όρος "αιθαλομίχλη Λονδίνου" χρησιμοποιείται για να χαρακτηρισθούν ανάλογες περιπτώσεις ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως, ρυπάνσεως δηλαδή με ανάλογες συνθήκες σχηματισμού και χημική σύσταση ρυπαντών.*

** *Σ.τ.Μ. Αυτή παράγεται από την καύση του πετρελαίου ή των λιθανθράκων.*

*** *Σ.τ.Μ. Υπενθυμίζεται ότι ομίχλη είναι σωματίδια υγρασίας λεπτώς κατανεμημένα στον αέρα.*



Το μαρμάρινο αυτό άγαλμα του 18ου αιώνα, που βρίσκεται στο Palazzo Giusti της Βενετίας, δείχνει σαφώς τις καταστροφές που επιφέρει η ρύπανση.

και το θάνατο.

Το θειικό οξύ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα είναι πολύ τοξικό για όλους τους ζώντες οργανισμούς. Στα ζώα προσβάλλει τους αναπνευστικούς και τους πνευμονικούς ιστούς και μπορεί να έχει θανατηφόρο δράση. Το 1952 στο Λονδίνο, η αιθαλομίχλη αυτού του τύπου ήταν τόσο έντονη, εξ αιτίας και ειδικών μετεωρολογικών συνθηκών, ώστε προκάλεσε το θάνατο τουλάχιστον 4.000 ατόμων μέσα σε 5 ημέρες. Μακρόχρονη και παρατεταμένη έκθεση σε χαμηλότερα ποσοστά αυτού του είδους της ρυπάνσεως είναι οπωσδήποτε βλαβερή για την υγεία, έστω και αν δεν οδηγεί αμέσως σε αναπηρία ή θάνατο.

Η θανατηφόρος αιθαλομίχλη του 1952 είχε ως αποτέλεσμα να απαγορευθεί στο Λονδίνο η χρήση του κάρβουνου ως καυσίμου στα σπίτια. Επειδή σε αυτήν την πόλη το κάρβουνο αποτελούσε την κύρια πηγή οικιακής θερμάνσεως μειώθηκε αισθητά η αιθαλομίχλη. Έκτοτε δεν υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφανίσεως θανατηφόρου αιθαλομίχλης στο Λονδίνο. Όμως η καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου για τη θέρμανση των κτηρίων, για την παραγωγή ορισμένων μορφών βιομηχανικής ενέργειας και κυρίως για τη λειτουργία των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος εξακολουθεί. Μια συνέπεια αυτού του είδους της μολύνσεως, πολύ δραματική και δυσάρεστη για οποιονδήποτε είναι ευαίσθητος σε ζητήματα αισθητικής και ιστορίας, συναντάμε στην πόλη της Ιταλίας, τη Βενετία. Το επίπεδο του θειικού οξέος στην ατμόσφαιρα της Βενετίας είναι αρκετά υψηλό, λόγω των γειτονικών εργοστασίων, με αποτέλεσμα να καταστρέφει τα αγάλματα και τις εξωτερικές διακοσμήσεις των κτηρίων. Η πέτρα, που είναι και ο δομικός λίθος των κτηρίων, αποτελείται κατά κύριο λόγο από ανθρακικό ασβέστιο. Αν ρίξετε ένα κομμάτι ανθρακικού ασβεστίου σε ένα ποτήρι ζέσεως που περιέχει αραιό θειικό οξύ, το ανθρακικό ασβέστιο διαλύεται γρήγορα, ενώ ταυτόχρονα εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα*.

$$\underset{\text{ανθρακικό ασβέστιο}}{CaCO_3} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{\text{θειικό ασβέστιο}}{CaSO_4} + H_2O + \underset{\text{διοξείδιο του άνθρακα}}{CO_2}$$

Η εξίσωση αυτή περιγράφει με ακρίβεια τι παράγεται στον αέρα της Βενετίας και από τι καταστρέφονται τα κτήρια και τα αγάλματα.

Η καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου, εκτός από τα οξείδια του θείου και το θειικό οξύ, δημιουργεί και άλλους ρύπους στην ατμόσφαιρα. Ανάμεσα σε αυτούς συγκαταλέγεται και μια σημαντική ποσότητα καθαρού, πολύ λεπτόκοκκου άνθρακα (αιθάλης), που παράγεται από αυτές τις καύσεις. Αυτός είναι και ο λόγος που τα κτήρια των πόλεων μαυρίζουν με τον καιρό. Βέβαια, είναι περιττό να αναφέρομε ότι η εισπνοή αυτής της αιθάλης βλάπτει και τους πνεύμονες. Ακόμη χειρότερες όμως είναι αρκετές ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και εκπέμπονται επίσης σε μικρές ποσότητες. Είναι οι **καρκινογόνες ουσίες**, δηλαδή αυτές που προκαλούν καρκίνο. Καθώς εξακολουθούν να επεκτείνονται οι κατοικημένες περιοχές και αυξάνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις μας, το είδος αυτό της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως που αναφέρθηκε δημιουργεί καθημερινά όλο και πιο σοβαρά προβλήματα. Ποια είναι η λύση; Μια εύλογη απάντηση είναι ότι πρέπει το κάρβουνο ή το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται να έχει τη μικρότερη δυνατή περιεκτικότητα σε θείο. Βέβαια, αυτό θα επιβαρύνει σημαντικά το κόστος, γιατί η απομάκρυνση του θείου από αυτά τα προϊόντα σε βιομηχανική κλίμακα είναι δαπανηρή. Μια άλλη δυνατότητα θα ήταν να εφαρμοσθούν αποτελεσματικές μέθοδοι για την

* *Σ.τ.Μ. Παράλληλα σχηματίζεται και θειικό ασβέστιο (γύψος), που αποβάλλεται ως ίζημα.*

συνολική πίεσή του ισούται με το άθροισμα των μερικών πιέσεων των διαφόρων αερίων που το αποτελούν. Μερική πίεση είναι αυτή, την οποία θα εξασκούσαν τα μόρια ενός αερίου, αν κατελάμβαναν μόνα τους τον ίδιο όγκο που καταλαμβάνει το μίγμα στην ίδια θερμοκρασία.

Ο λόγος της μερικής πιέσεως ενός ορισμένου αερίου μέσα σε ένα μίγμα ως προς τη συνολική πίεση, είναι ίσος με το λόγο των μορίων του αερίου αυτού ως προς το συνολικό αριθμό μορίων που υπάρχουν στο μίγμα.

Ο ξηρός αέρας είναι ένα μίγμα αερίων που αποτελείται περίπου κατά το ένα πέμπτο από O_2, κατά τα τέσσερα πέμπτα περίπου από N_2 και κατά το ένα τοις εκατό περίπου από άλλα αέρια, κυρίως CO_2, αργό και δυστυχώς ρυπαντές.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιες είναι οι μονάδες για τον προσδιορισμό της μάζας των γραμμομορίων;
2. Υπολογίστε τη γραμμομοριακή μάζα μιας ουσίας που έχει τον τύπο CH_4O, με τη βοήθεια του σχετικού πίνακα των ατομικών μαζών που υπάρχει στο τέλος του βιβλίου.
3. Ποια θα είναι η μερική πίεση του καθενός αερίου, αν σε ένα μίγμα υδρογόνου και αζώτου με συνολική πίεση 2 ατμοσφαιρών (atm), περιέχονται 3 moles H_2 και 1 mole N_2;
4. Ποια είναι τα δύο κύρια συστατικά του αέρα;

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν την πίεση και τον όγκο

6.3 Ο όγκος που καταλαμβάνει το mole ενός αερίου σε διαφορετικές θερμοκρασίες: Νόμος του Charles.

Στο κεφάλαιο 5, διδαχθήκατε ότι ο όγκος που καταλαμβάνουν 32,0 γραμμάρια οξυγόνου στους 0˚C και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας είναι ίσος με 22,4 λίτρα. Αυτό αποτελεί ένα πειραματικό γεγονός, στο οποίο καταλήξαμε χωρίς να έχομε αιτιολογήσει την επιλογή αυτής της συγκεκριμένης μάζας του οξυγόνου. Τώρα όμως είστε σε θέση να κατανοήσετε τη σημασία αυτής της ποσότητας των 32,0 γραμμαρίων. Είναι ποσότητα ίση, εξ ορισμού, με ένα mole οξυγόνου. Σύμφωνα με την υπόθεση του Avogadro, γνωρίζετε επίσης ότι ένα mole οποιουδήποτε αερίου θα καταλαμβάνει τον ίδιο ακριβώς όγκο, αν βρίσκεται στην ίδια πίεση και θερμοκρασία.

Συνήθως διαλέγομε ως σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως τις παρακάτω:

πίεση = 1 ατμόσφαιρα
θερμοκρασία = 0˚C

και για συντομία: Κ.Σ.

Σύμφωνα με όλα όσα αναφέραμε, οδηγούμαστε στο γενικό κανόνα: Ένα mole οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει 22,4 λίτρα σε Κ.Σ.

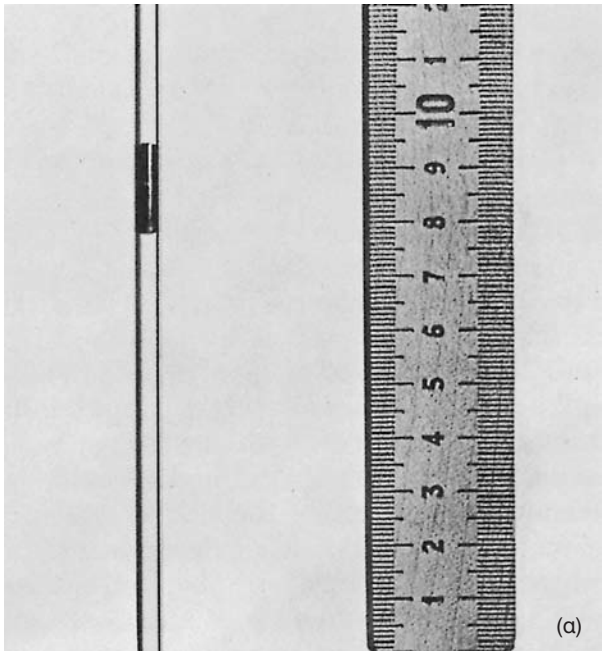
Έτσι, ο νόμος του Boyle, όταν πρόκειται για ένα αέριο που βρίσκεται στους 0˚C, μετασχηματίζεται στον

$$P \times V = 22{,}4 \frac{\text{lit} \times \text{atm}}{\text{mole}}$$

Με τη βοήθεια αυτής της εξισώσεως είναι εύκολο να προβλέψομε πόσο θα αλλάξει ο όγκος σε σχέση με κάποια αλλαγή στην πίεση. Ας υποθέσομε όμως ότι η θερμοκρασία του αερίου μεταβάλλεται, ενώ η πίεση παραμένει σταθερή. Πώς θα μεταβληθεί ο όγκος του;

Η ερώτηση αυτή μελετήθηκε και δόθηκε απάντηση το 1787 από το Γάλλο επιστήμονα Jacques Charles. Αυτός ανακάλυψε μια εξαιρετική νομοτέλεια, την οποία και ονόμασε νόμο του Charles. Ο νόμος αυτός ορίζει ότι όλα τα αέρια, αν αυξηθεί η θερμοκρασία τους κατά το ίδιο ποσό, θα διασταλούν κατά το ίδιο κλάσμα του αρχικού τους όγκου. Αυτό φαίνεται και από το παράδειγμα που ακολουθεί.

Μέσα σε ένα λεπτό γυάλινο σωληνάκι μήκους περίπου μισού μέτρου, κλειστό από το ένα άκρο, τοποθετείται μια σταγόνα υδραργύρου. Ο υδράργυρος καθώς κατεβαίνει μέσα στο σωλήνα, παγιδεύει μια ποσότητα αέρα στον πυθμένα του, όπως δείχνει και το σχήμα 6-4α. Επειδή ο σωλήνας έχει ομοιόμορφη διατομή, το μήκος της στήλης του



ΣΧΗΜΑ 6-4α. *Συσκευή για την επίδειξη του νόμου του Charles. Μια ποσότητα αέρα, αρκετή ώστε να μετρηθεί, έχει παγιδευθεί μέσα στο γυάλινο σωλήνα, από μία σταγόνα υδραργύρου.*

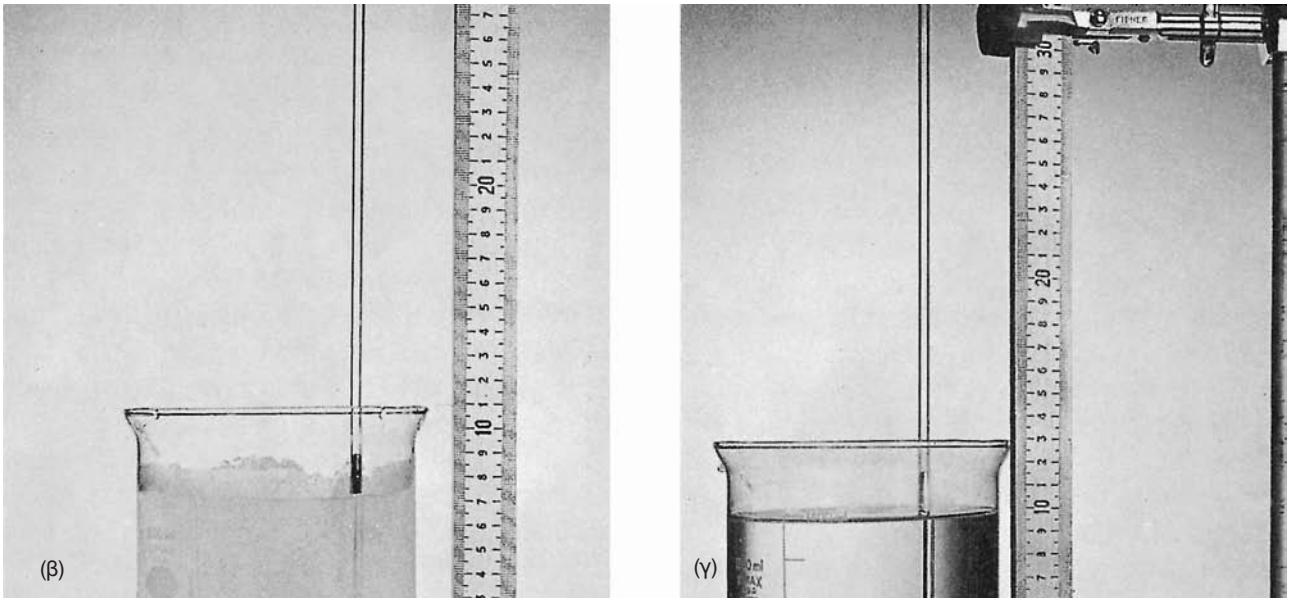
αέρα μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο του όγκου του. Η σταγόνα του υδραργύρου μπορεί να κινείται πάνω ή κάτω, ανάλογα με τον αν διαστέλλεται ή συστέλλεται το αέριο, διατηρώντας έτσι την πίεση

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.
Μεταβολές στον όγκο του αέρα, που δημιουργούνται από μεταβολές στη θερμοκρασία

Θερμοκρασία (°C)	Σχετικός όγκος (σε σύγκριση με τον όγκο στους 0°C)
200	1,73
150	1,55
100	1,37
50	1,18
0	1,00

σταθερή.

Όταν ο σωλήνας βυθιστεί εντελώς σε παγωμένο νερό, όπως δείχνει το σχήμα 6-4β, η θερμοκρασία του αερίου θα πλησιάσει τους 0°C και είναι δυνατόν να καταγραφεί ο σχετικός όγκος του (δηλαδή αυτός που προκύπτει από τη μέτρηση του μήκους της στήλης του αέρα). Αν βυθιστεί στη συνέχεια ο σωλήνας εντελώς σε βραστό νερό (100°C) ο όγκος θα αυξηθεί, σύμφωνα με το σχήμα 6-4γ. Είναι δυνατόν να μετρήσομε τον όγκο και σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες, όπως και σε μεγαλύτερες. Όταν πρόκειται για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 100°C, μεταχειριζόμαστε ελαιόλουτρο αντί για υδρόλουτρο (γιατί το σημείο ζέσεως του ελαίου είναι αρκετά πιο υψηλό από αυτό του νερού).



ΣΧΗΜΑ 6-4β,γ. *Ο όγκος του αέρα που έχει εγκλωβισθεί μέσα στο γυάλινο σωλήνα υπόκειται σε μεταβολές, όταν ο σωλήνας τοποθετείται μέσα σε ένα μίγμα πάγου-νερού (β) και σε θερμό (σχεδόν βραστό) νερό (γ). Οι μεταβολές αυτές δικαιολογούν το νόμο του Charles.*

Έτσι, τελικά, συγκεντρώνονται δεδομένα όπως αυτά που αναφέρονται στον πίνακα 6.2.

Πρέπει να φροντίσετε, ώστε οι μετρήσεις του όγκου να γίνουν, όταν τα δείγματα του αέρα βρίσκονται εντελώς βυθισμένα μέσα στο λουτρό (υδρόλουτρο ή ελαιόλουτρο). Διαφορετικά, θα υποπέσετε σε σοβαρά σφάλματα.

Τα δεδομένα του πίνακα 6.2 αναφέρονται στον αέρα. Τα πειράματα του Charles έδειξαν όμως ότι και με όλα τα άλλα αέρια λαμβάνονται τα ίδια αποτελέσματα.

Κατά τη διάρκεια όλων αυτών των μετρήσεων, η πίεση της συγκεκριμένης στήλης του αέρα παραμένει σταθερή. Ισούται με το άθροισμα της ατμοσφαιρικής πίεσεως και της πιέσεως της μικρής στήλης του υδραργύρου. Έχετε μάθει ότι, αν η πίεση είναι σταθερή, τότε ο όγκος μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Έτσι, επειδή για δεδομένη θερμοκρασία το γινόμενο P x V είναι σταθερό, η αύξηση του V, προκειμένου για σταθερό P, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση και του γινομένου, P x V, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Εξάγεται επίσης το συμπέρασμα ότι, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία ορισμένης μάζας αερίου ενώ ο όγκος της παραμένει σταθερός, θα πρέπει να αυξάνεται ανάλογα και η πίεσή του. Δικαιολογημένα μπορεί να αναρωτηθείτε αν αυτά τα φαινόμενα εξηγούνται και με βάση το σωματιδιακό πρότυπο των αερίων που εξετάσθηκε νωρίτερα.

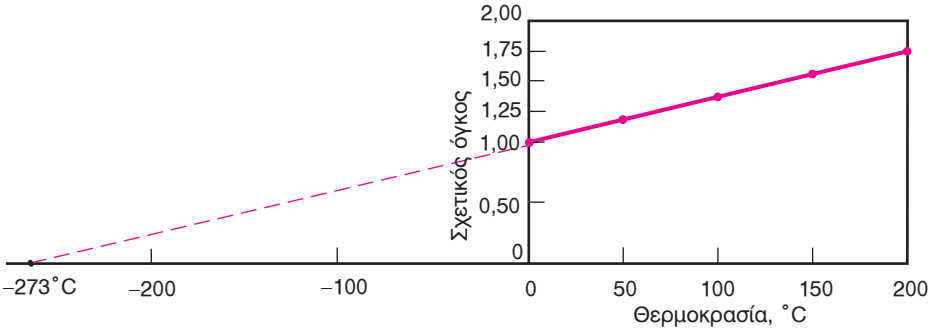
Η πίεση ενός αερίου καθορίζεται από τον αριθμό και την ένταση των συγκρούσεων του καθενός μορίου του με τα τοιχώματα του δοχείου, στο οποίο βρίσκεται. Αυτές πάλι με τη σειρά τους εξαρτώνται από την ποσότητα της ενέργειας που οφείλεται στην κίνηση, δηλαδή την ***κινητική ενέργεια*** που διαθέτουν το μόρια. Όταν προσδίδεται θερμότητα σε ένα αέριο προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία του, αυξάνεται και η ενέργεια των μορίων. Τα μόρια απορροφούν τη θερμότητα και κινούνται ταχύτερα. Συγκρούονται με τα τοιχώματα του δοχείου ισχυρότερα και πιο συχνά. Έτσι το μοριακό πρότυπο των αερίων εξηγεί την αύξηση της πιέσεως με την αύξηση της θερμοκρασίας, όταν ο όγκος παραμένει σταθερός.

6.4 Η κλίμακα της απόλυτης θερμοκρασίας.

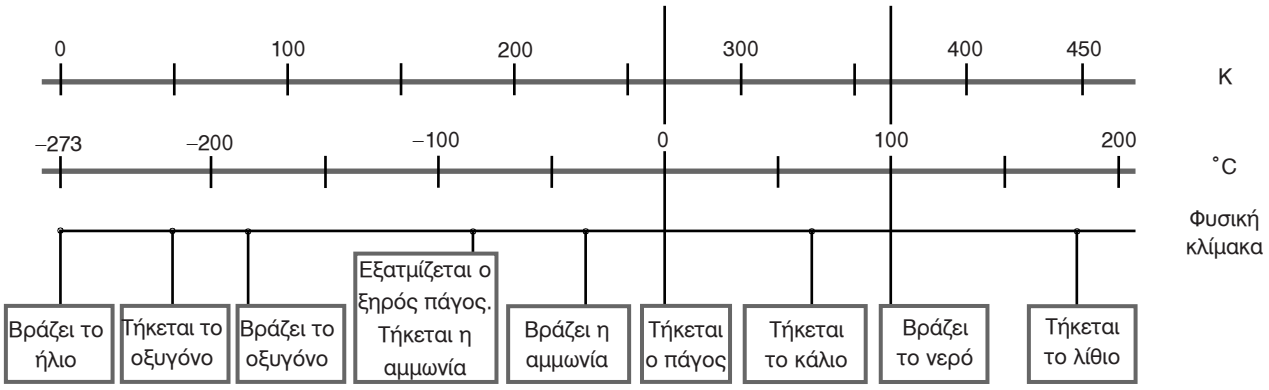
Αν παρατηρήσετε προσεκτικά τα αποτελέσματα που έχουν συγκεντρωθεί στον πίνακα 6.2, θα διαπιστώσετε ότι προκύπτει ένα πολύ ενδιαφέρον συμπέρασμα. Όταν ψύχετε ένα αέριο κάτω από σταθερή πίεση, ο όγκος του γίνεται διαρκώς μικρότερος. Άραγε, υπάρχει κάποια θερμοκρασία αρκετά χαμηλή, στην οποία ο όγκος του αερίου μηδενίζεται;

Στην πραγματικότητα, δεν είναι δυνατόν να συμβεί κάτι τέτοιο, γιατί όλα τα πραγματικά αέρια τελικά συμπυκνώνονται σε υγρά. Ας υποθέσομε όμως ότι δεν συμπυκνώνονται. Σε ποια θερμοκρασία θα μηδενιζόταν ο όγκος τους; Ο πιο απλός τρόπος για να δοθεί μια απάντηση σε αυτό το ερώτημα, είναι να κατασκευάσετε μια καμπύλη μεταβολής της θερμοκρασίας, με βάση τα στοιχεία του πίνακα 6.2 (ως προς τον αντίστοιχο όγκο). Αυτό ακριβώς δείχνει και το σχήμα 6-5.

Τα πέντε ζεύγη τιμών, τα οποία είχαν μετρηθεί καθορίζουν μια ευθεία γραμμή. Αν αυτή η γραμμή προεκταθεί σε θερμοκρασίες μικρότερες του μηδενός, 0˚C, τότε συναντά τον άξονα της



ΣΧΗΜΑ 6-5. *Η ευθεία γραμμή που δημιουργείται, αν γίνει η γραφική παράσταση των δεδομένων του πίνακα 6.2, προεκτείνεται μέχρι το σημείο εκείνο, όπου ο όγκος μηδενίζεται. Έτσι, προκύπτει ότι στο σημείο εκείνο η θερμοκρασία είναι –273˚C ή 0 K (μηδέν Κέλβιν).*



ΣΧΗΜΑ 6-6. *Σύγκριση της θερμομετρικής κλίμακας του Κέλβιν με αυτήν του Κελσίου. Σημεία ζέσεως και πήξεως μερικών ουσιών, με τη βοήθεια αυτών των κλιμάκων.*

θερμοκρασίας στους –273˚C, σημείο στο οποίο ο όγκος ισούται με το μηδέν.

Η θερμοκρασία αυτή, –273˚C, έχει θεμελιώδη σημασία στην επιστήμη. Είναι η θερμοκρασία εκείνη, στην οποία τα μόρια δεν έχουν κινητική ενέργεια. Σταματούν να κινούνται και έτσι δεν δημιουργούν κάποια πίεση ικανή να στηρίξει τη σταγόνα του υδραργύρου. Γι' αυτό η σταγόνα του υδραργύρου πέφτει στον πυθμένα του σωλήνα, ενώ ο όγκος του αερίου μηδενίζεται.

Η θερμοκρασία εκείνη, στην οποία τα μόρια του αερίου δεν έχουν κινητική ενέργεια, είναι ένα απόλυτο ελάχιστο, γι' αυτό και ονομάζεται απόλυτο μηδέν της θερμοκρασίας. Το μηδέν της κλίμακας Κελσίου δεν έχει αυτήν την απόλυτη έννοια. Είναι μόνο κάποιο συμβατικό σημείο (το σημείο πήξεως του νερού), το οποίο βοηθά στη βαθμολόγηση των θερμομέτρων.

Τώρα είναι πιο εύκολο να κατανοήσετε γιατί η κλίμακα του Κέλβιν είναι η θεμελιώδης διεθνής θερμομετρική κλίμακα, ή ότι η απόλυτη κλίμακα, και μονάδα θερμοκρασίας είναι ο βαθμός Κέλβιν. Οι σταθερές αυτές μονάδες αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3 με την υπόσχεση να μελετηθούν και να αιτιολογηθούν εκτενέστερα στα επόμενα. Τώρα είναι η κατάλληλη στιγμή για να πραγματοποιηθεί αυτή η υπόσχεση.

Επειδή –273˚C είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να υπάρξει, θεωρείται ότι είναι το "μηδέν των μηδενικών". Είναι το απόλυτο μηδέν, από όπου ξεκινά η κλίμακα των απολύτων θερμοκρασιών. Σε αυτήν την κλίμακα δεν μπορεί να υπάρξουν αρνητικές θερμοκρασίες. Υπάρχει ανάγκη να καθορισθεί κάποια μονάδα, ώστε να προσδιορισθούν οι θερμοκρασίες σε αυτήν τη θερμομετρική ή απόλυτη κλίμακα του Κέλβιν. Για πρακτικούς λόγους, οι επιστήμονες αποφάσισαν να ορίσουν αυτήν τη μονάδα ακριβώς ίση με τη μονάδα Κελσίου, την ονόμασαν όμως Κέλβιν (και όχι βαθμό Κέλβιν).

Σε θερμοκρασίες απόλυτες ή Κέλβιν, το νερό παγώνει στους 273 K και βράζει στους 373 K. Το σχήμα 6-6 δείχνει τα σημεία ζέσεως και πήξεως μερικών ακόμα ουσιών σε θερμοκρασίες Κελσίου και Κέλβιν. Όπως μπορείτε να παρατηρήσετε, για να μετατρέψετε μια θερμοκρασία Κελσίου σε

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

6.5 Μια ποσοτική διερεύνηση της αντιδράσεως ενός μετάλλου με υδροχλωρικό οξύ.

Στο κεφάλαιο 5 βρήκατε ότι το mole μιας ουσίας είναι 6,02 x 10^{23} σωματίδια. Αργότερα, διδαχθήκατε ότι το mole οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει όγκο 22,4 λίτρα σε Κ.Σ. Όταν πραγματοποιούσατε αντιδράσεις ανάμεσα σε διάφορες ουσίες, ίσως αναρωτηθήκατε αν υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στον αριθμό των moles των υλικών που αντιδρούν και τον αριθμό των

moles ή των όγκων των προϊόντων που σχηματίζονται. Σε αυτό το πείραμα πρόκειται να εξετάσετε μερικές από αυτές τις σχέσεις. Μεταλλικό μαγνήσιο θα αντιδράσει με ένα υδατικό διάλυμα υδροχλωρίου και θα παραχθεί αέριο υδρογόνο.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα υπολογίσετε πόσα λίτρα ξηρού αερίου υδρογόνου, αν μετρηθούν σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας, είναι δυνατόν να παραχθούν από ένα mole του μεταλλικού μαγνησίου. Στη συνέχεια, θα εξετάσετε αν υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στον αριθμό των moles του μεταλλικού μαγνησίου που αντέδρασε και τον αριθμό των moles του αερίου υδρογόνου που σχηματίσθηκε.

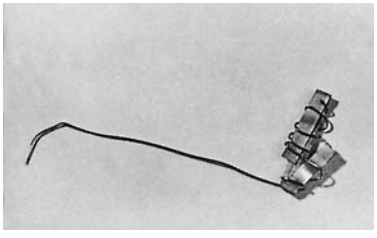
ΥΛΙΚΑ

Σωλήνας για τη μέτρηση αερίου 50 ml	Μετρικός χάρακας
Θερμόμετρο	Ταινία μαγνησίου, μήκους 5 ή 6 cm
Βαρόμετρο	Ογκομετρικός κύλινδρος των 10 ή
Ορθοστάτης και λαβίδα	των 20 ml
Λεπτό σύρμα χαλκού, μήκους 15 cm	Ποτήρι ζέσεως, 400 ml

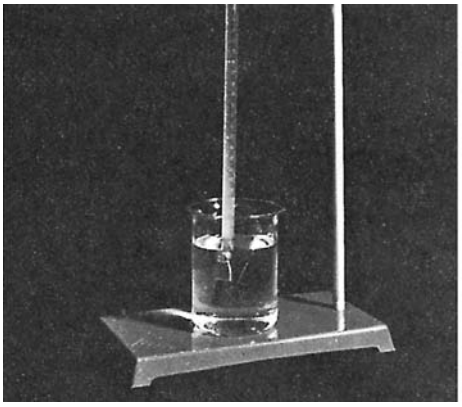
Ένα κατάλληλο πώμα με μια τρύπα, ώστε να χωράει να περάσει από μέσα ο σωλήνας μετρήσεως του αερίου
Ένα δοχείο συσσωρευτή (αυτοκινήτου) ή ένα ποτήρι των 2-3 λίτρων.
Υδροχλωρικό οξύ, 10 ml αραιού οξέος συγκεντρώσεως 6 *M*.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

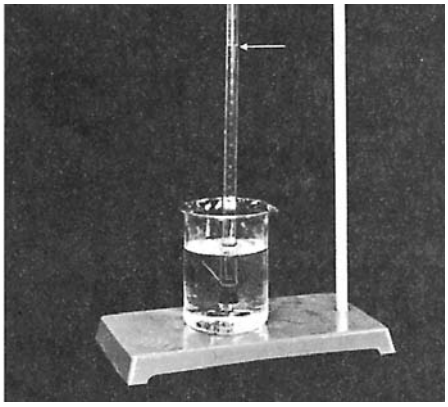
1. Πάρτε ένα κομμάτι ταινίας μαγνησίου, Mg, μήκους περίπου 5 cm (αν το εργαστήριο βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο χρησιμοποιήστε ένα μικρότερο κομμάτι). Μετρήστε προσεκτικά το μήκος της ταινίας και καταγράψτε το με ακρίβεια 0,05 cm. Ο καθηγητής σας θα φροντίσει να σας δοθεί η μάζα του ενός μέτρου της ταινίας. Επειδή η ταινία του μαγνησίου έχει ομοιόμορφο πάχος, μπορείτε από την τιμή της μάζας του ενός μέτρου να υπολογίσετε τη μάζα του κομματιού που χρησιμοποιήσατε.
2. Διπλώστε το κομμάτι της ταινίας του μαγνησίου έτσι, ώστε να μπορεί να χωρέσει μέσα σε ένα σπείρωμα κυλινδρικό κατασκευασμένο από λεπτό χάλκινο σύρμα. Φροντίστε να περισσεύουν περίπου 5 cm σύρμα χαλκού, ώστε να το χρησιμοποιήσετε ως λαβή (σχ. 6-7).
3. Τοποθετήστε ένα δακτύλιο και μια λαβίδα έτσι, ώστε να συγκρατούν ένα σωλήνα για τη μέτρηση αερίων των 50 ml, στον οποίο έχει προσαρμοσθεί ένα λαστιχένιο πώμα που φέρει μιά ή δυο τρύπες.
4. Αφαιρέστε προσωρινά το πώμα. Στρέψτε λίγο το σωλήνα προς το πλάι και αδειάστε μέσα σε αυτόν περίπου 10 ml υδροχλωρικού οξέος από το δοχείο που φέρει την ένδειξη 6M HCl.
5. Κρατώντας το σωλήνα στην ίδια θέση, λοξά, γεμίστε τον αργά με νερό της βρύσης που έχετε ήδη μέσα σε ένα ποτήρι. Όταν τον γεμίζετε, φροντίστε να απομακρύνετε κάθε σταγόνα οξέος από τα τοιχώματά του έτσι, ώστε τελικά το υγρό στην κορυφή του σωλήνα να περιέχει όσο το δυνατόν πιο λίγο οξύ. Προσπαθήστε να αποφύγετε κάθε ανάδευση της στοιβάδας του οξέος που βρίσκεται στον πυθμένα του σωλήνα. Απομακρύνατε τυχόν φυσαλίδες που έχουν κολλήσει στα τοιχώματα του σωλήνα κτυπώντας τον μαλακά.
6. Κρατώντας το τυλιγμένο σε σχήμα σπειροειδές σύρμα του χαλκού από τη



ΣΧΗΜΑ 6-7.



ΣΧΗΜΑ 6-8α.

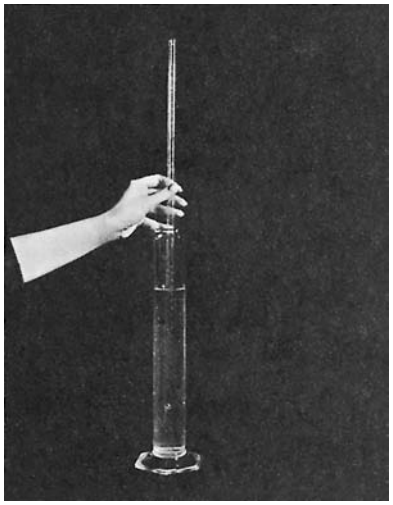


ΣΧΗΜΑ 6-8β.

λαβή, τοποθετήστε το μέσα στο σωλήνα κατά 3 cm περίπου. Αγκιστρώστε το χάλκινο σύρμα πάνω στα τοιχώματα του σωλήνα και στερεώστε το εκεί, τοποθετώντας το λαστιχένιο πώμα. Ο σωλήνας πρέπει να είναι εντελώς γεμάτος έτσι ώστε, όταν τοποθετηθεί το πώμα, να εκτοπίσει και λίγο νερό.

7. Αφού σκεπάσετε την τρύπα του πώματος με το δάκτυλό σας, βυθίστε το σωλήνα μέσα στο δοχείο που περιέχει νερό. Στερεώστε τον εκεί. Επειδή το οξύ είναι περισσότερο πυκνό από το νερό, θα διασκορπισθεί προς τα κάτω και τελικά θα αντιδράσει με το μεταλλικό μαγνήσιο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6-8α (ο χαλκός δεν αντιδρά με το διάλυμα του οξέος).
8. Μετά το τέλος της αντιδράσεως, περιμένετε 5 λεπτά περίπου, ώστε η θερμοκρασία του σωλήνα να γίνει ίδια με αυτήν του δωματίου (σχ. 6-8β). Απομακρύνατε τυχόν σταγόνες που έχουν κολλήσει στα τοιχώματα του σωλήνα.
9. Σκεπάστε την τρύπα του πώματος με το δάκτυλό σας και μεταφέρατε το σωλήνα μέσα σε ένα φαρδύ κύλινδρο ή σε ένα δοχείο συσσωρευτή, που είναι σχεδόν γεμάτο με νερό θερμοκρασίας δωματίου. Ανυψώστε ή χαμηλώστε το σωλήνα έτσι, ώστε το επίπεδο του υγρού που περιέχει να συμπίπτει με το επίπεδο του υγρού που τον περιβάλλει, όπως δείχνει το σχήμα 6-9. Αυτό θα σας επιτρέψει να μετρήσετε τον όγκο των αερίων του σωλήνα (υδρογόνο και υδρατμοί) σε ατμοσφαιρική πίεση. Προσέξτε, όταν διαβάζετε τον όγκο, το μάτι σας να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τη βάση το μηνίσκου, ακριβώς όπως κάνατε και όταν χρησιμοποιούσατε έναν ογκομετρικό κύλινδρο. Σημειώστε τη μέτρηση του όγκου του αερίου με ακρίβεια 0,05 ml.
10. Απομακρύνατε το σωλήνα μετρήσεως του αερίου από το νερό και αδειάστε το διάλυμα του οξέος που περιέχει, στην αποχέτευση. Ξεπλύνατε το σωλήνα με νερό της βρύσης.
11. Σημειώστε τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο καθηγητής σας θα σας δώσει την πίεση του δωματίου ή θα σας βοηθήσει να διαβάσετε το βαρόμετρο.

Αν ο χρόνος το επιτρέπει, καλόν είναι να επαναλάβετε το πείραμα με ένα άλλο δείγμα μαγνησίου, ώστε να ελέγξετε τα αποτελέσματά σας.



ΣΧΗΜΑ 6-9.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο πίνακας δεδομένων που θα καταστρώσετε πρέπει να περιέχει τα εξής:

Τη μάζα, ανά μονάδα μήκους, της ταινίας του μαγνησίου (g/m), που θα σας

δώσει ο καθηγητής σας.
Το μήκος του κομματιού της ταινίας του μαγνησίου που χρησιμοποιήσατε (cm).
Τον όγκο του υδρογόνου, κορεσμένου με υδρατμούς (ml).
Τη θερμοκρασία του νερού (˚C).
Τη θερμοκρασία του δωματίου (˚C).
Την ένδειξη του βαρομέτρου για την πίεση του περιβάλλοντος (Torr).
Την πίεση ατμών του νερού στη θερμοκρασία που μετρήθηκε λίγο πιο πριν (Torr), από τον πίνακα 6.3.

Υπολογισμοί.

1. Να προσδιορίσετε τη μάζα του μαγνησίου που χρησιμοποιήθηκε, λαμβάνοντας ως βάση το μήκος της ταινίας και τη σχέση των γραμμαρίων ανά μέτρο αυτής.
2. Προσδιορίστε τον αριθμό των moles του μαγνησίου που χρησιμοποιήθηκαν. Η γραμμοατομική μάζα του μαγνησίου είναι 24,3 (δηλαδή υπάρχουν 24,3 γραμμάρια ατόμων μαγνησίου ανά mole).
3. Προσδιορίστε τη μερική πίεση του αερίου υδρογόνου, σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται παρακάτω: Επειδή το αέριο υδρογόνο έχει συλλεγεί πάνω από νερό, το αέριο του σωλήνα θα αποτελείται από ένα μίγμα αερίου υδρογόνου και υδρατμών. Η συνολική πίεση την οποία ασκούν αυτά τα δύο αέρια ισούται με την πίεση του περιβάλλοντος (θυμηθείτε την υπόθεση που έγινε στην παράγραφο 6.2). Αυτό εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$P_{H_2} + P_{H_2O} = P_{\text{περιβάλλοντος}}$$

Η πίεση μέσα στην αίθουσα δίνεται από την ένδειξη του βαρομέτρου. Η πίεση των ατμών του νερού, $P_{\mathbf{H_2O}}$, προσδιορίζεται από τον πίνακα 6.3. Οι τιμές του πίνακα προήλθαν από μετρήσεις της πιέσεως των υδρατμών που υπάρχουν πάνω από την επιφάνεια του νερού, σε διάφορες θερμοκρασίες. Έτσι η μερική πίεση του υδρογόνου υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$P_{H_2} = P_{\text{περιβάλλοντος}} - P_{H_2}$$

4. Προσδιορίστε τον όγκο του αερίου υδρογόνου σε πίεση μιας ατμόσφαιρας (760 Torr).
Σε προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκε ότι για ορισμένη θερμοκρασία αερίου, το γινόμενο του όγκου επί την πίεσή του είναι σταθερό: $PV = C$. Προκειμένου να υπολογισθεί ο νέος όγκος, $V_{\mathbf{νέος}}$, σε πίεση 760 Torr, χρησιμοποιούμε τη μαθηματική εξίσωση που ακολουθεί. $P_{\mathbf{H_2}}$ είναι η μερική πίεση που υπολογίσθηκε στο προηγούμενο στάδιο (στάδιο 3).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.

Τάση ατμών του νερού σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία (˚C)	Πίεση (Torr)	Θερμοκρασία (˚C)	Πίεση (Torr)
15	12,8	23	21,0
16	13,6	24	22,4
17	14,5	25	23,8
18	15,5	26	25,2
19	16,5	27	26,7
20	17,5	28	28,3
21	18,6	29	30,0
22	19,8	30	31,8

$$V_{\text{που μετρήθηκε}} \text{ x } P_{H_2} = V_{\text{νέος}} \text{ x } 760$$

$$V_{\text{νέος}} = V_{\text{που μετρήθηκε}} \text{ x } \frac{P_{H_2}}{760}$$

5. Να υπολογίσετε τον όγκο του ξηρού υδρογόνου που θα παραχθεί από ένα mole μαγνησίου, σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Αν σας δοθεί η πληροφορία ότι ένα mole Mg παράγει ένα mole υδρογόνου, H_2, τότε ποιος είναι ο όγκος ενός mole υδρογόνου σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας; Για να απαντήσετε, βασισθείτε στα αποτελέσματα των πειραμάτων σας.
2. Αν ένα mole υδρογόνου έχει μάζα 2,0 g, ποια είναι η πυκνότητα του υδρογόνου, σε γραμμάρια ανά λίτρο, σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας; Να υπολογίσετε την πυκνότητα με τη βοήθεια των

6.6 Συνδυασμός του νόμου του Boyle, του νόμου του Charles και της υποθέσεως του Avogadro.

Μέχρι τώρα αναφέρθηκαν τρεις βασικοί νόμοι για τη συμπεριφορά των αερίων. Ένας από αυτούς είναι ο νόμος του Boyle: Ορίζει ότι για ορισμένη μάζα ενός αερίου, που βρίσκεται σε σταθερή θερμοκρασία (δηλαδή όταν η θερμοκρασία και η μάζα διατηρούνται σταθερές) ισχύει η σχέση:

$$P \text{ x } V = \text{σταθερά} \qquad (1)$$

Ο νόμος του Charles ορίζει ότι για ορισμένη μάζα ενός αερίου το γινόμενο P x V μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, με την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία μετρείται με τη βοήθεια της απόλυτης κλίμακας, δηλαδή της κλίμακας Κέλβιν. Έτσι, ο νόμος του Charles στην πραγματικότητα περιγράφει ότι:

$$P \text{ x } V = \text{διαφορετική σταθερά}^* \text{ x } T \qquad (2)$$

T είναι η θερμοκρασία σε Κέλβιν. Η εξίσωση (2) περιγράφει μαζί με τον νόμο του Charles και αυτόν του Boyle.

Η υπόθεση του Avogadro ορίζει ότι για ορισμένες τιμές των P, V και T, όλα τα αέρια περιέχουν τον ίδιο αριθμό μορίων. Αυτό σημαίνει ότι περιέχουν και τον ίδιο αριθμό moles. Αν αυξηθεί ο αριθμός των moles ενός αερίου, ενώ η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή, θα πρέπει να αυξηθεί κατ' αναλογία και το γινόμενο P x V. Αυτό μας οδηγεί στην εξίσωση:

$$P \text{ x } V = R \text{ x } n \text{ x } T \qquad (3)$$

Το n παριστάνει τον αριθμό των moles, ενώ το R είναι μια σταθερά, που ονομάζεται σταθερά των αερίων. Εξ αιτίας της υποθέσεως του Avogadro, η τιμή της σταθεράς αυτής είναι η ίδια για όλα τα αέρια. Η αριθμητική τιμή της, όπως είναι φυσικό, εξαρτάται από τις μονάδες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του P και του V. Συνήθως χρησιμοποιείται η ατμόσφαιρα για την πίεση και το λίτρο για τον όγκο. Η αριθμητική τιμή του R υπολογίζεται από τις πειραματικές μετρήσεις. Όπως έχει αναφερθεί, ένα mole αερίου στους 0°C (273 K) και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας (760 Torr) καταλαμβάνει όγκο 22,4 λίτρα. Αυτό μας οδηγεί στον υπολογισμό του R. Για το σκοπό αυτό, τροποποιείται αρχικά η εξίσωση (3) ως εξής:

$$R = \frac{P \text{ x } V}{n \text{ x } T} \qquad (3\alpha)$$

Στη συνέχεια, αντικαθίστανται τα μεγέθη με τις τιμές που αναφέραμε πιο πριν:

$$R = \frac{1 \text{ atm x } 22{,}4 \text{ λίτρα}}{1 \text{ mole x } 273 \text{ K}} = 0{,}0820 \frac{\text{λίτρα x atm}}{\text{mole x K}} \qquad (3\beta)$$

Τώρα πια είναι εύκολο να διατυπώσομε το νόμο των ιδανικών αερίων (καταστατική εξίσωση

* *Σ.τ.Μ. Μια άλλη σταθερά από αυτήν που ορίζει ο νόμος του Boyle.*

των αερίων):

$$P \times V = (0{,}0820) \times n\,T \qquad (4)$$

Αν είναι γνωστές οι τρεις από τις τέσσερις ποσότητες, *P*, *V*, *n* ή *T*, τότε είναι εύκολο να υπολογισθεί και η τέταρτη.

Τη σχέση (4) την ονομάσαμε νόμο των ιδανικών αερίων, γιατί τα πραγματικά αέρια εμφανίζουν μια μικρή απόκλιση από αυτήν. Τις περισσότερες φορές, για να ανιχνευθούν αυτές οι αποκλίσεις, απαιτούνται πολύ ακριβείς μετρήσεις.

Ο νόμος των ιδανικών αερίων είναι πολύ χρήσιμος για υπολογισμούς που αφορούν αέρια. Για παράδειγμα, ας υποθέσομε ότι θέλετε να σχεδιάσετε ένα δοχείο, το οποίο να χωράει τρία (3) moles αζώτου, σε 25°K και πίεση μιας ατμόσφαιρας. Τι όγκο πρέπει να έχει το δοχείο; Το παράδειγμα που ακολουθεί δείχνει πώς να βρείτε τη σωστή απάντηση.

Παράδειγμα.

Στην αρχή αναγράφονται οι γνωστές ποσότητες, αφού προηγουμένως έχουν εκφρασθεί στο κατάλληλο σύστημα μονάδων.

$$P = 1 \text{ atm}$$
$$n = 3 \text{ moles}$$
$$T = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

Στη συνέχεια αναμορφώνεται η εξίσωση έτσι, ώστε στο αριστερό μέρος να βρίσκεται η άγνωστη ποσότητα που πρόκειται να υπολογισθεί και στο δεξιό όλες οι γνωστές.

$$V = \frac{(0{,}0820) \times nT}{P}$$

Τέλος, αντικαθίστανται οι γνωστές ποσότητες με τις αριθμητικές τους τιμές:

$$V = \frac{(0{,}0820)(3)(298)}{1} = 73{,}3 \text{ λίτρα}$$

6.7 *Το μοριακό πρότυπο συμφωνεί και στις λεπτομέρειες με το νόμο των ιδανικών αερίων.*

Με τη βοήθεια μερικών γνώσεων φυσικής και άλγεβρας, μπορούμε να δείξομε ότι με το μοριακό πρότυπο ερμηνεύεται ο νόμος των ιδανικών αερίων. Δηλαδή ο νόμος των αερίων της εξισώσεως (4), είναι δυνατόν να προκύψει από το πρότυπο.

Ας υποθέσομε ότι έχομε ένα κυβικό δοχείο με ακμή *l* εκατοστών, που περιέχει *n* μόρια, το καθένα μάζας *m*. Η θερμοκρασία είναι Τ βαθμοί Κέλβιν.

Σύμφωνα με το πρότυπο, τα μόρια του αερίου κινούνται μέσα στο δοχείο προς τυχαίες κατευθύνσεις, προκαλώντας ελαστικές συγκρούσεις με τα τοιχώματα. Το πρότυπο δεν αναφέρει πουθένα ότι όλα τα μόρια θα έχουν την ίδια ταχύτητα, και μάλιστα, όπως θα διαπιστώσετε αργότερα, *δεν* έχουν. Όμως, μπορούμε να λάβομε υπόψη στους υπολογισμούς μας τη *μέση* ταχύτητα, *υ*. Ένα σωματίδιο μάζας *m*, που κινείται με ταχύτητα *υ*, έχει δύο ιδιότητες: Την ορμή, *M*, και την κινητική ενέργεια, *KE*. Οι ιδιότητες αυτές ορίζονται από βασικές αρχές της φυσικής, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$M = m \cdot \upsilon$$
$$KE = \tfrac{1}{2}\, m \cdot \upsilon^2$$

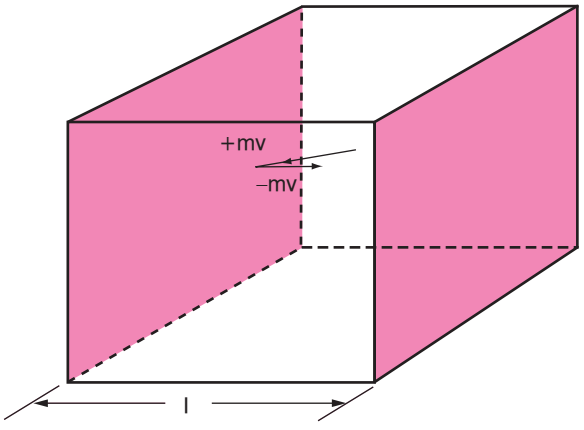
Όταν ένα μόριο συγκρούεται ελαστικά με τα τοιχώματα του δοχείου που το περιέχει, μεταφέρει ορμή στο τοίχωμα, όπως δείχνει και το σχήμα 6-10.

Αν φθάσει στο τοίχωμα με ταχύτητα *υ*, θα πρέπει να επιστρέψει πίσω με ταχύτητα *–υ*, γιατί αντιστρέφεται η φορά του. Έτσι, η ορμή που μεταφέρθηκε είναι ίση με τη διαφορά ανάμεσα στην αρχική και την τελική ορμή του μορίου.

Ορμή που μεταδίδεται ανά σύγκρουση =

$$= mv - (-mv) = mv + mv = 2\,mv \qquad (5)$$

Πόσες συγκρούσεις γίνονται ανά δευτερόλεπτο; Κατά μέσο όρο, το ένα τρίτο των μορίων, *N*/3, πηγαινοέρχονται ανάμεσα στο κάθε



ΣΧΗΜΑ 6-10. *Ένα μόριο συγκρούεται με τα τοιχώματα του δοχείου με ορμή +mv, και επιστρέφει με ορμή –mv, μεταφέροντας έτσι τελικά στο τοίχωμα ορμή 2 mv.*

ζευγάρι των παραλλήλων τοιχωμάτων του δοχείου. Ο χρόνος που χρειάζονται, για να πάνε από το ένα τοίχωμα στο άλλο και να επιστρέψουν πάλι πίσω, είναι $(2l)/v$. Γι' αυτό, ο αριθμός των συγκρούσεων που δέχεται το ένα τοίχωμα σε κάθε δευτερόλεπτο εκφράζεται και έτσι:

$$\frac{\text{συγκρούσεις}}{\text{δευτερόλεπτο}} =$$

$$= \frac{\text{αριθμός των μορίων που πηγαινοέρχονται}}{\text{χρόνος που χρειάζεται για την πλήρη διαδρομή}} =$$

$$= \frac{N\beta}{(2l)/v} = \left[\frac{N}{3}\right] = \left[\frac{v}{2l}\right] = \frac{Nv}{6l} \qquad (6)$$

Η πίεση ορίζεται και ως το ποσό της ορμής ανά δευτερόλεπτο που μεταφέρεται στη μονάδα επιφανείας του τοιχώματος. Σύμφωνα με αυτό, η πίεση στο ένα τοίχωμα αποδίδεται και ως εξής:

$$P = \left[\frac{\text{συγκρούσεις}}{\text{δευτερόλεπτο}}\right]\left[\frac{\text{ορμή}}{\text{συγκρούσεις}}\right]\left[\frac{1}{\text{εμβαδόν}}\right] \qquad (7)$$

Αν αντικατασταθούν οι λεκτικές διατυπώσεις με τα αντίστοιχα φυσικά μεγέθη, καταλήγομε στην εξής εξίσωση:

$$P = \left[\frac{Nv}{6l}\right](2mv)\left[\frac{l}{l^2}\right] = \frac{l}{3}\left[\frac{N}{l^3}\right](mv^2) \qquad (8)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ποσότητα l^3 βρίσκεται στον παρονομαστή. Επειδή ισοδυναμεί στην πραγματικότητα με τον όγκο του δοχείου, ας την αντικαταστήσομε με V.

$$P = \frac{l}{3}\left[\frac{N}{V}\right](mv^2)$$

$$PV = \frac{l}{3}Nmv^2 \qquad (9)$$

Η ποσότητα mv^2 ισούται με το διπλάσιο της μέσης κινητικής ενέργειας του μορίου. Όταν προσδοθεί θερμική ενέργεια σε ένα αέριο, συμβαίνουν δύο πράγματα. Η θερμοκρασία του αυξάνεται και η θερμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των μορίων. Η σχέση μεταξύ T και κινητικής ενέργειας είναι ανάλογη:

$$T = (\text{σταθερά}) \cdot KE = C \cdot mv^2$$

Αν ορίσομε τη σταθερά C', ώστε $C' = 1/C$, τότε με κατάλληλες μετατροπές οδηγούμαστε στην ακόλουθη διατύπωση των αποτελεσμάτων:

$$mv^2 = C'T \qquad (10)$$

Και αν αντικαταστήσομε τη σχέση (10) στην εξίσωση (9), έχομε:

$$PV = \frac{l}{3}N(C'T) \qquad (11)$$

Τέλος, αντί για τον αριθμό των μορίων, μπορούμε να χρησιμοποιήσομε τα moles. Δηλαδή να αντικαταστήσομε το N από το $(6{,}02 \times 10^{23})\,n$, όπου με n παριστάνομε τον αριθμό των γραμμομορίων:

$$PV = \left[\frac{C'}{3}(6{,}02 \times 10^{23})\right]nT \qquad (12)$$

Όλες οι ποσότητες που βρίσκονται μέσα στις παρενθέσεις είναι σταθερές, γι' αυτό τις αντικαθιστούμε με το γράμμα R και γράφομε:

$$PV = RnT \qquad (13)$$

Το μοριακό πρότυπο μας οδήγησε έτσι στον ίδιο ακριβώς τύπο, στον οποίο είχαμε καταλήξει και με τη βοήθεια του πειράματος. Αξίζει να υπενθυμίσομε εδώ ότι οι νόμοι του Boyle και του Charles προέκυψαν από καθαρώς πειραματικά δεδομένα. Απλώς περιγράφουν, όσα είναι δυνατόν να προκύψουν από παρατηρήσεις. Στη συνέχεια, αυτά, αφού συνδυασθούν και με την υπόθεση του Avogadro, δίνουν το νόμο των ιδανικών αερίων.

Τελικά, αφού το πρότυπο που αποδεχθήκαμε συμφωνεί τόσο πολύ με τα πειραματικά δεδομένα, θα πρέπει να το εξετάσομε με μεγαλύτερη προσοχή. Θα πρέπει, δηλαδή, να αρχίσομε να πιστεύομε ότι τα μόρια υπάρχουν πράγματι και ότι τα αέρια αποτελούνται από ελάχιστα σωματίδια, που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα, έστω και αν δεν είναι δυνατόν να διακρίνομε κανένα από αυτά. Δεν είμαστε υποχρεωμένοι να τα πιστέψομε όλα

Περίληψη.

Ο όρος Κ.Σ. σημαίνει σταθερή θερμοκρασία 0°C και πίεση μιας ατμόσφαιρας. Ο νόμος του Boyle ($PV = C$) ισχύει μόνο όταν η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται. Ο Jacques Charles ανακάλυψε ότι όλα τα αέρια διαστέλλονται κατά το ίδιο ποσοστό του αρχικού τους όγκου, αν αυξηθεί η

θερμοκρασία τους κατά την ίδια ποσότητα. Αυτή η σχέση ονομάσθηκε νόμος του Charles.

Το μοριακό πρότυπο συμφωνεί με την επίδραση της θερμοκρασίας πάνω στις ιδιότητες των αερίων. Αν ένα αέριο, που βρίσκεται μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, θερμανθεί, θα απορροφήσει ενέργεια. Καθώς τα μόρια του αερίου αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια, κινούνται ταχύτερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να συγκρούονται με μεγαλύτερη ταχύτητα και συχνότητα με τα τοιχώματα του δοχείου, εντός του οποίου βρίσκονται, και έτσι να δημιουργείται αύξηση της πιέσεως. Αν αυτά τα μόρια που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα δεν είναι περιορισμένα μέσα σε ένα δοχείο, τότε θα απομακρυνθούν και θα παρατηρηθεί αύξηση του όγκου. Αν ένα αέριο ψυχθεί, αφαιρείται κινητική ενέργεια από τα μόριά του, με αποτέλεσμα αυτά να κινούνται βραδύτερα. Γι' αυτό και ασκούν λιγότερη πίεση επάνω στα τοιχώματα του δοχείου. Υπάρχει κάποια θερμοκρασία, στην οποία ο όγκος εξισώνεται με το μηδέν; Βεβαίως όχι, γιατί τα αέρια συμπυκνώνονται, σχηματίζοντας υγρά. Θεωρητικά όμως, αν σχεδιάσομε την καμπύλη της μεταβολής του όγκου ως προς τη θερμοκρασία, είναι δυνατόν να βρούμε σε ποια θερμοκρασία ο όγκος τους μηδενίζεται, υπό την προϋπόθεση ότι δεν γίνεται συμπύκνωση. Η θερμοκρασία αυτή είναι περίπου –273˚C και ονομάζεται απόλυτο μηδέν. Το απόλυτο μηδέν ορίζεται (για τα δικά σας προβλήματα) ως εκείνη η θερμοκρασία, στην οποία τα μόρια δεν έχουν κινητική ενέργεια.

Στην απόλυτη κλίμακα ή κλίμακα του Κέλβιν, το σημείο πήξεως του νερού είναι 273 K, ενώ το σημείο ζέσεως 373 K. Από αυτό είναι φανερό ότι η μονάδα στην απόλυτη κλίμακα (ή Κέλβιν) έχει το ίδιο μέγεθος με τη γνωστή μας μονάδα της κλίμακας Κελσίου. Για να μετατρέψομε μια θερμοκρασία από την κλίμακα Κελσίου στην κλίμακα Κέλβιν, προσθέτομε τον αριθμό 273 στην ένδειξη της κλίμακας Κελσίου. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία 22˚C (κανονική θερμοκρασία δωματίου) ισούται με 295 K (= 273 + 22).

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Τι είναι Κ.Σ.;
2. Περιγράψτε τον νόμο του Charles.
3. Περιγράψτε το είδος των πειραμάτων, με τα οποία αποδεικνύεται ο νόμος του Charles.
4. Εξηγήστε με βάση το μοριακό πρότυπο, πώς δικαιολογούνται οι μεταβολές της πιέσεως και του όγκου, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία.
5. Τι είναι το απόλυτο μηδέν; Πώς εκφράζεται αριθμητικά;
6. Μετατρέψτε 50˚C στην αντίστοιχη κλίμακα

Περίληψη κεφαλαίου

Γραμμομοριακή μάζα ή γραμμομόριο ουσίας είναι η μάζα σε γραμμάρια ενός mole μορίων της ουσίας αυτής. Έτσι, η γραμμομοριακή μάζα ή το γραμμομόριο του O_2 είναι 32 g.

Όταν δύο ή περισσότερα αέρια που δεν αντιδρούν μεταξύ τους τοποθετηθούν στο ίδιο δοχείο, το καθένα εξασκεί την ίδια πίεση με αυτήν που θα εξασκούσε, αν δεν υπήρχαν τα άλλα αέρια. Έτσι η συνολική πίεση ισούται με το άθροισμα των διαφόρων μερικών πιέσεων.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν τις πιέσεις και τους όγκους των αερίων. Ο νόμος του Charles ορίζει ότι όλα τα αέρια διαστέλλονται κατά το ίδιο κλάσμα του αρχικού τους όγκου, αν μεταβληθεί η θερμοκρασία τους κατά το ίδιο ποσό. Αν ένα αέριο θερμανθεί μέσα σε ένα κλειστό δοχείο έτσι, ώστε να εμποδίζεται η αύξηση του όγκου του, τότε θα αυξηθεί η πίεσή του. Η θερμομετρική κλίμακα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των μεταβολών της θερμοκρασίας στα αέρια, ονομάζεται απόλυτη ή κλίμακα Κέλβιν. Βασίζεται σε μια θεωρητική προέκταση της γραφικής παραστάσεως του διαγράμματος όγκου-θερμοκρασίας, όπου η θερμοκρασία μειώνεται μέχρι το σημείο εκείνο, όπου ο όγκος του αερίου γίνεται μηδέν. Το σημείο αυτό είναι –273˚C.

Στην κλίμακα Κέλβιν χρησιμοποιείται αυτό το σημείο ως απόλυτο μηδέν ενώ ως μονάδα μετρήσεως χρησιμοποιείται το ίδιο μέγεθος με την κλίμακα Κελσίου. Με βάση την απόλυτη κλίμακα, το σημείο πήξεως του ύδατος (0˚C) είναι 273 K, ενώ το σημείο βρασμού (100˚C) είναι 373 K. Για να μετατραπούν ενδείξεις της κλίμακας Κελσίου σε Κέλβιν, προσθέτομε τον αριθμό 273 στις ενδείξεις Κελσίου.

Οι τρεις χωριστοί νόμοι, Νόμος του Boyle, Νόμος του Charles και υπόθεση του Avogadro, εκφράζονται με την εξίσωση $PV = RnT$, γνωστή ως νόμος των ιδανικών αερίων. Η R είναι μια

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Πόσα μόρια υπάρχουν σε 22,4 λίτρα ενός αερίου, στους 0°C και πόσα σε 11,2 λίτρα;
2. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στη θερμοκρασία και τον αριθμό των μορίων που υπάρχουν στον όγκο ενός mole ενός αερίου;
3. Γιατί αυξάνεται η πίεση μέσα σε ένα λάστιχο αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια μιας θερμής ημέρας; Να το εξηγήσετε με τη βοήθεια της κινητικής θεωρίας.
4. Γιατί είναι προτιμότερο, όταν ασχολούμασθε με αέρια, να εκφράζομε όλες τις θερμοκρασίες σε Κέλβιν;
5. Ποια σχέση μεγέθους υπάρχει ανάμεσα σε ένα βαθμό Κέλβιν και ένα βαθμό Κελσίου; Ποια είναι η σχέση που υπάρχει ανάμεσα σε μια θερμοκρασία εκφρασμένη σε Κέλβιν και σε μια θερμοκρασία εκφρασμένη σε βαθμούς Κελσίου;
6. Φαντασθείτε δύο κλειστά δοχεία του ιδίου όγκου, το ένα γεμάτο με αέριο υδρογόνο και το άλλο με αέριο διοξείδιο του άνθρακα. Και τα δύο αέρια βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου και πίεση μιας ατμόσφαιρας. Αν αυξηθεί η θερμοκρασία του υδρογόνου, πώς θα μεταβληθούν τα δύο αέρια ως προς:
   (α) Την πίεση.
   (β) Τον όγκο.
   (γ) Τον αριθμό των moles.
   (δ) Τη μέση μοριακή κινητική ενέργεια;
7. Δύο όμοιοι κύλινδροι είναι εφοδιασμένοι με κινούμενα έμβολα (πιστόνια), ώστε να επιτρέπεται η μεταβολή των όγκων τους. Ο ένας κύλινδρος περιέχει κάποια ποσότητα αερίου αζώτου και ο άλλος ίδιο όγκο αερίου οξυγόνου. Και τα δύο αέρια βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και πίεση.
   (α) Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στους αριθμούς των moles των δύο αερίων;
   (β) Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στους αριθμούς των μορίων τους;
   (γ) Αν η μάζα του αζώτου είναι 7,00 g, ποια θα είναι η μάζα του οξυγόνου;
   (δ) Αν μειωθεί η θερμοκρασία του οξυγόνου, τότε πώς θα μεταβληθεί η σχέση των δύο αερίων όσον αφορά στην πίεση, στον όγκο, στον αριθμό των moles και στη μέση μοριακή κινητική τους ενέργεια;
8. Πιο κάτω αναφέρονται τα σημεία πήξεως και ζέσεως μερικών υγρών, σε βαθμούς Κελσίου. Εκφράστε αυτές τις θερμοκρασίες με τη βοήθεια της κλίμακας απολύτων θερμοκρασιών (Κέλβιν).

Υγρό υδρογόνο:	σημείο ζέσεως	= –253°C
	σημείο πήξεως	= –259°C
Υγρό οξυγόνο:	σημείο ζέσεως	= –183°C
	σημείο πήξεως	= –218°C
Υγρό ήλιο:	σημείο ζέσεως	= –269°C
Υγρό άζωτο:	σημείο πήξεως	= –210°C

9. Παρακάτω αναφέρονται τα σημεία ζέσεως και πήξεως ορισμένων υγρών σε Κέλβιν. Να τα εκφράσετε με τη βοήθεια της κλίμακας Κελσίου.

Υγρό νέον:	σημείο ζέσεως	= 27 K
	σημείο πήξεως	= 24 K
Υγρό χλώριο:	σημείο ζέσεως	= 238 K
	σημείο πήξεως	= 166 K
Υγρό ακετυλένιο:	σημείο ζέσεως	= 201 K
	σημείο πήξεως	= 192 K

10. Ένα μικρό γυάλινο φιαλίδιο έχει μάζα 108,11 γραμμάρια, όταν απομακρυνθεί όλος ο αέρας που περιέχει. Αν στη συνέχεια το γεμίσομε με αέριο οξυγόνο, σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία δωματίου, αποκτά μάζα 109,56 γραμμάρια. Αν το γεμίσομε ενώ βρίσκεται πάλι σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία δωματίου με ένα αέριο δείγμα, που συλλέγεται πάνω από τον κρατήρα ενός ηφαιστείου, έχει μάζα 111,01 γραμμάρια. Ποια από τις παρακάτω πιθανές απαντήσεις συμφωνεί με τα δεδομένα;

    Το αέριο του ηφαιστείου είναι καθαρό αέριο: CO_2 ή OCS ή Si_2H_6 ή SO_2 ή NF_3 ή SO_3 ή S_8.

    Το αέριο του ηφαιστείου είναι μίγμα από: ίσα ποσά CO_2 και K_Γ (δηλαδή 50-50).

    (Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον πίνακα ατομικών μαζών, που υπάρχει στο Παράρτημα 3).
11. Αν γεμίσομε το γυάλινο φιαλίδιο της

ερωτήσεως 10 με αέριο άζωτο, σε σταθερές συνθήκες, θα έχει μάζα 109,93 γραμμάρια. Αν το γεμίσομε με ένα από τα αέρια που αναφέρονται πιο κάτω, σε Κ.Σ., η μάζα του γίνεται 109,15 γραμμάρια. Ποιος νομίζετε ότι είναι ο μοριακός τύπος του αγνώστου αερίου;
HCl, CH_4, NH_3, Cl_2, C_2H_2, CO, SO_2, CO_2

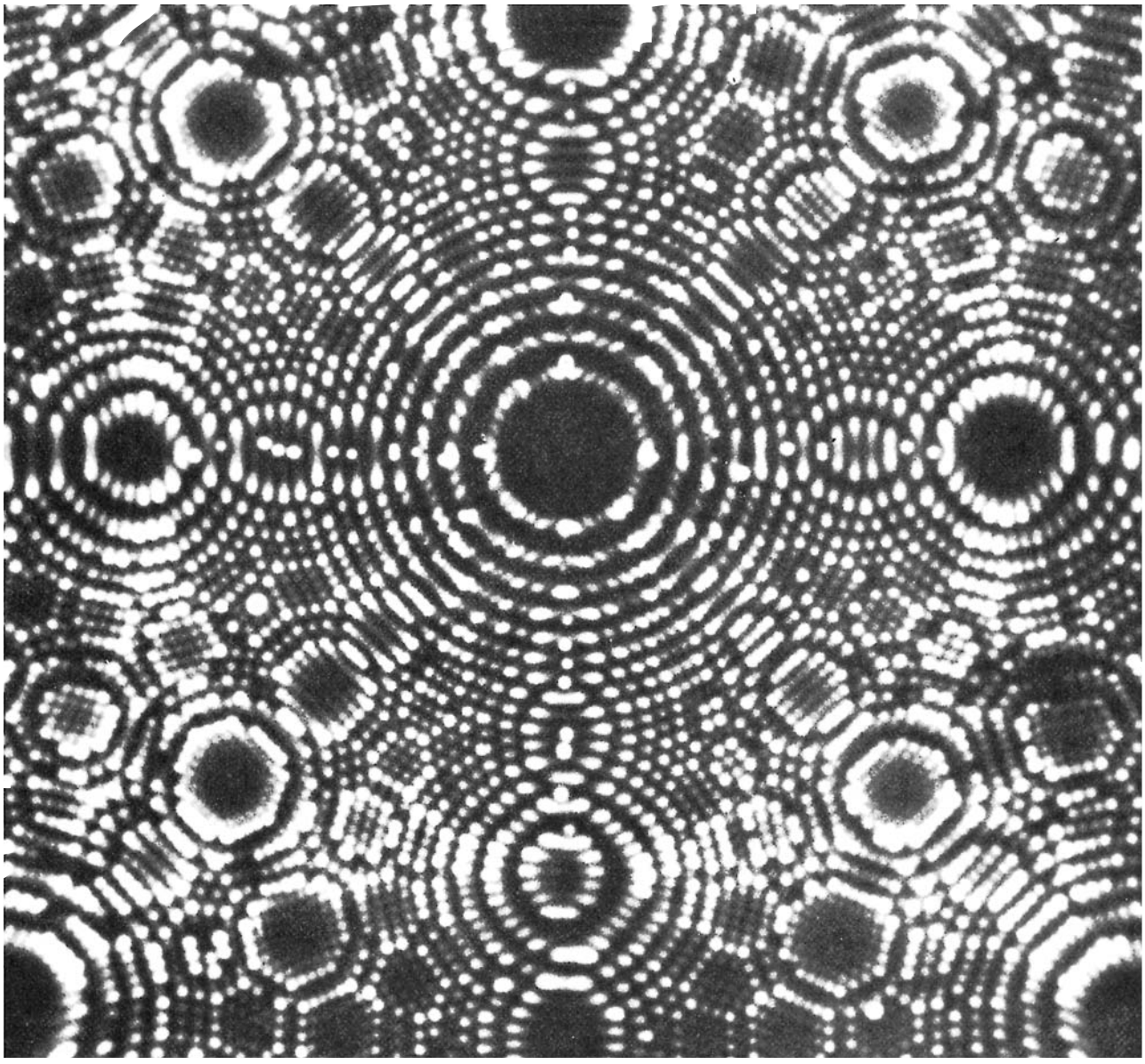
12. Ποια είναι η μάζα ενός mole αερίου, αν γνωρίζετε ότι σε θερμοκρασία 0˚C και πίεση μίας ατμόσφαιρας 1,00 λίτρο αυτού έχει μάζα 2,00 γραμμάρια;
13. Ένα δείγμα αερίου έχει μάζα 2,5 g και όγκο 500 ml, σε Κ.Σ.; Ποια είναι η μάζα ενός mole αυτού του αερίου;
14. Αν θερμανθούν στους 20˚C 100 ml ενός αερίου που βρίσκονται στους 10˚C (με την προϋπόθεση ότι η πίεση και ο αριθμός των μορίων παραμένουν σταθερά), με ποιον από τους παρακάτω αριθμούς θα συμπέσει ο νέος όγκος του αερίου; (α) 50 ml, (β) 1000 ml, (γ) 100 ml, (δ) 375 ml, (ε) 103 ml.
15. Αν ο όγκος ενός αερίου που ασκεί πίεση 800 Torr, μεταβάλλεται από 50 ml σε 250 ml (η θερμοκρασία και ο αριθμός των μορίων παραμένουν σταθερά), με ποιον από τους παρακάτω αριθμούς θα συμπέσει η τελική του πίεση; (α) 50 Torr, (β) 4000 Torr, (γ) 16 Torr, (δ) 160 Torr, (ε) 250 Torr.
16. Ένας πυροσβεστήρας διοξειδίου του άνθρακα, όγκου τριών λίτρων, περιέχει 4,55 kg CO_2. Ποιος όγκος αερίου θα ελευθερωθεί από αυτόν τον πυροσβεστήρα σε κανονικές συνθήκες;
17. Αν πρόκειται να ελευθερωθούν 10.000 λίτρα αερίου CO_2 από έναν πυροσβεστήρα διοξειδίου του άνθρακα όγκου 10 λίτρων, πόσα kg CO_2 πρέπει να περιέχει;
18. Πεπιεσμένο αέριο οξυγόνο πωλείται συνήθως μέσα σε χαλύβδινους κυλίνδρους, που έχουν πίεση 130 atm και όγκο 40 λίτρα.
    (α) Πόσα moles οξυγόνου περιέχει ένας γεμάτος τέτοιος κύλινδρος, αν μετρηθεί η πίεση σε 0˚C;
    (β) Πόσα χιλιόγραμμα οξυγόνου υπάρχουν στον κύλινδρο;
19. Πόσα moles αερίου αζώτου περιέχονται μέσα σε έναν κύλινδρο των 25 λίτρων, σε θερμοκρασία 25˚C και πίεση 200 atm; Πόσα χιλιόγραμμα αζώτου υπάρχουν μέσα στον κύλινδρο;
20. 1,5 λίτρο δείγματος ξηρού αέρα βρίσκεται μέσα σε ένα κύλινδρο υπό πίεση 3,00 atm και θερμοκρασία 25˚C. Ένα έμβολο που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο υποχωρεί αυξάνοντας τον όγκο του κυλίνδρου και μειώνει την πίεση σε 1,00 atm, χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία. Ποιος είναι τώρα ο όγκος του αέρα;
21. Το λάστιχο ενός αυτοκινήτου μετά από μια μακριά διαδρομή κατά τη διάρκεια μιας ζεστής ημέρας, δείχνει μια απόλυτη πίεση αέρα ίση με 2,72 atm (ή 40 lbs/in^2) και θερμοκρασία 30˚C. Μετά από μερικές ημέρες η θερμοκρασία του γίνεται 5˚C. Αν υποθέσομε ότι ο όγκος του λάστιχου και ο αριθμός των μορίων του αέρα που υπάρχει μέσα σε αυτό, δεν αλλάζουν, να προσδιορίσετε την πίεση του αέρα μέσα στο λάστιχο όταν η θερμοκρασία του είναι 5˚C.
22. Η πυκνότητα του υγρού διοξειδίου του άνθρακα σε θερμοκρασία δωματίου είναι 0,80 g/ml. Τι περιεκτικότητα πρέπει να έχει ένα δοχείο υγρού CO_2, ώστε να φουσκώσει ένα σωσίβιο χωρητικότητας 4,0 λίτρων σε Κ.Σ.;
23. Η πυκνότητα του υγρού διοξειδίου του άνθρακα είναι 0,80 g/ml, σε θερμοκρασία δωματίου. Τι όγκο πρέπει να έχει μια λαστιχένια βάρκα ώστε να μπορούμε να τη φουσκώσομε με ένα ειδικό δοχείο μεταφοράς υγρού CO_2 που περιέχει 25 ml; Να λάβετε υπόψη σας ότι η πίεση είναι 1 atm και η θερμοκρασία 25˚C.
24. Ένας σπουδαστής συλλέγει μια ποσότητα υδρογόνου πάνω από νερό και προσδιορίζει ότι συνυπάρχουν $2,00 \times 10^{-3}$ γραμμομόρια υδρογόνου και $6,0 \times 10^{-5}$ C γραμμομόρια υδρατμών. Αν η συνολική πίεση μέσα στο σωλήνα, όπου έγινε η συλλογή, είναι 760 Torr, ποια θα είναι η μερική πίεση του καθενός αερίου;
25. Ας υποθέσομε ότι συλλέγεται αέριο N_2 πάνω από νερό και ότι μέσα στο σωλήνα όπου γίνεται η συλλογή βρέθηκαν να συνυπάρχουν 4×10^{-3} γραμμομόρια αερίου N_2 και 8×10^{-5} γραμμομόρια υδρατμών. Αν το αέριο άζωτο ασκεί μια πίεση 800 Torr, τότε ποια θα είναι η συνολική πίεση που θα ασκείται μέσα στο σωλήνα συλλογής;
26. Ένα κερί καίγεται κάτω από ένα ποτήρι, μέχρι να σβήσει. Ένα δείγμα του αερίου μίγματος που υπάρχει μέσα στο ποτήρι περιέχει $6,08 \times 10^{-20}$ μόρια αζώτου, και 0,76 x

10^{20} μόρια διοξειδίου του άνθρακα. Η συνολική πίεση είναι 764 Torr. Ποια θα είναι η μερική πίεση του καθενός αερίου;

27. Ένα μίγμα αερίων περιέχει 4,04 x 10^{12} μόρια αζώτου, 0,98 x 10^{12} μόρια οξυγόνου και 0,40 x 10^{12} μόρια διοξειδίου του άνθρακα. Να προσδιορίσετε το μέγεθος της πιέσεως που ασκεί το κάθε αέριο χωριστά, αν η συνολική πίεση του μίγματος είναι 840 Torr.
28. Δείγμα αζώτου συλλέγεται πάνω από νερό στους 18,5˚C. Η τάση ατμών του νερού είναι 16 Torr στους 18,5˚C. Ποια θα είναι η μερική πίεση του αζώτου, όταν η πίεση του δείγματος εξισωθεί με την ατμοσφαιρική, 765 Torr; Ποια θα είναι η μερική πίεση του αζώτου, αν μειωθεί ο όγκος κατά ένα συντελεστή 740/760;
29. Ένα δείγμα υδρογόνου που συλλέγεται πάνω από νερό στους 25˚C και σε πίεση 760 Torr, καταλαμβάνει 100 ml. Ποιος θα ήταν ο όγκος που θα κατελάμβανε το αέριο, αν ήταν ξηρό, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση; (Η τάση ή πίεση ατμών του νερού στους 25˚C είναι 23,8 Torr.)
30. Ένας κύλινδρος περιέχει ταυτόχρονα αέριο άζωτο και μια μικρή ποσότητα νερού σε υγρή κατάσταση και σε θερμοκρασία 25˚C (η τάση ατμών του νερού στους 25˚C είναι 23,8 Torr). Η συνολική πίεση είναι 600 Torr. Ένα έμβολο, που βρίσκεται προσαρμοσμένο μέσα στον κύλινδρο πιέζεται, μέχρι να υποδιπλασιασθεί ο όγκος του. Ποια θα είναι η τελική συνολική πίεση, αν η θερμοκρασία διατηρηθεί στους 25˚C;
31. Ένας κύλινδρος έχει εφοδιασθεί με ένα έμβολο, ώστε ο όγκος του να έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλεται. Μέσα στον κύλινδρο διαβιβάζομε ένα δείγμα αερίου μαζί με μια μικρή ποσότητα νερού σε υγρή κατάσταση και σε θερμοκρασία 20˚C (η τάση ατμών του νερού στους 20˚C είναι 17,5 Torr). Η συνολική πίεση είναι 400 Torr. Το έμβολο κινείται και μεταβάλλει τον όγκο από 2 λίτρα σε 5. Ποια είναι η τελική συνολική πίεση στους 20˚C;
32. Ας υποθέσομε ότι ο σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα εκείνο, κατά το οποίο συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα του πίνακα 6.2, τοποθετείται πάνω σε ένα κομμάτι ξηρού πάγου (στερεού CO_2), θερμοκρασίας −78˚C. Ποιος πρέπει να είναι ο σχετικός όγκος του αερίου; Σε ποια θερμοκρασία της απόλυτης κλίμακας αντιστοιχεί αυτή η θερμοκρασία;
33. Ας υποτεθεί ότι διεξάγεται ένα πείραμα, όμοιο με αυτό που περιγράφει το σχήμα 6-2, με τη μόνη διαφορά ότι η πίεση του O_2 είναι 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Στοιχεία, χημικές ενώσεις και χημικές αντιδράσεις



Η διάταξη των ατόμων σε μια λεπτή τομή του μετάλλου ιριδίου, στους 21 Κ. Την εικόνα αυτή μας έδωσε ένα μικροσκόπιο πεδίου ιόντων, ένα όργανο με το οποίο είναι δυνατόν να αποδείξομε την ύπαρξη των διαφόρων ατόμων.

Στα προηγούμενα κεφάλαια διδαχτήκατε πώς δικαιολογούνται οι βασικές ιδιότητες των αερίων με τη βοήθεια ενός προτύπου. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, ένα αέριο αποτελείται από τεράστιο αριθμό μικροσκοπικών σωματιδίων, τα οποία ονομάζονται μόρια. Το πρότυπο αυτό αποδείχθηκε τόσο χρήσιμο και υπήρξαν τόσες ενδείξεις για την πραγματική ύπαρξη των μορίων, ώστε οι χημικοί σχεδόν πείσθηκαν ότι τα μόρια υπάρχουν στην πραγματικότητα.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα μάθετε ακόμα περισσότερα για τα μόρια. Επίσης, θα διδαχθείτε πώς είναι δυνατόν να τα διασπάσουν οι χημικοί προκειμένου να βρουν από ποια άτομα αποτελούνται ή ακόμη πώς δημιουργούνται τα μόρια. Θα ενημερωθείτε δε για τα διάφορα είδη ατόμων που απαντώνται στη φύση. Αν και λιγότερα από εκατό, αυτά τα διαφορετικά είδη ατόμων ενώνονται με διάφορους τρόπους, για να δημιουργήσουν τα εκατομμύρια των διαφορετικών ουσιών του σύμπαντος.

Στοιχειώδη σωματίδια της ύλης

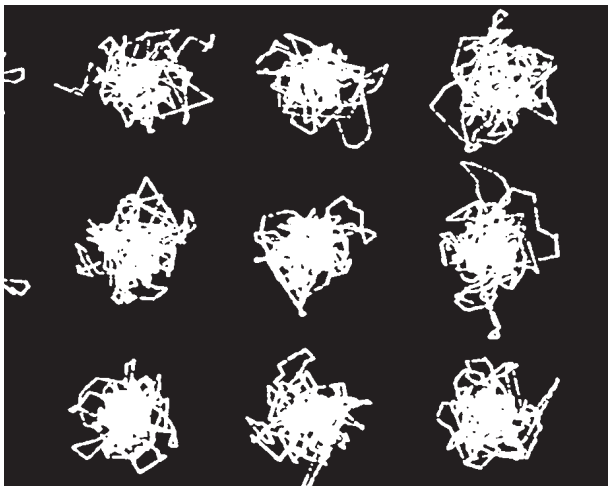
7.1 Άτομα και μόρια σε υγρά και στερεά.

Το σωματιδιακό πρότυπο των αερίων αναπτύχθηκε αναλυτικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Αποδείχθηκε ότι πολλές από τις ιδιότητες των αερίων μπορούν να γίνουν κατανοητές αλλά και να συσχετισθούν, αν θεωρήσομε ότι κάθε αέριο αποτελείται από ταχέως κινούμενα σωματίδια, που ονομάζονται μόρια (ή για μερικά αέρια, άτομα). Όλα τα αέρια όμως μπορούν να συμπυκνωθούν προς υγρά, αλλά και όλα τα υγρά ψυχόμενα να μετατραπούν σε στερεά. Επίσης, σχεδόν όλες οι ουσίες που κανονικά απαντούν ως υγρά ή στερεά, μπορούν να μετατραπούν σε αέρια, αν αυξηθεί αρκετά η θερμοκρασία τους. Πολλές φορές δεν είναι δυνατόν να δημιουργήσομε αρκετά υψηλές πιέσεις αερίων χωρίς να ανυψωθούν οι θερμοκρασίες σε επίπεδο που μπορούν να προκαλέσουν διάσπαση των μορίων. Οπωσδήποτε όμως η ουσία μετατρέπεται, έστω σε μικρό βαθμό ή ελάχιστα σε μορφή αερίου ή ατμού. Γενικά, οι ουσίες έχουν τη δυνατότητα να μεταπίπτουν από την αέρια φάση σε άλλες συμπυκνωμένες φάσεις (δηλαδή την υγρή και τη στερεά) και αντίστροφα, από τις συμπυκνωμένες στην αέρια φάση. Το γεγονός αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό, αν δεχθούμε ότι τα ίδια μόρια υπάρχουν σε όλες τις φάσεις. Τα αέρια συμπυκνώνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, γιατί οι δυνάμεις έλξεως ανάμεσα στα μόρια είναι πολύ μικρές. Καθώς χαμηλώνει η θερμοκρασία, τα μόρια κινούνται όλο και πιο αργά, μέχρι το σημείο που η ταχύτητά τους (ή η κινητική τους ενέργεια) να μην έχει πια τη δυνατότητα να υπερνικήσει τις δυνάμεις που τείνουν να τα φέρουν κοντά. Τότε τα μόρια στοιβάζονται όλα μαζί σε ένα σωρό. Η φύση των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια, ο τρόπος που είναι διατεταγμένα στις συμπυκνωμένες φάσεις, όπως και μερικά άλλα σχετικά θέματα, θα μελετηθούν με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω. Ο λόγος αυτής της σύντομης αναφοράς είναι να επισημάνομε απλώς ότι τα υγρά και τα στερεά, όπως επίσης και τα αέρια, αποτελούνται από άτομα και μόρια. Η μόνη διαφορά είναι ότι στις συμπυκνωμένες φάσεις τα μόρια βρίσκονται πολύ πιο κοντά μεταξύ τους και διαθέτουν πολύ μικρότερη κινητική ενέργεια. Εξακολουθούν να κινούνται, όπως φαίνεται στα σχήματα 7-1 και 7-2, αλλά όχι τόσο μακριά και τόσο ελεύθερα όπως στα αέρια.

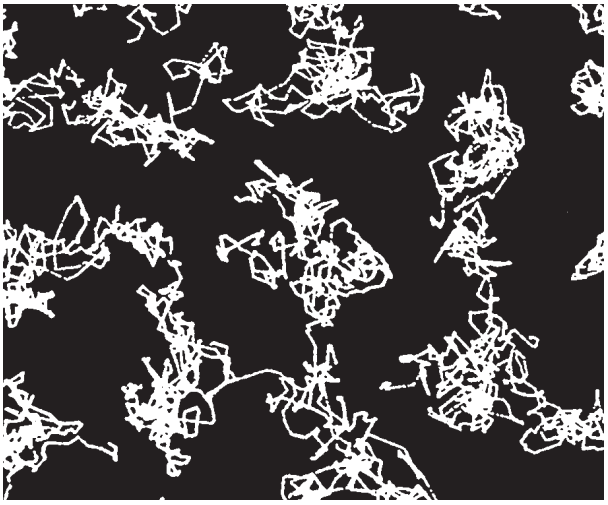
7.2 Τα αέρια μπορούν να υγροποιηθούν.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο τρόπος με τον οποίο προέκυψε ο νόμος των αερίων, $PV = nRT$, από συνδυασμό των απλουστέρων εμπειρικών νόμων των Boyle, Charles και Avogadro. Ο νόμος αυτός είναι δυνατόν να προέλθει και από μαθηματικούς υπολογισμούς, αν θεωρηθεί ότι τα μόρια του αερίου είναι σωματίδια με (σχεδόν αμελητέο) μικρό όγκο, που μπορεί να παραλειφθούν και στερούνται οποιασδήποτε ελκτικής ή απωθητικής δυνάμεως ανάμεσά τους.

Σύμφωνα με αυτόν το νόμο των αερίων, αν γίνει η γραφική παράσταση της μεταβολής του γινομένου *PV*, σε συνάρτηση με την αύξηση της πιέσεως για δεδομένη σταθερή μάζα αερίου σε σταθερή θερμοκρασία, θα προκύψει μια οριζόντια γραμμή. Σχεδόν όλα τα πραγματικά αέρια συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο όσο η πίεση είναι μερικές ατμόσφαιρες. Πάνω, όμως, από πίεση 10 περίπου ατμοσφαιρών, τα περισσότερα αέρια αρχίζουν να εμφανίζουν κάποια απόκλιση από αυτήν τη συμπεριφορά. Οι αποκλίσεις γίνονται εντονότερες όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία και υψηλότερη η πίεση.



ΣΧΗΜΑ 7-1. *Τα μόρια στη στερεά φάση κινούνται μόνο γύρω από αυστηρά καθορισμένες θέσεις. Το σχεδιάγραμμα αυτό, που έχει δημιουργηθεί από ηλεκτρονικό υπολογιστή δείχνει την τροχιά που ακολουθούν τα μόρια κατά την κίνησή τους στη στερεά φάση. Η κάθε συστάδα παριστάνει την κίνηση δύο μορίων, το ένα πίσω από το άλλο.*



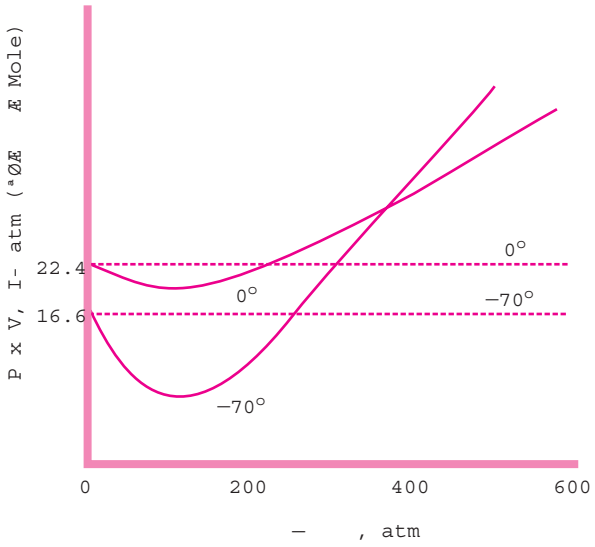
ΣΧΗΜΑ 7-2. *Τα μόρια κατά την κίνησή τους στην υγρή φάση διαθέτουν μεγαλύτερη ελευθερία από ότι στη στερεά αν και ο συνολικός αριθμός των μορίων ανά μονάδα όγκου δεν διαφέρει και πολύ. Αξίζει να συγκρίνετε τις τροχιές αυτών των μορίων της υγρής φάσεως με εκείνα της στερεάς.*

Ένα αέριο το οποίο ακολουθεί αυστηρά το νόμο $PV = nRT$ σε όλες τις θερμοκρασίες και τις πιέσεις, ονομάζεται ιδανικό αέριο. Γι' αυτό και ο ίδιος ο νόμος λέγεται νόμος των ιδανικών αερίων. Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει ιδανικό αέριο, αν και τα περισσότερα από τα κοινά αέρια όπως το οξυγόνο και το άζωτο, συμπεριφέρονται πρακτικώς κατά ιδανικό τρόπο, σε συνήθεις θερμοκρασίες και πιέσεις.

Όλα τα πραγματικά αέρια απέχουν, ως προς τη συμπεριφορά τους, άλλα περισσότερο και άλλα λιγότερο από τα ιδανικά. Δηλαδή δεν ακολουθούν πιστά τη συμπεριφορά που υπαγορεύεται από το νόμο των ιδανικών αερίων. Προκειμένου για το άζωτο (N_2), το είδος των αποκλίσεων που εμφανίζονται στο διάγραμμα του σχήματος 7-3 είναι τυπικό. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι η απόκλιση είναι πιο έντονη στις χαμηλές θερμοκρασίες. Το γενικό σχήμα όμως των καμπύλων γραμμών είναι όμοιο και στις δύο θερμοκρασίες.

Σε κάθε θερμοκρασία το γινόμενο *PV* αρχικά πέφτει κάτω από την τιμή που ορίζει ο νόμος των ιδανικών αερίων. Σε εξαιρετικά υψηλές πιέσεις το *PV* γίνεται πολύ μεγάλο.

Αιτία για τις χαμηλές τιμές του *PV* στις πιέσεις μέχρι 200 Atm είναι η ύπαρξη ασθενών ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια. Όταν αυξάνεται η πίεση, ο όγκος ελαττώνεται. Η μέση απόσταση ανάμεσα στα μόρια μικραίνει. Στις μικρότερες αποστάσεις οι ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες είναι αντιστρόφως ανάλογες της έκτης δυνάμεως της αποστάσεως, αρχίζουν να συμβάλλουν στην τάση των μορίων να πλησιάσουν. Οι δυνάμεις αυτές συνεργάζονται με την πίεση, για να μειώσουν τον όγκο. Ο όγκος μειώνεται ταχύτερα, καθώς αυξάνει η πίεση, από ό,τι θα περιμέναμε να συμβεί σύμφωνα με το νόμο των ιδανικών αερίων. Αυτός είναι ο λόγος που το γινόμενο *PV* λαμβάνει τιμή μικρότερη από την προβλεπόμενη με βάση το νόμο αυτό. Αυτές οι ενδομοριακές ελκτικές δυνάμεις αποκτούν εξαιρετική σημασία κατά την υγροποίηση των αερίων. Σε άλλο σημείο αυτού του κεφαλαίου θα μελετήσομε εκτενέστερα αυτό το



ΣΧΗΜΑ 7-3. *Η συνεχής καμπύλη δείχνει τη μη ιδανική συμπεριφορά του N_2, γιατί το PV μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και την πίεση. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει τη συμπεριφορά ενός ιδανικού αερίου, όπου το PV είναι σταθερό για κάθε πίεση και θερμοκρασία.*

θέμα. Κάτι άλλο που μπορείτε να παρατηρήσετε είναι ότι, καθώς αυξάνεται η πίεση, για κάθε επί πλέον αύξηση της πιέσεως, το γινόμενο *PV* αναγκαστικά αυξάνεται. Το *PV* τελικά γίνεται μεγαλύτερο από την τιμή που προβλέπει ο νόμος των ιδανικών αερίων. Η αιτία είναι πολύ απλή. Ο νόμος των ιδανικών αερίων δεν λαμβάνει υπόψη του το γεγονός ότι το κάθε μόριο έχει ένα μικρό αλλά συγκεκριμένο όγκο. Προκειμένου για το οξυγόνο σε Κ.Σ., τα μόρια αυτά καθ' αυτά καταλαμβάνουν μόνο το 0,1% περίπου του συνολικού όγκου. Έτσι, είναι λογικό σε αυτές τις συνθήκες να αγνοούμε τον όγκο των μορίων του. Καθώς αυξάνεται όμως η πίεση, ο συνολικός όγκος του αερίου γίνεται τελικά τόσο μικρός, ώστε το μέρος που καταλαμβάνουν αυτά καθ' αυτά τα μόρια να αποτελεί πλέον ένα αξιόλογο κλάσμα του συνολικού όγκου. Το κάθε μόριο δεν μπορεί να κινείται ελεύθερα μέσα σε ολόκληρο το δοχείο κατά ένα σημαντικό μέρος. Τα μόρια του αέρα σε πίεση 200 Atm και 0°C καταλαμβάνουν περίπου το 1/4 του συνολικού όγκου. Γι' αυτό οποιαδήποτε επί πλέον αύξηση της πιέσεως έχει όλο και λιγότερη επίδραση στη μείωση του όγκου. Ο όγκος *V* δεν μειώνεται τόσο γρήγορα, όσο θα περιμέναμε με αποτέλεσμα το *PV* να αυξάνεται.

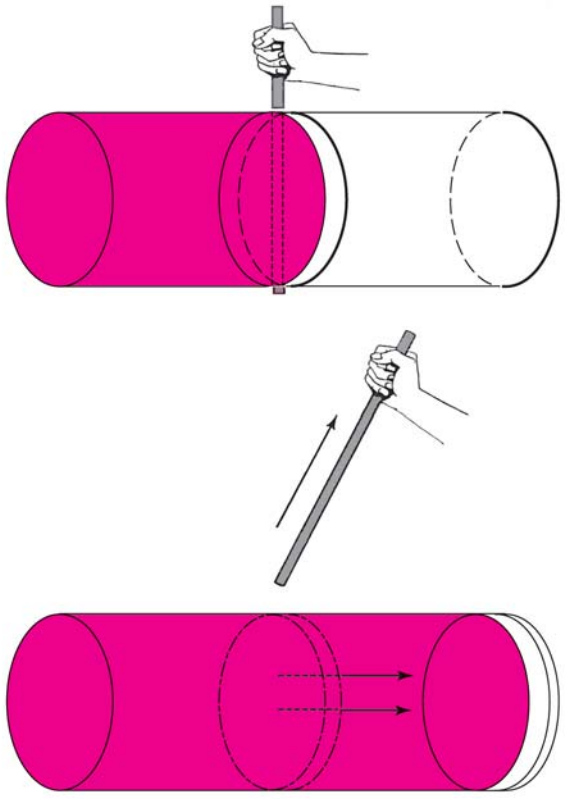
Οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα στα μόρια των πραγματικών αερίων είναι σημαντικές κατά την υγροποίηση των αερίων αυτών, για δύο λόγους. Ο πρώτος, που είναι και πιο εμφανής, είναι ότι αυτές οι δυνάμεις συγκρατούν τα μόρια, όταν βρίσκονται στην υγρή φάση, κοντά το ένα με το άλλο. Το οξυγόνο και το άζωτο είναι αέρια σε θερμοκρασία δωματίου, γιατί οι θερμικές ενέργειες των μορίων τους είναι πολύ μεγαλύτερες από τις ασθενείς ενέργειες που προκαλούν αυτές οι δυνάμεις έλξεως. Τα μόρια στα αέρια διαθέτουν πάρα πολύ μεγάλη κινητική ενέργεια, για να κολλήσουν μεταξύ τους. Όμως, σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, όταν η θερμική ή κινητική ενέργεια των μορίων είνα μικρή, οι ελκτικές δυνάμεις παίζουν ένα πρωταγωνιστικό ρόλο. Τα μόρια πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους και οι ουσίες μετατρέπονται σε υγρά.

Η θερμοκρασία που χρειάζεται, για να υγροποιηθεί ένα αέριο, εξαρτάται από την πίεση. Όταν συμπιεσθεί ισχυρά ένα αέριο, τα μόριά του πλησιάζουν μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, οι ελκτικές δυνάμεις είναι σε θέση να υπερνικήσουν με μεγαλύτερη ευκολία την κινητική ενέργεια. Τα συμπιεσμένα αέρια υγροποιούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από ό,τι τα μη συμπιεσμένα.

Ο άλλος λόγος, για τον οποίο οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα στα μόρια των αερίων συμβάλλουν στην υγροποίησή τους, αν και πιο αόριστος, δεν παύει να είναι πολύ σημαντικός. Ας υποθέσομε ότι σας θέτουν το εξής ερώτημα: "Πώς μπορείτε να ψύξετε ένα αέριο τόσο, ώστε να υγροποιηθεί;" Για το οξυγόνο και το άζωτο, αν βρίσκονται σε πίεση 1 Atm, απαιτείται θερμοκρασία περίπου -190°C. Μία απάντηση του τύπου "θα τοποθετήσω το αέριο σε μια υπερκατάψυξη (η τεχνική της ονομασία είναι κρυοστάτης), η οποία θα έχει αυτήν ή και χαμηλότερη θερμοκρασία" δεν είναι ορθή, γιατί το μόνο που θα επιτύχετε με αυτόν τον τρόπο θα είναι να μετατρέψετε την ερώτηση ως εξής: "Πώς θα κατορθώσω να κατεβάσω τη θερμοκρασία του κρυοστάτη εξ αρχής τόσο χαμηλά;" Μία ορθή απορία θα μπορούσε να διατυπωθεί κατά τον ακόλουθο τρόπο: Αν ξεκινήσομε έχοντας στη διάθεσή μας ένα δοχείο γεμάτο με αέριο, που βρίσκεται στους 25°C, πώς είναι δυνατόν να ψύξομε έστω μία μικρή ποσότητα αυτού του αερίου τόσο, ώστε να την αναγκάσομε να υγροποιηθεί; Αυτό επιτυγχάνεται, αν συνδυασθούν συνήθως μαζί δύο βασικές διαδικασίες.

Έτσι, αν ένα αέριο, που περιέχεται αρχικά σε

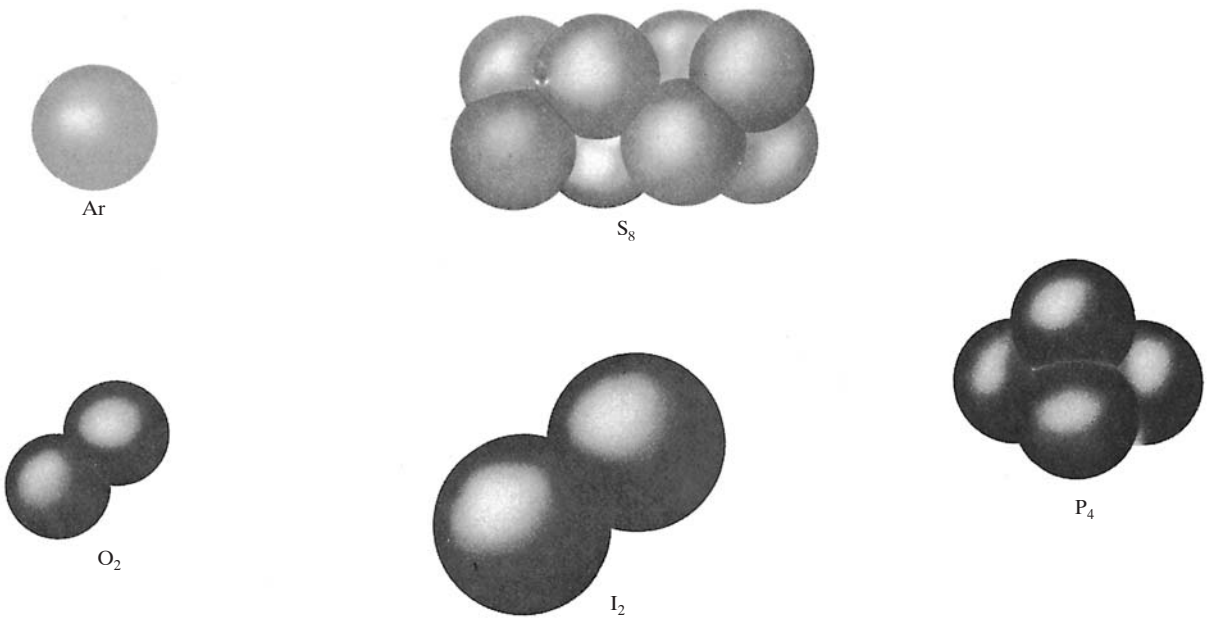
ένα δοχείο ορισμένου μικρού όγκου V_1 σε πίεση P_1 αναγκασθεί να εκτονωθεί γρήγορα προς ένα νέο όγκο και μία νέα πίεση V_2 και P_2, θα ψυχθεί. Η πορεία απεικονίζεται στο σχήμα 7-4. Αυτό οφείλεται στο ότι το αέριο παράγει κάποιο έργο, καθώς κινεί το έμβολο. Ακόμη και ένα ιδανικό αέριο θα ψυχθεί με αυτόν τον τρόπο. Η ενέργεια που είναι απαραίτητη, για να παραχθεί αυτό το έργο, θα πρέπει να αντληθεί από την εσωτερική ενέργεια, δηλαδή τη θερμική ενέργεια του αερίου. Επειδή ακριβώς το αέριο μετά την απότομη εκτόνωσή του κατέχει μικρότερη θερμική ενέργεια, είναι και πιο ψυχρό. Έτσι, αν αρχικά συμπιέσομε σιγά σιγά ένα αέριο, όπως είναι ο αέρας σε θερμοκρασία δωματίου, και το αφήσομε απότομα να εκτονωθεί, είναι δυνατόν να ψυχθεί. Αυτό το ψυχρό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να ψυχθεί ένα άλλο δείγμα αερίου, που βρίσκεται ήδη συμπιεσμένο σε θερμοκρασία δωματίου. Το δεύτερο αυτό δείγμα αερίου στη συνέχεια εκτονώνεται απότομα και ψύχεται ακόμη περισσότερο. Η διαδικασία αυτή μπορεί να



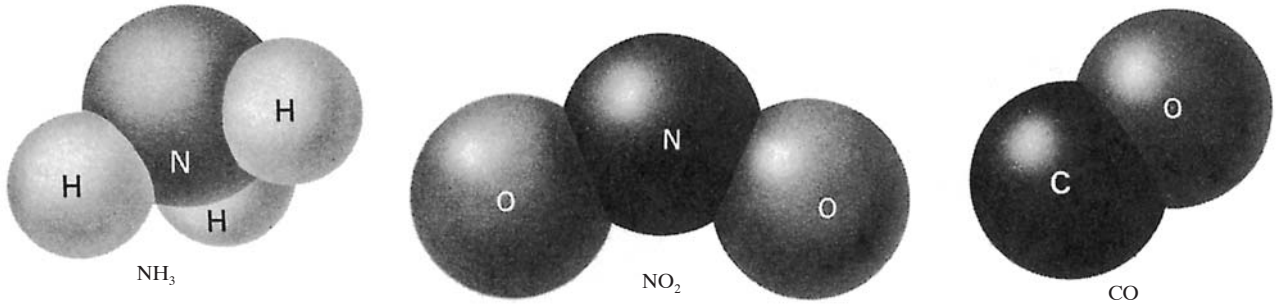
ΣΧΗΜΑ 7-4. *Όταν επιτραπεί σε ένα αέριο να εκτονωθεί (σύμφωνα με το σχήμα) ψύχεται, γιατί παράγει έργο, καθώς κινεί ένα έμβολο.*

επαναληφθεί πολλές φορές. Όμως, κάθε φορά θα πρέπει να χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα αερίου και η επί πλέον πτώση της θερμοκρασίας θα είναι όλο και πιο μικρή. Αυτή η απλή διαδικασία κατά την οποία έχομε αφαίρεση θερμικής ενέργειας από ένα αέριο που του επιτρέπει να παράγει κάποιο έργο στο περιβάλλον του, χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς από το Γάλλο επιστήμονα Claude το 1902 για να υγροποιήσει τον αέρα. Υπάρχει όμως και ένας δεύτερος τρόπος, για να επιτευχθεί η ψύξη των αερίων. Ας υποθέσομε πάλι ότι διαθέτομε ένα αέριο στις αρχικές συνθήκες T_1, V_1 και P_1. Τώρα όμως, αντί να επιτρέψομε στο αέριο να σπρώξει το έμβολο και να εκτελέσει έργο, καθώς εκτονώνεται, ανοίγομε μόνο μία τρύπα στο διάφραγμα και αφήνομε το αέριο να εκτονωθεί μέσα σε ένα κενό χώρο. Από την εσωτερική ενέργεια του αερίου κανένα μέρος δεν καταναλώθηκε, για να παραχθεί κάποιο έργο στο περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά η θερμοκρασία του αερίου πέφτει. Γιατί; Θυμηθείτε τις δυνάμεις έλξεως ανάμεσα στα μόρια των αερίων, που ευθύνονται για τις αποκλίσεις από την ιδανική συμπεριφορά. Όταν ένα αέριο εκτονώνεται, τα μόρια κινούνται και απομακρύνονται μεταξύ τους. Η θερμική (κινητική) ενέργεια συμβάλλει στην εξουδετέρωση των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια του αερίου και έτσι η θερμοκρασία του κατέρχεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο Joule-Thomson.

Στη σημερινή τεχνολογία συχνά χρησιμοποιείται με επιτυχία ο συνδυασμός της εκτονώσεως που κινεί ένα έμβολο (το φαινόμενο που χρησιμοποίησε ο Claude), και του φαινομένου Joule-Thomson για την υγροποίηση του αέρα και άλλων αερίων. Στα ψυγεία οικιακής χρήσεως χρησιμοποιείται μόνο το φαινόμενο Joule-Thomson. Ο λόγος που υπάρχει ο κινητήρας σε ένα ηλεκτρικό ψυγείο είναι, για να συμπιέζει ένα αέριο (συνήθως χρησιμοποιούνται αέρια όπως διφθοροδιχλωρομεθάνιο), (CF_2Cl_2). Η διαδικασία της συμπιέσεως δημιουργεί θερμότητα, η οποία εκλύεται στο δωμάτιο. Το συμπιεσμένο αέριο βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου, εκτονώνεται απότομα μέσα από μία μικρή τρύπα, σε ένα χώρο που του έχει αφαιρεθεί ο αέρας. Σύμφωνα με το φαινόμενο Joule-Thomson, το αέριο ψύχεται. Το ψυχρό πια αέριο απορροφά θερμότητα από το εσωτερικό του ψυγείου και ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται.



ΣΧΗΜΑ 7-5. *Τα μόρια των αερίων διαφέρουν σε βαθμό πολυπλοκότητας. Στο σχήμα αυτό φαίνονται μερικά πρότυπα μορίων, που μπορεί να περιέχουν από ένα μέχρι οκτώ άτομα. Είναι το αργό, Ar, το οξυγόνο, O_2, το ιώδιο, I_2, ο φωσφόρος, P_4, και το θείο, S_8.*



ΣΧΗΜΑ 7-6. *Πρότυπα μορίων των ενώσεων αμμωνίας, NH_3, διοξειδίου του αζώτου, NO_2, και μονοξειδίου του άνθρακα, CO.*

7.3 Στοιχεία και χημικές ενώσεις.

Το μόριο αποτελείται από μία ομάδα ατόμων συνδεδεμένων μεταξύ τους κατά έναν καθορισμένο τρόπο. Ανάλογα με το είδος των ατόμων που περιέχουν, δύο τύποι μορίων είναι δυνατοί.

1. Μια ουσία που έχει μόρια, τα οποία περιέχουν μόνο ένα είδος ατόμων ονομάζεται ***στοιχείο***. Μερικά μόρια αυτού του τύπου φαίνονται στο σχήμα 7-5. Όπως έχομε ήδη τονίσει, στα ευγενή αέρια τα "μόρια" είναι μονήρη άτομα. Και αυτά περιλαμβάνονται ανάμεσα στα στοιχεία, αφού, όπως είναι προφανές, υπάρχει ένα μόνο είδος ατόμου στο "μόριο". Τα μεταλλικά στοιχεία, όπως ο σίδηρος, ο κασσίτερος, ο χρυσός και ο άργυρος, αποτελούνται από μεμονωμένα άτομα συγκροτημένα μαζί, κοντά το ένα στο άλλο, αλλά χωρίς να έχουν σχηματισθεί κάποιες συγκεκριμένες ομάδες, τις οποίες να μπορούν οι επιστήμονες να χαρακτηρίσουν ως μόρια.
2. Μια ουσία που έχει μόρια, τα οποία περιέχουν διαφορετικά είδη ατόμων ονομάζεται ***χημική ένωση***. Στο σχήμα 7-6 φαίνονται μερικά μόρια αυτού του τύπου.

Αν σκεφθείτε αυτούς τους ορισμούς και με

ποιο τρόπο μπορείτε να τους εφαρμόσετε στην πράξη, γίνεται φανερό ότι η καθαρότητα μιας ουσίας έχει μεγάλη σημασία. Για παράδειγμα, δεν μπορείτε να προσδιορίσετε αν μία δοθείσα ουσία είναι κάποιο στοιχείο που περιέχει προσμίξεις ή μια χημική ένωση, επειδή και στις δύο περιπτώσεις περιέχονται περισσότεροι από έναν τύποι ατόμων. Ούτε μπορείτε επίσης να βρείτε ποια είδη ατόμων και σε ποιες αναλογίες περιέχονται στα μόρια μιας χημικής ενώσεως, αν πρόκειται για μη εντελώς καθαρή ένωση. Θα πρέπει, κατά συνέπεια, να διαχωρίσετε πρώτα τη μια ουσία που θέλετε να αναλύσετε από όλες τις άλλες, δηλαδή να την καθαρίσετε.

Καθαρή ουσία είναι εκείνη στην οποία όλα τα μόρια είναι ίδια. Η σύστασή της είναι ομοιόμορφη και γι' αυτό έχει κάποιες σταθερές και χαρακτηριστικές ιδιότητες. Η καθαρότητα ενός δείγματος μιας ουσίας καθορίζεται από το πόσο κοντά βρίσκονται οι ιδιότητές του με εκείνες της πραγματικά καθαρής ουσίας. Βέβαια, δεν υπάρχει κανένα δείγμα ουσίας, το οποίο να είναι απόλυτα και εντελώς καθαρό.

Στην πραγματικότητα αυτό που μας ενδιαφέρει σε ένα δείγμα είναι το επίπεδο των προσμίξεών του να βρίσκεται τόσο χαμηλά, ώστε να μην επηρεάζει αισθητά τις χαρακτηριστικές του ιδιότητες. Θα εξετάσομε ως παραδείγματα μερικές γνωστές ουσίες, για να κατανοήσομε καλύτερα αυτές τις έννοιες.

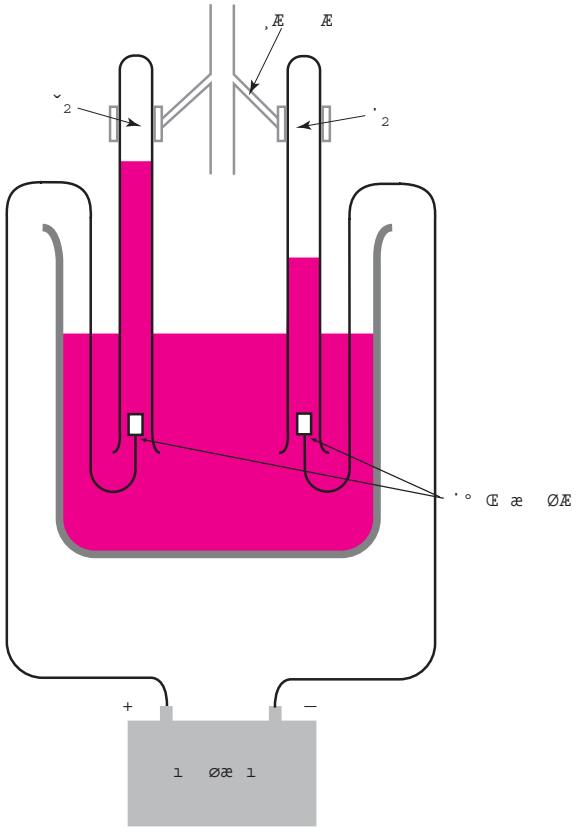
7.4 *Ανάλυση των χημικών ενώσεων.*

Το νερό ίσως είναι η πιο γνωστή ουσία του περιβάλλοντός μας και εύκολα το αναγνωρίζομε. Με σύγκριση των ιδιοτήτων ενός δείγματος νερού με αυτές που θεωρούνται ως χαρακτηριστικές του "καθαρού" νερού, μπορεί να γίνει μια πρόχειρη εξέταση της καθαρότητάς του. Στις χαρακτηριστικές ιδιότητες του νερού συγκαταλέγονται η εμφάνισή του και η αίσθηση διά της αφής, η πυκνότητά του, ο τρόπος με τον οποίο ρέει, οι θερμοκρασίες στις οποίες πήζει και βράζει, καθώς και η ικανότητά του να διαλύει στερεές ουσίες, όπως η ζάχαρη και το αλάτι.

Συχνά η ύπαρξη προσμίξεων προκαλεί αισθητές μεταβολές σε μια ή σε περισσότερες από αυτές τις ιδιότητες. Αν υπάρχει κάποια χρωματιστή πρόσμιξη, τότε είναι βέβαιο πως θα γίνει αντιληπτή, γιατί το καθαρό νερό δεν έχει ως χαρακτηριστική του ιδιότητα την ύπαρξη οποιουδήποτε χρώματος. Σε περίπτωση κατά την οποία έχει διαλυθεί αλάτι σε νερό, χαμηλώνει το σημείο πήξεως του νερού. Αυτό εφαρμόζεται ευρέως για να λιώνουν οι πάγοι κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Αν υποθέσομε ότι μπορεί να παραχθεί κάποιο δείγμα καθαρού νερού και ότι μπορείτε να διαπιστώσετε, εξετάζοντας τις ιδιότητές του, ότι είναι καθαρό, τότε ίσως, να αναρωτηθείτε: "Πρόκειται για ένα στοιχείο ή για μια χημική ένωση;"

Με ένα απλό πείραμα είναι δυνατόν να δείξετε ότι πρόκειται για χημική ένωση. Ο καθηγητής σας ίσως μπορεί να διεξαγάγει αυτό το πείραμα, αν διαθέτει την πειραματική διάταξη του σχήματος 7-7. Αν και ο πλήρης μηχανισμός αυτού του πειράματος θα διερευνηθεί αργότερα, δεν είναι δύσκολο να αντιληφθούμε εδώ ποιο είναι το βασικό αποτέλεσμα. Όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από νερό, που είναι ελαφρά οξυνισμένο (με προσθήκη σταγόνων αραιού οξέος), το αναγκάζει να διασπασθεί σε δύο



ΣΧΗΜΑ 7-7. *Η ηλεκτρόλυση (οξυνισμένου δείγματος) νερού παράγει H_2 και O_2. Ο όγκος του H_2 που παράγεται είναι διπλάσιος από αυτόν του O_2.*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

7.5 Διάσπαση μιας συνηθισμένης ουσίας.

Είναι σχετικά λίγες οι ουσίες εκείνες που χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια, για να διασπασθούν. Τα περισσότερα υλικά καθημερινής χρήσεως διασπώνται με απλή θέρμανση. Καθώς απορροφάται η θερμότητα η ουσία αρχίζει να γίνεται όλο και περισσότερο ασταθής. Τελικά υπερνικώνται οι δυνάμεις που συγκρατούν τα μόρια ενωμένα. Οι πραγματικές θερμοκρασίες, στις οποίες διασπώνται τα μόρια εξαρτώνται από το βαθμό σταθερότητας των μορίων. Μόρια που αποτελούνται από περισσότερα των δύο στοιχείων δε διαχωρίζονται οπωσδήποτε στα στοιχεία αυτά. Είναι δυνατόν να διασπασθούν μόνο σε απλούστερα μόρια ή σε να απλό μόριο και ένα στοιχείο. Τα πολύπλοκα μόρια μπορούν να διασπασθούν, σύμφωνα με διάφορους τρόπους. Το όξινο ανθρακικό νάτριο, γνωστό ως μπέικιν πάουντερ, διασπάται, όταν απορροφήσει αρκετή ποσότητα θερμότητας.

ΣΚΟΠΟΣ

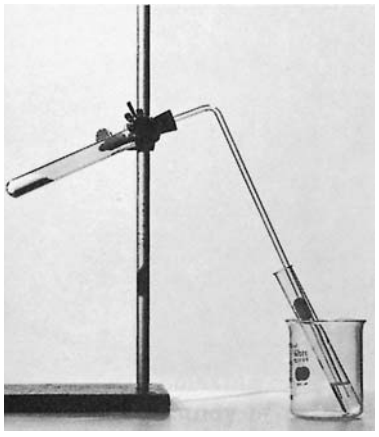
Στο πείραμα αυτό θα παρακολουθήσετε πώς μεταβάλλεται το όξινο ανθρακικό νάτριο όταν θερμαίνεται, και θα εξετάσετε τα προϊόντα που σχηματίζονται κατά τη διάσπασή του.

ΥΛΙΚΑ

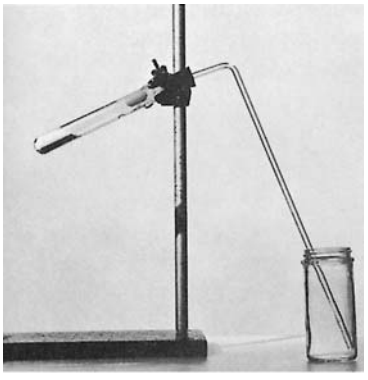
1-2 g όξινο ανθρακικό νάτριο
3 δοκιμαστικοί σωλήνες, 18 x 150 mm
Ευρύλαιμος γυάλινη φιάλη 1 lt
Ποτήρι των 250 ml
Στήριγμα λαβίδων
Γυάλινος σωλήνας με διάμετρο 6 mm και μήκος 35 cm, που να σχηματίζει, σε απόσταση 5 cm από το ένα άκρο του, γωνία 90°.
Λαστιχένιο πώμα, με μια τρύπα αρκετά φαρδιά, για να διέρχεται από αυτήν δοκιμαστικός σωλήνας
10 ml ασβεστόνερο (δηλαδή κεκορεσμένο διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου)
1 ml διάλυμα χλωριούχου βαρίου (διάλυμα 2% χλωριούχου βαρίου σε νερό)
Λαβίδα
pHμετρικό χαρτί
Ξυλάκια
Δοκιμαστικό χαρτί χλωριούχου κοβαλτίου
Ζυγός, με ακρίβεια εκατοστού του γραμμαρίου

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

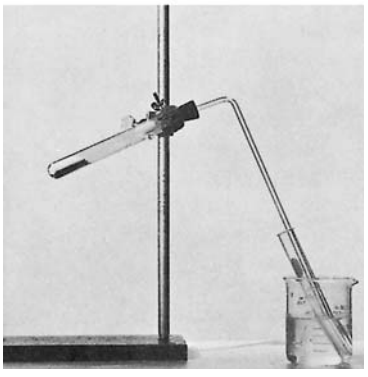
1. Προσδιορίστε τη μάζα ενός δοκιμαστικού σωλήνα διαστάσεων 18 x 150 mm με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
2. Προσθέστε στο δοκιμαστικό σωλήνα αρκετή ποσότητα κονιοποιημένου όξινου ανθρακικού νατρίου, ώστε να καλύψει ένα ύψος 3-4 εκατοστών του σωλήνα. Στη συνέχεια, προσδιορίστε τη μάζα του σωλήνα μαζί με το περιεχόμενό του.
3. Στερεώστε το ζυγισμένο δοκιμαστικό σωλήνα με μία λαβίδα στο στήριγμα και κλείστε τον με το λαστιχένιο πώμα, στο οποίο έχει προσαρμοσθεί ο λυγισμένος γυάλινος σωλήνας, ακριβώς όπως φαίνεται στο σχήμα 7-8. Προσθέστε σε ένα άλλο δοκιμαστικό σωλήνα τόσο ασβεστόνερο, ώστε να καλυφθούν 2-3 εκατοστά περίπου από τον πυθμένα του, και τοποθετήστε τον μέσα σε ένα ποτήρι των 250 ml, που θα σας χρησιμεύσει για στήριγμά του. Τοποθετήστε το ποτήρι με το δοκιμαστικό σωλήνα στον πάγκο εργασίας, κοντά στο στήριγμα, επάνω στο οποίο βρίσκεται στερεωμένος ο



ΣΧΗΜΑ 7-8.



ΣΧΗΜΑ 7-9.



ΣΧΗΜΑ 7-10.

ζυγισμένος δοκιμαστικός σωλήνας. Χαμηλώστε τη λαβίδα, ώστε ο λυγισμένος σωλήνας να βυθισθεί λίγο μέσα στο ασβεστόνερο.

4. Θερμάνετε το δοκιμαστικό σωλήνα που περιέχει το όξινο ανθρακικό νάτριο με το λύχνο σας, αρχικά ήπια και στη συνέχεια πιο έντονα. Παρατηρήστε προσεκτικά οποιαδήποτε μεταβολή γίνεται μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα με το όξινο ανθρακικό νάτριο και τον άλλο με το ασβεστόνερο.
5. Μετά από ένα ή δύο λεπτά σταματήστε τη θέρμανση. Χαλαρώστε τη λαβίδα και ανεβάστε την λίγο πιο ψηλά, ώστε να απομακρυνθεί ο λυγισμένος σωλήνας από το ασβεστόνερο. Προσέξτε να μην αγγίξετε το δοκιμαστικό σωλήνα γιατί είναι ζεστός.
6. Σκουπίστε κάθε ίχνος ασβεστόνερου που έχει απομείνει επάνω στην άκρη του λυγισμένου σωλήνα και με τη βοήθεια μιας χαρτοπετσέτας σκουπίστε και το εσωτερικό της άκρης του.
7. Τοποθετήστε ένα δοχείο με φαρδύ στόμιο πάνω στον πάγκο, κοντά στο στήριγμα. Κατεβάστε τη λαβίδα με το δοκιμαστικό σωλήνα, ώστε η άκρη του λυγισμένου σωλήνα να ακουμπήσει σχεδόν στον πυθμένα του δοχείου, όπως στο σχήμα 7-9.
8. Θερμάνετε πάλι το δοκιμαστικό σωλήνα με το όξινο ανθρακικό νάτριο για μερικά λεπτά. Ανάψτε ένα ξυλάκι και βυθίστε το μέσα στο δοχείο, και ταυτόχρονα παρακολουθήστε τα αποτελέσματα. Ανάψτε και ένα άλλο ξυλάκι και βυθίστε το μέσα σε ένα δοχείο που περιέχει μόνο αέρα. Τέλος, συγκρίνετε τα αποτελέσματα.
9. Διακόψτε τη θέρμανση, ανασηκώστε το γυάλινο σωλήνα και στη θέση του δοχείου τοποθετήστε ένα ποτήρι των 250 ml με κρύο νερό μέχρι τη μέση, μέσα στο οποίο βρίσκεται στερεωμένος ένας άδειος δοκιμαστικός σωλήνας. Κατεβάστε τη λαβίδα με το δοκιμαστικό σωλήνα του όξινου ανθρακικού νατρίου τόσο, ώστε να ακουμπήσει η άκρη του λυγισμένου σωλήνα στον πυθμένα του άδειου δοκιμαστικού σωλήνα, όπως στο σχήμα 7-10. Θερμάνετε ισχυρά το σωλήνα με το όξινο ανθρακικό νάτριο μερικά λεπτά, και παρατηρήστε τις μεταβολές που γίνονται μέσα στον άδειο δοκιμαστικό σωλήνα. Σταματήστε να θερμαίνετε και ανυψώστε το δοκιμαστικό σωλήνα με το όξινο ανθρακικό νάτριο αφήνοντάς τον να κρυώσει.
10. Όταν κρυώσει ο δοκιμαστικός σωλήνας, αφαιρέστε το πώμα με το γυάλινο σωλήνα και προσδιορίστε τη μάζα του μαζί με το περιεχόμενό του, με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
11. Εξετάστε το δοκιμαστικό σωλήνα που βρίσκεται μέσα στο ποτήρι με το κρύο νερό. Αν διαπιστώσετε ότι υπάρχει μέσα σε αυτόν κάποιο υγρό, εξετάστε το με ένα κομμάτι χαρτιού χλωριούχου κοβαλτίου. Σημειώστε κάθε μεταβολή στο χρώμα του χαρτιού. Ανατρέξτε στα συμπεράσματα της παραγράφου 1.13, ώστε να βοηθηθείτε στην ερμηνεία των παρατηρήσεών σας.
12. Αδειάστε το στερεό προϊόν που απέμεινε στον αρχικό δοκιμαστικό σωλήνα, πάνω σε ένα κομμάτι χαρτί. Αφού βρέξετε ένα κομμάτι χαρτί του pH, φέρτε το σε επαφή με το προϊόν και σημειώστε το χρώμα του χαρτιού.
13. Τοποθετήστε μια μικρή ποσότητα όξινου ανθρακικού νατρίου πάνω σε ένα άλλο κομμάτι χαρτί και αγγίξτε το επίσης με ένα υγρό pHμετρικό χαρτί. Καταγράψτε το χρώμα του χαρτιού (το δοκιμαστικό αυτό χαρτί, το pHμετρικό χαρτί, χρησιμοποιείται για να προσδιορίζομε την οξύτητα ή την

αλκαλικότητα μιας ουσίας). Για τα οξέα και τις βάσεις θα μιλήσομε στα επόμενα κεφάλαια. Αυτό που μας ενδιαφέρει σε αυτό το πείραμα είναι αν οι δύο σκόνες που εξετάζομε δημιουργούν τα ίδια ή διαφορετικά χρώματα στο χαρτί. Έτσι, θα λάβομε κάποια ένδειξη για τις πιθανές μεταβολές που δημιουργούνται κατά τη θέρμανση του όξινου ανθρακικού νατρίου.

14. Διαλύστε το στερεό υπόλοιπο μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, που είναι γεμάτος μέχρι τη μέση με απεσταγμένο ή απιονισμένο νερό. Προσθέστε 3-4 σταγόνες διαλύματος 2% χλωριούχου βαρίου και προσέξτε αν θα συμβεί οποιαδήποτε μεταβολή.
15. Διαλύστε λίγη σκόνη όξινου ανθρακικού νατρίου μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα γεμάτο μέχρι τη μέση με απιονισμένο νερό. Προσθέστε 3-4 σταγόνες 2% διαλύματος χλωριούχου βαρίου και παρατηρήστε οποιαδήποτε μεταβολή πραγματοποιηθεί.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Καταρτίστε έναν κατάλογο με όλα εκείνα τα στοιχεία που δείχνουν ότι όταν θερμανθεί το όξινο ανθρακικό νάτριο, διασπάται σε μερικές νέες ουσίες.
2. Με τη βοήθεια της παραγράφου 1.13 να εξηγήσετε τη σημασία των δοκιμών που πραγματοποιήσατε με το ασβεστόνερο. Ποιες νομίζετε ότι θα είναι οι δύο καινούργιες ουσίες που είναι δυνατόν να προσδιορισθούν (από αυτήν τη δοκιμή, όπως και από τη δοκιμή με το χαρτί του χλωριούχου κοβαλτίου) με κάποιο σχετικά μικρό σφάλμα;
3. Ο χημικός τύπος του όξινου ανθρακικού νατρίου είναι $NaHCO_3$. Ποιος είναι ο μικρότερος αριθμός μορίων του $NaHCO_3$ που χρειάζονται για να παραχθεί ένα μόριο κάθε μιας από τις δύο ουσίες που προσδιορίσατε στο πρόβλημα 2; Αφού αφαιρέσετε τον αριθμό των μορίων αυτών των δύο ουσιών από τον αρχικό αριθμό μορίων του όξινου ανθρακικού νατρίου που χρειάσθηκαν για να σχηματισθούν, ποιος νομίζετε ότι θα είναι ο τύπος της ουσίας που παρέμεινε;

7.6 Χημική ανάλυση.

Έχετε μάθει ότι μια καθαρή ουσία, όπως το όξινο ανθρακικό νάτριο, είναι δυνατόν να διασπασθεί σε τρεις άλλες ουσίες. Με βάση αυτό το δεδομένο καθίσταται σαφές ότι το όξινο ανθρακικό νάτριο είναι χημική ένωση. Έχετε διδαχθεί επίσης ότι και το νερό είναι μια χημική ένωση, γιατί είναι δυνατόν να διασπασθεί σε πιο απλές ουσίες. Το νερό, αντίθετα από το όξινο ανθρακικό νάτριο διασπάται απ' ευθείας στα στοιχεία που το αποτελούν. Τα προϊόντα υδρογόνο και οξυγόνο, δεν είναι δυνατόν να διασπασθούν με χημικό τρόπο, γιατί το υδρογόνο αποτελείται μόνο από άτομα υδρογόνου και το οξυγόνο μόνο από άτομα οξυγόνου. Αντίθετα, τα προϊόντα της διασπάσεως του όξινου ανθρακικού νατρίου είναι δυνατόν να υποσθούν και νέα διάσπαση σχηματίζοντας τα ξεχωριστά στοιχεία που το συνθέτουν (δηλ. συνθέτουν το όξινο ανθρακικό νάτριο). Μία πολύ σημαντική δραστηριότητα στα πλαίσια της χημείας είναι ο προσδιορισμός του είδους των ατόμων που υπάρχουν σε διάφορες καθαρές ουσίες. Η δραστηριότητα αυτή ονομάζεται ανάλυση και ο κλάδος της χημείας καλείται αναλυτική χημεία. Όταν προσδιορίζεται μόνο το είδος των ατόμων, τότε πρόκειται για ***ποιοτική ανάλυση.*** Όταν προσδιορίζεται η ποσότητα ενός ή περισσοτέρων διαφορετικών ειδών ατόμων, τότε ομιλούμε περί ***ποσοτικής αναλύσεως***.

7.7 Χημική σύνθεση.

Μάθατε ότι οι χημικές ουσίες είναι δυνατόν να χωρισθούν ή να διασπασθούν σε απλούστερες ή ακόμη και σε στοιχεία. Η αντίστροφη πορεία, δηλαδή η δημιουργία πολυπλόκων μορίων, ξεκινώντας από απλούστερα μόρια ή και από άτομα, αποτελεί επίσης ένα σημαντικό τομέα της

χημείας. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως σύνθεση.

Οι χημικοί συνθέτουν μεγάλη ποικιλία χημικών ενώσεων μερικές από τις οποίες βρίσκουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής. Ορισμένες χημικές ενώσεις έχουν τόσο μεγάλη σημασία για την οικονομία, ώστε παράγονται σε πολύ μεγάλη κλίμακα. Για παράδειγμα, οι ποσότητες της αμμωνίας (NH_3) και του θειικού οξέος (H_2SO_4) που παράγονται μετρούνται συνήθως σε τόνους.

Τα μόρια της αμμωνίας αποτελούνται από άτομα υδρογόνου και αζώτου. Είναι δυνατόν να συνθέσομε αμμωνία σε ένα μόνο στάδιο, αφήνοντας να αντιδράσουν μόρια υδρογόνου H_2 και αζώτου N_2 σε ειδικούς τεράστιους αντιδραστήρες κάτω από υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Θα μελετήσομε αυτήν τη διαδικασία με λεπτομέρειες στο κεφάλαιο 22.

Το θειικό οξύ παρασκευάζεται σε δύο στάδια. Αρχικά, καίγεται θειάφι S_8. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, αντιδρά με οξυγόνο και σχηματίζει διοξείδιο του θείου, SO_2. Αυτό στη συνέχεια εξαναγκάζεται να αντιδράσει με ένα ακόμη άτομο οξυγόνου και να σχηματίσει τριοξείδιο του θείου, SO_3. Τέλος, το τριοξείδιο του θείου ενώνεται με νερό (H_2O) και δίνει το θειικό οξύ, H_2SO_4. Οι λεπτομέρειες της συνθέσεως του θειικού οξέος θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 19.

Στο πείραμα που ακολουθεί θα συνθέσετε μία χημική ένωση με απλή θέρμανση ενός μετάλλου παρουσία αέρα. Τα αποτελέσματα αυτού του είδους των συνθέσεων, σε συνδυασμό με αυτά

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

7.8 Σύνθεση ενός μεταλλικού οξειδίου.

Πολλά από τα στοιχεία που είναι γνωστά ως μέταλλα, όταν θερμαίνονται στον αέρα, ενώνονται με το οξυγόνο. Η ουσία που προκύπτει ανήκει σε μία κατηγορία ενώσεων, που είναι γνωστές ως ***οξείδια***. Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο, το οποίο όταν θερμανθεί ενώνεται πολύ εύκολα με το οξυγόνο του αέρα, δεν συμπεριφέρεται όμως το ίδιο και σε συνήθη θερμοκρασία. Γι' αυτό, το χαλκό τον χρησιμοποιούν συχνά ως προστατευτική επικάλυψη. Αντίθετα, ο σίδηρος είναι ένα στοιχείο που, όταν υπάρχουν ίχνη υγρασίας, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα ακόμη και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος*.

ΣΚΟΠΟΣ

Αυτό το πείραμα έχει σκοπό να σας δώσει μερικές πληροφορίες για τη φύση του οξειδίου που σχηματίζει ο χαλκός, όταν θερμανθεί στον αέρα. Αν συγκρίνετε την αναλογία της μάζας του χαλκού προς τη μάζα του οξυγόνου που προκύπτει από το πείραμά σας με την αναλογία που έχουν προσδιορίσει άλλες ομάδες συμμαθητών σας, οι οποίοι χρησιμοποίησαν διαφορετικές μάζες χαλκού, θα σας δοθεί η ευκαιρία να διαπιστώσετε αν υπάρχει κάποια νομοτέλεια.

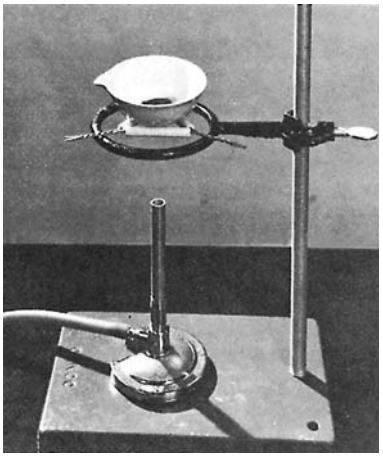
ΥΛΙΚΑ

1,75-2,25 g κονιοποιημένου χαλκού
Τρίγωνο στηρίξεως για πύρωση
Στήριγμα, δακτύλιος
Λύχνος
Κάψα πορσελάνης για εξάτμιση, διαμέτρου 75 mm
Ζυγός με ακρίβεια εκατοστού του γραμμαρίου

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Προσδιορίστε με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου τη μάζα μιας κάψας πορσελάνης διαμέτρου 75 mm.
2. Ψεκάστε με σκόνη χαλκού, ώστε να δημιουργηθεί στο εσωτερικό της κάψας

* *Σ.τ.Μ. Έτσι σχηματίζεται η σκουριά, δηλαδή οξείδιο του σιδήρου.*



ΣΧΗΜΑ 7-11.

μία λεπτή στοιβάδα μετάλλου με μάζα ανάμεσα σε 1,75 και 2,25 γραμμάρια. Προσδιορίστε τη μάζα της κάψας μαζί με τη σκόνη χαλκού.

3. Τοποθετήστε την κάψα, με τη βοήθεια του ειδικού τριγωνικού στηρίγματος, πάνω στο δακτύλιο, όπως δείχνει το σχήμα 7-11. Ανάψτε το λύχνο και θερμάνετε την κάψα, όσο το δυνατόν ισχυρότερα, επί 20-25 λεπτά. Αν τύχει να υπάρχουν δύο λύχνοι χρησιμοποιήστε και τους δύο, για να τη θερμάνετε. Η κάψα πρέπει να θερμανθεί αρκετά, μέχρι να ερυθροπυρωθεί.
4. Απομακρύνατε το λύχνο και αφήστε την κάψα να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου. Μετρήστε πάλι τη μάζα της μαζί με το περιεχόμενό της.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καταγράψτε τα αποτελέσματα και τα δεδομένα που ακολουθούν στο τετράδιο των σημειώσεών σας. Όλες οι μετρήσεις να είναι σε γραμμάρια.

Μάζα κάψας με το χαλκό	Μάζα κάψας με το οξείδιο του χαλκού
Μάζα κενής κάψας	Μάζα κενής κάψας
Μάζα χαλκού	Μάζα οξειδίου του χαλκού

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Υπολογίστε τη μάζα του οξυγόνου που ενώθηκε με το χαλκό.
2. Υπολογίστε το λόγο:

$$\frac{\text{Μάζα χαλκού}}{\text{Μάζα οξυγόνου}}$$

3. Γιατί έπρεπε να περιμένετε να κρυώσει τελείως η κάψα, πριν να προσδιορίσετε τελικά τη μάζα της;
4. Είναι αυτονόητο ότι κάθε μαθητής ή κάθε ομάδα μαθητών που διεξήγαγε αυτό το πείραμα ξεκίνησε χρησιμοποιώντας διαφορετική μάζα χαλκού πριν από τη θέρμανση, και γι' αυτό προέκυψαν διαφορετικές αυξήσεις της μάζας μετά το τέλος της θερμάνσεως. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στους λόγους χαλκού - οξυγόνου του προβλήματος 2, που υπολογίσθηκαν από τις διάφορες ομάδες; Είναι εντελώς διαφορετικοί ή εμφανίζουν κάποια ομοιομορφία;
5. Ποιος είναι ο μέσος όρος της αναλογίας που προέκυψε από τα πειράματα όλης της τάξεως;
6. Υπολογίστε την εκατοστιαία αναλογία του χαλκού και του οξυγόνου στο δείγμα οξειδίου του χαλκού που έχετε. Συγκρίνατε τα αποτελέσματά σας με αυτά των συμμαθητών σας.
7. Για να υπολογίσετε το μέσο σφάλμα αυτού του πειράματος, θα πρέπει αρχικά να βρείτε τη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην αναλογία που υπολογίσατε εσείς και το μέσο όρο της αναλογίας που υπολογίσθηκε από την υπόλοιπη τάξη. Στη συνέχεια, αφού γίνει το ίδιο και από τους υπόλοιπους συμμαθητές σας, υπολογίστε το μέσο όρο αυτών των διαφορών. Αυτή η απάντηση θα αποτελέσει και το μέσο σφάλμα στο αποτέλεσμα ολόκληρης της τάξεως. Το μέσο σφάλμα είναι γνωστό επίσης και ως μέση διαφορά ή ως μέση απόκλιση (κατά τους υπολογισμούς σας μην

7.9 Σταθερές αναλογίες.

Στο προηγούμενο πείραμα βρήκατε ότι όλα τα δείγματα οξειδίου του χαλκού που σχηματίσθηκαν είχαν τουλάχιστον μια κοινή ιδιότητα. Κάθε δείγμα εμπεριείχε την ίδια αναλογία μάζας χαλκού και οξυγόνου μέσα στα όρια κάποιου πειραματικού σφάλματος. Πειράματα που θα γίνουν αργότερα θα δείξουν ότι προκειμένου για όλες τις καθαρές χημικές ενώσεις προκύπτουν

ανάλογα αποτελέσματα. Ως συνέπεια αυτών των πειραμάτων προκύπτει ο νόμος που είναι γνωστός ως ***Νόμος των Σταθερών Αναλογιών***. Ο νόμος αυτός ορίζει ότι οι μάζες των στοιχείων που αποτελούν μια καθαρή χημική ένωση βρίσκονται πάντοτε υπό σταθερή αναλογία. Η ανακάλυψη ότι μία χημική ουσία περιέχει πάντα τα στοιχεία που την αποτελούν στις ίδιες σταθερές αναλογίες μαζών, υπήρξε πολύ σημαντική στη θεμελίωση της επιστήμης της χημείας. Το 1812 οι χημικοί συμφώνησαν ότι αυτή η πειραματική ένδειξη αποτελεί ένα νόμο της χημείας. Έτσι, μαζί με το νόμο της διατηρήσεως της μάζας, που διδαχθήκατε στο κεφάλαιο 2, ο νόμος των σταθερών αναλογιών βοήθησε τον John Dalton να διατυπώσει τη θεωρία ότι η ύλη αποτελείται από άτομα. Η ατομική θεωρία του, που προτάθηκε το 1808, ήταν μια προσπάθεια να εξηγήσει γιατί θα έπρεπε να ισχύουν αυτοί οι νόμοι. Χρειάσθηκαν τέσσερα χρόνια για να πάψουν οι διαμάχες σχετικά με την ισχύ του νόμου των σταθερών αναλογιών. Η ατομική θεωρία του Dalton εξήγησε με ικανοποιητικό τρόπο τα πειραματικά δεδομένα που ήταν γνωστά το 1808, και έκτοτε συμφωνεί, μετά από μικρές τροποποιήσεις, με όλα τα υπόλοιπα πειραματικά δεδομένα. Σήμερα δεν υπάρχουν χημικοί που αμφιβάλλλουν για την ύπαρξη των ατόμων, αν και κανείς χημικός

Περίληψη.

Υπάρχουν τρεις μορφές της ύλης, η αέρια (ή η μορφή ατμών), η υγρή και η στερεά. Γενικά, οι ουσίες έχουν τη δυνατότητα με μεταβολή της θερμοκρασίας να μετατρέπονται από τη μια μορφή στην άλλη (όπως για παράδειγμα ο πάγος σε νερό και ατμό και το αντίστροφο). Τα άτομα και τα μόρια που βρίσκονται στην αέρια φάση γενικά διατηρούν την ταυτότητά τους, και όταν το αέριο συμπυκνωθεί.

Συμπύκνωση πραγματοποιείται όταν η κινητική ενέργεια των μορίων γίνει πολύ μικρή για να μπορέσει να υπερνικήσει τις μικρές δυνάμεις έλξεως που τείνουν να τα φέρουν κοντά.

Καθαρές ουσίες είναι εκείνες οι οποίες λόγω της ομοιόμορφης συστάσεώς τους εμφανίζουν σταθερές και χαρακτηριστικές ιδιότητες. Εκείνες οι καθαρές ουσίες (όπως π.χ. το υδρογόνο, το οξυγόνο ή ο άνθρακας) που δεν μπορούν να μεταβληθούν ή να αποσυντεθούν σε δύο ή περισσότερες άλλες ουσίες, αποτελούνται από ένα μόνο είδος ατόμων και ονομάζονται στοιχεία. Οι καθαρές ουσίες, οι οποίες έχουν προέλθει από δύο ή περισσότερα είδη ατόμων ονομάζονται χημικές ενώσεις. Ο προσδιορισμός της συστάσεως των ουσιών ονομάζεται ανάλυση και αποτελεί αντικείμενο της αναλυτικής χημείας.

Τα στοιχεία ή τα απλά μόρια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για το σχηματισμό χημικών ενώσεων. Η διεργασία αυτή ονομάζεται σύνθεση. Έχει βρεθεί ότι οι αναλογίες της μάζας των διαφόρων στοιχείων που αποτελούν μία χημική ένωση είναι πάντα οι ίδιες. Αυτό διατυπώθηκε με το Νόμο των Σταθερών Αναλογιών.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς δικαιολογείται ότι τα υγρά και τα στερεά αποτελούνται από άτομα ή μόρια, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα αέρια;
2. Πώς είναι δυνατόν να διακρίνετε μία καθαρή ουσία από μιαν άλλη, που περιέχει προσμίξεις;
3. Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα σε ένα στοιχείο και μια χημική ένωση;
4. Τι εννοούμε λέγοντας σύνθεση;
5. Εκφράστε με δικά σας λόγια το Νόμο των Σταθερών Αναλογιών.

Τα στοιχεία - τα ονόματα και τα σύμβολά τους

7.10 Τα στοιχεία.

Στοιχείο είναι εξ ορισμού μία καθαρή ουσία, που περιέχει ένα είδος ατόμων. Σήμερα, είναι γνωστά περίπου 109 στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι έχουν αναγνωρισθεί περίπου 109 διαφορετικά είδη ατόμων. Μερικά από αυτά τα στοιχεία απαντούν σε καθαρή μορφή στη φύση και γι' αυτό είναι γνωστά από χιλιάδες χρόνια. Για παράδειγμα, τα στοιχεία σίδηρος, άργυρος και

χρυσός ήταν γνωστά και στους αρχαίους. Στα τελευταία χρόνια του Μεσαίωνα μάλιστα, οι αλχημιστές χρησιμοποιούσαν τα ονόματα "ferrum" για το σίδηρο, "argentum" για το χρυσό (το σχήμα 7-12 δείχνει μια χαρακτηριστική ομάδα αλχημιστών κατά την ώρα της εργασίας).

Στη φύση όμως απαντούν και άλλα στοιχεία ελεύθερα, δηλαδή όχι συνδεδεμένα με κάποια άλλα. Τα αέρια που αποτελούν τον ατμοσφαιρικό μας αέρα είναι πρωτογενή στοιχεία και όχι χημικές ενώσεις. Επειδή όμως αυτά τα αέρια βρίσκονται αναμεμιγμένα μεταξύ τους, ο διαχωρισμός και η ταυτοποίησή τους ως καθαρών στοιχείων επιτεύχθηκε σχετικά πρόσφατα.

Τα περισσότερα από τα στοιχεία δεν απαντούν συνήθως με την ελεύθερη μορφή τους στη φύση, αλλά κυρίως με τη μορφή των χημικών τους ενώσεων (σχ. 7-13). Γι' αυτό η ανακάλυψη των στοιχείων αυτών οφείλεται κυρίως στην ικανότητα των χημικών να αποσυνθέτουν τις χημικές ουσίες στα στοιχεία που τις αποτελούν. Προτού ισχυρισθούν ότι πρόκειται για νέα στοιχεία, οι χημικοί θα πρέπει να τα καθαρίσουν και να δείξουν με πειστικό τρόπο ότι δεν υπάρχει καμιά δυνατότητα να τα διαχωρίσουν περισσότερο. Σχεδόν όλα τα στοιχεία που υπάρχουν στη φύση, ανακαλύφθηκαν κυρίως υπό τη μορφή των χημικών τους ενώσεων, στο διάστημα από το 1700 μέχρι το 1930. Πριν από αυτήν τη χρονολογία, μόνο 13 περίπου στοιχεία είχαν γίνει γνωστά. Από την εποχή του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, κατασκευάσθηκε σχεδόν μία δωδεκάδα νέων στοιχείων που δεν υπάρχουν στη φύση. Αυτά τα "τεχνητά" στοιχεία παράγονται από πυρηνικές διαδικασίες υψηλής ενέργειας, που γίνονται στα κύκλοτρα και άλλους επιταχυντές σωματιδίων ή σε ατομικούς αντιδραστήρες (σχ. 7-14).

7.11 Σύμβολα των στοιχείων.

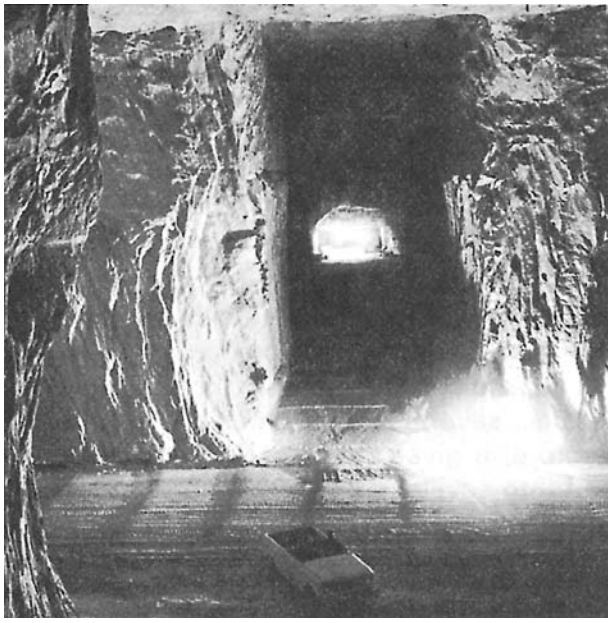
Όλα τα στοιχεία έχουν ονόματα, αναγνωρίζονται όμως και από τα "σύμβολά τους". Οι χημικοί από καιρό χρησιμοποιούν σύμβολα για ευκολία στη γραφή των τύπων ή των εξισώσεων, γιατί διαφορετικά θα ήταν πολύ χρονοβόρα και κοπιαστική η γραφή ολόκληρου του ονόματος κάθε φορά που θα ήθελαν να αναφερθούνε σε ένα στοιχείο ή σε ένα άτομο του στοιχείου.

Τα ονόματα των στοιχείων διαφέρουν λίγο από τη μια γλώσσα στην άλλη, τα σύμβολα όμως είναι παντού τα ίδια.

Τα περισσότερα σύμβολα έχουν προκύψει από το συνδυασμό του πρώτου γράμματος του αγγλικού ονόματος, με ένα ακόμη γράμμα από



ΣΧΗΜΑ 7-12. *Κατά το Μεσαίωνα αυτοί που σπούδαζαν κοντά στους αλχημιστές χρησιμοποιούσαν στις εργασίες τους τη λατινική γλώσσα. Γι' αυτό και μερικά από τα χημικά σύμβολα προέρχονται από λατινικά*



ΣΧΗΜΑ 7-13. *Ένα τεράστιο υπόγειο κοίτασμα χλωριούχου νατρίου (που δεν είναι άλλο από το κοινό μαγειρικό αλάτι) στη Λουιζιάνα των ΗΠΑ. Το χλωριούχο νάτριο, NaCl, εξορύσσεται εδώ σε μεγάλες ποσότητες.*



Ο John Dalton μαζί με έναν από τους μαθητές του, ενώ συλλέγει φυσικό (ή ελειογενές) αέριο.*

John Dalton (1766 - 1844)

Ο John Dalton είναι γνωστός για την Ατομική Θεωρία, που διατύπωσε περί τα τέλη του 18ου αίωνα. Πρόκειται για ένα σύνολο από ιδέες, που απετέλεσαν τα θεμέλια της σύγχρονης επιστήμης της χημείας. Ανάμεσα στις σκέψεις που πρότεινε ο Dalton ήταν και οι παρακάτω:

1. Τα στοιχεία αποτελούνται από άτομα που δεν μπορούν να διασπασθούν παραπέρα. Είχε πει: Διάλεξα τη λέξη "άτομο", για να δώσω την έννοια αυτών των ελαχίστων σωματιδίων. Η λέξη "άτομο" προέρχεται από την ελληνική "άτομος", δηλαδή αυτός που δεν τέμνεται, δεν κόβεται ή δεν διαιρείται.
2. Άτομα του ίδιου στοιχείου είναι ίδια, αλλά άτομα διαφορετικών στοιχείων είναι διαφορετικά. Ο Dalton έλεγε: "Όλα τα άτομα ενός στοιχείου είναι απολύτως ίδια στο βάρος και το σχήμα".
3. Στις χημικές αντιδράσεις, ούτε δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται άτομα.
4. Χημικές αντιδράσεις γίνονται ανάμεσα σε άτομα ή ομάδες ατόμων. Ο Dalton είχε ονομάσει τη μικρότερη μονάδα μιας χημικής ενώσεως (αυτό που σήμερα αποκαλούμε μόριο) "άτομα της ενώσεως".

Ο Dalton συνειδητοποίησε νωρίς ότι τα άτομα συνδέονται, για να σχηματίσουν μία χημική ένωση, με μια απλή αναλογία. Όμως, για ορισμένο συνδυασμό ατόμων, είναι δυνατές μόνο μερικές απλές αναλογίες. Γι' αυτό κάποιοι συνδυασμοί ατόμων είναι δυνατόν να συνενωθούν, σχηματίζοντας μερικές διαφορετικές χημικές ενώσεις. Η διαπίστωση αυτή αποτελεί μια τεράστια πρόοδο, σε σχέση με τις προηγούμενες θεωρίες γύρω από τη δημιουργία των χημικών ενώσεων.

Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων που είχαν προκύψει από αναλύσεις άλλων επιστημόνων, ο Dalton κατασκεύασε έναν πίνακα σχετικών ατομικών και μοριακών μαζών με βάση αναφοράς τη μάζα του υδρογόνου, που τη θεώρησε ως μονάδα (1). Πρότεινε επίσης ένα νέο κατάλογο συμβόλων, για να παραστήσει τα στοιχεία που ήταν γνωστά εκείνη την εποχή. Και ο πίνακας και τα σύμβολά του αντικαταστάθηκαν αργότερα, αλλά απετέλεσαν σημαντικά βήματα για την πρόοδο της χημείας. Όταν εξετάσετε την τεράστια συμβολή του Dalton στην πρόοδο της επιστήμης, θα εκπλαγείτε διαπιστώνοντας ότι κατά ένα μεγάλο μέρος ήταν αυτοδίδακτος. Ο πατέρας του ήταν ένας φτωχός υφαντής και γι' αυτό ο Dalton ήταν υποχρεωμένος να αρχίσει νωρίς να φροντίζει τον εαυτό του. Όταν έφθασε στην ηλικία των δώδεκα χρόνων, είχε προοδεύσει τόσο πολύ η μόρφωσή του, ώστε οι ιθύνοντες του χωριού του επέτρεψαν να ιδρύσει δικό του σχολείο στο πατρικό του σπίτι. Συνέχισε τη σταδιοδρομία του ως δάσκαλος και παιδαγωγός στην πόλη Μάντσεστερ της Αγγλίας κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του. Η καρδιά του όμως βρίσκονταν πιο κοντά στο πεδίο της επιστημονικής δράσεως απ' ό,τι στη διδασκαλία. Ο Dalton το 1822 τιμήθηκε με την εκλογή του στη βασιλική εταιρεία (Royal society), αλλά επειδή η συμμετοχή του στη θρησκευτική οργάνωση των Κουακέρων του απαγόρευε την αποδοχή κάθε είδους τιμητικής διακρίσεως για το έργο του, η εκλογή έγινε χωρίς την παρουσία του.

* *Σ.τ.Μ. Εκλύεται και από τα έλη και πρόκειται κυρίως για μεθάνιο.*

αυτό. Το πρώτο γράμμα του συμβόλου γράφεται κεφαλαίο, όχι όμως και το δεύτερο. Μερικά σύμβολα αποτελούνται μόνο από το πρώτο κεφαλαίο γράμμα. Τα σύμβολα είναι δυνατόν να χωρισθούν σε τέσσερις βασικές ομάδες.

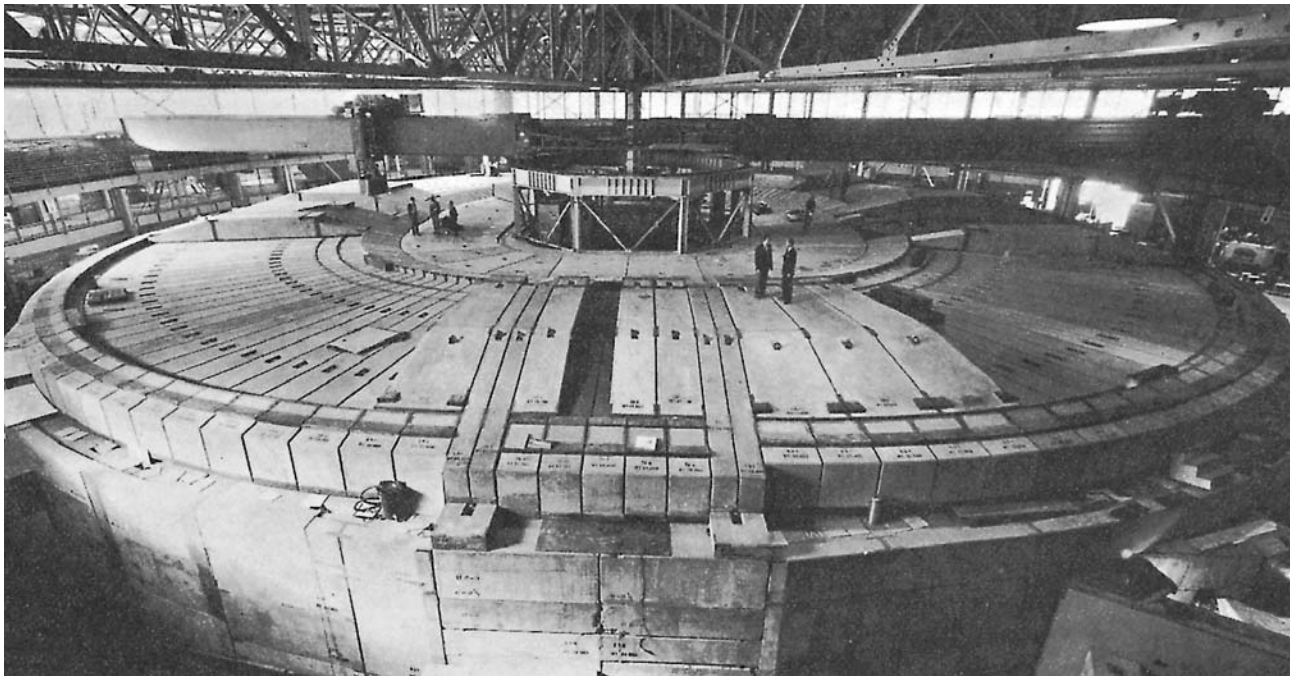
1. Μερικά σύμβολα δεν προκύπτουν από το αγγλικό, αλλά από το παλαιό λατινικό (ή άλλης προελεύσεως) όνομα*. Αυτά είναι πιο δύσκολα στην απομνημόνευση, αλλά ευτυχώς είναι μόνο έντεκα. Στον πίνακα 7.1 είναι καταχωρημένα το κοινό όνομα, το αρχαίο ή ξένο όνομα και το σύμβολο καθενός από αυτά τα έντεκα στοιχεία.
2. Μερικά στοιχεία συμβολίζονται μόνο με το πρώτο γράμμα του αγγλικού ονόματος του στοιχείου, όπως τα παρακάτω:

B, (Boron) Βόριο	O, (Oxygen) Οξυγόνο
C, (Carbon) Άνθρακας	P, (Phosphorus) Φωσφόρος
F, (Fluorine) Φθόριο	S, (Sulfur) Θειάφι (ή θείο)
H, (Hydrogen) Υδρογόνο	U, (Uranium) Ουράνιο
I, (Iodine) Ιώδιο	V, (Vanadium) Βανάδιο
N, (Nitrogen) Άζωτο	Y, (Yttrium) Ίττριο

3. Πολλά στοιχεία συμβολίζονται με τα δύο πρώτα γράμματα του αγγλικού ονόματος. Μερικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

Al (Aluminum) Αλουμίνιο ή αργίλιο
Th (Thorium) Θόριο
Ne (Νέον) Νέο Ca (Calcium) Ασβέστιο

4. Μερικά στοιχεία συμβολίζονται με το πρώτο γράμμα του αγγλικού ονόματος και ένα άλλο γράμμα, όχι όμως το δεύτερο κατά σειρά. Αυτό συμβαίνει συνήθως, επειδή υπάρχουν δύο ή περισσότερα στοιχεία που έχουν ονόματα με όμοια τα δύο πρώτα γράμματα. Για παράδειγμα, αφού το ασβέστιο (Calcium) είναι Ca, δεν μπορεί έτσι να συμβολίζεται και το κάδμιο (Cadmium). Γι' αυτό, το σύμβολό του είναι Cd. Ανάλογα, το σύμβολο για το θάλλιο (Thallium) είναι Tl, επειδή με Th συμβολίζεται το θόριο (Thorium). Μερικές φορές δεν υπάρχει προφανής αιτία που δεν χρησιμοποιείται το δεύτερο γράμμα. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση δύο στοιχείων με ονόματα που αρχίζουν από Z, ο ψευδάργυρος (Zinc) και το ζιρκόνιο (Zirconium). Κανένα από αυτά όμως δεν έχει το σύμβολο Zi. Ο ψευδάργυρος συμβολίζεται Zn και το ζιρκόνιο Zr. Η εκμάθηση των



ΣΧΗΜΑ 7-14. *Οι επιστήμονες μπορούν να παρασκευάζουν στοιχεία, που δεν απαντούν στη φύση, με τη βοήθεια επιταχυντών σωματιδίων, όπως ο εικονιζόμενος.*

* *Σ.τ.Μ. Τα 42 τουλάχιστον από τα γνωστά μέχρι σήμερα στοιχεία έχουν ονόματα που προέρχονται από ελληνικές λέξεις.*

ΠίΝΑΚΑώ 7.1.
Στοιχεία και τα σύμβολά τους, τα οποία έχουν προέλθει από αρχαίο ή ξένο όνομα.

Κοινό όνομα	Προέλευση συμβόλου	Σύμβολο
Αντιμόνιο	Stibnum	Sb
Χαλκός	Cuprum	Cu
Χρυσός	Aurum	Au
Σίδηρος	Ferrum	Fe
Μόλυβδος	Plumbum	Pb
Υδράργυρος	Hydrarrgyrum	Hg
Κάλιο	Kalium	K
Άργυρος	Argentum	Ag
Νάτριο	Natrium	Na
Κασσίτερος	Stannum	Sn
Βολφράμιο	Wolfram	W

συμβόλων των στοιχείων δεν είναι ανάγκη να γίνει μια κοπιαστική και δυσάρεστη υπόθεση. Φυσικά, θα πρέπει να καταβληθεί κάποια προσπάθεια αλλά το μυστικό είναι να μάθετε τη σωστή μέθοδο. Με εξαίρεση τους σπουδαστές που διαθέτουν μια πολύ ισχυρή μνήμη, είναι άσκοπο να προσπαθήσετε να απομνημονεύσετε ολόκληρη τη λίστα ή έστω ένα σημαντικό μέρος της. Καλόν είναι να μάθετε και να συγκρατήσετε μόνο τα σύμβολα με τη σειρά που τα συναντάτε στις παρακάτω σελίδες αυτού του βιβλίου. Μερικά, όπως είναι το Η και το Ο, είναι κιόλας γνωστά. Άλλα θα τα συναντήσετε στις επόμενες σελίδες. Θα χρησιμοποιηθούν μόνο τα σημαντικά και τα κοινά στοιχεία, και μάλιστα επανειλημμένως, ώστε να ενισχυθεί η αποτύπωσή τους στη μνήμη σας.

7.12 Μοριακοί τύποι.

Ο τύπος ενός μορίου δείχνει απλά ποια και πόσα άτομα από το κάθε είδος υπάρχουν σε αυτό. Έχουν ήδη αναφερθεί οι μοριακοί τύποι του υδρογόνου, H_2, του οξυγόνου O_2, και του νερού, H_2O. Αν και είναι απλοί, είναι απόλυτα χαρακτηριστικοί και έτσι γίνεται φανερό πόσο απλά πράγματα είναι οι χημικοί τύποι. Παρακάτω υπάρχει ένα σύνολο κανόνων (με κάπως περισσότερες λεπτομέρειες σε σχέση με ότι έχει αναφερθεί) που αφορά στον τρόπο γραφής των χημικών τύπων.

1. Κάθε είδος ατόμου που υπάρχει στο μόριο παριστάνεται με το σύμβολό του.
2. Ο αριθμός των ατόμων που υπάρχουν στο μόριο του κάθε είδους –αν υπάρχουν περισσότερα από ένα– δηλώνεται με την αναγραφή ενός ενδεικτικού αριθμού αμέσως κάτω δεξιά στο σύμβολο. Το σύμβολο μόνο του, χωρίς ενδεικτικό αριθμό, σημαίνει ένα άτομο.
3. Η σειρά με την οποία αναφέρονται τα διάφορα στοιχεία είναι, δυστυχώς, μάλλον αυθαίρετη* (δεν είναι αλφαβητική). Όμως, συνηθίζεται για κάποια κοινά μόρια να χρησιμοποιείται μια κάποια σειρά. Έτσι, το νερό γράφεται κανονικά H_2O και όχι OH_2 (εκτός από μερικές ειδικές περιπτώσεις), αν και ο δεύτερος τύπος σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί λάθος. Για να γίνει πιο σαφής ο τρόπος γραφής

* *Σ.τ.Μ. Σχετικά με την ονοματολογία και τη γραφή των χημικών ενώσεων έχουν ορισθεί κανόνες από την I.U.P.A. (International Union of Pure and Applied Chemistry).*

των μοριακών τύπων, ακολουθούν οι τύποι μερικών μορίων που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα στο βιβλίο:

Υδροχλώριο	HCl
Αμμωνία	NH_3
Οξείδιο του αζώτου	NO
Διοξείδιο του αζώτου	NO_2
Διοξείδιο του άνθρακα	CO_2

Μόρια που αποτελούνται από δύο μόνο άτομα, είτε όμοια είτε ανόμοια, ονομάζονται διατομικά, ενώ όλα τα άλλα ονομάζονται πολυατομικά. Μόρια με τρία άτομα ονομάζονται συνήθως τριατομικά. Στην παραπάνω λίστα διατομικά μόρια είναι το HCl και το NO. Επίσης, διατομικά είναι και τα μόρια του υδρογόνου, H_2, και του οξυγόνου, O_2. Τα NO_2 και CO_2 είναι τριατομικά ή πολυατομικά.

Τα μόρια του οξειδίου του αζώτου και του διοξειδίου του αζώτου, NO και NO_2 αντίστοιχα, χρησιμεύουν για να δείξουν τη σημασία του γεγονότος ότι η φύση ενός μορίου εξαρτάται όχι μόνο από το είδος των ατόμων που περιέχει, αλλά και από τον αριθμό των ατόμων του ιδίου είδους που υπάρχουν σε αυτό. Τα NO και NO_2 είναι εντελώς διαφορετικές ουσίες, αν και τα δύο

Περίληψη.

Περισσότερα από 100 στοιχεία (109) είναι γνωστά και από αυτά τα 90 περίπου υπάρχουν στη φύση. Υπάρχει ένα διεθνές σύστημα συμβόλων, που χρησιμοποιείται για την παράσταση αυτών των στοιχείων. Το κάθε σύμβολο αποτελείται από ένα ή δύο γράμματα, και από αυτά το πρώτο είναι κεφαλαίο. Μερικά από τα πιο κοινά σύμβολα, τα οποία θα αρχίσετε να χρησιμοποιείτε αμέσως, είναι: H, υδρογόνο· O, οξυγόνο· N, άζωτο· Cl, χλώριο· P, φωσφόρος.

Στον τύπο μιας ουσίας αναγράφονται όλα τα διαφορετικά είδη ατόμων που υπάρχουν στην καθαρή ουσία και οι δείκτες δείχνουν πόσα άτομα υπάρχουν από το κάθε είδος. Κάθε άτομο συμβολίζεται με το σύμβολο του στοιχείου. Για να είναι σωστά γραμμένος ένας τύπος θα πρέπει να είναι σωστά γραμμένα τόσο τα σύμβολα όσο και οι δείκτες του.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πόσα άτομα υπάρχουν σε ένα μόριο, που έχει τον τύπο H_3PO_4;
2. Πόσο αλλάζει ο τύπος ενός μορίου, αν μεταβληθεί ένας από τους δείκτες των ατόμων του;
3. Γράψτε τον τύπο του διοξειδίου του θείου. Είναι διατομικό, τριατομικό ή πολυατομικό

Τρόπος γραφής των μορίων και των χημικών εξισώσεων

7.13 Μοριακές δομές και πρότυπα.

Ο μοριακός τύπος δηλώνει μόνο πόσα άτομα υπάρχουν στα μόρια. Δεν δίνει καμιά πληροφορία για τον τρόπο, με τον οποίο συνδέονται τα άτομα μεταξύ τους. Βέβαια, ο μοριακός τύπος είναι ένας πολύ συνεπτυγμένος τρόπος γραφής ενός μορίου ή μιας ουσίας και για πολλές περιπτώσεις είναι απόλυτα επαρκής. Υπάρχουν όμως φορές, όπου χρειάζεται ένας δομικός ή συντακτικός τύπος, δηλαδή ένας τύπος που να δείχνει τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα άτομα. Ένας συντακτικός τύπος περιέχει τα διάφορα άτομα γραμμένα με τα σύμβολά τους και γραμμές που ενώνουν εκείνα τα άτομα τα οποία συνδέονται απ' ευθείας μεταξύ τους, δηλαδή έχουν κάποιο δεσμό.

Βέβαια, προκειμένου για ένα διατομικό μόριο, ο συντακτικός τύπος δεν προσφέρει συνήθως καμιά ιδιαίτερη βοήθεια. Οι επόμενοι συντακτικοί τύποι μερικών κοινών διατομικών μορίων αναφέρονται μόνο και μόνο ως ένα πρώτο παράδειγμα:

H – H	Cl – Cl	H – Cl
Υδρογόνο	Χλώριο	Υδροχλώριο

Στην περίπτωση όμως των πολυατομικών μορίων, ο συντακτικός τύπος παρέχει μια πολύ πιο ολοκληρωμένη εικόνα του μορίου από ό,τι ένας κοινός μοριακός τύπος. Παραδείγματα αναφέρονται στον πίνακα 7.2 (κάποια άτομα

φαίνονται στον πίνακα να συνδέονται με δύο γραμμές μεταξύ τους· η σημασία αυτών των διπλών δεσμών θα εξετασθεί στο κεφάλαιο 15· σε αυτό το σημείο δεν χρειάζεται να γίνει κάποια ιδιαίτερη διάκριση ανάμεσα στους διπλούς και τους πιο συνηθισμένους απλούς δεσμούς).

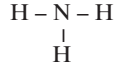
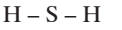
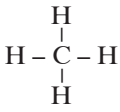
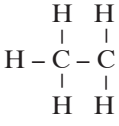
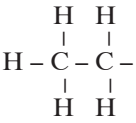
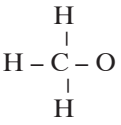
Οι τύποι της αιθανόλης και του διμεθυλαιθέρα που αναφέρονται στον πίνακα 7.2, αποδεικνύουν τη μεγάλη σημασία των συντακτικών τύπων. Και τα δύο μόρια περιέχουν το ίδιο είδος και αριθμό ατόμων, C_2H_6O. Όμως, οι δύο ενώσεις είναι εντελώς διαφορετικές. Αυτό οφείλεται στο ότι η σύνδεση των ατόμων μέσα στα μόρια είναι διαφορετική και απεικονίζεται στους συντακτικούς τύπους. Μόρια που περιέχουν ακριβώς τον ίδιο συνδυασμό ατόμων αλλά διαφέρουν στον τρόπο κατά τον οποίο συνδέονται τα άτομα μεταξύ τους, ονομάζονται ισομερή. Έτσι, η αιθανόλη και ο διμεθυλαιθέρας είναι ισομερή. Παρακάτω θα αναφερθούν και άλλα παραδείγματα ισομερών.

Ο συντακτικός τύπος, αν και είναι ένας τρόπος γραφής του μορίου που μας παρέχει περισσότερες πληροφορίες από όσες ένας κοινός τύπος, εν τούτοις εξακολουθεί να εμφανίζει ένα μεγάλο μειονέκτημα. Γράφεται σε δύο διαστάσεις, ενώ το πραγματικό μόριο είναι τρισδιάστατο. Γι' αυτό ο άριστος τρόπος να παρασταθεί ένα μόριο είναι με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου προτύπου ή έστω με τη φωτογραφία ενός τέτοιου προτύπου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7-15, υπάρχουν τρία είδη μοριακών προτύπων. Σε καθένα από αυτά τα άτομα αναπαρίστανται με σφαίρες. Αυτές μπορεί να είναι διαφορετικού χρώματος και μεγέθους ώστε να διακρίνονται τα διαφορετικά είδη ατόμων. Το πιο απλουστευμένο από τα πρότυπα είναι αυτό, στο οποίο οι σφαίρες συνδέονται με μικρές ράβδους (το πρότυπο μπάλας - ράβδου). Είναι αυτό που βλέπετε στο σχήμα 7-15α. Αν αντικατασταθούν οι ράβδοι με ελατήρια, όπως στο σχήμα 7-15β, σχηματίζεται ένα πρότυπο πιο κοντά στο αληθινό (το πρότυπο μπάλας-ελατηρίου). Αυτό δείχνει ότι τα μόρια είναι εύκαμπτα, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα.

Το τρίτο είδος προτύπων, αυτό που φαίνεται στο σχήμα 7-15γ, είναι γνωστό ως στερεοχημικό πρότυπο, γιατί, εκτός από τον τρόπο κατά τον

ΠΙΝΑΚΑώ 7.2.
Τύποι μερικών πολυατομικών μορίων.

Μόριο	Κανονικός τύπος	Συντακτικός τύπος
Αμμωνία	NH_3	
Υδρόθειο	H_2S	
Διοξείδιο του άνθρακα	CO_2	
Μεθάνιο	CH_4	
Αιθάνιο	C_2H_6	
Αιθανόλη	C_2H_6O	
Διμεθυλαιθέρας	C_2H_6O	

οποίο συνδέονται τα άτομα μεταξύ τους, φαίνεται και ο χώρος που καταλαμβάνει στην πραγματικότητα το κάθε άτομο. Το πρότυπο αυτό είναι και το πιο αντικειμενικό, γιατί δείχνει ταυτόχρονα πώς είναι δυνατόν στην πραγματικότητα να συνωθούνται μεταξύ τους άτομα, που δεν συνδέονται απευθείας μεταξύ τους.

Στα σχήματα 7-16 και 7-17 δίνονται μερικά ακόμη μοριακά πρότυπα και συγκρίνονται με τους αντίστοιχους συντακτικούς τύπους που αναφέρθηκαν λίγο πιο πριν. Στο σχήμα 7-16 βλέπομε πρότυπα τύπου μπάλας-ράβδου των ισομερών μορίων με χημικό τύπο C_2H_6O. Τα στερεοχημικά πρότυπα του σχήματος 7-17 δίνουν την πραγματική μορφή ολόκληρου του σχήματος των εικονιζομένων μορίων. Για παράδειγμα, τα πρότυπα του H_2S και του CO_2 δείχνουν με σαφήνεια ότι το H_2S είναι ένα μη γραμμικό (κεκαμμένο) μόριο, ενώ το CO_2 είναι γραμμικό (ευθύγραμμο). Αν και είναι δυνατόν να φανούν αυτές οι διαφορές με τη χρήση των συντακτικών τύπων, ο πιο σωστός τρόπος περιγραφής τους είναι διά των στερεοχημικών προτύπων.

7.14 Εξισώσεις των χημικών αντιδράσεων.

Χημική αντίδραση συντελείται όταν μία ή περισσότερες ουσίες, που ονομάζονται αντιδρώντα ή αντιδρώσες ουσίες, μετατρέπονται σε μία ή περισσότερες διαφορετικές ουσίες, που ονομάζονται προϊόντα. Χημική εξίσωση είναι ένας τρόπος να παραστήσομε ό,τι συμβαίνει, με τη βοήθεια των χημικών τύπων των ουσιών που λαμβάνουν μέρος σε αυτήν την αντίδραση.

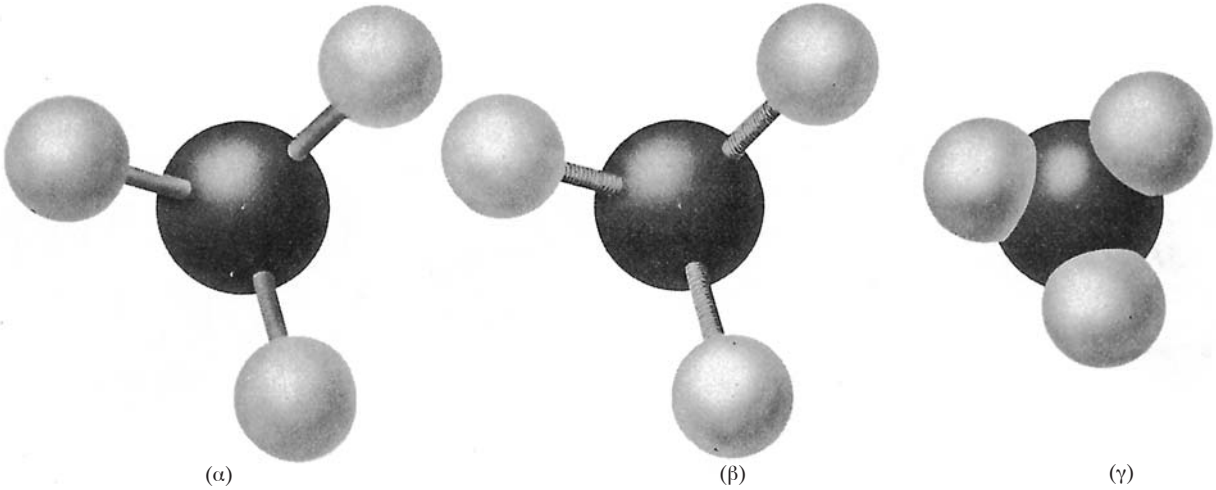
Ο σχηματισμός νερού από τη συνένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο αποτελεί μια χημική αντίδραση. Το υδρογόνο, H_2, και το οξυγόνο, O_2, είναι αντιδρώσες ουσίες, ενώ προϊόν είναι το νερό, H_2O. Στην παράγραφο 5.14 χρησιμοποιήσαμε μια χημική εξίσωση, για να περιγράψομε ότι συμβαίνει σε αυτήν την αντίδραση. Την αντίδραση αυτή θα χρησιμοποιήσομε τώρα ως ειδικό παράδειγμα κατά τη γενική συζήτηση των κανόνων που διέπουν τη γραφή των εξισώσεων.

Για να γραφεί η εξίσωση γι' αυτήν την αντίδραση, γράφονται αριστερά οι τύποι των ουσιών που αντιδρούν με το σύμβολο "συν" (+) ανάμεσά τους, και δεξιά ο τύπος του προϊόντος. Από αριστερά προς τα δεξιά σχηματίζεται ένα βέλος, που δείχνει ότι από τα αντιδρώντα παράγονται τα προϊόντα.

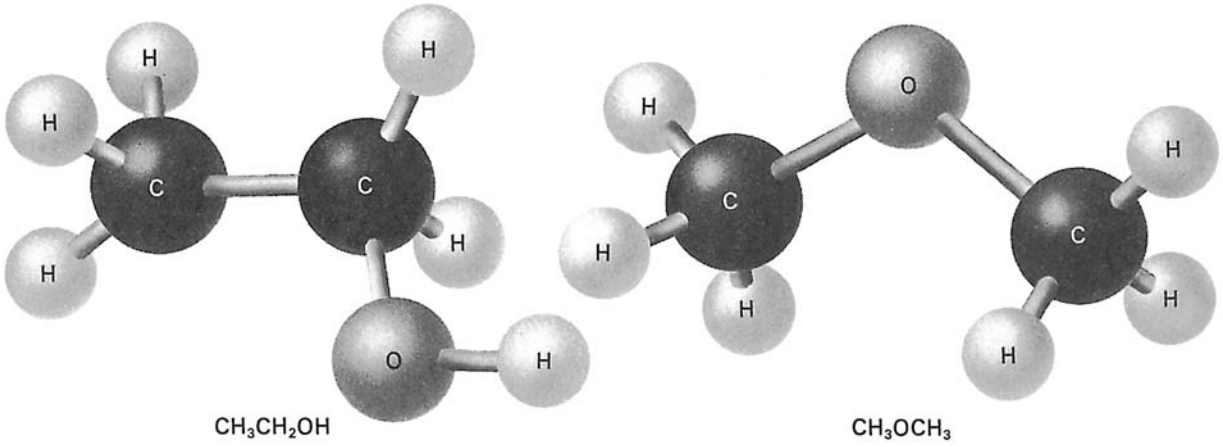
$$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$$

Όμως, αυτή δεν είναι μια πλήρης χημική εξίσωση, γιατί δεν είναι "ισοσταθμισμένη". Μια ισοσταθμισμένη εξίσωση έχει του ίδιους αριθμούς ατόμων από το κάθε είδος και στα δύο σκέλη της.

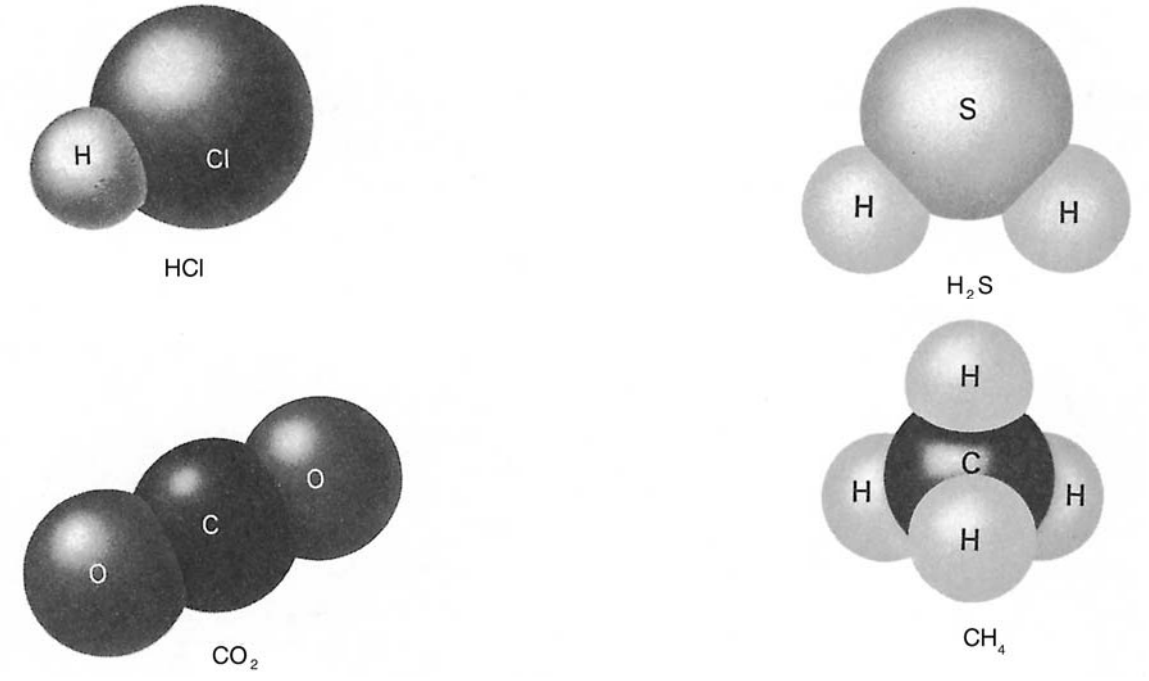
Μια χημική εξίσωση οφείλει να είναι ισοσταθμισμένη γιατί ο αριθμός των ατόμων στις χημικές αντιδράσεις παραμένει αμετάβλητος.



ΣΧΗΜΑ 7-15. *Τρεις τύποι μοριακών προτύπων. Το πρότυπο μπάλας-ράβδου (α) βοηθάει προκειμένου για μια απλή παράσταση. Το πρότυπο μπάλας-ελατηρίου (β) δίνει την πραγματική έννοια της ευκαμψίας των δεσμών. Το στερεοχημικό πρότυπο είναι για πολλούς λόγους πιο κοντά στην πραγματικότητα.*



ΣΧΗΜΑ 7-16. *Η αιθανόλη (αριστερά) και ο διμεθυλαιθέρας (δεξιά), περιέχουν ακριβώς τα ίδια άτομα, αλλά οι δύο ενώσεις έχουν εντελώς διαφορετικές ιδιότητες λόγω της διαφορετικής μοριακής δομής τους. Οι δομικές αυτές διαφορές φαίνονται καλύτερα με τη βοήθεια των μοριακών προτύπων.*



ΣΧΗΜΑ 7-17. *Στερεοχημικά πρότυπα ορισμένων σημαντικών μορίων. Παριστάνουν το υδροχλώριο, HCl, το υδρόθειο, H_2S, το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και το μεθάνιο, CH_4.*

Δηλαδή, όταν πραγματοποιούνται χημικές μετατροπές ή αντιδράσεις, δεν δημιουργούνται αλλά ούτε και καταστρέφονται άτομα (σύμφωνα με όσα διδαχθήκατε στην παράγραφο 2.12, οι χημικές αντιδράσεις δεν οδηγούν σε μεταβολές της μάζας*. Αυτό που αλλάζει είναι ο τρόπος συνδέσεως των ατόμων μεταξύ τους, ενώ τα άτομα ούτε καταστρέφονται ούτε δημιουργούνται, όπως επίσης τα άτομα δεν μετατρέπονται σε άτομα άλλου είδους. Μια ισοσταθμισμένη εξίσωση είναι με απλά λόγια αυτή, στην οποία διατηρείται σταθερός ο συνολικός αριθμός των ατόμων.

* *Σ.τ.Μ. Νόμος της αφθαρσίας της μάζας και της ενέργειας (βλ. κεφ. 3, παράγρ. 3.10).*

Προκειμένου να ισοσταθμισθεί η προηγούμενη εξίσωση (η οποία στην πραγματικότητα δεν θα πρέπει να ονομάζεται ακόμη εξίσωση, γιατί δεν έχει εξισωθεί ο αριθμός των ατόμων που συμμετέχουν), πρέπει να ακολουθήσουν τα επόμενα δύο στάδια.

1. Επειδή υπάρχουν δύο άτομα οξυγόνου στην αριστερή πλευρά, είναι απαραίτητο να έχομε και δύο μόρια νερού στη δεξιά πλευρά, ώστε να εξισωθεί ο αριθμός των ατόμων οξυγόνου. Για να δείξομε ότι υπάρχουν δύο μόρια νερού, τοποθετούμε ως συντελεστή μπροστά από τον τύπο του μορίου του νερού, τον αριθμό 2. Δηλαδή γράφομε $2H_2O$. Είναι σημαντικό να κατανοήσομε ότι ο συντελεστής αυτός πολλαπλασιάζει ολόκληρο τον τύπο και όχι μόνο το Η που είναι γραμμένο αμέσως μετά από αυτόν.
   Το "$2H_2O$" σημαίνει ότι υπάρχουν δύο ολόκληρα μόρια νερού, δηλαδή συνολικά τέσσερα άτομα Η και δύο άτομα Ο. Η εξίσωση σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται:

$$H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

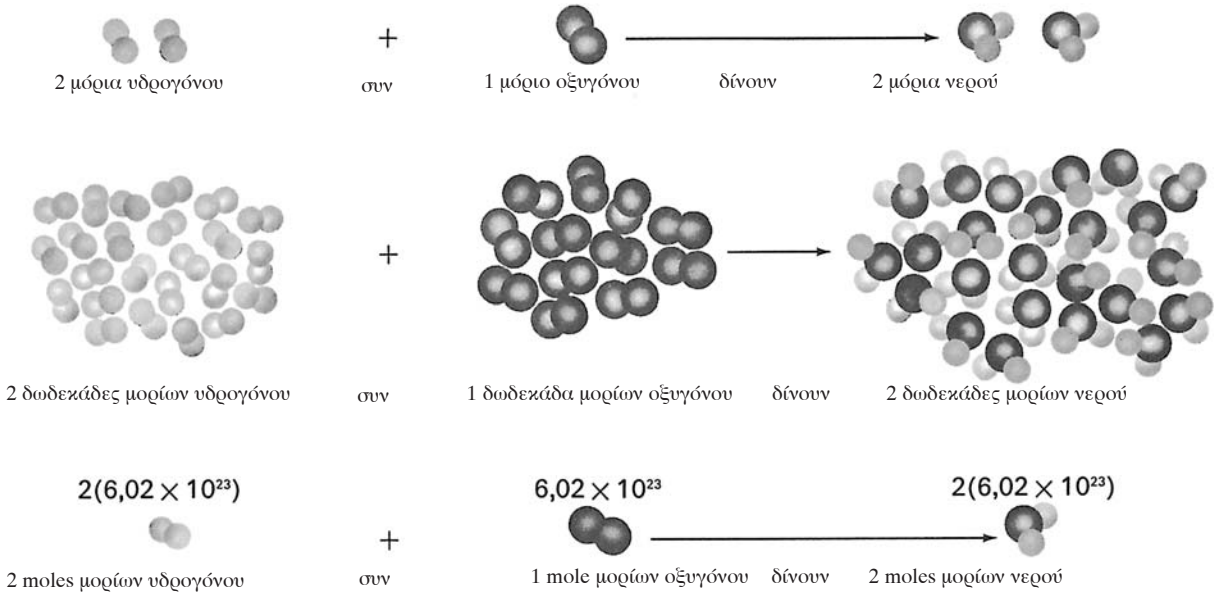
2. Και πάλι όμως η εξίσωση δεν είναι σωστή, γιατί δείχνει τέσσερα άτομα υδρογόνου στην πλευρά των προϊόντων, ενώ μόνο δύο σε αυτήν των αντιδρώντων. Βέβαια, αυτό διορθώνεται εύκολα, αν προσθέσομε ένα "2" μπροστά από το H_2:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Τώρα πια αυτή είναι μια ισοσταθμισμένη, μια σωστά υπολογισμένη εξίσωση. Είναι όμοια με εκείνη που είχε γραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και είχε προκύψει βάσει αποτελεσμάτων από μετρήσεις του όγκου των αερίων.

7.15 Ποιες ακριβώς πληροφορίες μας δίνει μια χημική εξίσωση;

Σε μια χημική εξίσωση βρίσκονται κρυμμένες πολύ περισσότερες πληροφορίες από αυτές που είναι δυνατόν να διακρίνομε με την πρώτη ματιά. Αυτό που εκφράζει ολοφάνερα είναι το πλήθος από το κάθε είδος μορίων που συμμετέχει στην αντίδραση. Η εξίσωση του παραδείγματος του νερού (σχ. 7-18) παριστάνει δύο μόρια υδρογόνου και ένα μόριο οξυγόνου που αντιδρούν, για να σχηματίσουν δύο μόρια νερού. Βέβαια, ένα mole μιας ουσίας περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων με το mole οποιασδήποτε άλλης ουσίας. Έτσι, η εξίσωση δηλώνει και πόσα moles της κάθε ουσίας λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση. Στο παράδειγμά μας, η εξίσωση δείχνει ότι δύο moles υδρογόνου ενώνονται με ένα mole οξυγόνου και σχηματίζουν δύο moles νερού. Αυτό ήταν και το



ΣΧΗΜΑ 7-18. *Μια χημική εξίσωση μας πληροφορεί για τους σχετικούς αριθμούς που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση. Εδώ, οι αναλογίες ποικίλλουν από 2 μόρια: 1 μόριο: 2 μόρια σε 2 moles: 1 mole: 2 moles.*

συμπέρασμα που είχε προκύψει από τις μετρήσεις των όγκων των αερίων. Ειδικότερα, αν οι τρεις ουσίες μετρηθούν ως αέρια που βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, δύο όγκοι υδρογόνου αντιδρούν με έναν όγκο οξυγόνου, για να δώσουν δύο όγκους υδρατμών. Αφού κατανοήσετε την έννοια μιας εξισώσεως με βάση τα moles, είναι εύκολο να αντιληφθείτε τη σημασία της και με βάση τις μάζες. Από το χημικό τύπο κάθε ουσίας είναι δυνατόν να υπολογισθεί η μάζα της σε γραμμάρια, γι' αυτό και κατ' επέκταση η εξίσωση μας πληροφορεί ποια μάζα κάθε ουσίας συμμετέχει ή παράγεται κατά την αντίδραση. Αυτή ακριβώς είναι η σημαντικότερη πληροφορία που μας παρέχει μια χημική εξίσωση. Περισσότερες πληροφορίες γύρω από αυτό το θέμα θα δοθούν στο κεφάλαιο 19.

7.16 Πώς γράφονται και ισοσταθμίζονται μερικές εξισώσεις.

Τώρα θα αναφερθούν μερικά επί πλέον παραδείγματα, με σκοπό να σας βοηθήσουν να συγκρατήσετε καλά στο μυαλό σας την έννοια και τη σημασία της χημικής εξισώσεως.

Μια αντίδραση που αναφέρθηκε σε προηγούμενες σελίδες του βιβλίου είναι αυτή του οξειδίου του αζώτου με το οξυγόνο, για να σχηματισθεί διοξείδιο του αζώτου. Αυτή ακριβώς θα αποτελέσει ένα δεύτερο, εξίσου απλό, παράδειγμα γραφής και ισοσταθμίσεως μιας χημικής εξισώσεως. Κατ' αρχήν, πρέπει να είναι γνωστοί οι χημικοί τύποι των μορίων όλων των ουσιών. Στην αντίδραση συμμετέχουν οι παρακάτω τύποι μορίων:

Αντιδρώντα: οξείδιο του αζώτου, NO,
και οξυγόνο, O_2.

Προϊόντα: διοξείδιο του αζώτου, NO_2.

Επόμενο βήμα είναι να γράψομε την "εξίσωση" σε μη ισοσταθμισμένη μορφή:

$$NO_2 + O_2 \rightarrow NO_2$$

Τέλος, τοποθετούνται οι συντελεστές, ώστε να διατηρηθεί ο σταθερός αριθμός ατόμων. Αυτό οδηγεί σε μια ισοσταθμισμένη εξίσωση, που είναι και η μόνη σωστή. Στην περίπτωση αυτή διαπιστώνομε ότι, ενώ τα άτομα του N διατηρούνται, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τα άτομα του O. Αξίζει να παρατηρήσετε ότι τα άτομα του O στο δεξιό σκέλος βρίσκονται σε ζεύγη. Γι' αυτό λοιπόν ένα πρώτο βήμα, προκειμένου να ισοσταθμίσομε την εξίσωση, θα ήταν να τοποθετήσομε το συντελεστή 2 μπροστά από το NO, ώστε να αποκτήσομε έναν ζυγό αριθμό (4) ατόμων O στο αριστερό σκέλος. Αυτό μας δίνει:

$$2NO + O_2 \rightarrow NO_2$$

Τώρα είναι φανερό ότι, αν τοποθετήσομε το συντελεστή 2 μπροστά από το NO_2, η εξίσωση θα γραφεί σωστά (θα έχει ισοσταθμισθεί):

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Ως ένα πιο πολύπλοκο παράδειγμα θα εξετασθεί η οξείδωση (καύση) του μεθανίου, το οποίο αποτελεί το κύριο συστατικό του αερίου που χρησιμοποιείται για θέρμανση και μαγείρεμα. Το μεθάνιο έχει τον τύπο CH_4. Όπως και πολλές άλλες ουσίες που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και υδρογόνο, καίγεται παρουσία περίσσειας οξυγόνου και παράγει διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Ένα πρώτο βήμα για να γραφεί μια ισοσταθμισμένη εξίσωση αυτής της διαδικασίας είναι να γράψομε με τη σωστή διάταξη τους τύπους των αντιδρώντων και των προϊόντων που προκύπτουν:

$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Στη συνέχεια τοποθετούνται συντελεστές πριν από τους τύπους ώστε να εξασφαλισθεί η διατήρηση του σταθερού αριθμού όλων των ειδών των ατόμων. Δεν είναι δύσκολο να καταλάβετε ότι, αν τοποθετήσετε το 2 μπροστά από το H_2O εξασφαλίζεται η διατήρηση των ατόμων υδρογόνου. Επίσης αν γράψετε το 2 μπροστά από το O_2, η εξίσωση ισοσταθμίζεται:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Η εξίσωση αυτή δείχνει τρία βασικά πράγματα.

1. *Τη σχέση των μορίων.* Χρειάζονται δύο μόρια οξυγόνου για την τελεία καύση ενός μορίου μεθανίου. Όταν συντελεσθεί αυτή η τελεία καύση, σχηματίζονται ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα και δύο μόρια νερού.
2. *Τη σχέση των moles.* Ένα mole CH_4, χρειάζεται δύο moles O_2 για να καεί εντελώς και να σχηματίσει ένα mole CO_2 και δύο moles H_2O.
3. *Τη σχέση των μαζών.* Η μάζα σε γραμμάρια ενός mole κάθε ουσίας που συμμετέχει στην αντίδραση υπολογίζεται ως εξής:

Περίληψη.

Τα μόρια είναι δυνατόν να παρασταθούν με διάφορους τρόπους. Ο καθένας από αυτούς παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι μοριακοί τύποι είναι οι πιο συνοπτικοί και οι πιο χρήσιμοι όταν γίνονται υπολογισμοί, αλλά δεν δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα διάφορα άτομα μεταξύ τους. Οι συντακτικοί τύποι είναι πιο πολύπλοκοι, αλλά δίνουν μια δισδιάστατη εικόνα του τρόπου συνδέσεως. Με τα μοριακά πρότυπα απεικονίζεται πλήρως η τρισδιάστατη δομή του μορίου.

Μια χημική εξίσωση αποτελεί ένα σύντομο αλλά περιεκτικό συμβολικό τρόπο περιγραφής μιας χημικής αντιδράσεως. Βέβαια, μια χημική εξίσωση θα πρέπει να ισοσταθμισθεί, ώστε ο αριθμός των ατόμων πριν την αντίδραση να παραμένει σταθερός. Η διατήρηση του σταθερού αριθμού των ατόμων είναι αυτονόητη από το πειραματικό γεγονός ότι κατά τις χημικές διαδικασίες ισχύει ο νόμος διατηρήσεως της μάζας. Η ισοστάθμιση επιτυγχάνεται, αφού γράψομε αρχικά τους τύπους όλων των ουσιών που συμμετέχουν, στις σωστές τους θέσεις, και στη συνέχεια τοποθετήσομε συστηματικά μπροστά από κάθε τύπο το συντελεστή εκείνο που απαιτείται, ώστε να διατηρηθεί σταθερός ο αριθμός όλων των ειδών των ατόμων. Η τελική εξίσωση δείχνει τον αριθμό των μορίων, τον αριθμό των moles και τη μάζα της κάθε ουσίας που παίρνει μέρος στην αντίδραση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός μοριακού τύπου, σε σχέση με ένα συντακτικό τύπο;
2. Η χημική εξίσωση που ακολουθεί είναι ισοσταθμισμένη; Αν δεν είναι, ισοσταθμίστε την.

$$Zn + HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$$

3. Τι είναι απαραίτητο προκειμένου να ισοσταθμιστούν χημικές εξισώσεις;
4. Με βάση ποια ένδειξη πιστεύουν οι επιστήμονες ότι όλα τα άτομα διατηρούνται στις χημικές διαδικασίες;

Περίληψη κεφαλαίου

Η ύλη απαντά σε τρεις καταστάσεις (ή φάσεις): αέρια (ή υπό μορφή ατμού), υγρή και στερεά. Γενικά, η κατάσταση με την οποία θα εμφανισθεί μια ουσία καθορίζεται από την κινητική ενέργεια των μορίων (ή ατόμων) της, η οποία πάλι με τη σειρά της εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Αυτός είναι ο λόγος που οι ουσίες έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπονται από τη μια φάση στην άλλη (για παράδειγμα πάγος σε νερό και μετά σε ατμό και αντίστροφα), αν μεταβληθεί η θερμοκρασία. Συνήθως, μια μεταβολή φάσεως, όπως οι προηγούμενες, δεν οδηγεί σε οποιαδήποτε μεταβολή της ταυτότητας των ατόμων και των μορίων, στα οποία αναφέρεται.

Καθαρές ουσίες είναι εκείνες που έχουν ομοιόμορφη σύσταση και εμφανίζουν σταθερές και χαρακτηριστικές ιδιότητες. Οι καθαρές ουσίες που δεν είναι δυνατόν να μεταβληθούν ή να αποσυντεθούν σχηματίζοντας μία ή περισσότερες άλλες ουσίες, αποτελούνται από ένα μόνο είδος ατόμων και ονομάζονται στοιχεία. Υπάρχουν περίπου 109 στοιχεία και από αυτά περίπου τα 90 υπάρχουν στη φύση.

Καθαρές ουσίες που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα είδη ατόμων ονομάζονται χημικές ενώσεις. Η αναλυτική χημεία ασχολείται με τον προσδιορισμό της συστάσεως των ουσιών. Η συνθετική χημεία ασχολείται με τη σύνθεση χημικών ενώσεων, ξεκινώντας από στοιχεία ή άλλες πιο απλές χημικές ενώσεις.

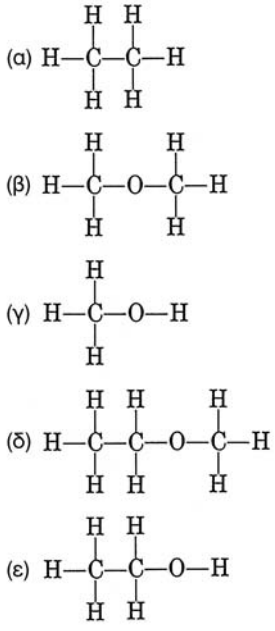
Πειράματα δείχνουν ότι οι χημικές ενώσεις έχουν καθορισμένες σταθερές αναλογίες των στοιχείων που τις αποτελούν. Κάθε καθαρό δείγμα μιας συγκεκριμένης χημικής ενώσεως περιέχει τα ίδια στοιχεία στις ίδιες αναλογίες μάζας. Για την παράσταση των στοιχείων χρησιμοποιούνται σύμβολα διεθνώς αποδεκτά.

Προκειμένου να δείξομε ποια στοιχεία υπάρχουν σε μια ουσία, γράφομε σε ένα χημικό τύπο τα χημικά σύμβολα του καθενός στοιχείου ώστε να αναφέρονται όλα τα είδη των ατόμων που υπάρχουν στο μόριό της. Όταν χρειάζεται, τοποθετούνται αριθμητικοί δείκτες κάτω δεξιά μετά το σύμβολο ενός στοιχείου, για να φαίνεται πόσα άτομα από αυτό υπάρχουν σε κάποιο μόριο.

Η απεικόνιση των μορίων γίνεται με διάφορους τρόπους: με γραπτούς τύπους, με συντακτικούς τύπους και μοριακά πρότυπα. Με τις χημικές εξισώσεις περιγράφονται οι χημικές αντιδράσεις που συντελούνται και δίνονται οι ποσότητες των αντιδρώντων που απαιτούνται, καθώς και των προϊόντων που παράγονται. Σημειώνεται επίσης η διατήρηση της μάζας. Επειδή τα πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι η μάζα διατηρείται πάντα στις χημικές αντιδράσεις, συμπεραίνεται ότι και ο

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Γιατί οι στερεές και οι υγρές ουσίες έχουν την τάση να εξατμίζονται, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους;
2. Υπάρχουν μερικά αέρια, τα οποία δεν συμπυκνώνονται σε πιέσεις πιο χαμηλές από μια ορισμένη κρίσιμη πίεση, όσο και αν κατέβει η θερμοκρασία. Ποια εξήγηση θα μπορούσατε να δώσετε γι' αυτό;
3. Είναι δυνατόν δύο ουσίες που περιέχουν τα ίδια είδη ατόμων, στις ίδιες αναλογίες, να έχουν διαφορετικές ιδιότητες; Εξηγήστε.
4. Τι είναι τα ισομερή; Εξετάστε τους παρακάτω συντακτικούς τύπους των ισομερών και αν αναγνωρίσετε μερικά, γράψτε τους μοριακούς τύπους αυτών.



5. Θα ήταν δυνατόν να θεωρηθεί η άμμος της θάλασσας καθαρή ουσία; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.
6. Τι σημαίνει "καθαρό" νερό;
7. Η αμμωνία, NH_3, είναι δυνατό να καεί με αέριο οξυγόνο, O_2, και να δώσει αέριο άζωτο, N_2, και νερό, H_2O. Σύμφωνα με τα παρακάτω στάδια, προκύπτει μια ισοσταθμισμένη αντίδραση. Εξηγήστε τι γίνεται στο κάθε στάδιο.

$$NH_3 + O_2 \text{ Y } N_2 + H_2O$$
$$2NH_3 + O_2 \text{ Y } N_2 + H_2O$$
$$2NH_3 + O_2 \text{ Y } N_2 + 3H_2O$$
$$2NH_3 + 3/2O_2 \text{ Y } N_2 + 3H_2O$$

8. Αέριο προπάνιο, C_3H_8, ενώνεται με αέριο οξυγόνο, O_2. Τα προϊόντα που σχηματίζονται είναι διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και νερό, H_2O. Με μια σειρά εξισώσεων (όπως στην ερώτηση 7), γράψτε και ισοσταθμίστε την τελική εξίσωση.
9. Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα στους όρους μονοατομικό, διατομικό και πολυατομικό; Είναι δυνατόν να υπάρχει μονοατομική χημική ένωση; Αν ναι, αναφέρατε ένα παράδειγμα. Αν όχι, δώστε μία εξήγηση.
10. Ποια στοιχεία περιέχει το SF_6; Πόσα άτομα υπάρχουν στο μόριο;
11. Αναφέρατε τη σημασία των δεικτών και των συντελεστών σε μια χημική εξίσωση.
12. Στην παρακάτω εξίσωση:

$$2C_2H_2 + 5O_2 \text{ Y } 4CO_2 + 2H_2O$$

   (α) Πόσα άτομα συμμετέχουν στην αντίδραση;
   (β) Πόσα γραμμομόρια διοξειδίου του άνθρακα παράγονται;
   (γ) Πόσα άτομα αερίου οξυγόνου καταναλίσκονται;
13. Να περιγράψετε ή να ορίσετε με δικά σας λόγια, τι είναι: (α) Το χημικό σύμβολο· (β) ο χημικός τύπος (μοριακός)· (γ) η χημική

εξίσωση.

14. Ποια, κατά τη γνώμη σας, είναι η αιτία που μερικές χημικές ενώσεις αποσυντίθενται πριν εξαερωθούν, δηλαδή πριν φθάσουν στη θερμοκρασία εκείνη, στην οποία είναι δυνατόν να μετατραπούν εξ ολοκλήρου σε αέριο;
15. Τι σημαίνει Co και τι CO; Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα στα δύο σύμβολα;
16. Ας υποθέσομε ότι αντιδρούν 10 μόρια υδρογόνου και 10 μόρια οξυγόνου. Πόσα μόρια νερού σχηματίζονται; Τι είναι αυτό που θα περισσέψει;
17. Ένα εκατομμύριο μόρια οξυγόνου αντιδρούν με επαρκή μόρια υδρογόνου και σχηματίζουν μόρια νερού. Πόσα μόρια σχηματίζονται; Πόσα μόρια υδρογόνου καταναλίσκονται;
18. Σε μια μηχανή εσωτερικής καύσεως παράγεται ενέργεια από την καύση υδρογονανθράκων, όπως το C_7H_{16} και C_8H_{18}, ενώ ταυτόχρονα παράγονται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Να γράψετε ισοσταθμισμένες εξισώσεις, που να περιγράφουν την καύση αυτών των δύο υδρογονανθράκων.
19. Αν προστεθεί μαγιά σε ένα αραιό διάλυμα σακχαρόζης*, $C_6H_{12}O_6$, σε θερμοκρασία δωματίου, δημιουργείται μια αντίδραση, κατά την οποία η σακχαρόζη διασπάται προς διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και αιθανόλη, C_2H_6O. Να γράψετε μια ισοσταθμισμένη εξίσωση γι' αυτήν την αντίδραση.
20. Ένας όγκος αερίου υδρογόνου ενώνεται με έναν όγκο αερίου χλωρίου και σχηματίζονται δύο όγκοι αερίου υδροχλωρίου. Η εξίσωση γι' αυτήν την αντίδραση είναι:

$$H_2 + Cl_2 \text{ Y } 2HCl$$

(α) Σύμφωνα με αυτήν την αντίδραση, πόσα μόρια υδροχλωρίου, HCl είναι δυνατόν να σχηματισθούν από ένα μόριο υδρογόνου, H_2;
(β) Πόσα γραμμομόρια υδροχλωρίου είναι δυνατόν να παραχθούν από ένα γραμμομόριο υδρογόνου;
(γ) Πόσα μόρια HCl θα παραχθούν από τέσσερα μόρια χλωρίου, Cl;
(δ) Από πόσα γραμμομόρια χλωρίου είναι δυνατόν να σχηματισθούν οκτώ γραμμομόρια υδροχλωρίου;

21. Η αντίδραση ανάμεσα στο οξείδιο του αζώτου, NO, και στο οξυγόνο, O_2, γράφεται ως εξής:

$$2NO + O_2 \text{ Y } 2NO_2$$

(α) Πόσα μόρια διοξειδίου του αζώτου, NO_2, δίνουν δύο μόρια οξειδίου του αζώτου NO;
(β) Πόσα γραμμομόρια NO_2 είναι δυνατόν να παραχθούν από τρία γραμμομόρια NO;
(γ) Πόσα γραμμοάτομα οξυγόνου υπάρχουν σε δύο γραμμομόρια NO;
(δ) Πόσα γραμμοάτομα οξυγόνου υπάρχουν σε ένα γραμμομόριο O_2;
(ε) Πόσα γραμμοάτομα οξυγόνου υπάρχουν σε δύο γραμμομόρια NO_2;
(στ) Με τη βοήθεια των απαντήσεων που δώσατε στις ερωτήσεις (γ), (δ) και (ε), να επαληθεύσετε ότι η αντίδραση είναι γραμμένη κατά τρόπο που διατηρείται ο αριθμός των ατόμων οξυγόνου σταθερός.

22. (α) Να γράψετε μια ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση εκείνη, κατά την οποία αέριο άζωτο, N_2, και αέριο υδρογόνο, H_2, αντιδρούν, για να σχηματισθεί αέρια αμμωνία, NH_3.
(β) Βεβαιωθείτε ότι στην εξίσωσή σας διατηρείται σταθερός ο αριθμός ατόμων υδρογόνου.
(γ) Βεβαιωθείτε ότι στην εξίσωσή σας διατηρείται σταθερός ο αριθμός ατόμων αζώτου.

23. Κατά την αντίδραση διασπάσεως της αμμωνίας σε άζωτο και υδρογόνο, απορροφάται θερμότητα**. Αν γραφτεί η αντίδραση με βάση τον αριθμό των γραμμομορίων προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$2NH_3 + 22 \text{ kcal Y } N_2 + 3H_2$$

(α) Πόσα γραμμομόρια αζώτου παράγονται από δύο γραμμομόρια αμμωνίας;
(β) Πόση θερμότητα απορροφάται κατά την παραγωγή εννέα γραμμομορίων αζώτου;
(γ) Πόση θερμότητα θα απερροφάτο για την παραγωγή εννέα γραμμομορίων υδρογόνου;

---

* *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για την κοινή ζάχαρη που έχομε σπίτι μας.*

** *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για ενδόθερμη αντίδραση.*

24. Ένα στάδιο της παραγωγής θειικού οξέος είναι η καύση του θείου, S_8, στον αέρα, ώστε να σχηματισθεί ένα άχρωμο αέριο με αποπνικτική οσμή. Το όνομα του αερίου είναι διοξείδιο του θείου, SO_2.
    (α) Να γράψετε την ισοσταθμισμένη εξίσωση γι' αυτήν την αντίδραση.
    (β) Να εκφράσετε την εξίσωση με βάση τα μόρια.
    (γ) Να εκφράσετε την εξίσωση με βάση τα moles.
    (δ) Πόσα γραμμομόρια διοξειδίου του θείου είναι δυνατόν να παραχθούν από δύο γραμμομόρια θείου, S_8;
25. Όταν σκουριάζει ο σίδηρος, Fe, αντιδρά με το οξυγόνο του αέρα και σχηματίζεται οξείδιο του σιδήρου, Fe_2O_3. Τι από αυτά που ακολουθούν είναι λάθος;
    (α) Η αντίδραση είναι:

$$4Fe + 3O_2 \text{ Y } 2Fe_2O_3$$

    (β) Ο τύπος Fe_2O_3 παριστάνει πέντε άτομα.
    (γ) Το οξυγόνο είναι τριατομικό αέριο.
    (δ) Η μάζα των αντιδρώντων είναι ίση με τη μάζα των προϊόντων.
    (ε) Ο αριθμός των ατόμων διατηρείται σταθερός.
26. Το οξείδιο του χαλκού που παρασκευάσατε (κεφ. 7, παράγρ. 7.8) έχει τον τύπο CuO. Να γράψετε μια ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση που είχατε προκαλέσει.
27. Να ισοσταθμίσετε τις εξισώσεις για καθεμιά από τις παρακάτω αντιδράσεις. Να ξεκινήσετε με βάση το ένα mole της υπογραμμισμένης ουσίας.
    (α) $Li + \underline{Cl_2}$ Y LiCl
    (β) $Na + Cl_2$ Y NaCl
    (γ) $Na + F_2$ Y NaF
    (δ) $Ca + Br_2$ Y $CaBr_2$
    (ε) $\underline{O_2} + Cl_2$ Y Cl_2O
    (στ) $\overline{O_2} + \overline{Cl_2}$ Y Cl_2O
28. Να ισοσταθμίσετε την κάθε εξίσωση που έχει σχέση με οξυγόνο. Ξεκινήστε με βάση ένα mole της υπογραμμισμένης ουσίας.
    (α) $\overline{Ni + O_2}$ Y NiO
    (β) $\underline{Ni + O_2}$ Y NiO
    (γ) $\overline{Li + O_2}$ Y LiO
    (δ) $N_2H_4 + O_2$ Y $N_2 + H_2O$
    (ε) $C_2H_2 + O_2$ Y $CO_2 + H_2O$
    (στ) $Cu_2S + O_2$ Y $Cu_2O + SO_2$
    ζ) $FeS_2 + O_2$ Y $Fe_2O_3 + SO_2$
29. Να ισοσταθμίσετε τις ακόλουθες εξισώσεις. Αν κάποια, με το τρόπο που είναι γραμμένη, είναι ήδη ισοσταθμισμένη, γράψτε απλά "ισοσταθμισμένη".
    (α) $S + O_2$ Y SO_3
    (β) $K + O_2$ Y K_2O_2
    (γ) HgO Y $Hg + O_2$
    (δ) BaO_2 Y $BaO + O_2$
    (ε) $CH_4 + Br_2$ Y $CHBr_3 + HBr$
30. Επαναλάβατε την ερώτηση 29 για τις παρακάτω αντιδράσεις:
    (α) $P + O_2$ Y P_4O_6
    (β) $HgCl_2 + H_2S$ Y $HgS + HCl$
    (γ) $Mg + HCl$ Y $MgCl_2 + H_2$
    (δ) $MgCO_3$ Y $MgO + CO_2$
    (ε) $Na + Cl_2$ Y NaCl
    (στ) $Fe_3O_4 + H_2$ Y $Fe + H_2O$
31. Να προσδιορίσετε με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων τη μάζα του γραμμομορίου του καθενός από τα παρακάτω :
    (α) CuS
    (β) Al_2O_3
    (γ) $KMnO_4$
    (δ) NH_4Cl
    (ε) K_2HPO_4
32. Να κάνετε ότι στην ερώτηση 31 και για τις επόμενες χημικές ουσίες:
    (α) $CdSO_4$
    (β) $HC_2H_3O_2$
    (γ) SCl_2
    (δ) C_7H_{16}
    (ε) K_2PtCl_6
33. Να γράψετε το πλήρες όνομα κάθε στοιχείου του οποίου το σύμβολο αναφέρεται στις ερωτήσεις 31 και 32.
34. Πόσα γραμμομόρια περιέχονται σε καθεμιά από τις παρακάτω ποσότητες ουσιών;
    (α) 98 g H_2SO_4
    (β) 7 g N_2
    (γ) 7 g CO
    (δ) 0,051 g NH_3
35. Πόσα γραμμομόρια περιέχονται σε καθεμιά από τις παρακάτω ποσοτήτων ουσιών;
    (α) 2,45 g H_2SO_4
    (β) 54 g H_2O
    (γ) 4,0 g CH_4
    (δ) 82 g H_3PO_4

36. Πόσα γραμμομόρια οξυγόνου χρειάζονται, για να καούν 46 g νατρίου, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση;

$$4Na + O_2 \rightarrow 2Na_2O$$

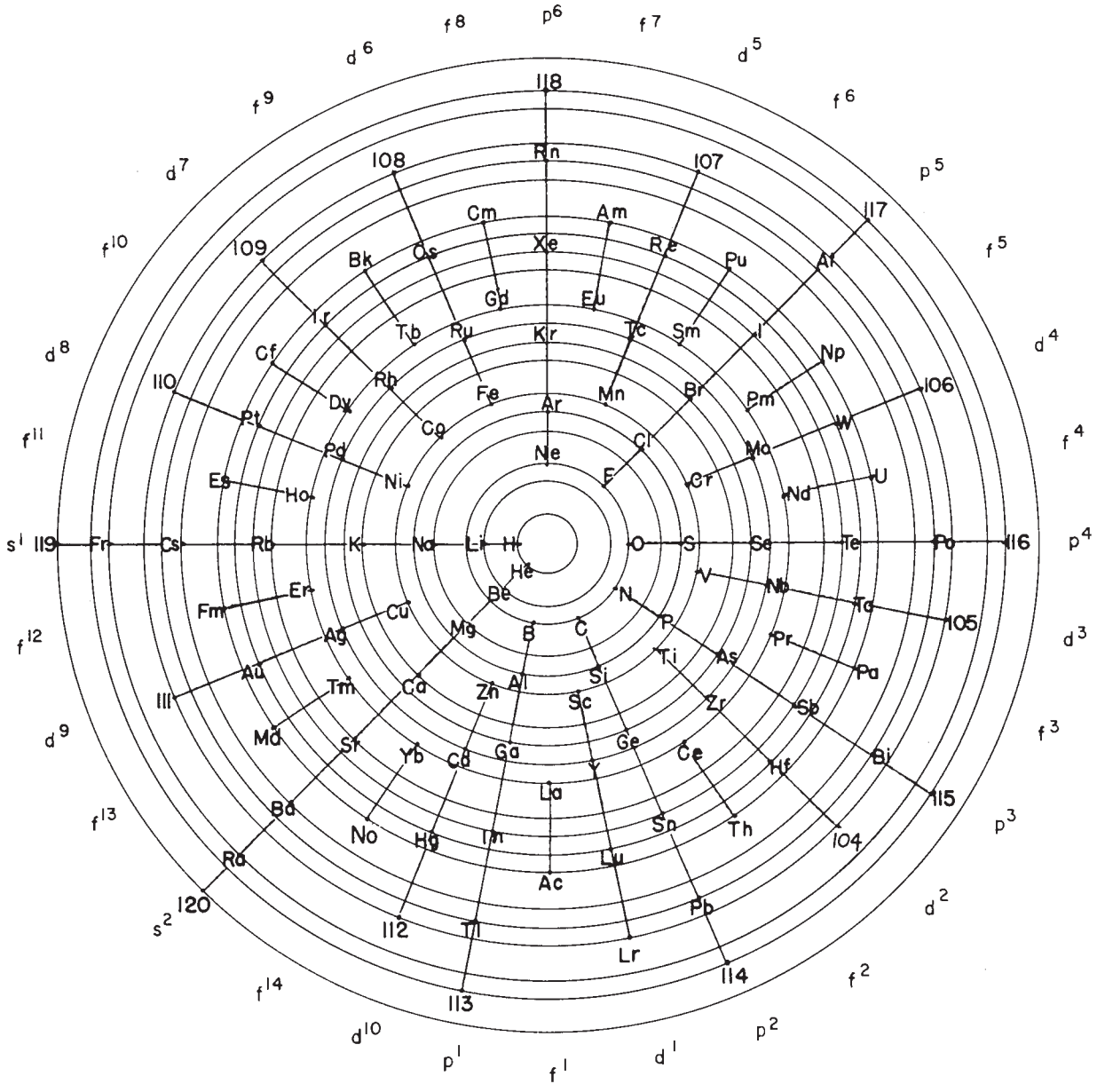
37. Πόσα γραμμομόρια CaO είναι δυνατόν να παραχθούν από 2 γραμμομόρια οξυγόνου, σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση;

$$2Ca + O_2 \rightarrow 2CaO$$

38. Το μεθάνιο, CH_4, είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Καίγεται, όταν υπάρχει οξυγόνο, και σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό.
    (α) Γράψτε την εξίσωση και υπολογίστε τους συντελεστές της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Χαρακτηριστικές κατηγορίες χημικής συμπεριφοράς



Η διάταξη αυτή των στοιχείων είναι μία από τις πολλές που απεικονίζουν τους τύπους χημικής συμπεριφοράς οι οποίοι έχουν παρατηρηθεί.

Μέχρι το κεφάλαιο αυτό γνωρίσατε λίγες, πολύ απλές, χημικές αντιδράσεις και μάθατε τους βασικούς κανόνες γραφής των χημικών εξισώσεων. Σε ορισμένα από τα επόμενα κεφάλαια οι γνώσεις σας αυτές θα διευρυνθούν με την εξέταση μεγαλύτερης ποικιλίας αντιδράσεων και τη μελέτη περισσοτέρων χημικών ενώσεων. Σε όλες αυτές θα πρέπει να αναζητήσετε ομοιότητες και κανόνες, που θα σας βοηθήσουν να συσχετίσετε μεταξύ τους μία ποικιλία φαινομένων κατά τρόπο λογικό και συστηματικό. Οι προσπάθειες αυτές θα σας βοηθήσουν επίσης να κατανοήσετε μία από τις μεγαλύτερες επιστημονικές γενικεύσεις που έχουν γίνει: Το περιοδικό σύστημα των στοιχείων.

Μερικές σημαντικές κατηγορίες χημικών αντιδράσεων

8.1 Αντιδράσεις με οξυγόνο.

Όπως μάθατε στα προηγούμενα κεφάλαια, χημική αντίδραση είναι η μεταβολή κατά την οποία άτομα συνδεδεμένα αρχικά μεταξύ τους με κάποιο τρόπο αλλάζουν αυτόν ακριβώς τον τρόπο της μεταξύ τους συνδέσεως. Για να αρχίσει μία χημική αντίδραση, θα πρέπει να συνυπάρξουν ορισμένα είδη μορίων, που ονομάζονται «αντιδρώντα». Όταν περατωθεί η αντίδραση, έχομε την παρουσία διαφορετικών μορίων, «των προϊόντων» της αντιδράσεως. Το πλήθος των ατόμων του καθενός στοιχείου δεν αλλάζει, ενώ αλλάζει ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται, για να σχηματίσουν νέα μόρια. Συνήθως, όταν γίνεται μία χημική αντίδραση, παράγεται ή καταναλίσκεται θερμότητα ή άλλες μορφές ενέργειας. Από τις λίγες αντιδράσεις, που έχετε μάθει μέχρι τώρα, οι περισσότερες περιγράφουν την αντίδραση κάποιου στοιχείου ή χημικής ενώσεως με το οξυγόνο. Αντιδράσεις με οξυγόνο και ειδικά οι αντιδράσεις των διαφόρων στοιχείων με το οξυγόνο παρουσιάζουν ιδιαίτερα μεγάλο ενδιαφέρον. Θα άξιζε τον κόπο να εξετάσομε μερικές ακόμη. Έτσι, θα έχετε συγχρόνως την ευκαιρία να γνωρίσετε και μερικά ακόμη στοιχεία.

Οι δύο επόμενες αντιδράσεις με οξυγόνο έχουν αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια:

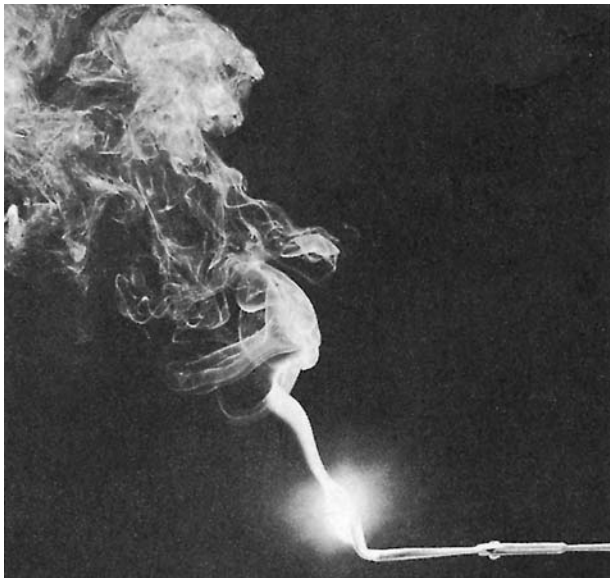
$$Ag^{+} + e^{-} = Ag$$

$$Cu^{2} + 2e^{-} = Cu$$

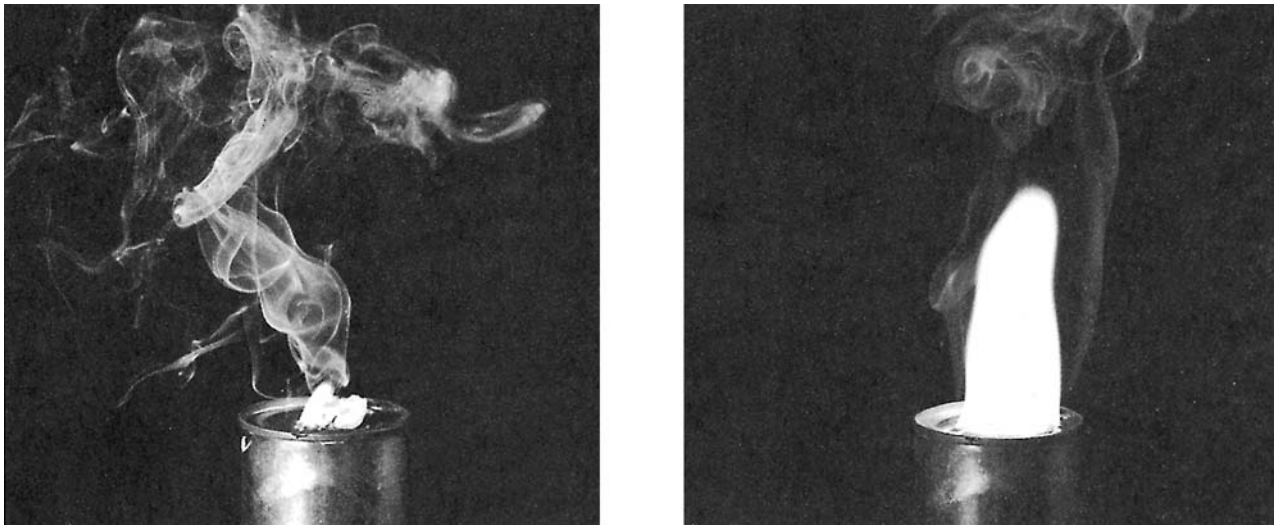
Πρακτικά, όλα τα γνωστά στοιχεία αντιδρούν με το οξυγόνο. Συνήθως, χρειάζεται να θερμανθούν, για να αρχίσει η αντίδραση. Μερικές αντιδράσεις, μόλις ξεκινήσουν, εξελίσσονται βίαια, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 8-1.

Όλα σχεδόν τα στοιχεία που είναι γνωστά ως μέταλλα αντιδρούν με το οξυγόνο και σχηματίζουν ενώσεις, που ονομάζονται οξείδια. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

Άργυρος, Ag:	$4Ag + O_2 = 2Ag_2O$
Λίθιο, Li:	$4Li + O_2 = 2Li_2O$
Νάτριο, Na:	$4Na + O_2 = 2Na_2O$
Κάλιο, K:	$4K + O_2 = 2K_2O$
Βηρύλιο, Be:	$2Be + O_2 = 2BeO$
Μαγνήσιο, Mg:	$2Mg + O_2 = 2MgO$
Ασβέστιο, Ca:	$2Ca + O_2 = 2CaO$
Σίδηρος, Fe:	$4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$
Αργίλιο, Al:	$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$
Κασσίτερος, Sn:	$Sn + O_2 = SnO_2$



ΣΧΗΜΑ 8-1. *Το μαγνήσιο καίγεται πολύ γρήγορα στον αέρα και εκλύει σημαντική ενέργεια με τη μορφή του φωτός.*



ΣΧΗΜΑ 8-2. *Ο λευκός φωσφόρος αναφλέγεται, όταν έλθει σε επαφή με τον αέρα. Σε άλλες λιγότερο δραστικές μορφές του στοιχείου (κόκκινος, μαύρος φωσφόρος) τα άτομα του φωσφόρου συνδέονται μεταξύ τους με διαφορετικό τρόπο. Και οι τρεις μορφές του όμως αντιδρούν με το οξυγόνο.*

Το σημαντικό που πρέπει να παρατηρήσομε είναι ότι το πλήθος των ατόμων του οξυγόνου, με τα οποία ενώνεται το άτομο ενός μετάλλου, δεν είναι το ίδιο για όλα τα μέταλλα. Όπως φαίνεται καθαρά, τα μέταλλα της πρώτης ομάδας έχουν σχετικά μικρή ικανότητα συγκρατήσεως οξυγόνου και γι' αυτό χρειάζονται δύο άτομα μετάλλου για τη συγκράτηση ενός ατόμου οξυγόνου. Η επόμενη ομάδα περιλαμβάνει τρία μέταλλα με διπλάσια ικανότητα συγκρατήσεως του οξυγόνου. Κάθε ένα άτομο μετάλλου αντιδρά και συγκρατεί ένα άτομο οξυγόνου. Στις άλλες δύο ομάδες αναγράφονται μέταλλα με άτομα, που έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να συνδυασθούν με οξυγόνο.

Αλλά δεν είναι μόνο τα μέταλλα, που μπορούν να ενωθούν με οξυγόνο. Στοιχεία που δεν είναι μέταλλα, όπως π.χ. ο άνθρακας, μπορούν να αντιδράσουν επίσης με οξυγόνο. Ακόμη και πολλές χημικές ενώσεις είναι δυνατόν να αντιδράσουν με οξυγόνο. Οι περισσότερες αντιδράσεις με οξυγόνο παράγουν σημαντική ποσότητα ενέργειας, συνήθως με τη μορφή θερμότητας ή φωτός, και γι' αυτό είναι γνωστές ως αντιδράσεις καύσεως.

Μεταξύ των αμετάλλων στοιχείων που αντιδρούν με οξυγόνο περιλαμβάνονται το θείο, S, και ο φωσφόρος, P.

$$S + O_2 = SO_2$$

$$4P + 5O_2 = P_4O_{10}$$

Ο φωσφόρος αναφλέγεται στον αέρα και δίνει έναν πυκνό άσπρο καπνό, όπως φαίνεται στο σχήμα 8-2. Το μόριο του P_4O_{10} είναι το πιο πολύπλοκο μόριο οξειδίου, που έχει παρασκευασθεί μέχρι σήμερα. Γι' αυτό και οι συντελεστές στο αριστερό μέρος της εξισώσεως είναι τόσο μεγάλοι.

Από τις πολλές ενώσεις που αντιδρούν με το οξυγόνο πιο σημαντικές είναι αυτές, που αποτελούνται από άνθρακα και υδρογόνο ή από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Ενώσεις που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και υδρογόνο ονομάζονται ***υδρογονάνθρακες.*** Το υλικό των κεριών αποτελείται κυρίως από μίγμα υδρογονανθράκων, ένας από τους οποίους είναι το δεκαπεντάνιο, C_{15} H_{32}. Η επόμενη εξίσωση περιγράφει την καύση του δεκαπεντανίου και είναι χαρακτηριστική εξίσωση της πλήρους καύσεως των υδρογονανθράκων:

$$C_{15}H_{32} + 23O_2 = 15CO_2 + 16H_2O$$

Μερικές από τις ενώσεις, που εκτός από άνθρακα και υδρογόνο περιέχουν και οξυγόνο, ονομάζονται ***υδατάνθρακες.*** Σε αυτές ο λόγος των ατόμων του υδρογόνου προς τα άτομα του οξυγόνου είναι πάντα δύο προς ένα. Η ένωση κυτταρίνη, μια ουσία που αποτελεί το 40% με 50% του ξύλου, είναι ένας χαρακτηριστικός υδατάνθρακας. Αποτελείται από πολύ μεγάλα μόρια, που καθένα δημιουργείται από μικρότερες μονάδες, επίσης υδατάνθρακες, του τύπου: $C_6H_{10}O_5$. Η παρακάτω εξίσωση περιγράφει την καύση μιας από αυτές τις μονάδες, που συνιστούν την κυτταρίνη του ξύλου:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 5H_2O$$

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

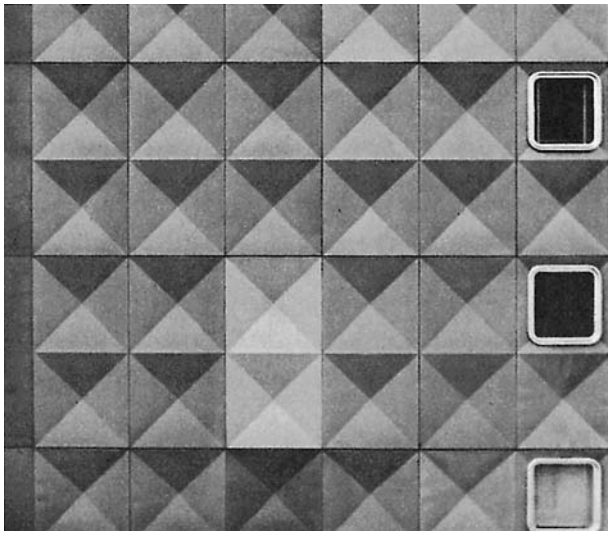
ΣΙΔΗΡΟΣ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Όπως είδαμε στην παράγραφο 8.1, και ο σίδηρος και το αλουμίνιο αντιδρούν με το οξυγόνο και σχηματίζουν οξείδια. Αυτά τα δύο οξείδια, Fe_2O_3 και Al_2O_3, έχουν μοριακό τύπο της ίδιας μορφής. Παρ' όλα αυτά, το οξείδιο του σιδήρου και το οξείδιο του αλουμινίου έχουν μία βασική διαφορά και αυτό ακριβώς επηρεάζει σημαντικά το περιβάλλον.

Το οξείδιο του σιδήρου είναι μία μαλακή, σε μορφή νιφάδων κόκκινη ουσία. Δημιουργείται με την παρουσία νερού, όπως συμβαίνει συνήθως, και πρόκειται για τη γνωστή σκουριά. Στην πραγματικότητα η σκουριά δεν είναι απόλυτα καθαρό Fe_2O_3, αλλά αυτό δεν χρειάζεται να μας απασχολήσει προς το παρόν. Από τη φύση της η σκουριά, καθώς σχηματίζεται, αποκολλάται θρυμματιζόμενη και το μέταλλο εξακολουθεί να σκουριάζει, μέχρι να μετατραπεί ολόκληρο σε σκουριά. Ως συμπέρασμα βγαίνει ότι σιδερένια αντικείμενα, που πρόκειται να εκτεθούν σε οξυγόνο και υγρασία, πρέπει να βαφθούν ή να επικαλυφθεί η επιφάνειά τους με κάποιο άλλο υλικό, για να προστατευθούν από το σχηματισμό σκουριάς.

Αντίθετα το αλουμίνιο δεν χρειάζεται να επικαλυφθεί με χρώμα. Γιατί όμως συμβαίνει αυτό; Μήπως επειδή δεν αντιδρά με το οξυγόνο σε συνήθεις συνθήκες; Όχι. Αντιδρά και μάλιστα γρηγορότερα και από το σίδηρο, έστω και αν είναι εντελώς στεγνό. Το οξείδιο του αλουμινίου όμως είναι σκληρό και συμπαγές, και προσκολλάται στην επιφάνεια του μετάλλου. Όταν σχηματισθεί ένα στρώμα από οξείδιο πάχους περίπου 20 ατόμων, το οξυγόνο δεν μπορεί πια να διεισδύσει στο μέταλλο, που βρίσκεται κάτω από αυτό το στρώμα. Η αντίδραση με το οξυγόνο σταματά εκεί και η υπόλοιπη μάζα του μετάλλου προστατεύεται από το οξυγόνο και την υγρασία. Επί πλέον, η εμφάνιση μιας επιφάνειας με την επικάλυψη Al_2O_3 είναι αρκετά όμορφη, καθώς έχει την γκρίζα απόχρωση του ίδιου του μετάλλου. Αυτός είναι ένας από τους λόγους, που το αλουμίνιο έχει διαδοθεί τόσο πολύ και έχει τόσες πολλές εφαρμογές σε περιπτώσεις, όπου δεν χρειάζεται η μεγάλη αντοχή του σιδήρου ή του χάλυβα.

Όλα τα είδη προστατευτικών επιφανειών και οι κατασκευές που δεν χρειάζεται να αντέχουν μεγάλο βάρος και που πρέπει να είναι ανθεκτικές στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και την υγρασία κατασκευάζονται σήμερα από αλουμίνιο. Το αλουμίνιο είναι, επίσης, ελαφρό, δηλαδή έχει σχετικά μικρή πυκνότητα. Ο συνδυασμός του μικρού του βάρους και της φυσικής του ικανότητας για αυτοπροστασία από τον αέρα και την υγρασία το καθιστούν ιδανικό για την κατασκευή αεροπλάνων, και αυτή ακριβώς είναι μια από τις σπουδαιότερες χρήσεις του. Οι χημικές ιδιότητες του αλουμινίου και του οξειδίου του έχουν αξιοποιηθεί για τη βελτίωση του περιβάλλοντός μας.



Πρόσοψη ουρανοξύστη κατασκευασμένη από αλουμίνιο. Η αντοχή του στη διάβρωση καθιστά το αλουμίνιο ένα πρώτο στις προτιμήσεις κατασκευαστικό

Δυστυχώς, οι ίδιες αυτές ιδιότητες, που αποτελούν πλεονέκτημα όταν χρησιμοποιούνται με σύνεση, μπορούν να γίνουν μειονέκτημα με την αλόγιστη χρήση. Εξαιτίας της προστατευτικής επικαλύψεως που δημιουργεί στο μέταλλο το οξείδιο του αλουμινίου, τα αντικείμενα από αλουμίνιο δεν πρέπει να διασκορπίζονται άσκοπα εδώ και εκεί. Τα πώματα από αλουμίνιο, οι κονσέρβες και τα κουτιά των αναψυκτικών, που τόσο επιπόλαια πετιούνται στην εξοχή και κατά μήκος των δρόμων, θα ζήσουν περισσότερο από όσο αυτοί που τα άφησαν εκεί. Αν δεν τα μαζέψει κάποιος, θα αυξάνονται συνεχώς υποβαθμίζοντας το περιβάλλον μας. Βέβαια κανένα είδος απορρίμματος δεν πρέπει να πετιέται απερίσκεπτα από έναν υπεύθυνο πολίτη. Τα αλουμινένια όμως αντικείμενα αποτελούν αυξημένο πρόβλημα εξ αιτίας του ότι δεν φθείρονται εύκολα.

μέταλλα αντιδρούν με νερό.

Στους χημικούς είναι από παλιά γνωστό ότι μερικά μέταλλα αντιδρούν με το νερό. Επειδή ο αέρας και το νερό είναι δύο από τις πιο κοινές ουσίες του περιβάλλοντος που ζούμε, δεν είναι περίεργο γεγονός ότι οι χημικοί από πολύ νωρίς προσπάθησαν να βρουν με ποιο τρόπο τα στοιχεία και οι ενώσεις αντιδρούν με αυτές τις ουσίες.

Γνωρίζετε ήδη ότι το νερό έχει κάποια επίδραση στο σίδηρο και στο ατσάλι, αφού αυτά τα υλικά σκουριάζουν γρηγορότερα,όταν είναι υγρά. Με τα πειράματα που θα ακολουθήσουν, θα γίνει κατανοητός ο τρόπος, σύμφωνα με τον οποίο μερικά από τα πιο δραστικά μέταλλα αντιδρούν με το νερό.

Τα περισσότερα από τα δραστικά μέταλλα είναι γνωστά από παλιά. Το 1807, ο σερ Humphry Davy ανακάλυψε ένα νέο και πολύ δραστικό στοιχείο, που το ονόμασε κάλιο. Λίγες ημέρες αργότερα απομόνωσε για πρώτη φορά το στοιχείο νάτριο, ένα επίσης δραστικό μέταλλο. Μέσα σε ένα χρόνο ακολούθησε η ανακάλυψη και η απομόνωση από τον Davy του μαγνησίου, του ασβεστίου, του στροντίου και του βαρίου, που βρέθηκε να έχουν μεταξύ τους ανάλογες ιδιότητες. Το λίθιο ανακαλύφθηκε από το Σουηδό χημικό Johannes Arfvedson, το 1817, ενώ το κέσιο ανακαλύφθηκε το 1860 στη Γερμανία από τους Robert Bunsen και Gustav Kirchhoff. Οι ίδιοι το 1861 ανακάλυψαν και το ρουβίδιο. Για τον προσδιορισμό τους χρησιμοποίησαν ένα φασματοσκόπιο (στο κεφ. 11 περιγράφεται η λειτουργία του φασματογράφου, που είναι ένας τύπος φασματοσκοπίου). Οι Friederich Wöhler και Antoine –Alexander Brutus Bussy, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον, απομόνωσαν το 1828 το μεταλλικό βηρύλιο.

Ενώ ο τρόπος που αντιδρούν όλα αυτά τα στοιχεία έχει κάποιες ομοιότητες, επεκράτησε να τοποθετούνται στην ίδια ομάδα μόνο το λίθιο, το νάτριο, το κάλιο, το ρουβίδιο και το κέσιο, επειδή δύο άτομα από το κάθε στοιχείο συνδέονται με ένα άτομο οξυγόνου.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα αυτό γίνεται σύγκριση των αντιδράσεων μερικών μετάλλων με το νερό.

ΥΛΙΚΑ

Προστατευτικά γυαλιά
Χαρτί ηλιοτροπίου*
Προστατευτικό χώρισμα
Στήριγμα, δακτύλιος
Ποτήρι βρασμού, 250 ml
Μεταλλικό πλέγμα
Ποτήρι βρασμού, 400 ml
Λύχνος
Λαβίδες, μαχαίρι
Δοκιμαστικοί σωλήνες
Χαρτοπετσέτες
Σφικτήρας
Νάτριο, κάλιο, λίθιο, ασβέστιο και μαγνήσιο
Χρονόμετρο ή κοινό ρολόι με δείκτη δευτερολέπτων
Διαλύματα υδροξειδίου του νατρίου, υδροξειδίου του καλίου και υδροξειδίου του ασβεστίου

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Το πρώτο μέρος αυτού του πειράματος πραγματοποιείται ως επίδειξη από τον καθηγητή, ο οποίος θα πρέπει να ακολουθήσει την ίδια σχεδόν διαδικασία με αυτή που θα ακολουθήσετε στα τελευταία μέρη του πειράματος.

* *Σ.τ.Μ. Χαρτί, το οποίο αλλάζει χρώμα ανάλογα με το pH.*

Πρέπει να είστε προετοιμασμένοι ώστε να καταγράψετε τους χρόνους αντιδράσεων κατά την επίδειξη του καθηγητή, όπως και κατά τη διάρκεια των δικών σας πειραμάτων.

Μέρος Α. (Επίδειξη από τον καθηγητή).

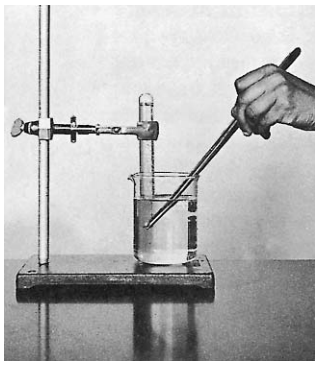
Βεβαιωθείτε ότι φοράτε προστατευτικά γυαλιά κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος. Καλόν είναι να υπάρχει ένα προστατευτικό χώρισμα από το σημείο διεξαγωγής του πειράματος ή τουλάχιστον μία απόσταση 2-2,5 μέτρων από τους θεατές.

1. Γεμίστε ένα ποτήρι των 250 ml μέχρι τη μέση, με νερό θερμοκρασίας δωματίου.
2. Χρησιμοποιήστε μία λαβίδα, για να βγάλετε ένα κομμάτι νατρίου από το δοχείο μέσα στο οποίο βρίσκεται. Με ένα κοφτερό μαχαίρι κόψτε ένα κομματάκι σε σχήμα μικρού κύβου, ακμής περίπου 3 mm. Απομακρύνετε κάθε επικάλυψη οξειδίου με το μαχαίρι, ώστε όλες οι επιφάνειες να έχουν μεταλλική λάμψη. Σκουπίστε κάθε ίχνος πετρελαίου με μία χαρτοπετσέτα.
3. Ρίξτε το κομμάτι του νατρίου μέσα στο ποτήρι με το νερό. Σκεπάστε το ποτήρι αμέσως με ένα μεταλλικό πλέγμα*. Χρησιμοποιήστε ένα χρονόμετρο ή ένα ρολόι με δείκτη δευτερολέπτων, για να μετρήσετε το χρόνο που χρειάζεται, για να συμπληρωθεί η αντίδραση.
4. Όταν τελειώσει η αντίδραση, ελέγξτε το διάλυμα που έμεινε με δύο κομμάτια χαρτί ηλιοτροπίου, ένα κόκκινο και ένα μπλε. Σημειώστε κάθε αλλαγή χρώματος.
5. Ξεπλύνετε το ποτήρι. Επαναλάβετε το πείραμα με ένα κομμάτι καλίου, του ίδιου περίπου μεγέθους με το κομμάτι νατρίου που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως.

Μέρος Β. (Πείραμα των μαθητών).

1. Γεμίστε ένα ποτήρι των 250 ml μέχρι τη μέση με νερό θερμοκρασίας δωματίου.
2. Με μία λαβίδα πάρτε ένα κομμάτι λιθίου, μεγέθους ενός κόκκου ρυζιού, από το δοχείο που το περιέχει. Όπως και πριν, αφαιρέστε κάθε επικάλυψη οξειδίου και σκουπίστε καλά κάθε ίχνος πετρελαίου με μία χαρτοπετσέτα.
3. Ρίξτε το κομμάτι του λιθίου μέσα στο ποτήρι με το νερό. Με ένα χρονόμετρο ή ένα ρολόι, που να έχει δείκτη δευτερολέπτων, μετρήστε το χρόνο που χρειάζεται, για να συμπληρωθεί η αντίδραση.
4. Όταν τελειώσει η αντίδραση εξετάστε το διάλυμα που δημιουργήθηκε με μπλε και κόκκινο χαρτί ηλιοτροπίου (συγχρόνως). Σημειώστε κάθε αλλαγή στο χρώμα.
5. Ξεπλύνετε το ποτήρι. Επαναλάβατε τα στάδια 1-4, χρησιμοποιώντας ένα κομμάτι μεταλλικού ασβεστίου, που θα σας δώσει ο καθηγητής.
6. Ξεπλύνετε το ποτήρι. Επαναλάβετε τα στάδια 1-4, με ένα κομμάτι μεταλλικού μαγνησίου.
7. Εάν παραμείνει λίγο μαγνήσιο στο ποτήρι μετά το τέλος του 6ου σταδίου, απομακρύνετέ το από το νερό. Τοποθετήστε το ποτήρι με το νερό πάνω σε ένα μεταλλικό πλέγμα, το οποίο συγκρατείται από ένα μεταλλικό δακτύλιο, στηριζόμενο στο ειδικό στήριγμα. Κάτω από το πλέγμα τοποθετήστε ένα

* *Σ.τ.Μ. Το μεταλλικό πλέγμα μπορεί να αντικατασταθεί από ένα κομμάτι γυαλί, ώστε να φαίνονται οι διάφορες φάσεις της αντιδράσεως.*



ΣΧΗΜΑ 8-3.

λύχνο, με τον οποίο θα ζεστάνετε το νερό, μέχρι να βράσει.

8. Απομακρύνετε το λύχνο από τον πυθμένα του ποτηριού. Ρίξτε μέσα στο ζεστό νερό το κομμάτι του μαγνησίου που έμεινε στο στάδιο 6. Αν υπάρξει κάποια αντίδραση σημειώστε την ταχύτητά της. Ελέγξτε το διάλυμα με μπλε και κόκκινο χαρτί ηλιοτροπίου. Σημειώστε κάθε αλλαγή στο χρώμα.
9. Ελέγξτε αραιά διαλύματα υδροξειδίου του νατρίου, υδροξειδίου του καλίου και υδροξειδίου του ασβεστίου με μπλε και κόκκινο χαρτί ηλιοτροπίου. Καταγράψτε κάθε αλλαγή στο χρώμα.
10. Γεμίστε ένα ποτήρι των 400 ml (κατά τα 2/3) με νερό, θερμοκρασίας δωματίου. Γεμίστε ένα δοκιμαστικό σωλήνα με νερό. Καλύπτοντας με τον αντίχειρά σας το άνοιγμα του δοκιμαστικού σωλήνα, αναστρέψτε τον και βυθίστε τον μέσα στο ποτήρι με το νερό. Όταν το άνοιγμα του σωλήνα βρεθεί κάτω από την επιφάνεια του νερού βγάλτε το δάκτυλό σας. Στερεώστε σε αυτήν τη θέση το σωλήνα. Βυθίστε ένα κομμάτι λιθίου ή ασβεστίου μέσα στο νερό και κάτω από το άνοιγμα του σωλήνα, ώστε οι φυσαλίδες του αερίου που παράγεται να ανεβαίνουν μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα (σχ. 8-3). Όταν ο σωλήνας γεμίσει περίπου μέχρι τη μέση με αέριο, ελευθερώστε το στήριγμά του και, χρησιμοποιώντας το ως λαβίδα του σωλήνα, απομακρύνετέ τον από το νερό. Αφήστε το υπόλοιπο νερό να τρέξει από το δοκιμαστικό σωλήνα. Με το σωλήνα ακόμη ανεστραμμένο πλησιάστε για μία στιγμή το ανοικτό άκρο του σε έναν αναμμένο λύχνο (βεβαιωθείτε ότι φοράτε τα προστατευτικά γυαλιά σας). Σημειώστε οποιαδήποτε αντίδραση συμβεί.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Υπολογίστε την ατομική μάζα των λιθίου, νατρίου και καλίου, καθώς και του μαγνησίου και του ασβεστίου.
2. Προκειμένου για τα τρία πρώτα στοιχεία, μήπως υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στις ατομικές τους μάζες και στις ταχύτητες αντιδράσεώς τους με το νερό; Θυμηθείτε ότι, όσο συντομότερα άρχιζε η αντίδραση, τόσο μεγαλύτερη ήταν και η ταχύτητά της. Περιγράψτε κάθε σχέση που πιθανόν να υπάρχει.
3. Υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ των ατομικών μαζών του μαγνησίου και του ασβεστίου και της ταχύτητας αντιδράσεώς τους με το νερό; Περιγράψτε κάθε πιθανή σχέση.
4. Γενικά, αν συγκριθούν οι ταχύτητες αντιδράσεως του μαγνησίου και του ασβεστίου με αυτές των λιθίου, νατρίου και καλίου, τι συμπεράσματα βγαίνουν;
5. Ποια ήταν τα δύο προϊόντα που σχηματίσθηκαν, όταν τα μέταλλα αντέδρασαν με το νερό; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
6. Μετά την παρατήρηση της συμπεριφοράς του μαγνησίου σε ζεστό και κρύο νερό, τι συμπέρασμα μπορείτε να βγάλετε για τις ταχύτητες αντιδράσεως;
7. Βασιζόμενοι στην ατομική μάζα του κεσίου, πώς θα περιμένατε να αντιδράσει με το νερό; Θα περιμένατε ότι το βηρύλιο θα αντιδρούσε ταχύτερα ή βραδύτερα από ό,τι το ασβέστιο;

8.3 Σύγκριση των αντιδράσεων των μετάλλων με το νερό.

Προηγουμένως έγινε αντιληπτό ότι, όταν αντιδράσει ένα δραστικό μέταλλο με το νερό, παράγεται αέριο υδρογόνο. Οι δοκιμές με το χαρτί ηλιοτροπίου σας έδωσαν μία καλή εικόνα για την ταυτότητα του άλλου προϊόντος της αντιδράσεως. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να βρεθεί πόσο από το κάθε προϊόν σχηματίζεται, ώστε να

μπορούν να γραφούν εξισώσεις για κάθε αντίδραση.

Όταν έχουν προσδιορισθεί προσεκτικά οι ταυτότητες και οι αναλογίες των προϊόντων, τότε επαληθεύονται οι παρακάτω εξισώσεις:

$2Li + 2H_2O = 2LiOH$ *(ως διάλυμα σε νερό)* $+H_2$
$2Na + 2H_2O = 2NaOH$ *(ως διάλυμα σε νερό)* $+H_2$
$2K + 2H_2O = 2KOH$ *(ως διάλυμα σε νερό)* $+H_2$
$Ca + 2H_2O = Ca(OH)_2$ *(ως διάλυμα σε νερό)* $+H_2$
$Mg + 2H_2O = Mg(OH)_2$ *(ως διάλυμα σε νερό)* $+H_2$

Σε κάθε μία από τις παραπάνω αντιδράσεις το μέταλλο ελευθέρωσε μερικά από τα άτομα υδρογόνου, που ανήκαν στα μόρια του νερού. Αυτά τα άτομα στη συνέχεια σχημάτισαν μόρια υδρογόνου, H_2. Από κάθε μόριο νερού που αντιδρά ελευθερώνεται ένα άτομο υδρογόνου, ενώ το άλλο παραμένει συνδεδεμένο με το άτομο του οξυγόνου. Οι ενώσεις που σχηματίζονται, LiOH, NaOH, KOH, $Mg(OH)_2$ και $Ca(OH)_2$, ονομάζονται ***υδροξείδια.*** Τα τρία πρώτα διαλύονται τελείως σε περίσσεια νερού. Το $Ca(OH)_2$ και το $Mg(OH)_2$ πιθανόν να μην διαλύονται εντελώς, αν υπάρχει μόνο μικρή ποσότητα νερού, επειδή είναι λιγότερο διαλυτά από τα άλλα υδροξείδια.

Είναι αξιοσημείωτο ότι στις αντιδράσεις που εξετάσθηκαν, όλα τα μέταλλα δεν αντιδρούσαν με το νερό στις ίδιες αναλογίες. Για τα τρία από αυτά (λίθιο, νάτριο, κάλιο) χρειάσθηκαν δύο moles του μετάλλου, για να σχηματισθεί ένα γραμμομόριο H_2, ενώ για το ασβέστιο ή το μαγνήσιο ένα mole

Περίληψη.

μετάλλου μπορεί να ελευθερώσει ένα γραμμομόριο H_2.

Σχεδόν όλα τα στοιχεία, μέταλλα και αμέταλλα, αντιδρούν με το οξυγόνο και δίνουν οξείδια. Επίσης, πολλές ενώσεις και ειδικά οι υδρογονάνθρακες και οι υδατάνθρακες αντιδρούν με το οξυγόνο. Συχνά, οι αντιδράσεις συνοδεύονται από έκλυση θερμότητας και φωτός, οπότε αυτή η διαδικασία ονομάζεται καύση.

Μία σημαντική αντίδραση μερικών μετάλλων, π.χ. λιθίου, νατρίου, καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου, είναι αυτή με το νερό. Κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως αυτής ελευθερώνεται αέριο H_2 και σχηματίζονται διαλύματα υδροξειδίων των μετάλλων. Αξίζει να σημειωθεί

Μερικά στοιχεία έχουν ανάλογες ιδιότητες

ότι τα μέταλλα είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε ομάδες με βάση τον αριθμό ατόμων οξυγόνου που είναι δυνατόν να συγκρατήσουν στα οξείδιά τους ή με βάση τον αριθμό των moles H_2 που μπορεί να ελευθερώνει από το νερό ένα mole ατόμων του κάθε μετάλλου.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς ονομάζομε την ουσία που σχηματίζεται, όταν ένα στοιχείο ενώνεται με οξυγόνο;
2. Τι εννοεί ένας χημικός λέγοντας καύση;
3. Να γραφεί η ακριβής εξίσωση, που περιγράφει την καύση του υδρογονάνθρακα C_8H_{18}, συστατικού της βενζίνης των αυτοκινήτων.

8.4 Τα μέταλλα των αλκαλίων: Μία χημική οικογένεια.

Προηγουμένως είδατε δύο παραδείγματα για τις ομοιότητες που υπάρχουν ανάμεσα στα στοιχεία λίθιο, νάτριο και κάλιο. Τα στοιχεία αυτά αντιδρούν με οξυγόνο και σχηματίζουν οξείδια του γενικού τύπου M_2O. Επίσης, αντιδρούν με νερό και ελευθερώνουν υδρογόνο,

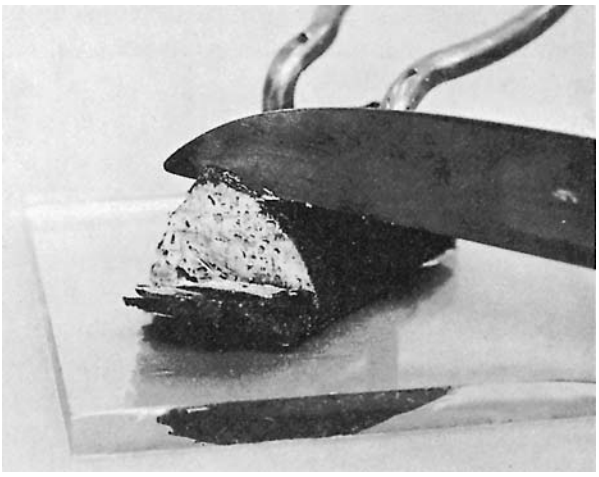
ενώ συγχρόνως σχηματίζουν διαλύματα των υδροξειδίων, MOH (και στους δύο προηγούμενους τύπου το M παριστάνει οποιοδήποτε μέταλλο, που σχηματίζει τέτοιες ενώσεις). Ίσως θυμάστε ότι και ο άργυρος σχηματίζει ένα οξείδιο του τύπου M_2O το Ag_2O. Όμως, δεν αντιδρά καθόλου με το νερό, ούτε καν με μικρή ταχύτητα. Επίσης, το μεταλλικό ασβέστιο αντιδρά με το νερό και το οξυγόνο κατά τον ίδιο σχεδόν τρόπο που αντιδρούν το λίθιο, το νάτριο και το κάλιο. Οι τύποι των προϊόντων του όμως είναι διαφορετικοί. Ένα mole ασβεστίου συνδέεται με περισσότερα οξυγόνα και ελευθερώνει περισσότερα υδρογόνα από ό,τι ένα mole λιθίου, νατρίου ή καλίου. Έτσι, τα τρία στοιχεία (Li, Na και K) μοιάζουν, σαν να έχουν μεταξύ τους συγγενικές ομοιότητες, τέτοιες που δεν συναντώνται σε άλλα στοιχεία, όπως τα αδέλφια, που δεν είναι ίδια αλλά μοιάζουν σε παρά πολλά σημεία.

Υπάρχουν επίσης δύο άλλα στοιχεία που απαντούν στη φύση, το ρουβίδιο (Rb) και το κέσιο (Cs) τα οποία αντιδρούν ανάλογα με το Li, Na και K. Το ρουβίδιο και το κέσιο όμως είναι σπανιότερα από αυτά, γι' αυτό και δεν χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστηριακό πείραμα. Και τα πέντε στοιχεία, εκτός από τις όμοιες χημικές τους ιδιότητες, έχουν και πολλές όμοιες φυσικές ιδιότητες. Είναι όλα ασημόχρωμα, λαμπερά και σχετικά μαλακά μέταλλα (σχ. 8-4).

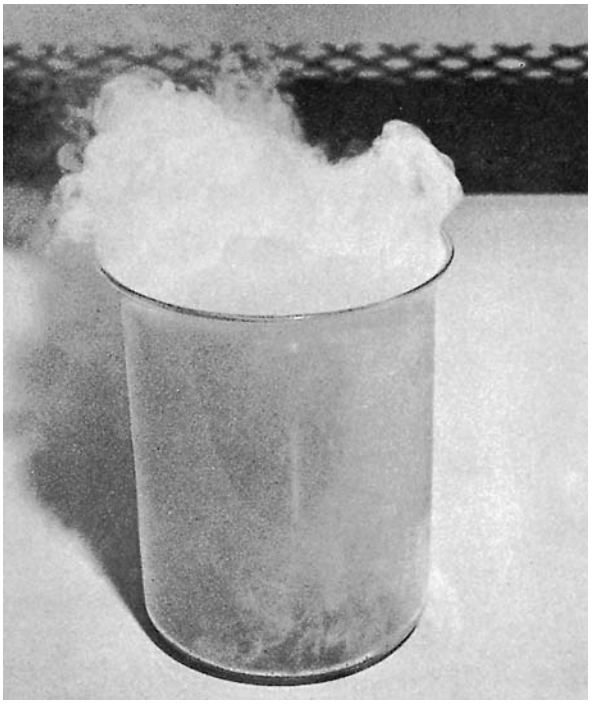
Τα μέταλλα αυτά τήκονται σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (το κέσιο τήκεται στους 28,7°C). Είναι γνωστά ως μέταλλα των αλκαλίων ή απλά ως αλκάλια.

8.5 Μία άλλη χημική οικογένεια: Τα αλογόνα.

Ανάμεσα στα πρώτα στοιχεία που ανακαλύφθηκαν ήταν και τρία με τα ονόματα χλώριο, Cl, βρώμιο, Br, και ιώδιο I. Η φυσική εμφάνιση αυτών των στοιχείων δεν δημιουργεί αμέσως την εντύπωση ότι έχουν μεταξύ τους κάποια συγγενική σχέση. Το χλώριο είναι ένα ανοικτό πράσινο αέριο, το βρώμιο είναι ένα βαθύ κόκκινο υγρό και το ιώδιο είναι ένα γκριζόμαυρο στιλπνό στερεό. Παρ' όλα αυτά, αν εξετάσει κάποιος τα τρία αυτά στοιχεία πιο προσεκτικά, όπως έκαναν οι χημικοί στις αρχές του 19ου αιώνα, θα ανακαλύψει αξιοσημείωτες ομοιότητες.



ΣΧΗΜΑ 8-4. *Όπως τα άλλα μέταλλα των αλκαλίων, το κάλιο (επάνω) είναι δυνατόν να κοπεί εύκολα. Σε πρόσφατη τομή εμφανίζεται μία ασημόχρωμη, λαμπερή επιφάνεια.*



ΣΧΗΜΑ 8-5. *Τα αλογόνα αντιδρούν βίαια με τα μέταλλα. Εδώ το χλώριο αντιδρά με το μέταλλο αντιμόνιο (Sb).*

Αν και το βρώμιο είναι υγρό και το ιώδιο στερεό, είναι και τα δύο πολύ πτητικά, δηλαδή εξατμίζονται δίνοντας πολύ εύκολα ατμούς. Επίσης, οι μοριακοί τύποι και των τριών στοιχείων είναι ανάλογοι: Cl_2, Br_2 και I_2. Αλήθεια, πώς νομίζετε ότι οι χημικοί ανακάλυψαν για πρώτη φορά αυτούς τους μοριακούς τύπους;

Οι χημικές ιδιότητες αυτών των στοιχείων έχουν σημαντικές ομοιότητες. Το χλώριο, το βρώμιο και το ιώδιο είναι πολύ δραστικά και σχηματίζουν ενώσεις σχεδόν με όλα τα άλλα στοιχεία, κυρίως με τα μέταλλα (σχ. 8-5). Τα προϊόντα γενικά είναι του ίδιου τύπου. Αν υποθέσομε π.χ. ότι με X παριστάνεται το χλώριο ή το βρώμιο ή το ιώδιο, το νάτριο αντιδρά με κάθε ένα από αυτά ως εξής:

$$2Na + X_2 \rightarrow 2NaX$$

Οι τρεις ουσίες που σχηματίζονται, NaCl, NaBr και NaI, είναι άσπρες κρυσταλλικές σκόνες, διαλυτές στο νερό και με αλμυρή γεύση. Το NaCl είναι βέβαια το κοινό επιτραπέζιο αλάτι.

Περίληψη.

Ένα τέταρτο στοιχείο που ονομάζεται φθόριο, F, ανακαλύφθηκε λίγο μετά την ανακάλυψη των τριών πρώτων. Μοιάζει με το χλώριο, γιατί είναι αέριο. Μοιάζει επίσης και με τα τρία, γιατί σχηματίζει ένα διατομικό μόριο, F_2. Αντιδρά όμως πιο βίαια από το Cl_2, το Br_2 και το I_2, αλλά σχηματίζει πολλές όμοιες ενώσεις. Για παράδειγμα, σχηματίζει άλατα, που ονομάζονται φθορίδια ή φθοριούχες ενώσεις, με πολλά μέταλλα. Στα άλατα που σχηματίζει με τα μέταλλα των αλκαλίων περιλαμβάνονται το NaF και το KF.

Τα τέσσερα στοιχεία F, Cl, Br, I ονομάζονται αλογόνα. Το όνομα αυτό είναι ελληνικό και προέκυψε από τη σύνθεση δύο μορφημάτων: του «αλό» (αλς, γεν. αλό-ς = αλάτι) και του «γον» (από το ρήμα γίγνομαι). Έτσι, η λέξη αλογόνο σημαίνει αυτό που σχηματίζει αλάτι· πράγματι, ως αποτέλεσμα της χημικής αντιδράσεως αυτών των στοιχείων έχομε το σχηματισμό άλατος.

Μία σημαντική οικογένεια στοιχείων είναι τα μέταλλα των αλκαλίων ή αλκάλια. Περιλαμβάνει το λίθιο (Li), το νάτριο (Na), το κάλιο (K),το

Μία αναζήτηση ομοιοτήτων οδηγεί στον περιοδικό πίνακα

ρουβίδιο (Rb) και το κέσιο (Cs). Όλα είναι λευκά μαλακά μέταλλα και αντιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο με το νερό, το οξυγόνο και άλλες ουσίες.

Μία άλλη οικογένεια στοιχείων είναι τα αλογόνα. Περιλαμβάνει το φθόριο (F), το χλώριο (Cl), το βρώμιο (Br) και το ιώδιο (I). Είναι, χωρίς αμφιβολία, αμέταλλα στοιχεία. Από αυτά, τα δύο πρώτα είναι αέρια, το τρίτο πτητικό υγρό και το τελευταίο πτητικό στερεό. Όλα αντιδρούν με πολλά άλλα στοιχεία με τον ίδιο γενικό τρόπο.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι η γενική εξίσωση για την αντίδραση ενός μετάλλου των αλκαλίων, M, με το O_2;
2. Πώς αντιδρούν τα αλογόνα με το λίθιο (Li); Γράψτε τις εξισώσεις.
3. Από τις δύο οικογένειες που έχουν αναφερθεί ποια είναι τα μέταλλα και ποια τα αμέταλλα;

8.6 Άλλα στοιχεία που παρουσιάζουν επίσης ανάλογες ιδιότητες.

Στο χρονικό διάστημα 1800-1860 ανακαλύφθηκαν πολλά νέα χημικά στοιχεία,όπως φαίνεται και στο σχήμα 8-6.

Επίσης, μελετήθηκαν οι αντιδράσεις και οι ενώσεις, τις οποίες σχηματίζουν. Καθώς πλήθαινε ο αριθμός των πληροφοριών, οι χημικοί άρχισαν να ψάχνουν για μεθόδους, που θα βοηθούσαν στην οργάνωση και κατάταξη του αυξανόμενου όγκου των παρατηρήσεων.

Τα προφανέστερα στοιχεία που θα μπορούσαν να αναζητήσουν ήσαν ομοιότητες στο είδος των αντιδράσεων και στο χημικό τύπο των ενώσεων, που σχημάτιζαν τα διάφορα στοιχεία. Με τον τρόπο αυτό άρχισαν να αναγνωρίζουν την ύπαρξη μερικών οικογενειών στοιχείων. Μαζί με τις δύο οικογένειες που εξετάσθηκαν, τα αλκάλια και τα αλογόνα, αναγνωρίσθηκαν γρήγορα και μερικές άλλες. Ακολουθούν δύο παραδείγματα.

1. Το ασβέστιο, το στρόντιο και το βάριο είναι μέταλλα, άσπρα, μαλακά και αντιδρούν με ανάλογο τρόπο με πολλές ουσίες, όπως το οξυγόνο, το χλώριο, το βρώμιο και το νερό. Αυτό φαίνεται στις επόμενες εξισώσεις, όπου

με Μ παριστάνεται ένα από αυτά.

$$2M + O_2 = 2MO$$
$$M + Cl_2 = MCl_2$$
$$M + Br_2 = MBr_2$$
$$M + 2H_2O = M(OH)_2 + H_2$$

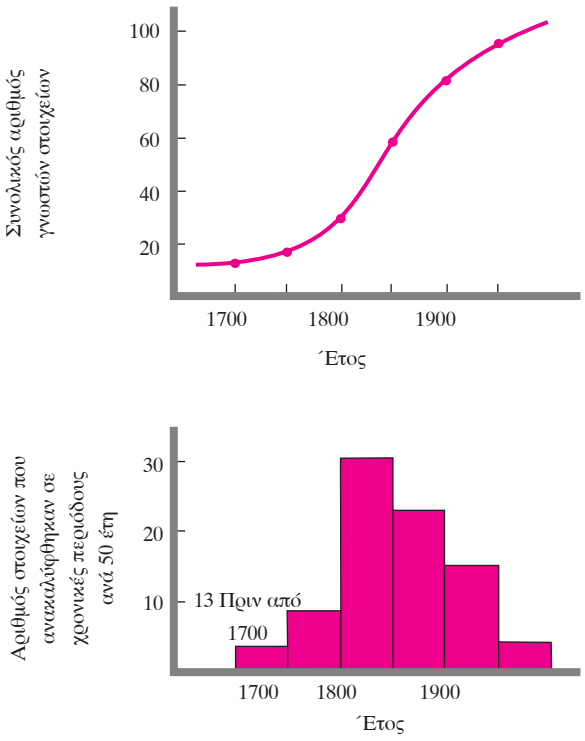
2. Το θείο, το σελήνιο και το τελλούριο είναι όλα αμέταλλα στερεά (αν και το τελλούριο είναι ελαφρά μεταλλικό), έχουν δε μέτρια χημική δραστικότητα. Όταν όμως αντιδρούν, δίνουν ανάλογες ενώσεις. Αυτό φαίνεται στις ακόλουθες αντιδράσεις, όπου το Z παριστάνει το S, το Se ή το Te.

$$Z + O_2 = ZO_2$$
$$Z + H_2 = H_2Z$$
$$Z + 2Na = Na_2Z$$

Η κατάταξη των στοιχείων σε οικογένειες ήταν (και είναι ακόμη) χρήσιμη στους χημικούς και για προφανείς πρακτικούς λόγους. Βοηθά στην οργάνωση των δεδομένων. Συχνά ως αποτέλεσμα της κατατάξεως αυτής προκύπτει η δυνατότητα να γίνονται προβλέψεις. Αν ανακαλυφθεί μία νέα αντίδραση ή ένας νέος τύπος ενώσεων για ένα στοιχείο, τότε ο χημικός μπορεί να προβλέψει ποια άλλα στοιχεία είναι δυνατόν να συμπεριφερθούν ανάλογα.

Ανάμεσα στις απορίες που άρχισαν να απασχολούν τις σκέψεις των χημικών όλο και πιο έντονα σε αυτά τα πρώτα βήματα της χημείας, ήταν και οι ακόλουθες: Γιατί να υπάρχουν χημικές οικογένειες; Ποιες βασικές ιδιότητες των ατόμων εξασφαλίζουν τόσες πολλές ομοιότητες μεταξύ των στοιχείων μιας οικογένειας, ενώ οι διαφορές τους είναι ελάχιστες; Υπάρχει άραγε μία αρχή, που να οδηγεί στο σχηματισμό των τύπων, οι οποίοι έχουν βρεθεί ότι υπάρχουν;

Ο πρώτος που διέκρινε μία πιθανή εξήγηση ήταν ένας Γερμανός χημικός ο Johann Döbereiner. Αυτός πρόσεξε ότι συχνά οικογένειες στοιχείων αποτελούνται από τρία μέλη. Τοποθέτησε τα στοιχεία της κάθε οικογένειας κατά σειρά, με αυξανόμενο ατομικό βάρος ή ατομική μάζα*. Ονόμασε τις ομάδες τριάδες και τις γνωστοποίησε στους χημικούς της εποχής (1828). Αυτό που πραγματικά πίστευε ήταν ότι το ατομικό βάρος του μεσαίου μέλους της τριάδας



ΣΧΗΜΑ 8-6. *Δύο διαγράμματα, που δείχνουν πώς αυξήθηκε σταθερά ο αριθμός των γνωστών στοιχείων (επάνω), καθώς και τις χρονικές περιόδους, κατά τις οποίες παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη δραστηριότητα για την ανακάλυψη νέων στοιχείων (κάτω).*

ήταν πολύ κοντά στο μέσο όρο των μαζών των άλλων δύο. Αυτό φαίνεται στον πίνακα 8.1 για τρεις τριάδες, που έχουν μέχρι τώρα συζητηθεί και ήταν γνωστές στον Döbereiner. Η σημασία αυτής της παρατηρήσεως είναι μεγάλη διότι δημιουργήθηκε ένας εντελώς καινούργιος τρόπος σκέψεως, προέκυψε δηλαδή η υπόθεση ότι πιθανόν να υπάρχει μία κάποια σχέση ανάμεσα στην ατομική μάζα και τις χημικές ιδιότητες. Χρειάσθηκε να περάσουν πολλά χρόνια, μέχρι να πραγματοποιηθεί η επόμενη συγκλονιστική ανακοίνωση. Ίσως αυτός που συνέλαβε πρώτος μία γενικότερη μέθοδο για κατάταξη να ήταν ο Άγγλος χημικός John Newlands. Το 1863 ο Newlands παρατήρησε ότι ταξινομώντας τα μέχρι τότε γνωστά ελαφρότερα στοιχεία κατά σειρά ατομικής μάζας, κάθε όγδοο στοιχείο έδειχνε να έχει ανάλογες ιδιότητες. Αυτό ακριβώς ήταν που ονόμασε ***νόμο των οκτάδων.*** Δυστυχώς ο «νόμος» σε μερικά σημεία έμοιαζε να μην ισχύει και έτσι η

* *Σ.τ.Μ. Παλαιότερα (αλλά ακόμη και σήμερα) οι όροι ατομικό βάρος και ατομική μάζα χρησιμοποιούνται ως ταυτόσημοι. Χρησιμοποιείται επίσης, στην ξένη βιβλιογραφία, ο όρος μοριακή μάζα.*

πρόταση του Newlands δεν έγινε αποδεκτή από τους περισσότερους χημικούς. Ο Newlands γελοιοποιήθηκε και υβρίσθηκε για τις ιδέες του. Στην πραγματικότητα είχε φθάσει πολύ κοντά στην ανακάλυψη μιας αρχής με τεράστια σημασία για την επιστήμη, κατόρθωμα που τελικά ήταν γραφτό να εξασφαλίσει το θρίαμβο σε έναν άλλο χημικό.

8.7 Ο πρώτος περιοδικός πίνακας.

Στη Ρωσία, το 1868, είχε ανατεθεί σε ένα νεαρό καθηγητή μόλις τριάντα ετών, που ονομαζόταν Dimitri Mendeleev, να γράψει ένα βιβλίο για μία νέα σειρά μαθημάτων χημείας. Έτσι, αντιμετώπισε έντονα το πρόβλημα της οργανώσεως των φαινομένων και της ταξινομήσεως στοιχείων κατά ένα συστηματικό τρόπο. Η σκέψη του πήγαινε σε σειρές ανάλογες με του Newlands, αλλά με κάποιες τροποποιήσεις. Και αυτός, όπως και ο Newlands, αισθανόταν ότι οι ιδιότητες των στοιχείων θα πρέπει να είναι μία ***περιοδική* συνάρτηση*** των ατομικών μαζών. Υπέθεσε όμως ότι οι περίοδοι μπορεί να διαφέρουν σε μήκος αντί να είναι πάντα οκτάδες, όπως υπέθεσε ο Newlands. Ο Mendeleev διέθετε πιο ευέλικτη σκέψη και δεν επεδίωξε να φθάσει πολύ γρήγορα σε τελικά συμπεράσματα. Άρχισε χρησιμοποιώντας δύο περιόδους επτά στοιχείων, αλλά στη συνέχεια χρησιμοποίησε τρεις περιόδους από δεκαεπτά. Σκοπός του ήταν να ταξινομήσει μαζί τα στοιχεία με ανάλογες ιδιότητες. Για να το επιτύχει, είχε ως γνώμονα τα πειραματικά δεδομένα. Είχε όμως και μία άλλη τολμηρή ιδέα. Αναγνώρισε ότι κατά κάποια έννοια τα δεδομένα που είχε στη διάθεσή του πιθανόν να ήταν ανεπαρκή και ίσως να υπήρχαν στοιχεία, που δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί. Σε έξι θέσεις βρήκε ότι δεν υπήρχαν στοιχεία, για να συμπληρώσουν τις περιόδους κατά τρόπο αρμονικό. Έπρεπε επομένως να αφήσει κενά, ώστε να μπορεί να κατατάξει τα παρόμοια στοιχεία το ένα κάτω από το άλλο.

Ο πίνακας του σχήματος 8-7 δείχνει την ταξινόμηση του Mendeleev. Αυτόν (καθώς και κάθε άλλον ανάλογο πίνακα) τον ονομάζομε ***περιοδικό πίνακα.*** Ο συγκεκριμένος αυτός πίνακας, που περιλαμβάνει και αρκετές από τις τελευταίες τροποποιήσεις του Mendeleev έχει

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1.

Μερικές από τις τριάδες (του Dφbereiner).

Όνομα	Ατομική μάζα	Μέσος όρος μεγαλύτερης και μικρότερης μάζας
Ασβέστιο	40,1	88,7
Στρόντιο	87,6	
Βάριο	137,3	
Θείο	32,1	79,8
Σελήνιο	79,0	
Τελλούριο	127,6	
Χλώριο	35,5	81,2
Βρώμιο	79,9	
Ιώδιο	126,9	

μερικά ενδιαφέροντα σημεία. Πρώτα απ' όλα είναι προφανές ότι τοποθετεί παρόμοια στοιχεία σε στήλες. Οι οικογένειες των στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων και των τριάδων του Döbereiner, βρίσκονται στις ίδιες στήλες.

Δεύτερον, δείχνει ότι σε δύο θέσεις φαίνεται να παραβιάζεται η υπόθεση ότι οι ιδιότητες των στοιχείων είναι περιοδική συνάρτηση των ατομικών μαζών. Η μια περίπτωση αφορά το ιώδιο και το τελλούριο. Προφανώς, με βάση τις χημικές ομοιότητες, το ιώδιο έπρεπε να βρίσκεται κάτω από το χλώριο και το βρώμιο, όπως και το τελλούριο έπρεπε να είναι κάτω από το θείο και το σελήνιο. Οι ατομικές μάζες όμως δείχνουν ότι χρειάζεται να αντιστραφεί η σειρά. Ο Mendeleev είχε μία απάντηση γι' αυτό. Πρότεινε ότι η μία ή και οι δύο από αυτές τις ατομικές μάζες ίσως είναι λανθασμένες. Έγιναν αμέσως νέες μετρήσεις και επιβεβαίωσαν τις αρχικές τιμές. Το τελλούριο είχε μια μεγαλύτερη ατομική μάζα από το ιώδιο. Ο περιοδικός πίνακας, παρ' όλο ότι είχε αυτήν την ανωμαλία (και μια άλλη παρόμοια) έγινε αποδεκτός. Ο Mendeleev πέθανε το 1907 χωρίς να καταφέρει να δώσει μία λογική εξήγηση για τις δύο αυτές ανωμαλίες, πράγμα που θα τον ικανοποιούσε αφάνταστα. Η εξήγηση δεν είχε δοθεί μέχρι το 1912. Αυτό όμως αποτελεί μία άλλη ιστορία, που θα συζητηθεί στο κεφάλαιο 13. Εκεί θα εξηγηθεί ότι η ορθή σειρά για την τοποθέτηση

* *Σ.τ.Μ. «Περιοδικό» σημαίνει κάτι που επαναλαμβάνεται σε κανονικά (ισόχρονα) διαστήματα.*

Στήλες

Σειρές	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Υδρογόνο 1,0080							
2	Λίθιο 6,940	Βηρύλιο 9,02	Βόριο 10,82	Άνθρακας 12,01	Άζωτο 14,008	Οξυγόνο 16,000	Φθόριο 19,000 1886	
3	Νάτριο 22,997	Μαγνήσιο 24,32	Αργίλιο 26,98	Πυρίτιο 28,09	Φωσφόρος 30,975	Θείο 32,066	Χλώριο 35,457	
4	Κάλιο 39,1 Χαλκός 63,54	Ασβέστιο 40,08 Ψευδάργυρος 65,38	Σκάνδιο 44,96 1879 Γάλλιο 69,72 1875	Τιτάνιο 47,90 Γερμάνιο 72,60 1866	Βανάδιο 50,95 Αρσενικό 74,91	Χρώμιο 52,01 Σελήνιο 78,96	Μαγγάνιο 54,93 Βρώμιο 79,916	Σίδηρος Νικέλιο 55,85 58,69 Κοβάλτιο 58,94
5	Ρουβίδιο 85,48 Άργυρος 107,880	Στρόντιο 87,63 Κάδμιο 112,41	Ύττριο 88,92 Ίνδιο 114,76	Ζιρκόνιο 91,22 Κασσίτερος 118,70	Νιόβιο 92,91 Αντιμόνιο 121,76	Μολυβδένιο 95,95 Ιώδιο 126,91	Τεχνήτιο 99 1937 Τελούριο 127,61	Ρουθήνιο 101,7 Ρόδιο 102,91 Παλλάδιο 106,7
6	Κέσιο 132,91 Χρυσός 197,2	Βάριο 137,36 Υδράργυρος 200,61	Λανθάνιο 138,92 Θάλλιο 204,39	Άφνιο 178,6 1923 Μόλυβδος 207,21	Ταντάλιο 180,88 Βισμούθιο 209,00	Βολφράμιο 183,92 Πολώνιο 210 1898	Ρήνιο 186,31 1925 Αστάτιο 211 1940	Όσμιο Ιρίδιο 190,2 193,1 Λευκόχρυσος 195,23
7				Θόριο 232,12		Ουράνιο 238,07		

ΣΧΗΜΑ 8-7. *Περιοδικός πίνακας του Mendeleev. Σε αυτόν αναφέρονται και οι σημερινές ατομικές μάζες. Στοιχεία, τα οποία ήταν άγνωστα στον Mendeleev δίνονται στα χρωματιστά τετραγωνάκια μαζί με τις ημερομηνίες της ανακαλύψεώς τους. Τα τετραγωνάκια αυτά ήταν κενά στον πίνακα του Mendellev.*

των στοιχείων είναι η σειρά των ατομικών αριθμών, η οποία και μοιάζει πάρα πολύ με τη σειρά των ατομικών μαζών.

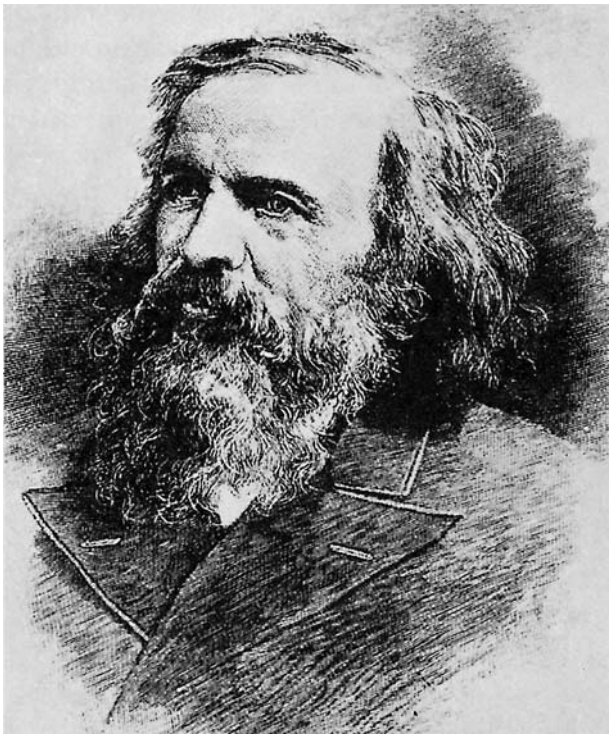
Ένα τρίτο σημείο του πίνακα του Mendeleev που αξίζει να επισημανθεί είναι τα κενά. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο Mendeleev είχε βασισθεί στον κανόνα ότι παρόμοια στοιχεία έπρεπε να βρίσκονται στις ίδιες στήλες. Αυτό τον ανάγκασε να αφήσει κενά. Υπέθεσε ότι υπήρχαν στοιχεία, που δεν είχαν ανακαλυφθεί ακόμη και που έπρεπε να καλύπτουν τα κενά αυτά. Κάνοντας αυτήν την υπόθεση, προχώρησε σε ένα τολμηρό αλλά λογικό επόμενο βήμα. Χρησιμοποίησε τον πίνακά του, για να προβλέψει πώς θα έπρεπε να μοιάζουν τα στοιχεία που έλειπαν.

Οι κατακόρυφες στήλες του πίνακα δεν περιέχουν μόνο παρόμοια στοιχεία· επί πλέον, όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει προχωρώντας από επάνω προς τα κάτω, οι ιδιότητες αλλάζουν κατά ομαλό τρόπο. Για παράδειγμα στα αλκάλια, η τάση να αντιδρούν με το νερό είναι μικρότερη για το λίθιο και μεγαλύτερη για το κέσιο. Τα άλλα στοιχεία, Na, K

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2.
Οι ιδιότητες του εκαπυριτίου και του στοιχείου γερμανίου.

Ιδιότητα	Εκαπυρίτιο, όπως το προέβλεψε ο Mendeleev	Γερμάνιο, όπως βρέθηκε στην πραγματικότητα, αργότερα
Ατομική μάζα	72	72,6
Φυσική κατάσταση	γκριζωπό μέταλλο	γκριζωπό μέταλλο
Πυκνότητα	5,5	5,36
Σημείο βρασμού	υψηλό	958°C
Τύπος οξειδίων	CeO_2	GeO_2
Πυκνότητα οξειδίου	4,7	4,70
Αντίδραση με HCl	ελαφρά	καμμία στους 25°C

* *Σ.τ.Μ. Ο Mendeleev χρησιμοποίησε για τα άγνωστα (απόντα από την περιοδική κατάταξη) στοιχεία τα σανσκριτικά προθέματα eka (έκα = ένα) και dvi (ντβι = δύο), σε συνδυασμό με το όνομα του γνωστού γειτονικού στοιχείου, για να προσδιορίσει πόσο απέχουν τα άγνωστα στοιχεία –μία ή δύο θέσεις– από το γνωστό στοιχείο, στην περιοδική κατάταξη. Έτσι, το εκα-πυρίτιο σήμαινε ότι το άγνωστο στοιχείο (γερμάνιο) βρισκόταν μια θέση μετά το πυρίτιο.*



Dimitri Ivanovich Mendeleev (1834-1907)

Την εποχή της γεννήσεως του Mendeleev (στη Σιβηρία),οι άνθρωποι γνώριζαν πενήντα τέσσερα στοιχεία. Τριάντα δύο χρόνια αργότερα, όταν ο Mendeleev έγινε καθηγητής χημείας στο Πανεπιστήμιο της Αγίας Πετρούπολης, είχαν ανακαλυφθεί μόνο επτά ακόμη. Στα μέσα του 1800 οι επιστήμονες είχαν μάθει πολλά γύρω από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των γνωστών στοιχείων. Είχαν προσδιορισθεί τα σημεία ζέσεως και τήξεως πολλών από αυτά. Είχε μετρηθεί επίσης η ικανότητά τους να αντιδρούν με υδρογόνο και οξυγόνο. Πολλές μελέτες είχαν εκπονηθεί σχετικά με την ηλεκτροχημεία αυτών. Είχε μελετηθεί και καταγραφεί η ικανότητα των στοιχείων να ενώνονται μεταξύ τους και είχαν μετρηθεί οι ατομικές μάζες των περισσοτέρων.

Όταν δημοσιευόταν κάθε νέα σειρά μετρήσεων, οι επιστήμονες προσπαθούσαν να βρουν μια γενική αρχή, που θα μπορούσε να αποδεικνύει μία σχέση ανάμεσα στα στοιχεία και σε πολλές από τις ιδιότητές τους. Πολλοί από αυτούς προσπαθούσαν να διαπιστώσουν τη σχέση, που προφανώς υπήρχε μεταξύ μερικών ομάδων στοιχείων. Αυτές οι ομάδες περιελάμβαναν τα αλογόνα (F, Cl, Br, I), τα μέταλλα των αλκαλικών γαιών (Ca, Sr,Ba), την ομάδα του αζώτου (N, P, As, Sb, Bi), την ομάδα του θείου(S, Se, Te) και στοιχεία σχετικά με το λευκόχρυσο (Pt, Os, Ir). Όμως,η πιθανή σχέση ανάμεσα σε αυτές τις ομάδες δεν είχε ανακαλυφθεί μέχρι το 1866, οπότε ο Mendeleev έγινε καθηγητής χημείας. Ο τελευταίος γνώριζε ότι μερικοί επιστήμονες είχαν ταξινομήσει έναν αριθμό στοιχείων σε τριάδες (ομάδες των τριών) με βάση τις ατομικές τους μάζες. Στην κάθε περίπτωση το μεσαίο στοιχείο είχε ατομική μάζα κατά προσέγγιση ίσο με το μισό του αθροίσματος των άλλων δύο στοιχείων.

Όταν ο Mendeleev άρχισε να γράφει ένα βιβλίο με τίτλο «Θεμελιώδεις αρχές της χημείας», ήθελε να αναπτύξει μια σχέση ανάμεσα στα στοιχεία, βασισμένη μάλλον σε μαθηματικές αρχές παρά σε κάποιο άλλο αυθαίρετο σχήμα. Γι' αυτό τοποθέτησε τα στοιχεία με βάση τις ατομικές τους μάζες, ξεκινώντας από αυτό που είχε τη μικρότερη ατομική μάζα. Έτσι, έγινε εμφανής μία περιοδικότητα στις ιδιότητες και τις τάσεις τους για αντιδράσεις. Ο περιοδικός αυτός πίνακας, που δημοσιεύτηκε το 1868, έδειχνε την εξάρτηση των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς των στοιχείων από τις ατομικές μάζες και έκανε δυνατή την πρόβλεψη των ιδιοτήτων και των ατομικών μαζών για στοιχεία, που δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί. Η ακρίβεια των προβλέψεών του αποδείχθηκε, όταν ανακαλύφθηκαν τα στοιχεία με τις ιδιότητες που είχαν προβλεφθεί. Ο περιοδικός πίνακας του Mendeleev χάραξε το δρόμο για μελλοντικές έρευνες, που οδήγησαν σε πολύ καλύτερη κατανόηση της δομής της ύλης.

και Rb, σχηματίζουν μία ενδιάμεση σειρά, όπου η ιδιότητα αυτή αλλάζει ομαλά. Ο Mendeleev δέχθηκε επίσης ότι ανάλογη κατανομή χαρακτηριστικών ομοιοτήτων πρέπει να αναμένεται σε όλες τις στήλες, περιλαμβανομένων και αυτών με τα κενά. Ένα στοιχείο που έλειπε ήταν δυνατόν να υποτεθεί ότι θα έμοιαζε ποιοτικά με τα στοιχεία που ήταν γραμμένα, επάνω και κάτω από αυτό, ενώ θα βρισκόταν κάπου στη μέση σε σχέση με τις ποσοτικές ιδιότητες. Αυτό βέβαια ξαναφέρνει στο νου μας τις παρατηρήσεις του Döbereiner για τις ατομικές μάζες του κανόνα των τριάδων του.

Η επιτυχία του Mendeleev ήταν εξαιρετικά μεγάλη, όπως φαίνεται και στον πίνακα 8.2. Το στοιχείο που τώρα ονομάζεται γερμάνιο, ο Mendeleev το είχε ονομάσει «εκαπυρίτιο», που σημαίνει «κάτω από το πυρίτιο»*. Αυτό το όνομα διάλεξε για το επόμενο στοιχείο της οικογένειας, μετά το πυρίτιο: πυρίτιο, (ekasilicon), κασσίτερος, μόλυβδος. Περιέγραψε αυτό, όπως και μερικά από τα άλλα στοιχεία που έλειπαν (και αργότερα ονομάσθηκαν γάλλιο, σκάνδιο και πολώνιο), με αξιοσημείωτη ακρίβεια, πριν ακόμη το στοιχεία απομονωθούν και μελετηθούν στην πραγματικότητα.

8.8 *Ο σύγχρονος περιοδικός πίνακας.*

Η διάταξη του περιοδικού πίνακα του Mendeleev, που δίνεται στο σχήμα 8-7, εμφανίζεται τροποποιημένη στις σύγχρονες εκδόσεις. Επίσης, οι σύγχρονοι πίνακες είναι πληρέστεροι, γιατί σήμερα είναι γνωστά περισσότερα στοιχεία που αρχίζουν από το ελαφρότερο (το υδρογόνο) και καταλήγουν στα πολύ βαρύτερα από το ουράνιο, που είναι τεχνητά (παρασκευάσθηκαν από τον άνθρωπο). Στο σχήμα 8-8 δίνεται η πιο συνηθισμένη μορφή του περιοδικού πίνακα, όπως είναι γνωστός σήμερα. Υπάρχουν δύο σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε αυτόν και τον πίνακα του Mendeleev.

Η πρώτη είναι ότι το σύνολο των στοιχείων ήλιο He, νέο Ne, αργό Ar, κρυπτό Kr, ξένο Xe, και ραδόνιο Rn, βρίσκονται σε μία στήλη στα δεξιά. Αυτή η οικογένεια των στοιχείων, τα ευγενή αέρια, ήταν σχεδόν άγνωστα, όταν ο Mendeleev κατάρτισε για πρώτη φορά τον περιοδικό πίνακα. Ανακαλύφθηκαν μεταξύ των ετών 1895-1900. Η ατομική τους μάζα είναι τέτοια, ώστε να μπορούν

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

1 H 1.00																	2 He 4.00
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.8	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.0	10 Ne 20.2
11 Na 23.0	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 39.9
19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57–71 See Below	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89–103 See Below	104 *	105 *													

57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
89 Ac (227)	90 Th (232.0)	91 Pa (231)	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (253)	103 Lr (257)

* *Σ.τ.Μ. Στο στοιχείο 104 δόθηκε το όνομα Unilquandim και το σύμβολο Unq και στο 105 το όνομα Unilpendium και το σύμβολο Uup.*

ΣΧΗΜΑ 8-8. *Περιοδικός πίνακας. Στο σύγχρονο περιοδικό πίνακα είναι ταξινομημένα τα γνωστά στοιχεία κατά αύξοντα ατομικό αριθμό. Η διάταξη αυτή αποκαλύπτει σημαντικές ομοιότητες, αλλά και διαφορές στις ιδιότητες των στοιχείων, που κατατάσσονται στις οριζόντιες σειρές και τις κατακόρυφες στήλες.*

να τοποθετηθούν ή εντελώς αριστερά ή εντελώς δεξιά. Σύμφωνα με τις σημερινές μας γνώσεις, φαίνεται ότι πιο σωστό είναι να τοποθετηθούν δεξιά, αν και αρχικά είχαν τεθεί αριστερά στον πίνακα.

Τα ευγενή αέρια είναι μία πολύ ασυνήθιστη οικογένεια στοιχείων. Το κοινό χαρακτηριστικό τους δεν είναι το πώς αντιδρούν με τα άλλα στοιχεία,αλλά κυρίως γιατί, με μικρές εξαιρέσεις, δεν αντιδρούν καθόλου. Μέχρι το 1962, κανείς δεν είχε καταφέρει να σχηματίσει έστω και μία απλή χημική ένωση με οποιοδήποτε από τα στοιχεία αυτά. Γενικά, υπήρχε η εντύπωση ότι ήταν αδύνατον να λάβουν μέρος σε χημικές αντιδράσεις. Την εποχή εκείνη ένας νεαρός Βρετανός χημικός που εργαζόταν στον Καναδά, ο Neil Bartlett, παρασκεύασε μία ένωση, που περιείχε ξένο. Μετά από αυτό παρασκευάσθηκαν μερικές ακόμη δεκάδες ενώσεων του ξένου, καθώς και λίγες ενώσεις του κρυπτού και του ραδονίου.

Η χαμηλή δραστικότητα των ευγενών αερίων είναι αξιοπρόσεκτη, αν λάβει κάποιος υπόψη του ότι τα στοιχεία και των δύο οικογενειών, που βρίσκονται στις δύο άκρες του πίνακα, δηλαδή τα μέταλλα των αλκαλίων και τα αλογόνα, είναι πολύ δραστικά. Κάθε ευγενές αέριο αποτελεί ένα πολύ χαρακτηριστικό και ιδιαίτερο σημείο σε μία λίστα στοιχείων. Γι' αυτό μπορούν να θεωρηθούν ως φυσικά και προφανή όρια προκειμένου να καταρτισθεί ένα λογικό σχήμα, που να περιέχει τα στοιχεία ταξινομημένα κατά σειρά αυξανόμενης ατομικής μάζας.

Η ανακάλυψη των ευγενών αερίων αποτελεί ένα καλό παράδειγμα της σημασίας που έχει η προσεκτική παρατήρηση και η επιμελής μελέτη των λεπτομερειών, όσο ασήμαντες και αν φαίνονται. Πρώιμες μετρήσεις για τη σύσταση του αέρα* από τον Άγγλο επιστήμονα Henry Cavendish έδειξαν ότι αποτελείται περίπου από 79% άζωτο και 21% οξυγόνο (κατ' όγκο). Για ένα μικρό υπόλοιπο αερίων**, τα οποία παρέμεναν μετά την απομάκρυνση του οξυγόνου και του αζώτου, πίστευαν ότι αποτελούνται από διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς. Στα πειράματα του λόρδου Cavendish όμως, μετά την απομάκρυνση και τον υπολογισμό όλων των γνωστών αερίων, παρέμενε πάντα από το αρχικό δείγμα του αέρα μία μικρή φυσαλίδα αερίου. Αυτή η φυσαλίδα ήταν τόσο μικρή (περίπου 1/120 του αρχικού δείγματος), ώστε για πολλά χρόνια νόμιζαν ότι ήταν κάποιο υπόλοιπο οξυγόνου ή αζώτου, ή ίσως κάποιος άγνωστος συνδυασμός αυτών των δύο.

Σχεδόν εκατό χρόνια αργότερα, το 1894, ο J.W.S. Rayleigh και ο William Ramsay επανέλαβαν τα πειράματα του Cavendish. Παρατήρησαν την ίδια μικρή ενοχλητική φυσαλίδα του αερίου υπολείμματος και αποφάσισαν να τη μελετήσουν εκτενέστερα. Η άρνησή τους να δεχθούν την άποψη που επικρατούσε σχετικά με τη φυσαλίδα, τους οδήγησε στην ανακάλυψη του στοιχείου «αργό». Το 1908 ακολούθησε η ανακάλυψη από τον Ramsay και διάφορους συνεργάτες του των άλλων ευγενών αερίων.

Υπάρχει όμως και ένα δεύτερο σημείο, στο οποίο ο σύγχρονος περιοδικός πίνακας δεν μοιάζει με αυτόν του Mendeleev. Είναι πλατύτερος, δηλαδή πιο εκτεταμένος. Αιτία γι' αυτό είναι ότι μακρές περίοδοι, όπως από το κάλιο (K) στο κρυπτό (Kr), από το ρουβίδιο (Rb) στο ξένο (Xe) και από το κέσιο (Cs) στο ραδόνιο (Rn), έχουν τοποθετηθεί σε μακρές (έχουν αναπτυχθεί σε επιμήκεις) αλλά μονές σειρές. Στον πίνακα του Mendeleev ήταν διπλές, επειδή αυτός και οι σύγχρονοί του, για λόγους που προς το παρόν δεν ενδιαφέρουν τον αναγνώστη, προτιμούσαν την πιο πυκνή τοποθέτηση. Η εκτεταμένη μορφή δίνει καλύτερη αίσθηση τόσο των χημικών ομοιοτήτων των στοιχείων όσο και της βασικής σημασίας του πίνακα, που θα γίνει σαφέστερη, όταν θα συζητηθεί ο περιοδικός πίνακας, με περισσότερες λεπτομέρειες στο κεφάλαιο 13.

Δεν υπάρχουν διεθνώς παραδεκτά ονόματα για αυτά τα στοιχεία. Στο σύγχρονο περιοδικό πίνακα είναι ταξινομημένα τα γνωστά στοιχεία με αύξοντα ατομικό αριθμό. Η διάταξη αυτή αποκαλύπτει σημαντικές ομοιότητες, αλλά και διαφορές, στις ιδιότητες των στοιχείων που εντάσσονται στις οριζόντιες σειρές και τις κατακόρυφες στήλες.

8.9 Οι ιδιότητες ποικίλλουν ελαφρά μέσα στις ίδιες ομάδες.

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή του ατμοσφαιρικού αέρα.*

** *Σ.τ.Μ. Οι αριθμοί αυτοί ήταν κατά προσέγγιση και έτσι το ποσοστό των αερίων το οποίο παρέμεινε αδικαιολόγητο ήταν μικρό.*

ΠίΝΑΚΑώ 8.3.

Μερικές ιδιότητες των μετάλλων των αλκαλίων.

Ιδιότητα	Λίθιο	Νάτριο	Κάλιο	Ρουβίδιο	Κέσιο
Ατομικός αριθμός	3	11	19	37	55
Ατομική μάζα	6,94	23,0	39,1	85,4	133
Σημείο βρασμού (K)	1599	1162	1030	952	963
(°C)	1326	889	757	679	690
Σημείο τήξεως (K)	453	371	336,4	311,8	301,7
(°C)	180	98	63,4	38,8	28,7
Ατομικός όγκος, στερεό (ml/mole ατόμων)	13,0	23,7	45,4	55,8	70,0
Πυκνότητα στερεού στους 20°C	0,535	0,971	0,862	1,53	1,90

ΠίΝΑΚΑώ 8.4.

Μερικές ιδιότητες των αλογόνων.

Ιδιότητα	Φθόριο (F_2)	Χλώριο (Cl_2)	Βρώμιο (Br_2)	Ιώδιο (I_2)
Ατομικός αριθμός	9	17	35	53
Ατομική μάζα	19,0	35,5	79,9	127
Σημείο βρασμού (K)	85	238,9	331,8	457
(°C)	-188	-34,1	58,8	184
Σημείο τήξεως (K)	55	172	265,7	387
(°C)	-218	-101	-7,3	114
Ατομικός όγκος, στερεό (ml/mole ατόμων)	14,6	18,7	23,5	25,7

ΠίΝΑΚΑώ 8.5.

Μερικές ιδιότητες των ευγενών αερίων.

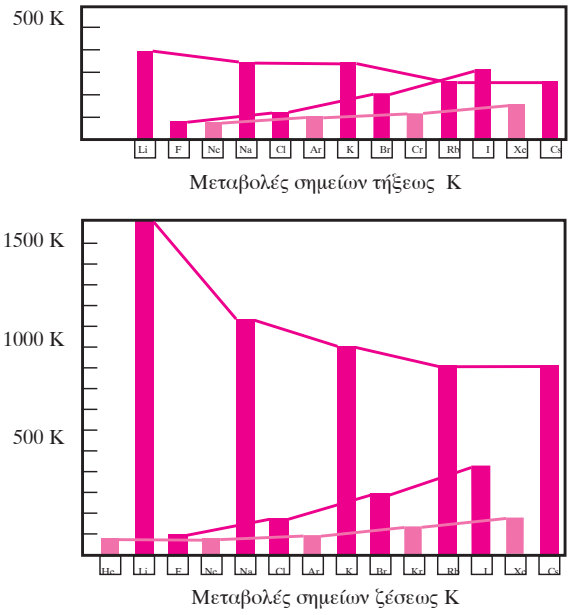
Ιδιότητα	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
Ατομικός αριθμός	2	10	18	36	54	86
Ατομική μάζα	4,00	20,2	39,9	83,7	131	222
Σημείο βρασμού (K)	4,2	27,2	87,3	120	165	211
Σημείο τήξεως (K)	-	24,6	83,9	116	161	202
Ατομικός όγκος, στερεό (ml/mole ατόμων)	31,8	16,8	28,5	32,2	42,9	50,5

Έχετε μάθει ότι μερικά αθροίσματα από στοιχεία, που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως οικογένειες, αφού εμφανίζουν ανάλογες ιδιότητες, σχηματίζουν τις κατακόρυφες στήλες του περιοδικού πίνακα. Αυτά τα κατακόρυφα αθροίσματα παρομοίων στοιχείων ονομάζονται ειδικότερα ***ομάδες.***

Ο περιοδικός πίνακας είναι σπουδαίος και χρήσιμος, διότι παρουσιάζει μία στήλη στοιχείων για κάθε οικογένεια ή ομάδα, στην οποία φαίνεται ο τρόπος μεταβολής των ιδιοτήτων τους. Όπως έχει αναφερθεί, τα μέλη μια οικογένειας, είτε πρόκειται για ανθρώπους είτε για χημικά στοιχεία, είναι παρόμοια, αλλά όχι ίδια. Σχετικά με τα στοιχεία έχει βρεθεί ότι, όταν αυτά είναι τοποθετημένα σε μία οικογένεια ή ομάδα κατά σειρά αυξανόμενης ατομικής μάζας, τότε και όλες οι άλλες ιδιότητές τους ταξινομούνται επίσης κατά σειρά. Διαβάζοντας προς τα κάτω κάθε ομάδα του περιοδικού πίνακα, είναι σαν να αναφέρονται τα μέλη αυτής της ομάδας κατά σειρά αυξανόμενης ατομικής μάζας. Στα επόμενα παραδείγματα θα εξετασθεί αν και οι άλλες ιδιότητες μερικών ομάδων, με τις οποίες έχετε κιόλας εξοικειωθεί μεταβάλλονται βαθμιαία.

Στον πίνακα 8.3 αναφέρονται μερικές από τις φυσικές ιδιότητες των μετάλλων των αλκαλίων. Στους πίνακες 8.4 και 8.5 βρίσκονται ανάλογα δεδομένα για τα αλογόνα και τα ευγενή αέρια. Στο σχήμα 8-9 δίνονται γραφικές παραστάσεις για τα σημεία ζέσεως και τήξεως και των τριών ομάδων.

Είναι φανερό ότι σε κάθε ομάδα, καθώς αυξάνει η ατομική μάζα υπάρχει μία σταθερή, αν και όχι τελείως ομαλή, μεταβολή της κάθε ιδιότητας. Ας σημειωθεί ότι οι μεταβολές αυτές εμφανίζονται άλλοτε προς τα επάνω και άλλοτε προς τα κάτω. Αυτό που έχει σημασία δεν είναι η κατεύθυνση, αλλά το ότι εμφανίζονται διαδοχικές μεταβολές για κάθε ιδιότητα μιας συγκεκριμένης ομάδας. Υπάρχουν ορισμένες εξαιρέσεις (στον πίνακα 8.5 ο ατομικός όγκος του ηλίου δεν ακολουθεί τη σειρά), αλλά κατά κανόνα εμφανίζονται ελαφρές μεταβολές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των στοιχείων της κάθε ομάδας. Βασιζόμενος σε αυτό το νόμο κατόρθωσε ο Mendeleev να προβλέψει με αρκετή ακρίβεια τις ιδιότητες των στοιχείων που έλειπαν. Γνώριζε ότι το στοιχείο που ονομάζεται τώρα γερμάνιο θα σχημάτιζε ένα οξείδιο του τύπου GeO_2, γιατί και το πυρίτιο και ο κασσίτερος, που βρίσκονται



ΣΧΗΜΑ 8-9. *Μεταβολές των σημείων τήξεως και ζέσεως των τριών ομάδων στοιχείων: αλκαλίων, αλογόνων και ευγενών αερίων.*

επάνω και κάτω από αυτό αντίστοιχα, σχηματίζουν SiO_2 και SnO_2. Αυτός υπολόγισε την πυκνότητα του GeO_2 διαλέγοντας μία τιμή ανάμεσα σε αυτές του SiO_2 και του SnO_2.

8.10 Τα ευγενή αέρια είναι αδρανή αλλά χρήσιμα.

Τα ευγενή αέρια, αν και είναι πολύ αδρανή, είναι χρήσιμα. Ο αδρανής χαρακτήρας τους είναι ακριβώς αυτό που τα καθιστά χρήσιμα (είναι αρκετές οι εφαρμογές τους). Πάντως εμφανίζουν και κάποια ενδιαφέρουσα χημική δραστικότητα.

Όλα τα ευγενή αέρια, εκτός του ηλίου, απομονώνονται με προσεκτική απόσταξη του υγροποιημένου αέρα (κεφ. 7 παράγρ. 7.2). Αν και υπάρχουν μόνο σε πολύ μικρές αναλογίες στον αέρα, τα διαθέσιμα συνολικά ποσά είναι μεγάλα, γιατί υπάρχει άφθονος αέρας. Το ήλιο, το ελαφρότερο από τα ευγενή αέρια, δεν βρίσκεται σε σημαντικές ποσότητες στον αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί το άτομο του ηλίου είναι τόσο ελαφρύ, ώστε μπορεί να διαφύγει από το πεδίο της βαρύτητας της γης. Υπάρχει όμως και σε υπόγεια αποθέματα, συχνά αναμεμιγμένο με φυσικό αέριο.

Πιθανόν να είναι γνωστές μερικές από τις

χρήσεις των ευγενών αερίων. Το ήλιο χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα στο μίγμα «τεχνητού αέρα», που μεταχειρίζονται όσοι καταδύονται σε μεγάλο βάθος. Χωρίς αυτό, όταν οι δύτες βγαίνουν στην επιφάνεια πολύ γρήγορα, μπορεί να υποσθούν παράλυση. Η ανωμαλία αυτή οφείλεται σε φυσαλίδες αερίου, που σχηματίζονται ξαφνικά στο αίμα, όταν οι υψηλές πιέσεις αέρα, που δημιουργούνται σε μεγάλα βάθη, εκτονώνονται απότομα. Το άζωτο του αέρα που έχει διαλυθεί στο αίμα ξαφνικά αποδεσμεύεται και σχηματίζει φυσαλίδες μέσα στα αιμοφόρα αγγεία. Το ήλιο, όπως και το άζωτο, δεν αντιδρά χημικά με το σώμα και έχει επί πλέον την ιδιότητα να είναι λιγότερο διαλυτό στο αίμα. Γι' αυτό, όταν χρησιμοποιείται ένα μίγμα με ήλιο για αναπνοή σε μεγάλο βάθος, μειώνονται οι πιθανότητες παρουσίας αζώτου στο αίμα.

Το ήλιο χρησιμοποιείται επίσης πολύ τόσο στα μετεωρολογικά όσο και στα κοινά αερόστατα. Αντικαθιστά το υδρογόνο σε αυτή τη χρήση, γιατί αντίθετα με αυτό δεν είναι εύφλεκτο, με συνέπεια να μην υπάρχει κίνδυνος αναφλέξεως ή εκρήξεως.

Το νέο υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε ποσοστό περίπου 0,002%. Χρησιμοποιείται πολύ στην κατασκευή των φωτεινών επιγραφών, που είναι γνωστές ως «επιγραφές νέον». Μικρή ποσότητα αυτού του αερίου, όταν βρίσκεται υπό χαμηλή πίεση μέσα σε γυάλινο σωλήνα, και συνδεθεί με ηλεκτρικό ρεύμα ακτινοβολεί, εκπέμποντας ένα πορτοκαλί-κόκκινο χρώμα. Τα χρώματα που εκπέμπονται από το νέο και άλλα αέρια που ακτινοβολούν, φαίνονται στο σχήμα 9-9. Αναμιγνύοντας αέρια σε διαφορετικές αναλογίες, μπορούμε να δημιουργήσομε μίγματα που ακτινοβολούν εκπέμποντας πολλά διαφορετικά χρώματα.

Το αργό είναι το πιο άφθονο από τα ευγενή αέρια στην ατμόσφαιρα. Αποτελεί περίπου το 1% του ξηρού αέρα. Ίσως η πιο ενδιαφέρουσα χρήση του μέχρι σήμερα είναι η αντικατάσταση του αέρα στους φωτιστικούς λαμπτήρες, γιατί αυξάνει σημαντικά τη ζωή του φωτιστικού νήματος, που βρίσκεται μέσα σε αυτούς.

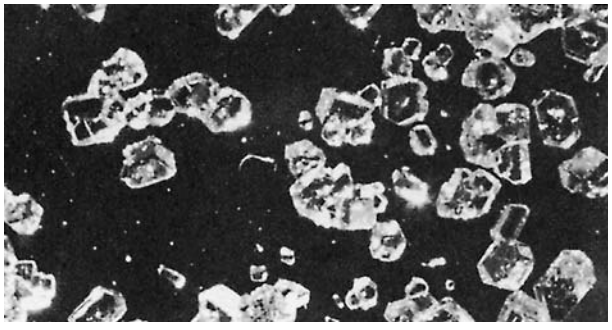
Το κρυπτό, το ξένο και το ραδόνιο δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς. Το ραδόνιο σχηματίζεται από το ραδιενεργό στοιχείο ράδιο και είναι επίσης ραδιενεργό (η ραδιενέργεια περιγράφεται στην παράγρ. 10.9). Χρησιμοποιείται σε κάποια μορφή θεραπείας του καρκίνου.

Οι φθοριούχες ενώσεις και τα οξείδια του ξένου χρησιμοποιούνται στα εργαστήρια ως πολύ ισχυρά οξειδωτικά μέσα.

Τα ευγενή αέρια είναι τα λιγότερο δραστικά από όλα τα στοιχεία. Μόλις το 1962 ανακαλύφθηκε η πρώτη ένωση ενός ευγενούς αερίου. Πριν από αυτό υπήρχε η εντύπωση ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρξει μία τέτοια ένωση. Όσο ασθενής και αν είναι η τάση των ευγενών αερίων να σχηματίσουν ενώσεις, θα πρέπει να αυξάνεται, όσο αυξάνονται οι ατομικές τους μάζες. Αυτό αποτελεί ένα παράδειγμα μιας χημικής ιδιότητας, που μεταβάλλεται βαθμιαία μέσα στην ομάδα. Η εξήγηση γι' αυτήν την ιδιότητα θα δοθεί στο κεφάλαιο 13.

Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η δυνατότητα συμμετοχής σε χημικούς δεσμούς των ατόμων οποιουδήποτε ευγενούς αερίου είναι μεγαλύτερη, όταν είναι μεγαλύτερες οι ατομικές μάζες. Από τα δύο βαρύτερα ευγενή αέρια, το ένα (ραδόνιο) είναι ραδιενεργό. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ειδικά προβλήματα, που μπορούν να εκτιμηθούν πιο καλά αργότερα. Έτσι, για πρακτικούς λόγους, θα πρέπει μάλλον να μελετηθεί ο σχηματισμός ενώσεων του στοιχείου ξένο. Η πρώτη ένωση του στοιχείου αυτού επιτεύχθηκε με τη χρησιμοποίηση μιας μάλλον άγνωστης ουσίας, του εξαφθοριούχου λευκόχρυσου, PtF_6. Η ουσία αυτή αντιδρά με το ξένο, σχηματίζοντας διάφορες ουσίες, όπως το $XePtF_6$. Η ανακάλυψη αυτής της αντιδράσεως από ένα νεαρό Άγγλο χημικό, τον Neil Bartlett, οδήγησε αμέσως και άλλους ερευνητές να δοκιμάσουν την αντίδραση του στοιχείου ξένο με καθαρό φθόριο.

Πράγματι το ξένο αντιδρά με το φθόριο, και ανάλογα με τις συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία,



ΣΧΗΜΑ 8-10. *Κρύσταλλοι από την ένωση του ευγενούς αερίου Xe με φθόριο προς τετραφθοριούχο ξένο XeF_4.*



Ida Tacke Noddack
(1896 -)

Η Ida Noddack είναι περισσότερο γνωστή για την ανακάλυψη του ρηνίου, του στοιχείου με ατομικό αριθμό 75. Ήταν μία νεαρή χημικός, απόφοιτος του Τεχνικού Πανεπιστημίου του Βερολίνου, όταν αποφάσισε να ασχοληθεί με αυτό το πρόγραμμα, μαζί με το μελλοντικό σύζυγό της Walter Noddack.

Ο περιοδικός πίνακας του Mendeleev το 1868 άφηνε ορισμένα κενά, που ο ίδιος είχε προβλέψει ότι θα καλυφθούν με στοιχεία, τα οποία επρόκειτο να ανακαλυφθούν (σχ. 8-7). Επίσης, είχε προβλέψει τις ιδιότητες των αγνώστων στοιχείων από τις θέσεις τους ανάμεσα σε αυτά με γνωστές ιδιότητες. Πράγματι τα άγνωστα στοιχεία βρέθηκαν μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Κάτι όμως που δεν είχε καταφέρει να προβλέψει ήταν οι ιδιότητες των στοιχείων 43 και 75, γιατί ήταν γνωστό μόνο το μαγγάνιο από την ίδια ομάδα.

Η Ida Tacke και ο Walter Noddack προείδαν τις ιδιότητες αυτών των στοιχείων το 1922, μετά από μακρά και προσεκτική μελέτη του περιοδικού πίνακα. Ύστερα, αποφάσισαν να μελετήσουν μερικά μεταλλεύματα του μολυβδενίου και του ρουθηνίου (ατομικοί αριθμοί 74 και 76). Στο μεταξύ άλλοι επιστήμονες μάταια είχαν αναζητήσει τα στοιχεία 43 και 75 σε μεταλλεύματα του μαγγανίου. Εξέτασαν πάρα πολλά ορυκτά, που περιείχαν σχεδόν όλα τα στοιχεία που βρίσκονταν στη μέση του περιοδικού πίνακα, στην περιοχή γύρω από τα αναζητούμενα στοιχεία.

Το 1925 οι Tacke και Noddack ανακοίνωσαν την ανακάλυψη των στοιχείων 43 και 75, τα οποία ονόμασαν μαζούριο (Ma) και ρήνιο (Re). Μαζούριο, από τη Μαζουρία, τη γενέτειρα των προγόνων του Walter Noddack. Το ρήνιο ονομάσθηκε έτσι από τον ποταμό Ρήνο (Rhenus, στα λατινικά), επειδή η Ida Tacke γεννήθηκε στη Ρηνανία (Rheinland). Επί δεκάδες χρόνια άλλοι ερευνητές δεν μπορούσαν να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη του στοιχείου 43 στη φύση, αλλά δεν υπήρξε κανένα παρόμοιο πρόβλημα με το ρήνιο (αντίθετα μάλιστα, παρά τη σχετική σπανιότητά του, το ρήνιο έχει αρκετές σημαντικές εφαρμογές στη σύγχρονη τεχνολογία).

Το 1929, μετά την επεξεργασία περίπου 660 kg του ορυκτού μολυβδενίτη, η Tacke και ο Noddack κατόρθωσαν να απομονώσουν ένα γραμμάριο καθαρού ρηνίου. Ακόμη και σήμερα, τα συνολικά παγκόσμια αποθέματα αυτού του στοιχείου δεν είναι παρά μερικές εκαντοντάδες τόνοι. Το ρήνιο που παραμένει στο φλοιό της γης υπολογίζεται μόνο στο ποσοστό 0,001 μέρη ανά εκατομμύριο φλοιού (ppm). Το στοιχείο 43, που αργότερα ονομάσθηκε τεχνήτιο, ανακαλύφθηκε το 1937, είναι δε τεχνητό, ακριβώς γιατί σχηματίζεται από το βομβαρδισμό του μολυβδενίου με σωματίδια μεγάλης ενέργειας μέσα σε κυκλοτρόνιο.

Το 1934 η Ida Noddack μελέτησε την εργασία του Enrico Fermi (που μόλις τότε είχε δημοσιευθεί) γύρω από το βομβαρδισμό του ουρανίου με νετρόνια και υπέθεσε ότι μερικές από τις παρατηρήσεις του πιθανόν να οφείλονται στο διαχωρισμό ή στη διάσπαση του ουρανίου σε μικρότερα κλάσματα. Οι ιδέες της επιβεβαιώθηκαν το 1939, όταν οι Hahn και Strassman απέδειξαν ότι το ουράνιο πράγματι υφίσταται διάσπαση, όταν βάλλεται από νετρόνια.

Περίληψη.

αναλογία του F_2 προς το Xe) μπορούν να σχηματισθούν τρεις διαφορετικές φθοριούχες ενώσεις του εν λόγω στοιχείου:

$$Xe + F_2 = XeF_2$$
$$Xe + 2F_2 = XeF_4$$
$$Xe + 3F_2 = XeF_6$$

Οι φθοριούχες αυτές ενώσεις είναι άχρωμες πτητικές ουσίες (βλ. σχ. 8-10). Είναι πολύ δραστικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εισαγωγή του φθορίου σε άλλες ουσίες.

Βρέθηκε επίσης ότι το ξένο σχηματίζει αρκετές ενώσεις, συνδεόμενο με οξυγόνο. Παράδειγμα είναι το XeO_3, που σχηματίζεται από αντίδραση του XeF_6 με νερό:

[illegible]

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι θα μπορούν να σχηματισθούν επίσης παράγωγα του ραδονίου με φθόριο και οξυγόνο. Παρ' όλα αυτά όμως, όπως προαναφέρθηκε, η ραδιενεργός αποικοδόμηση (βλ. παρ. 10.9) του ραδονίου δημιουργεί μεγάλες δυσκολίες στη μελέτη αυτών των ενώσεων.

Είναι γνωστό ότι το κρυπτό, αν και πολύ λιγότερο δραστικό από το ξένο, μπορεί επίσης, να σχηματίσει τουλάχιστον μία ένωση, το KrF_2.

Περίληψη κεφαλαίου

Οι χημικοί παρατήρησαν από πολύ νωρίς ότι μερικές ομάδες από 3 ή 4 στοιχεία έχουν αξιοσημείωτες ομοιότητες στις ιδιότητές τους. Αργό-τερα βρέθηκε ότι η ύπαρξη αυτών των ομάδων είχε σχέση με τις ατομικές μάζες των στοιχείων. Ο Ρώσος χημικός Dimitri Mendeleev ανέπτυξε την πρώτη επιτυχή και ευρύτατα παραδεκτή ταξινόμηση που συσχέτιζε τις ατομικές μάζες με τις ομάδες των στοιχείων που έχουν ανάλογες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Ο περιοδικός του πίνακας τροποποιήθηκε και τελειοποιήθηκε σε αυτά τα εκατό περίπου χρόνια που πέρασαν από τότε που τον κατήρτισε, αλλά βασικά έμεινε όπως τον είχε προτείνει στην αρχή. Στο σύγχρονο περιοδικό πίνακα, βρίσκονται ταξινομημένα τα στοιχεία κατά αύξοντα ατομικό αριθμό σε μία σειρά οριζοντίων γραμμών, που ονομάζονται περίοδοι, διάταξη η οποία επίσης συμφωνεί με την ταξινόμηση κατά αύξουσα ατομική μάζα, με μερικές μόνο εξαιρέσεις. Τα μήκη των περιόδων είναι τέτοια, ώστε να τοποθετούνται τα σύνολα των στοιχείων με ανάλογες ιδιότητες σε κατακόρυφες στήλες, που λέγονται ομάδες. Μέσα σε κάθε ομάδα υπάρχει μία ομοιόμορφη βαθμιαία μεταβολή ιδιοτήτων.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να ονομασθούν κατά αύξουσα ατομική μάζα τα στοιχεία σε κάθε μία από τις ακόλουθες ομάδες: (α) Τα μέταλλα των αλκαλίων, (β) τα αλογόνα, (γ) τα ευγενή αέρια.
2. Γιατί ονομάζονται έτσι τα ευγενή αέρια;

Ερωτήσεις και προβλήματα.

3. Για ποιο λόγο θα μπορούσε κάποιος να κατατάξει το ασβέστιο στα αλκάλια και γιατί μια τέτοια κατάταξη δεν είναι τελικά αποδεκτή;

Υπάρχουν μερικές ιδιαίτερα σημαντικές κατηγορίες χημικών αντιδράσεων οι οποίες προκύπτουν καθώς αντιδρούν τα μέταλλα και άλλα στοιχεία με το οξυγόνο, σχηματίζοντας οξείδια. Τα μέταλλα μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων οξυγόνου που

συνδέονται. Ο αριθμός αυτός ποικίλλει: είναι μικρός για μερικά (όπως το Na_2O) και πολύ μεγαλύτερος για άλλα (όπως το SnO_2). Μερικά μέταλλα αντιδρούν με το νερό, ελευθερώνοντας αέριο υδρογόνο και σχηματίζοντας τα μεταλλικά υδροξείδια.

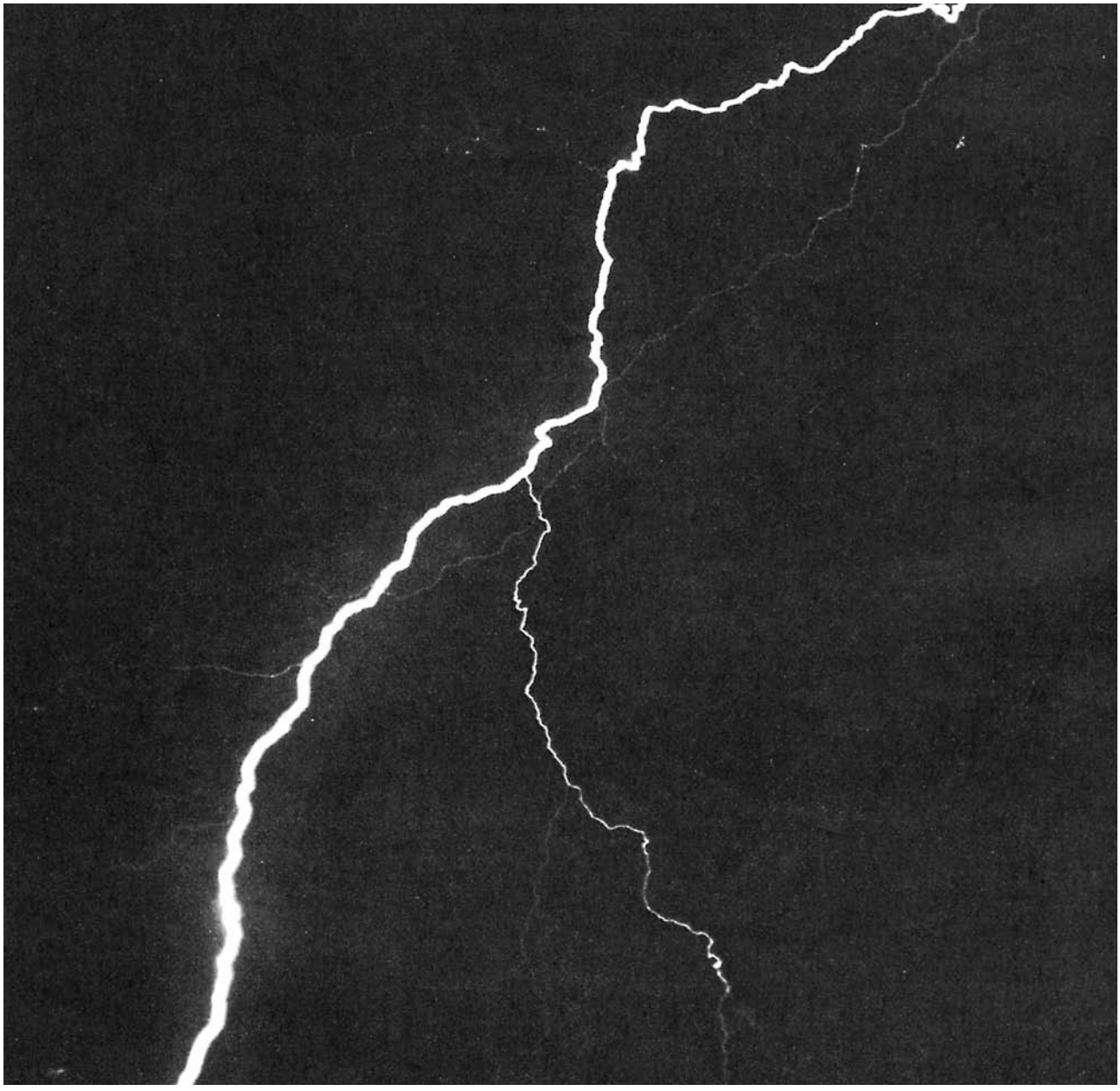
Η προσεκτική σύγκριση του είδους των αντιδράσεων στις οποίες συμμετέχουν καθώς και της συστάσεως των παραγομένων σε αυτές προϊόντων διευκολύνουν την ταξινόμηση των στοιχείων σε οικογένειες.

Ανάμεσα στις σημαντικές οικογένειες είναι: (α) Τα μέταλλα των αλκαλίων: Li, Na, K, Rb, Cs. (β) Τα αλογόνα: F, Cl, Br, I. (γ) Τα ευγενή αέρια: He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn. Αν τοποθετηθούν όλα τα στοιχεία κατά τη σειρά των ατομικών αριθμών τους (που είναι το ίδιο περίπου με το να τοποθετηθούν κατά τη σειρά των ατομικών τους μαζών, με τρεις μόνο εξαιρέσεις) και αυτή η σειρά τοποθετηθεί σε οριζόντιες γραμμές κατάλληλου μήκους, τότε δημιουργείται ο περιοδικός πίνακας. Τα μήκη των οριζοντίων γραμμών, που ονομάζονται περίοδοι, επιλέγονται έτσι, ώστε οι οικογένειες των στοιχείων να σχηματίζουν κατακόρυφες στήλες. Κάθε μία από τις στήλες αυτές ονομάζεται ομάδα. Ως συμπέρασμα βγαίνει ότι τα στοιχεία σε κάθε ομάδα είναι τοποθετημένα κατά σειρά αύξουσας ατομικής μάζας. Με αυτήν τη σειρά μεταβάλλονται σχεδόν πάντοτε ομοιόμορφα και οι ιδιότητές τους.

1. Τι είδους ένδειξη πρέπει να αναζητηθεί, προκειμένου κάποιος να αποφανθεί, αν είναι δυνατόν ή όχι όταν αναμιχθούν δύο ουσίες να αντιδράσουν;
2. Ποια από τις επόμενες μεταβολές μπορεί να θεωρηθεί χημική αντίδραση;
   (α) Σιτάρι αλέθεται, για να γίνει αλεύρι.
   (β) Νερό μετατρέπεται σε ατμό με βρασμό.
   (γ) Ηλεκτρικό ρεύμα διερχόμενο από νερόσχηματίζει υδρογόνο και οξυγόνο.
   (δ) Το φαγητό, όταν θερμαίνεται χωρίς νερόκαίγεται και αναδίνει μία άσχημη μυρωδιά.
   (ε) Δύο άχρωμα υγρά, όταν αναμιγνύονται δημιουργούν ένα πορτοκαλί υγρό.
   (στ) Το κερί, όταν κρυώνει στερεοποιείται.
3. Γιατί οι επιστήμονες βρήκαν πρακτική τη χρήση των αντιδράσεων των στοιχείων με οξυγόνο και νερό, προκειμένου να τα κατατάξουν σε οικογένειες;
4. Μερικά στοιχεία σε αυτό το κεφάλαιο έχουν αναφερθεί ως μέταλλα. Αν επρόκειτο για μία άγνωστη ουσία, πώς θα μπορούσε κάποιος να αποφανθεί αν είναι ή όχι μέταλλο; Ποιες κοινές ιδιότητες των μετάλλων είναι ήδη γνωστές;
5. Να αναφερθούν δύο λόγοι, για τους οποίους πρέπει τα μέταλλα των αλκαλίων να διατηρούνται μέσα σε πετρέλαιο.
6. Να συμπληρωθούν και να βρεθούν οι συντελεστές στις χημικές εξισώσεις:
   (α) $Cs + O_2 \rightarrow$ (ε) $Rb + F_2 \rightarrow$
   (β) $Ba + O_2 \rightarrow$ (στ) $Sr + Cl_2 \rightarrow$
   (γ) $Ga + O_2 \rightarrow$ (ζ) $Al + Br_2 \rightarrow$
   (δ) $Ge + O_2 \rightarrow$ (η) $Si + I_2 \rightarrow$
7. Ποιος από τους παραπάνω τύπους δεν είναι σωστός προκειμένου για ουσίες υπό κανονικές εργαστηριακές συνθήκες; (α) H_2S· (β) $CaCl_2$· (γ) He· (δ) NaNe· (ε) Al_2O_3· (στ) $SiCl_3$. Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
8. Έστω ότι κάποιο μέταλλο αντιδρά με βρώμιο και σχηματίζει την ένωση MBr_3. Ποιος θα είναι ο τύπος του οξειδίου που θα σχηματισθεί, όταν το Μ θα αντιδράσει με οξυγόνο;
9. Κάποιο αμέταλλο Υ αντιδρά με ασβέστιο και

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Η ηλεκτρική φύση του ατόμου



Διαρκώς αντιλαμβανόμαστε γύρω μας την παρουσία των ηλεκτρικών φορτίων και του ηλεκτρισμού. Φυσικά, υπάρχουν οι ηλεκτρικές μηχανές και οι συσκευές, οι κατασκευασμένες από τον άνθρωπο. Όμως εκτός από αυτές, είναι δυνατόν να αντιληφθείτε τον ηλεκτρισμό και με πολλούς άλλους τρόπους. Ένα παράδειγμα είναι το ελαφρό τίναγμα που αισθάνεσθε, αν μία ημέρα με ελάχιστη υγρασία ακουμπήσετε τη λαβή μιας πόρτας ή αν ανταλλάξετε χειραψία με κάποιον, αφού προγουμένως έχετε διασχίσει ένα δωμάτιο στρωμένο με χαλί. Η λάμψη της αστραπής είναι ένα άλλο παράδειγμα. Τέλος, θα έχετε παρατηρήσει ότι τα μαλλιά σας στέκονται όρθια, αν μια ημέρα με ξηρή ατμόσφαιρα τα βουρτσίσετε δυνατά.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξηγηθούν αρχικά τα βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών φορτίων, κατόπιν η ικανότητα της ύλης να φορτίζεται και, τέλος, θα εξετασθούν οι ιδιότητες των φορτισμένων σωματιδίων.

Η ύλη έχει ηλεκτρικές ιδιότητες

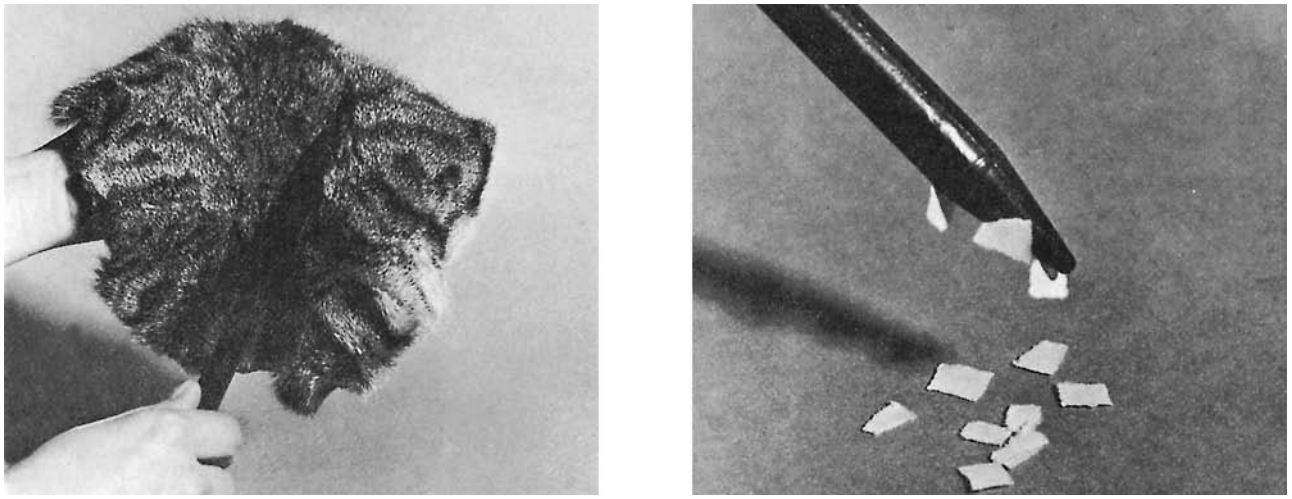
9.1 *Βασικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών φορτίων.*

Με λίγα απλά αντικείμενα ή συσκευές είναι δυνατόν να διερευνηθούν μερικά σημαντικά θέματα, σχετικά με τα ηλεκτρικά φορτία. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι μία ράβδος, κατασκευασμένη από σκληρό λάστιχο ή πλαστικό, μία γυάλινη ράβδος, δύο σφαίρες από εντεριώνη*, ένα κομμάτι γούνας και ένα κομμάτι μεταξωτό ύφασμα. Με αυτά είναι δυνατόν να παρατηρηθούν μερικές από τις βασικές ενδείξεις, από την εξήγηση των οποίων προέκυψαν οι γνώσεις μας σήμερα γύρω από τα ηλεκτρικά φορτία.

Αν τρίψομε δυνατά μία ράβδο από πλαστικό ή από σκληρό λάστιχο σε ένα κομμάτι γούνας ή μάλλινου υφάσματος αυτό θα αποκτήσει τη δυνατότητα να έλκει ελαφρά αντικείμενα, όπως μικρά κομμάτια χαρτιού (σχ. 9-1).

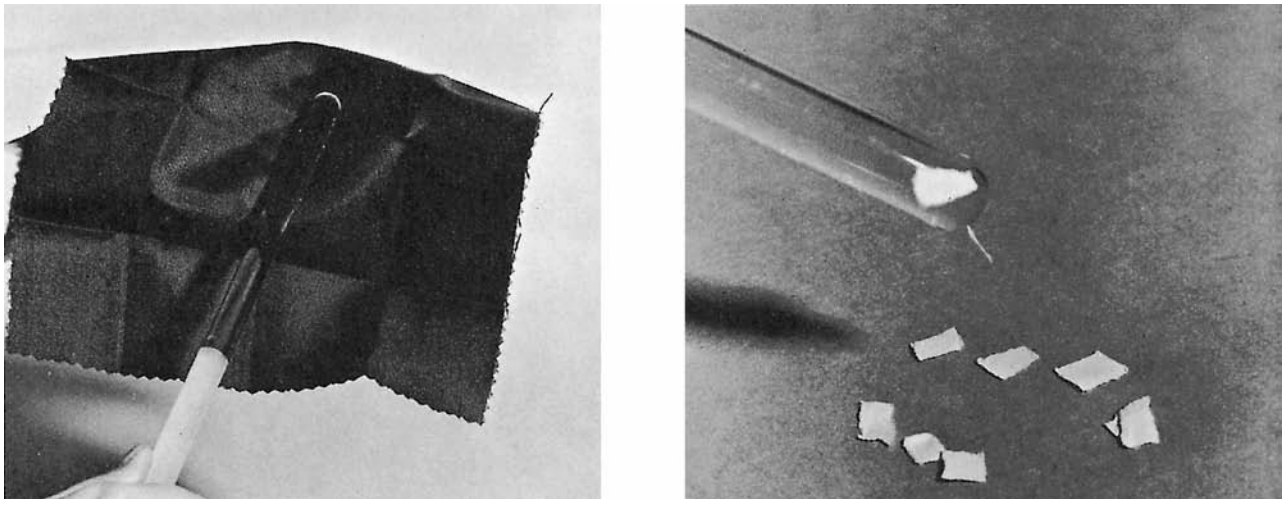
Το ίδιο θα συμβεί, αν τρίψομε μία γυάλινη ράβδο σε ένα κομμάτι μεταξωτό ύφασμα (σχ. 9-2).

Αν δύο σφαίρες από εντεριώνη κρεμασθούν από μία κλωστή έτσι, ώστε να μπορούν να κινούνται ελεύθερα, και στη συνέχεια τοποθετηθούν σε μία απόσταση περίπου 2,5 cm η μία από την άλλη, τότε είναι δυνατόν να γίνουν μερικές ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Ας



ΣΧΗΜΑ 9-1. *Καθώς τρίβομε μία σκληρή λαστιχένια ράβδο ένα κομμάτι γούνας (αριστερά), αυτή αποκτά ηλεκτρικό φορτίο. Ως αποτέλεσμα, έλκει μικρά κομμάτια χαρτιού (δεξιά).*

* *Σ.τ.Μ. Εντεριώνη είναι η μαλακή ξυλώδης ουσία, που βρίσκεται στο εσωτερικό του βλαστού ορισμένων φυτών, όπως είναι τα καλάμια.*



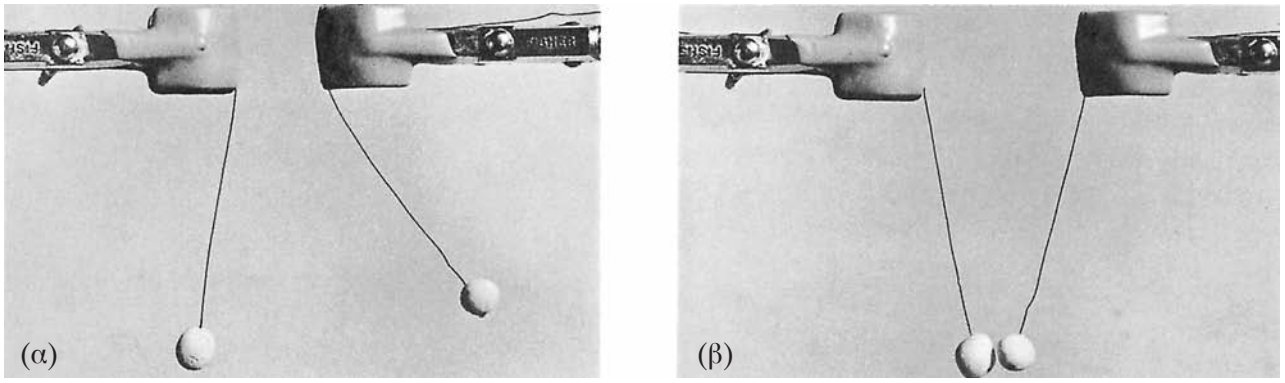
ΣΧΗΜΑ 9-2. *Μία γυάλινη ράβδος την οποία τρίψαμε σε ένα μεταξωτό ύφασμα (αριστερά), έλκει μικρά κομμάτια χαρτιού (δεξιά) με την ίδια δύναμη που τα έλκει και η φορτισμένη λαστιχένια ράβδος.*

υποτεθεί ότι τρίβετε την πλαστική ή τη λαστιχένια ράβδο με τη γούνα και αγγίζετε με αυτή διαδοχικά τις σφαίρες από εντεριώνη. Αυτές θα απωθήσουν η μία την άλλη όπως δείχνει το σχήμα 9-3α. Επίσης, ας υποτεθεί ότι τρίβετε την πλαστική ή λαστιχένια ράβδο με τη γούνα και τη γυάλινη ράβδο με το μεταξωτό ύφασμα και στη συνέχεια αγγίζετε τη μια σφαίρα με τη λαστιχένια και την άλλη με τη γυάλινη ράβδο. Οι σφαίρες θα πλησιάσουν, όπως δείχνει το σχήμα 9-3β, η μία την άλλη.

Απέκτησαν λοιπόν οι σφαίρες από εντεριώνη μία καινούργια ιδιότητα, όταν τις άγγιξαν οι ράβδοι. Αυτή η νέα ιδιότητα είναι που τις αναγκάζει να έλκουν ή να απωθούν η μία την άλλη. Η νέα αυτή κατάσταση μπορεί να περιγραφεί λέγοντας ότι: Οι σφαίρες έχουν ηλεκτρικά φορτία. Επίσης, βάσει των άλλων πειραμάτων που συζητήθηκαν μέχρι τώρα, είναι φανερό ότι θα πρέπει να υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων.

Τώρα, ας υποθέσομε ότι κάθε φορά που ένα σκληρό λάστιχο τρίβεται σε ένα κομμάτι γούνας θα παράγεται πάντα ο ίδιος τύπος φορτίου, ή ότι κάθε φορά που ένα γυαλί τρίβεται σε ένα μεταξωτό ύφασμα θα παράγεται πάντοτε ένας άλλος τύπος φορτίου. Έτσι, από τα προηγούμενα πειράματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι φορτία του ίδιου τύπου, ομώνυμα φορτία, απωθούν το ένα το άλλο, ενώ φορτία διαφορετικού τύπου, ετερώνυμα, έλκονται μεταξύ τους.

Οι επιστήμονες, σε όλα τα πειράματα που έχουν εκτελέσει μέχρι σήμερα, ανακάλυψαν μόνο δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων. Σε αυτά έδωσαν ονόματα, ώστε να διαφοροποιήσουν το ένα από το άλλο. Τα ονόματα αυτά είναι "θετικό" και "αρνητικό". Συμφωνήθηκε να ονομάζεται αρνητικό το φορτίο που δημιουργήθηκε στην πλαστική ή από σκληρό λάστιχο ράβδο, όταν τρίφθηκε σε μάλλινο ύφασμα ή γούνα, και θετικό αυτό που δημιουργήθηκε στο γυαλί, όταν τρίφτηκε στο μεταξωτό ύφασμα.



ΣΧΗΜΑ 9-3. *Όταν οι δύο σφαίρες από εντεριώνη έλθουν σε επαφή με τη ίδια φορτισμένη ράβδο, απομακρύνονται (α). Όταν κάθε σφαίρα έλθει σε επαφή με διαφορετικά φορτισμένη ράβδο, πλησιάζουν η μία την άλλη.*

9.2 Συντελεστές που προσδιορίζουν το μέγεθος της έλξεως ή της απώσεως.

Έχει αναφερθεί ότι, για να γίνουν αντιληπτές οι δυνάμεις έλξεως ή απώσεως ανάμεσα στις δύο φορτισμένες μπάλες, πρέπει να πλησιάσουν η μία την άλλη. Παρατηρώντας προσεκτικότερα θα συμπεράνομε ότι υπάρχει μία ορισμένη αναλογία ανάμεσα στην απόσταση των φορτισμένων αντικειμένων και τη δύναμη που εξασκεί το καθένα πάνω στο άλλο. Η ένταση της δυνάμεως αυξάνει, καθώς μειώνεται η απόσταση, ενώ αυτή μειώνεται, όταν η απόσταση αυξάνει. Ή, για να εκφράσομε το ίδιο πράγμα με διαφορετικό τρόπο, η δύναμη που αναπτύσσεται ανάμεσα σε ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη μεταξύ τους απόσταση, όπως δείχνει το σχήμα 9-4.

Προσεκτικές ποσοτικές μετρήσεις έχουν δείξει ότι αυτή η δύναμη, είτε είναι απωθητική είτε είναι ελκτική, είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της αποστάσεως d των φορτισμένων αντικειμένων. Δηλαδή η ηλεκτρική δύναμη είναι ανάλογη προς το $1/d^2$. Αν υπάρχει κάποια δύναμη σε απόσταση X mm, στη διπλή απόσταση 2X mm υπάρχει μόνο το 1/4 της δυνάμεως αυτής. Σε δεκαπλάσια απόσταση η δύναμη είναι μόνο το ένα εκατοστό της αρχικής δυνάμεως.

Σε δεδομένη σταθερή απόσταση τα πειράματα δείχνουν ότι η δύναμη είναι ευθέως ανάλογη προς το μέγεθος του καθενός από τα φορτία. Αν το ένα φορτίο γίνει *n* φορές μεγαλύτερο, θα μεγαλώσει και η δύναμη *n* φορές. Αν, για παράδειγμα, το ένα φορτίο αυξηθεί κατά ένα συντελεστή 2 και το άλλο κατά ένα συντελεστή 3, η δύναμη θα αυξηθεί και κατά τους δύο αυτούς συντελεστές, δηλαδή κατά 2 x 3 =6 φορές.

Όταν εξετασθούν μαζί η επίδραση των μεγεθών των δύο φορτίων , q_1, q_2 και η απόσταση *d*, που χωρίζει το ένα από το άλλο, τότε προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\text{Η δύναμη είναι ανάλογη προς } \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

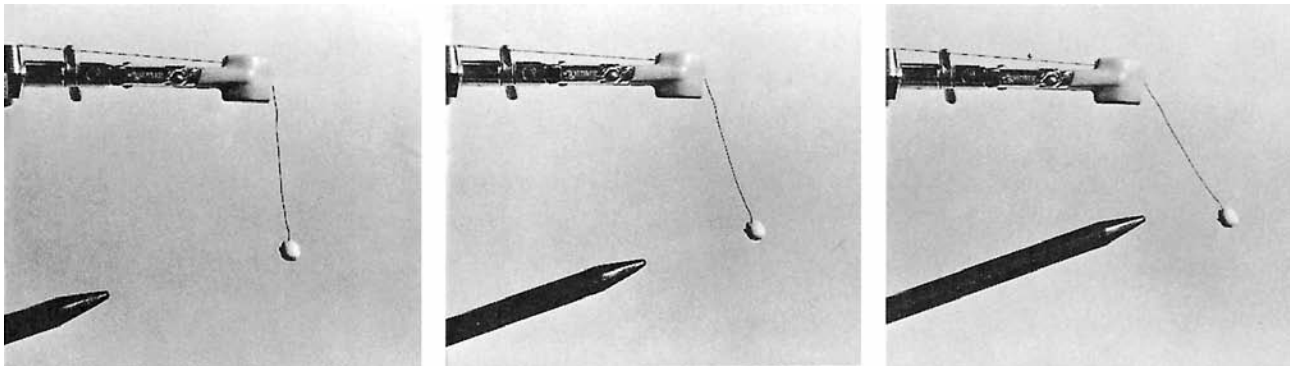
Η σχέση αυτή είναι γνωστή ως ***νόμος του Coulomb.*** Διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 18ο αιώνα από το Γάλλο επιστήμονα Charles Augustin de Coulomb. Εδώ, αξίζει να σημειωθεί η ενδιαφέρουσα ομοιότητα ανάμεσα στους τύπους του νόμου του Coulomb και του νόμου της βαρύτητας, που δόθηκε στο κεφάλαιο 2, παράγραφος 2.2.

Με τον τρόπο που διατυπώθηκε ο νόμος του Coulomb είναι δυνατόν να εκφράσει πότε η δύναμη είναι ελκτική και πότε απωθητική. Αν τα q_1 και q_2 είναι ομώνυμα φορτία, το γινόμενο θα είναι θετικός αριθμός, γιατί (– επί – = +) και (+επί+=+). Αν τα φορτία είναι αντίθετα, το γινόμενο των q_1 και q_2 θα είναι αρνητικός αριθμός. Έτσι, μία θετική δύναμη ερμηνεύεται ως άπωση, ενώ μία αρνητική ως έλξη.

9.3 Εξουδετέρωση των φορτίων.

Ένα σώμα που δεν έχει ούτε αρνητικό ούτε θετικό φορτίο χαρακτηρίζεται ως ηλεκτρικά ουδέτερο. Είναι κοινή διαπίστωση ότι τα φυσικά σώματα είναι στην κανονική τους κατάσταση ουδέτερα. Μπορούν να αποκτήσουν φορτία με διαφορετικούς τρόπους, όπως διά της τριβής έτσι έχομε ως αποτέλεσμα τη φόρτιση των πλαστικών ή γυάλινων ράβδων.

Αν δύο αντικείμενα που έχουν αντίθετα φορτία έλθουν σε άμεση επαφή, τα φορτία τους μπορούν να αναμιχθούν. Αν το ποσόν του



ΣΧΗΜΑ 9-4. *Στο πείραμα που εικονίζεται είναι προφανής η επίδραση της αποστάσεως επάνω στη δύναμη, που εξασκείται ανάμεσα σε δύο φορτισμένα αντικείμενα, όταν αυτά έχουν τον ίδιο τύπο φορτίου. Όσο ελαττώνεται η απόσταση των δύο αντικειμένων (εικόνες από αριστερά προς τα δεξιά), η άπωση αυξάνεται.*

αρνητικού φορτίου στο ένα αντικείμενο είναι ακριβώς ίσο με το ποσό του θετικού φορτίου στο άλλο, θα υπάρξει πλήρης εξουδετέρωση του φορτίου και τα δύο αντικείμενα θα γίνουν ηλεκτρικά ουδέτερα. Αν οι δύο ποσότητες των φορτίων δεν είναι ίσες, τότε, το μικρότερο θα εξουδετερώσει ισοδύναμο προς αυτό φορτίο από το μεγαλύτερο. Έτσι, το επί πλέον ποσό που δεν εξουδετερώθηκε, στο μεγαλύτερο φορτίο, θα παραμένει ως περίσσεια και θα διαμοιρασθεί ομοιόμορφα στα δύο αντικείμενα.

9.4 Η φύση και η προέλευση των ηλεκτρικών φορτίων και των δυνάμεων.

Τα θέματα που εξετάσθηκαν μέχρις αυτού του σημείου του κεφαλαίου είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε ερωτήσεις γύρω από τη φύση της ύλης. Όπως πάντα, αν παρατηρηθεί και μετρηθεί ένα ορισμένο είδος συμπεριφοράς και αν ανακαλυφθεί κάποια νομοτέλεια (σε αυτήν την περίπτωση, ο νόμος του Coulomb), είναι ευνόητο και φυσικό να αναρωτηθεί κάποιος γιατί υπάρχει αυτή η νομοτέλεια. Σε αυτό ακριβώς το σημείο, η αναζήτηση του γιατί μπορεί να πάρει τη μορφή δύο ειδικών ερωτήσεων:

1. Γιατί το ένα ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δυνάμεις στο άλλο;
2. Γιατί είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ηλεκτρικά φορτία σε ουδέτερα αντικείμενα;

Στην πρώτη από τις ερωτήσεις αυτές δεν είναι δυνατόν να δοθεί απάντηση. Και αυτό, γιατί δεν υπάρχει τρόπος να εξηγηθούν οι ηλεκτρικές δυνάμεις με βάση ένα απλούστερο ή πιο οικείο φαινόμενο. Έτσι, οι δυνάμεις ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτία θεωρούνται ως μια θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης (άλλη θεμελιώδης ιδιότητα της ύλης είναι το ότι έχει μάζα).

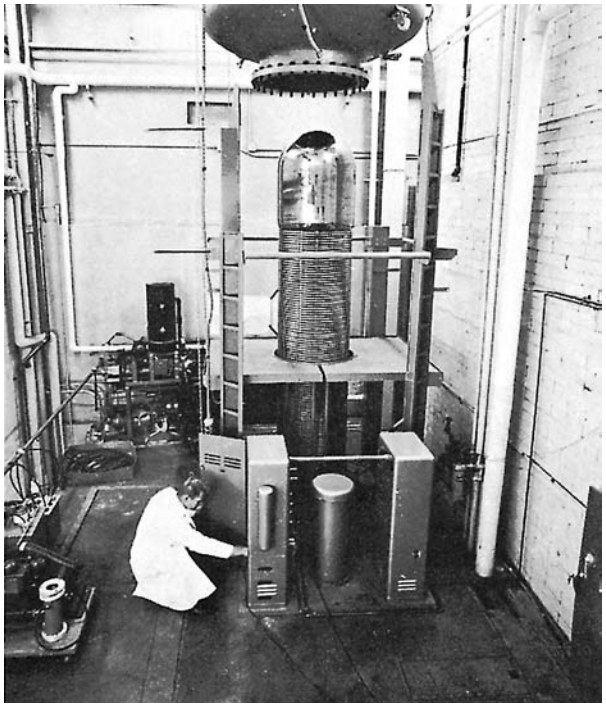
Στη δεύτερη ερώτηση είναι ευκολότερο να δώσομε κάποια απάντηση με τη βοήθεια ενός προτύπου.

Στην πραγματικότητα, είναι δυνατόν να δοθεί ικανοποιητική εξήγηση, αν αναπτυχθεί με περισσότερες λεπτομέρειες η σύσταση της ύλης από σωματίδια, που έχει ήδη αποδειχθεί τόσο χρήσιμη για την εξήγηση των ιδιοτήτων των αερίων και τη φύση των χημικών αντιδράσεων.

Η περιγραφή των ατόμων και των μορίων στα αέρια, όπως αναπτύχθηκε λεπτομερώς στα κεφάλαια 5 και 6, ξεκίνησε από μία βασική ποιοτική έννοια. Η έννοια αυτή είχε σκοπό να εξηγήσει μερικά κάπως απλά ποιοτικά γεγονότα. Η έννοια των μορίων που αιωρούνται μέσα στο δοχείο και συγκρούονται με τα τοιχώματα του δοχείου, στο οποίο βρίσκονται, μας δίνει τη δυνατότητα να εξηγήσομε καθημερινά φαινόμενα. Ανάμεσα σε αυτά περιλαμβάνεται το φούσκωμα των μπαλονιών και των ελαστικών. Λεπτομερέστερα πειράματα (όπως αυτά που έγιναν πρώτα από τους Boyle και Charles) κατέστησαν δυνατή την τελειοποίηση του προτύπου αυτού, κατά τρόπο πιο λεπτομερειακό και ποσοτικό. Ας ακολουθήσομε τώρα την ίδια πορεία, με σκοπό να προσθέσομε μια νέα διάσταση, την ηλεκτρική, στο ατομικό και μοριακό μας πρότυπο. Και ας ξεκινήσομε προσθέτοντας μία απλή ποιοτική έννοια, η οποία είναι δυνατόν να εξασφαλίσει μία εξήγηση για ορισμένα απλά ποιοτικά γεγονότα. Μετά από αυτό θα βελτιώσομε αυτήν την έννοια (στις παραγράφους 9.5 και 9.9), ώστε να εμπλουτιστεί με περισσότερες λεπτομέρειες και να γίνει πιο χρήσιμη. Η νέα αυτή έννοια είναι ότι τα άτομα και τα μόρια είναι ηλεκτρικά ουδέτερα, αλλά αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια. Τα μικρότερα αυτά σωματίδια είναι δυνατόν να είναι ηλεκτρικά φορτισμένα. Επειδή τα μόρια αποτελούνται από άτομα, η έννοια αυτή γίνεται ακόμη πιο συγκεκριμένη: Τα άτομα περιέχουν φορτία ή φορτισμένα σωματίδια που βρίσκονται σε τέτοιους αριθμούς, ώστε τα θετικά φορτία να είναι ίσα ακριβώς με τα αρνητικά και επομένως να υπάρχει εξισορρόπηση φορτίων.

Τα θετικά φορτισμένα σωματίδια ονομάζονται ***πρωτόνια*** και τα αρνητικά φορτισμένα ***ηλεκτρόνια.*** Όπως θα αναφερθεί αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο, είναι γνωστό ότι η ποσότητα του θετικού φορτίου που υπάρχει σε ένα πρωτόνιο, είναι ακριβώς ίση με την ποσότητα του αρνητικού φορτίου που υπάρχει σε ένα ηλεκτρόνιο. Γι' αυτό, το γεγονός ότι ένα άτομο είναι ουδέτερο σημαίνει ότι περιέχει ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων.

Τώρα μπορούμε να εξηγήσομε πώς ένα αντικείμενο στο σύνολό του μπορεί να αποκτήσει ηλεκτρικό φορτίο. Χρειάζεται μόνο να δεχθούμε ότι η κανονική ισορροπία ηλεκτρονίων και πρωτονίων διαταράσσεται από κάποια εξωτερική δύναμη. Στην περίπτωση των ράβδων που φορτίσθηκαν με την τριβή, η εξήγηση είναι απλά ότι οι δυνάμεις τριβής που δημιουργήθηκαν με το τρίψιμο εκτόπισαν και απομάκρυναν μερικά από τα φορτισμένα σωματίδια. Κατά πόσο τα

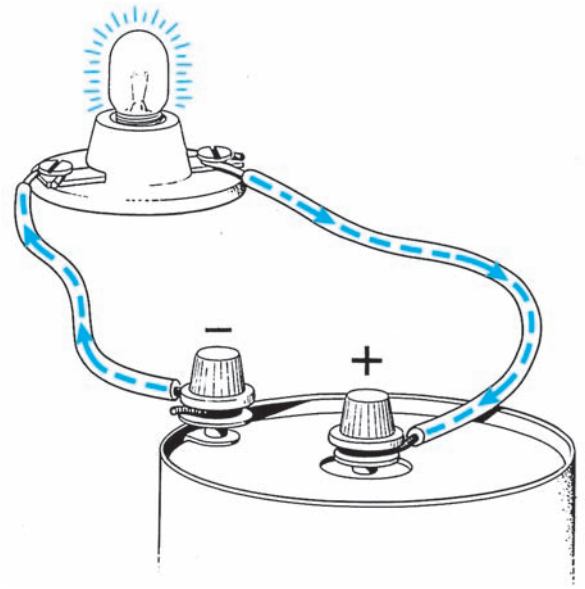


ΣΧΗΜΑ 9-5. *Μία γεννήτρια Van de Graaff δημιουργεί υψηλή τάση απομακρύνοντας διά της τριβής ηλεκτρόνια από μια επιφάνεια και στη συνέχεια αποθηκεύοντάς τα.*

αρνητικά σωματίδια (τα ηλεκτρόνια) ή τα θετικά σωματίδια (τα πρωτόνια) μεταφέρονται, δεν είναι δυνατόν να προκύψει ως συμπέρασμα μόνο και μόνο από τα πειράματα με τις ράβδους. Οπωσδήποτε, όπως θα μάθετε στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου, τα άτομα είναι έτσι διαμορφωμένα, ώστε σε όλες τις περιπτώσεις τα ηλεκτρόνια είναι αυτά που φαίνεται ότι μπορεί να μετακινηθούν από το ένα σώμα και να μεταφερθούν στο άλλο. Για παράδειγμα, όταν μία πλαστική ράβδος τριφθεί με ένα κομμάτι μάλλινου υφάσματος, ηλεκτρόνια εκτοπίζονται από το ύφασμα και συσσωρεύονται στη ράβδο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η ράβδος να αποκτά περίσσεια ηλεκτρονίων ή αρνητικό φορτίο. Το ύφασμα έχει παραμείνει βέβαια με θετικό φορτίο. Αντίθετα, όταν η γυάλινη ράβδος τρίβεται με ένα μεταξωτό ύφασμα, ηλεκτρόνια μετακινούνται από τη ράβδο και εναποτίθενται σε αυτό. Αυτός είναι ο λόγος που η γυάλινη ράβδος χαρακτηρίζεται από έλλειψη ηλεκτρονίων σε σχέση με τον αριθμό που απαιτείται, για να εξισορροπήσει το φορτίο όλων των πρωτονίων. Έτσι, η ράβδος αποκτά θετικό φορτίο. Το μεταξωτό ύφασμα βέβαια έχει αρνητικό φορτίο, επειδή χαρακτηρίζεται από περίσσεια ηλεκτρονίων (η γεννήτρια Van de Graaff, που εικονίζεται στο σχήμα 9-5, δημιουργεί ένα μεγάλο φορτίο, γιατί με την τριβή απομακρύνονται ηλεκτρόνια από τη μία επιφάνεια και αποθηκεύονται στην άλλη).

Ούτε οι ράβδοι ούτε τα υφάσματα διατηρούν τα φορτία τους για πολύ χρόνο, γιατί ηλεκτρόνια διαρρέουν από και προς αυτά από το περιβάλλον τους. Με αυτόν τον τρόπο ξαναγίνονται ηλεκτρικά ουδέτερα, κατάσταση που είναι και η κανονική για όλα τα υλικά. Όταν η υγρασία είναι υψηλή, η διαρροή αυτή γίνεται πολύ γρήγορα. Οι υδρατμοί του υγρού αέρα και η λεπτή στοιβάδα υγρασίας επάνω στα αντικείμενα διευκολύνουν τη ροή των ηλεκτρονίων από το ένα αντικείμενο στο άλλο και γενικότερα ανάμεσα στα φορτισμένα αντικείμενα και το περιβάλλον τους. Έτσι, κατά τη διάρκεια μιας ζεστής υγρής ημέρας είναι πιθανόν να μην είναι δυνατόν να γίνουν τα πειράματα με τις ράβδους, ενώ σε ψυχρό ξηρό καιρό, τα πειράματα διεξάγονται επιτυχώς.

Η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος διά μέσου των καλωδίων (σχ. 9-6) και των άλλων αγωγών του ηλεκτρισμού είναι δυνατόν επίσης να εξηγηθεί, αν υποθέσομε ότι η ύλη αποτελείται από ίσο αριθμό θετικών φορτίων (πρωτονίων), τα οποία δεν κινούνται εύκολα, και αρνητικών φορτίων (ηλεκτρονίων), που είναι μάλλον ευκίνητα. Όταν το ένα άκρο ενός αγώγιμου υλικού συνδεθεί με μία πηγή ηλεκτρονίων (τον αρνητικό πόλο ενός



ΣΧΗΜΑ 9-6. *Ο αρνητικός πόλος ενός ξηρού στοιχείου προμηθεύει ηλεκτρόνια. Αυτά ρέουν μέσα από τα καλώδια προς το θετικό πόλο με αποτέλεσμα ο λαμπτήρας να ανάβει.*

συσσωρευτή ή μιας γεννήτριας) και το άλλο με ένα θετικό πόλο, ο οποίος προσελκύει ηλεκτρόνια, δημιουργείται μία ροή ηλεκτρονίων από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο. Ένα παράδειγμα δίνεται στο σχήμα 9-6.

Τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στο καλώδιο που είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο. Ταυτόχρονα άλλα ηλεκτρόνια μετακινούνται διά του καλωδίου που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο. Ως αποτέλεσμα έχομε τη δημιουργία ενός ρεύματος ηλεκτρονίων, που διαρρέει το λαμπτήρα και τον αναγκάζει να φεγγοβολεί.

Περίληψη.

Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων, τα θετικά και τα αρνητικά. Φορτία του ίδιου είδους (ομώνυμα φορτία) απωθούνται. Φορτία διαφορετικού είδους (ετερώνυμα ή αντίθετα φορτία) έλκονται. Οι δυνάμεις της έλξεως ή της απωθήσεως είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της αποστάσεως ανάμεσα στα φορτία και ανάλογες του γινομένου των δύο φορτίων. Αυτό ονομάζεται νόμος του Coulomb και μπορεί να εκφρασθεί με τη ακόλουθη αλγεβρική μορφή:

$$\text{Η δύναμη ισούται με } \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

Όταν ίσες ποσότητες θετικών και αρνητικών φορτίων έρχονται σε κατ' ευθείαν επαφή, εξουδετερώνονται με αποτέλεσμα τα αρχικά φορτισμένα αντικείμενα καθίστανται ηλεκτρικά ουδέτερα.

Διάφορα συνηθισμένα φαινόμενα που έχουν σχέση με τη φόρτιση των αντικειμένων από τις δυνάμεις τριβής και τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, είναι δυνατόν να εξηγηθούν με τη βοήθεια ενός αναλόγου προτύπου. Σύμφωνα με αυτό, η ύλη (άτομα) αποτελείται από ίσους αριθμούς θετικών σωματιδίων (πρωτόνια) και αρνητικών σωματιδίων (ηλεκτρόνια). Τα πρωτόνια είναι ακίνητα (σταθερά), ενώ τα ηλεκτρόνια μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν και να υποχρεωθούν σε κίνηση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς μπορεί να επηρεασθεί η δύναμη ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, αν η απόσταση ανάμεσά τους γίνει τετραπλάσια της αρχικής αποστάσεως (δηλαδή αν αυξηθεί 4 φορές);
2. Τα σώματα A και B, που καθένα τους έχει αρνητικό φορτίο τριών μονάδων, απέχουν 3 cm. Τα σώματα C και D έχουν θετικά φορτία 6 και 7 μονάδων αντίστοιχα και απέχουν 2 cm. Πόσες φορές μεγαλύτερη θα είναι η δύναμη ανάμεσα στα σώματα C και D σε σχέση με τη δύναμη ανάμεσα στα A και B;
3. Όταν τρίψομε μία γυάλινη ράβδο σε ένα κομμάτι μεταξωτό ύφασμα, τι είδους φορτίο θα δημιουργηθεί σε κάθε αντικείμενο; Να το εξηγήσετε με βάση την κίνηση των ηλεκτρονίων.
4. Ποιες ατμοσφαιρικές συνθήκες ευνοούν τη δημιουργία ηλεκτρικών φορτίων; Κρύος και ξηρός ή ζεστός και υγρός καιρός; Να το εξηγήσετε.

Τα άτομα αποτελούνται από θετικά και αρνητικά φορτία

9.5 Λεπτομερέστερες ενδείξεις για φορτισμένα σωματίδια.

Μάθατε ότι υλικά σώματα, που κανονικά είναι ουδέτερα, είναι δυνατόν να αποκτήσουν θετικά ή αρνητικά φορτία και ότι ορισμένα είδη ύλης, που ονομάζονται μέταλλα μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η εξήγηση αυτών των φαινομένων βασίσθηκε στην υπόθεση ότι η ύλη αποτελείται από ίσους αριθμούς σωματιδίων, που είναι φορτισμένα θετικά ή αρνητικά και αντίστοιχα καλούνται πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Στην υπόθεση αυτή προστέθηκε η άποψη ότι τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερο ευκίνητα από τα πρωτόνια και γι' αυτό τα σώματα αποκτούν φορτία κερδίζοντας ή χάνοντας ηλεκτρόνια.

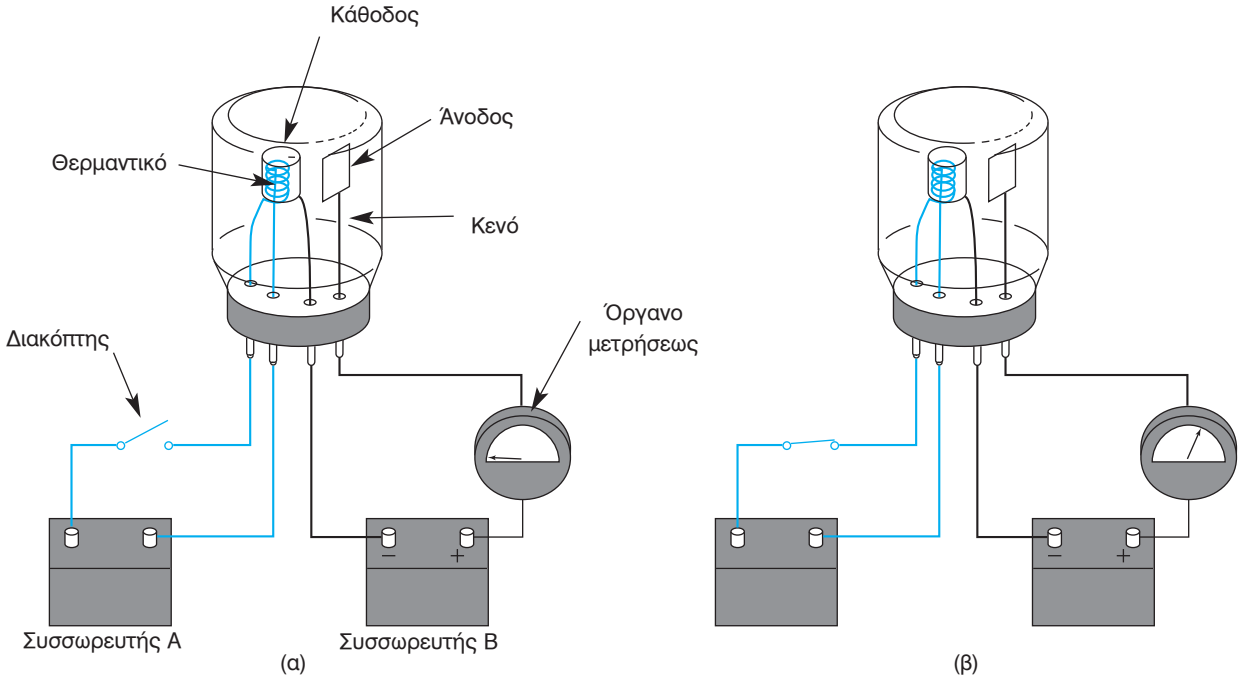
Υπάρχουν άραγε περισσότερες ενδείξεις γι' αυτές τις υποθέσεις; Πράγματι, υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη ενδείξεων, που ενισχύουν και διευκρινίζουν τις παραπάνω υποθέσεις. Μερικές από τις πιο σημαντικές θα εξετασθούν εδώ, καθώς και στα επόμενα κεφάλαια. Είδατε στο σχήμα 9-6 ότι το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από ένα λαμπτήρα φωτισμού, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με ένα συσσωρευτή. Τα καλώδια που συνδέουν το λαμπτήρα με το συσσωρευτή σχηματίζουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το εξωτερικό κύκλωμα είναι η διαδρομή διά της οποίας τα ηλεκτρόνια ρέουν από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο του συσσωρευτή. Βέβαια, κάτι θα πρέπει να συμβαίνει και στο εσωτερικό του συσσωρευτή, ώστε να διατηρείται αυτή η κυκλοφορία. Αυτή η διαδικασία θα συζητηθεί στο κεφάλαιο 24.

Τα ηλεκτρόνια μπορούν να κυκλοφορήσουν μέσα σε ένα κύκλωμα, μόνο αν η αντίσταση που υφίστανται σε αυτήν τη ροή είναι σχετικά μικρή. Στο κύκλωμα του σχήματος 9-6 η αντίσταση είναι χαμηλή επειδή και τα καλώδια συνδέσεως και το νήμα του λαμπτήρα, που ερυθροπυρώνεται και φεγγοβολεί, είναι κατασκευασμένα από μέταλλο.

Τα μέταλλα εμφανίζουν χαρακτηριστικά μικρή αντίσταση στη ροή ρεύματος. Είναι καλοί "αγωγοί". Το νήμα όμως πρέπει να έχει αρκετή αντίσταση, για να διαπυρώνεται και να φεγγοβολεί, όταν διαρρέεται από ρεύμα. Ας υποθέσομε ότι αποσυνδέετε το ένα σύρμα από τον έναν πόλο του συσσωρευτή. Ο λαμπτήρας θα σβήσει. Κανένα ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να κυκλοφορήσει μέσα στο κύκλωμα, εκτός αν έχει αρκετή ενέργεια, ώστε να διαπεράσει το κενό ανάμεσα στο αποσυνδεδεμένο σύρμα και στον πόλο του συσσωρευτή. Ο αέρας δημιουργεί πολύ μεγαλύτερη αντίσταση στη ροή των ηλεκτρονίων από ό,τι τα μέταλλα. Τα ηλεκτρόνια δεν θα είχαν αρκετή ενέργεια, ώστε να διαπεράσουν ένα κενό, έστω και μικρής εκτάσεως εκτός αν η πηγή τους ήταν πολύ ισχυρή. Η αποσύνδεση του καλωδίου δημιούργησε ένα ***ανοικτό*** κύκλωμα.

Τώρα, ας εξετασθούν οι πειραματικές διατάξεις, που εικονίζονται στο σχήμα 9-7. Και στα δύο επιμέρους σχήματα (α) και (β) εικονίζονται οι ίδιες διατάξεις, υπό διαφορετικές όμως συνθήκες.

Πρόκειται για δύο κυκλώματα, που λειτουργούν με τον ίδιο σωλήνα κενού. Ένας σωλήνας κενού αποτελείται από έναν αεροστεγώς κλεισμένο γυάλινο σωλήνα, από τον οποίο έχει αφαιρεθεί με άντληση ο περισσότερος αέρας. Μέσα σε αυτόν υπάρχουν στερεωμένα κάποια μεταλλικά ελάσματα, που του δίνουν τη δυνατότητα να εκτελεί μία χρήσιμη λειτουργία.



ΣΧΗΜΑ 9-7. *Όταν κλείνει το κύκλωμα θερμάνσεως της καθόδου, η κάθοδος θερμαίνεται και εκλύονται ηλεκτρόνια που στη συνέχεια έλκονται από την άνοδο. Ο συσσωρευτής διατηρεί αρνητική την κάθοδο και θετική την άνοδο. Με το όργανο μετρήσεως μπορούμε να παρακολουθήσομε το ρεύμα.*

Πιθανόν να έχετε δει σωλήνες κενού, όπως αυτός του σχήματος 9-8 σε ένα ραδιόφωνο, μία τηλεόραση ή μερικές άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές. Η ***κάθοδος*** συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του συσσωρευτή και έτσι, όταν ο σωλήνας βρίσκεται σε λειτουργία, έχει αρνητικό φορτίο. Η άνοδος, που έχει συνδεθεί με το θετικό πόλο, είναι θετική.

Ένα από τα κυκλώματα συνδέει το συσσωρευτή Α με ένα συρμάτινο ελατήριο, που ερυθροπυρώνεται και ακτινοβολεί, όταν διαρρέεται από ρεύμα. Στην πράξη αυτό το θερμαινόμενο ελατήριο μοιάζει με εκείνα που συναντώνται στις ηλεκτρικές ψησταριές και τα ηλεκτρικά σίδερα. Όταν αυτά διαρρέονται από ρεύμα, εκπέμπουν κυρίως θερμική ενέργεια. Ο διακόπτης στο κύκλωμα μας διευκολύνει να έχομε είτε ένα ανοικτό κύκλωμα, όπως στο σχήμα 9-7α, είτε ένα κλειστό, όπως στο σχήμα 9-7β.

Ας ονομάσομε το κύκλωμα, που περιλαμβάνει το όργανο μετρήσεως και το συσσωρευτή Β, ***κύριο*** κύκλωμα. Το όργανο μετρήσεως στο σχήμα 9-7α δείχνει ότι δεν κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα. Και βέβαια αυτό δεν μας εκπλήσσει, γιατί το κύκλωμα είναι ανοικτό ανάμεσα στην κάθοδο και την άνοδο. Τώρα ας κλείσομε το διακόπτη στο κύκλωμα με το συσσωρευτή, ώστε να διέλθει ρεύμα από τη θερμαινόμενη αντίσταση της καθόδου. Η θερμότητα από αυτήν την αντίσταση θα αναγκάσει την κάθοδο να θερμανθεί και πιθανόν να συμβεί κάτι εντυπωσιακό. Όταν η κάθοδος θερμανθεί το ρεύμα αρχίζει να κυκλοφορεί στο κυρίως κύκλωμα, αν και το κυρίως κύκλωμα φαίνεται ότι είναι ακόμη ανοικτό. Γιατί συμβαίνει αυτό; Η υπόθεση που διατυπώσαμε σύμφωνα με την οποία τα άτομα αποτελούνται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια, είναι δυνατόν να μας δώσει και πάλι μία απάντηση. Όταν η κάθοδος είναι ζεστή, τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην επιφάνειά της αποκτούν αρκετή κινητική ενέργεια, που τα βοηθά να αποσπασθούν. Μόλις γίνει αυτό, έλκονται από το θετικό ηλεκτρόδιο, την άνοδο, και κατευθύνονται μέσα από το κενό προς αυτή. Έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα αναγκάζεται να κυκλοφορήσει μέσα από το κενό. Η συνέχεια του κυκλώματος αποκαθίσταται από ένα ρεύμα ηλεκτρονίων, που κινείται ανάμεσα στη θερμή κάθοδο και την άνοδο.

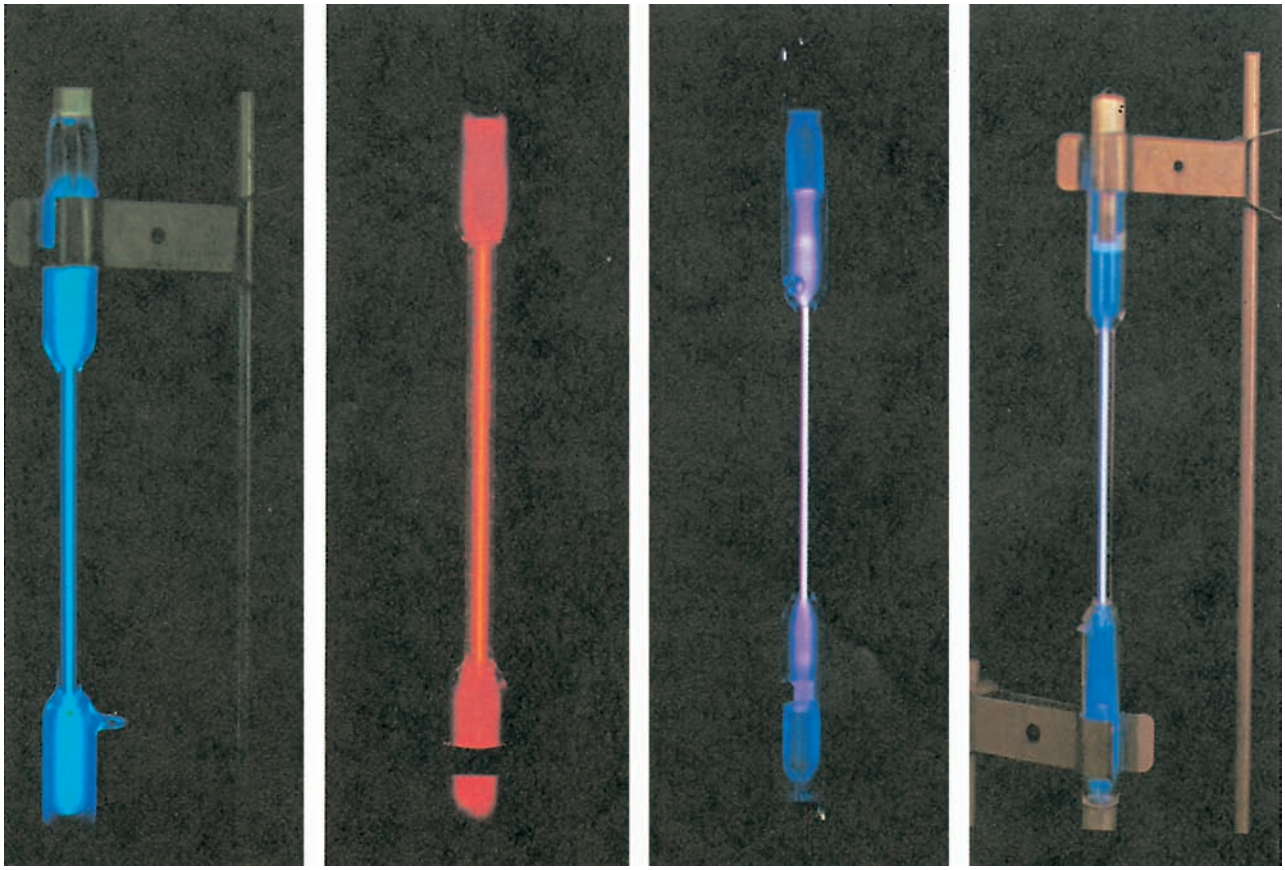
Υπάρχει και ένα άλλο, σχετικά ανάλογο, πείραμα, που μπορεί να δώσει επί πλέον ενδείξεις και πληροφορίες για τα ηλεκτρόνια. Θα το παρακολουθήσομε στη συνέχεια.



ΣΧΗΜΑ 9-8. *Στους σωλήνες κενού, όπως ο εικονιζόμενος, τα ηλεκτρόνια μπορούν να διασχίσουν το σχεδόν κενό διάστημα.*

Ένας γυάλινος σωλήνας, τον οποίο είναι δυνατόν να γεμίσομε με κάποιο αέριο σε διάφορες ρυθμιζόμενες πιέσεις, εφοδιάζεται με ηλεκτρόδια, ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού 10.000 βολτ κατά μήκος του. Τοποθετούμε στο σωλήνα ένα αέριο, όπως το νέο. Αν εφαρμόσομε υψηλή τάση στα άκρα του σωλήνα, το αέριο θα αρχίσει να διευκολύνει την κυκλοφορία του ρεύματος, από τη στιγμή που η πίεσή του θα μειωθεί στην 0,01 ατμόσφαιρα. Μόλις αρχίσει η κυκλοφορία του ρεύματος, ο σωλήνας ακτινοβολεί με το γνώριμο χρώμα του αερίου αυτού. Αν χρησιμοποιηθεί για το πείραμα άλλο αέριο, το χρώμα θα είναι διαφορετικό, αλλά κατά τα άλλα η συμπεριφορά θα είναι ίδια (σχ. 9-9). Αν η πίεση μειωθεί ακόμη περισσότερο, θα γίνει περίπου 10^{-6} ατμόσφαιρες, η λάμψη από το αέριο εξαφανίζεται, αλλά η ακτινοβολία φθορισμού από τα γυάλινα τοιχώματα του σωλήνα παραμένει.

Τα πειράματα δείχνουν ότι η ακτινοβολία φθορισμού οφείλεται είτε σε ρεύμα σωματιδίων είτε σε φωτεινές ακτίνες, που ξεκινούν από το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Αυτό φαίνεται σαφέστατα στο σωλήνα του Crookes, που βλέπετε στο σχήμα 9-10. Ο μεταλλικός σταυρός διακόπτει το ρεύμα και δημιουργείται μία σκιά επάνω στο φαρδύ



ΣΧΗΜΑ 9-9. *Τα αέρια σε χαμηλές πιέσεις (περίπου 0,01 atm) ακτινοβολούν, αν εκτεθούν σε υψηλή τάση. Από αριστερά προς τα δεξιά, τα αέρια που ακτινοβολούν είναι ατμοί από υδράργυρο, νέο, αργό και ήλιο.*

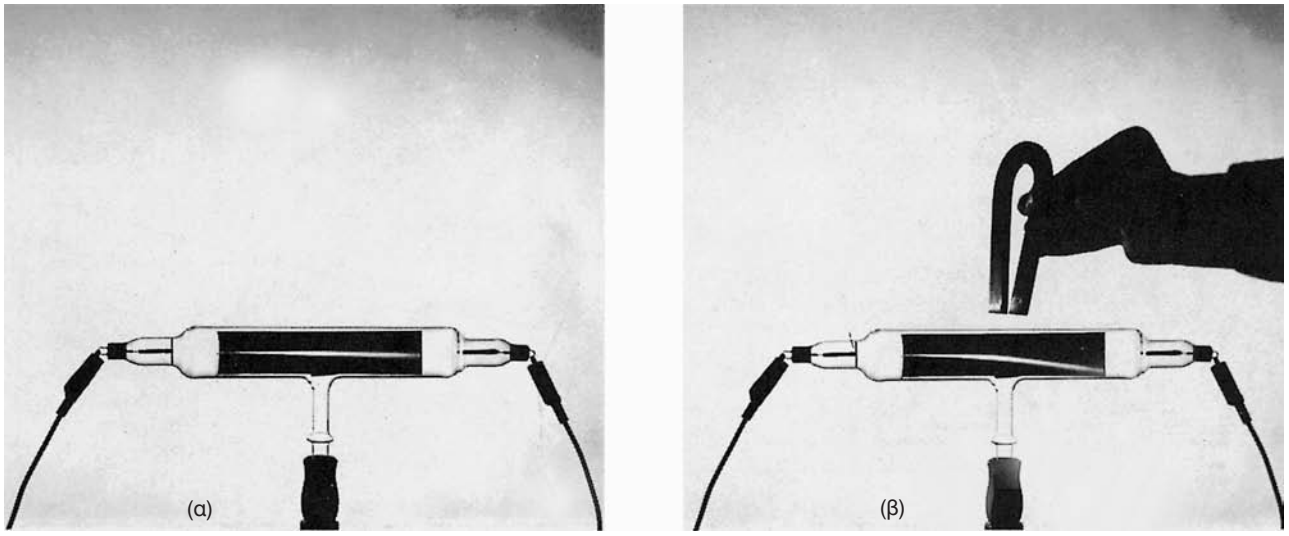
άκρο του σωλήνα.

Έχει αποδειχθεί ότι τέτοια ρεύματα ακολουθούν ευθεία γραμμή από την κάθοδο προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τελικά αυτό το ρεύμα αποτελείται από σωματίδια ή φωτεινές ακτίνες; Ο σωλήνας εκκενώσεως του σχήματος 9-11 μας δίνει μία απάντηση.

Μία φθορίζουσα οθόνη τοποθετημένη κατά μήκος μέσα στο σωλήνα καθιστά ορατό το ρεύμα των σωματιδίων. Στο σχήμα 9-11α φαίνεται το ρεύμα που διασχίζει το σωλήνα σε ευθεία γραμμή. Στο σχήμα 9-11β, ένας μαγνήτης έχει πλησιάσει το σωλήνα. Οι πόλοι του μαγνήτη έχουν τοποθετηθεί έτσι, ώστε το ρεύμα να υποχρεώνεται να διέλθει μέσα από το μαγνητικό πεδίο. Πεδίο που δημιουργείται από έναν μαγνήτη ονομάζομε εκείνη την περιοχή του χώρου γύρω από τους δύο πόλους, όπου ο μαγνήτης ασκεί τη χαρακτηριστική του δύναμη. Είναι πιθανόν να γνωρίζετε την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου επάνω σε οποιονδήποτε άλλο μαγνήτη, που εισέρχεται σε



ΣΧΗΜΑ 9-10. *Η σκιά, που οφείλεται στο μεταλλικό σταυρό μέσα στο σωλήνα του Crookes (επάνω), δείχνει ότι το ρεύμα που δημιουργεί τη φθορίζουσα λάμψη θα πρέπει να ακολουθεί ευθεία γραμμή από την κάθοδο (στο αριστερό άκρο του σωλήνα) προς το φαρδύ άκρο.*



ΣΧΗΜΑ 9-11. *Η δέσμη της καθοδικής ακτινοβολίας, γίνεται ορατή στην οθόνη που φθορίζει μέσα στο σωλήνα και φαίνεται ότι ακολουθεί ευθεία γραμμή (α). Όταν ένας μαγνήτης πλησιάσει το σωλήνα (β), η δέσμη εκτρέπεται.*

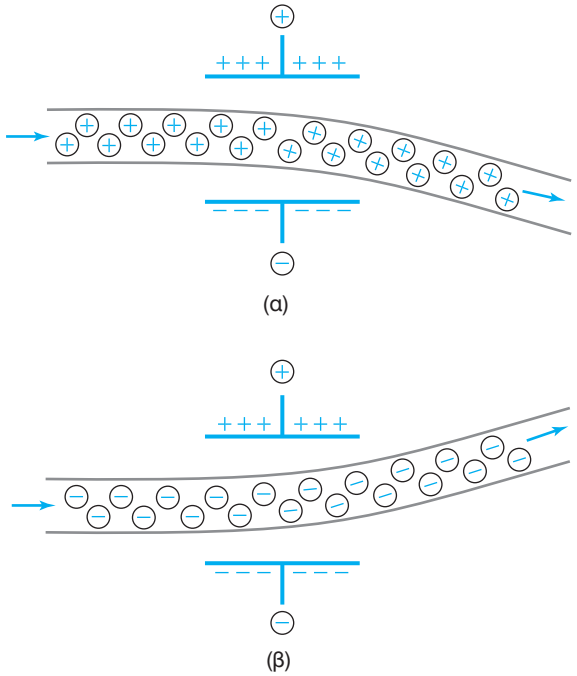
αυτό. Πιο σχετικό με το θέμα αυτό είναι το γεγονός ότι ένα μαγνητικό πεδίο ασκεί μία δύναμη επάνω σε οποιοδήποτε ***φορτισμένο*** σωματίδιο, που εισέρχεται καθώς κινείται σε αυτό. Όπως φαίνεται στο σχήμα 9-11β, το ρεύμα των σωματιδίων εκτρέπεται από το μαγνήτη. Θα πρέπει λοιπόν να αποτελείται από φορτισμένα σωματίδια. Οι φωτεινές ακτίνες δεν είναι δυνατόν να εκτραπούν με αυτόν τον τρόπο.

Αν το μαγνητικό πεδίο αντικατασταθεί από ένα ηλεκτρικό πεδίο, θα έχομε και πάλι εκτροπή του ρεύματος των σωματιδίων. Ένα ηλεκτρικό πεδίο, όπως είναι δυνατόν να υποθέσετε ύστερα από όσα αναφέρθηκαν γύρω από το μαγνητικό πεδίο, δημιουργείται στο διάστημα ανάμεσα στις δύο ηλεκτρικά φορτισμένες πλάκες. Και αυτό, όπως και το μαγνητικό πεδίο, ασκεί μία δύναμη επάνω σε κάθε φορτισμένο σωματίδιο που εισέρχεται σε αυτό. Η διεύθυνση κατά την οποία ασκείται η δύναμη εξαρτάται από το αν το φορτίο του σωματιδίου που εισέρχεται είναι θετικό ή αρνητικό (σχ. 9-12).

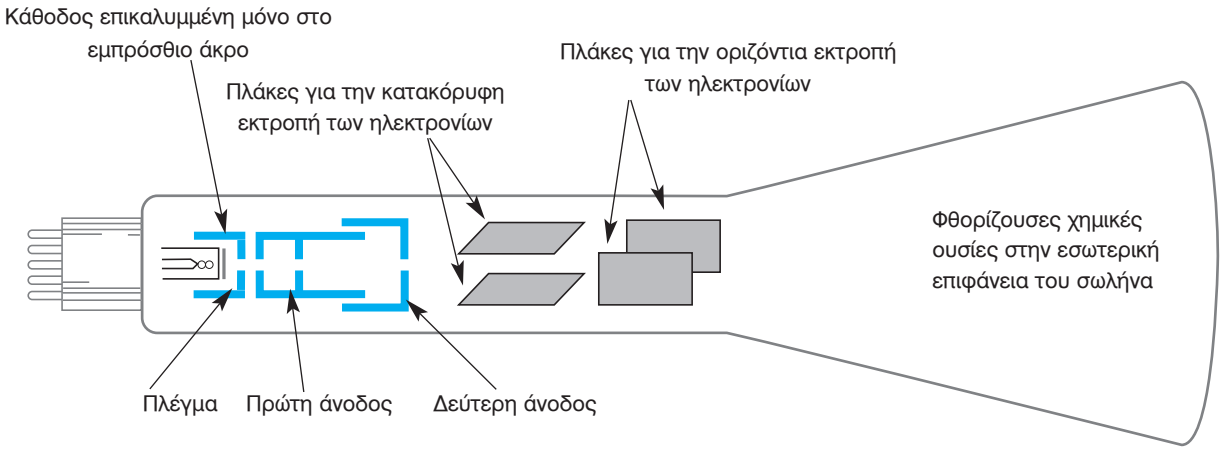
Πειράματα δείχνουν ότι (το ρεύμα) η ροή των σωματιδίων που έχει περιγραφεί, εκτρέπεται προς τη θετικά φορτισμένη πλάκα. Αυτό αποδεικνύει ότι το ρεύμα αποτελείται από αρνητικώς φορτισμένα σωματίδια. Είναι φανερό ότι αυτά τα σωματίδια είναι τα ηλεκτρόνια, όπως και είχαμε υποθέσει προηγουμένως.

Τα περισσότερα από όσα έγιναν γνωστά μέχρι τώρα για τη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων μπορούν να εφαρμοσθούν στη συσκευή, που ονομάζεται καθοδικός σωλήνας ή σωλήνας καθοδικής ακτινοβολίας. Στο σχήμα 9-13 υπάρχει το διάγραμμα ενός τέτοιου σωλήνα. Και εδώ για τη δημιουργία ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται μία θερμαινόμενη κάθοδος.

Η άνοδος έχει μία οπή, ώστε να διέρχεται μέσα από αυτήν, σε ευθεία γραμμή, μία στενή δέσμη



ΣΧΗΜΑ 9-12. *Οι δέσμες θετικών ή αρνητικών σωματιδίων εκτρέπονται από ένα ηλεκτρικό πεδίο προς την αντίθετη κατεύθυνση.*



ΣΧΗΜΑ 9-13. *Διάγραμμα ενός σωλήνα καθοδικής ακτινοβολίας.*

ηλεκτρονίων. Τελικά, η δέσμη συναντά τη φθορίζουσα οθόνη στο πλατύ άκρο του σωλήνα, όπου και δημιουργεί μία φωτεινή κηλίδα. Καθώς η δέσμη των ηλεκτρονίων κατευθύνεται από την άνοδο στην οθόνη, υποχρεώνεται να περάσει ανάμεσα από δύο ζεύγη μεταλλικών πλακών, που ονομάζονται πλάκες εκτροπής. Εφαρμόζοντας ένα ηλεκτρικό πεδίο μέσα από αυτές τις πλάκες στη δέσμη, μπορούμε να την εκτρέψομε είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια. Κατά συνέπεια, και η θέση της κηλίδας στην οθόνη μπορεί να μετακινηθεί.

Αν υποθέσομε ότι εφαρμόζεται στις πλάκες εκτροπής κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα, του οποίου μεταβάλλεται η διεύθυνση ή η ένταση ή και τα δύο (δηλαδή ένα εναλλασσόμενο ρεύμα), τότε η εικόνα που δημιουργείται από την κηλίδα επάνω στην οθόνη θα δείχνει με ακρίβεια πώς μεταβάλλεται το ρεύμα. Με αυτόν τον τρόπο ένας σωλήνας καθοδικής ακτινοβολίας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, για να προσδιορίζονται ηλεκτρικά "σήματα". Με μία ελαφρά τροποποιημένη μορφή ο καθοδικός σωλήνας χρησιμοποιείται στις τηλεοπτικές οθόνες.

9.6 *Το φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου.*

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι μία δέσμη ηλεκτρονίων εκτρέπεται, αν περάσει μέσα από ένα ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο. Η ακτίνα της καμπύλης τροχιάς που διαγράφει η δέσμη, όταν εκτρέπεται, είναι δυνατόν να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Αυτή η μέτρηση μαζί με άλλα πειραματικά δεδομένα, όπως είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου, μέσα από το οποίο διέρχεται η δέσμη των ηλεκτρονίων χρησιμεύουν για τον υπολογισμό ενός πολύ σημαντικού αριθμού. Ο αριθμός αυτός ισοδυναμεί με το λόγο του φορτίου (e) ενός ηλεκτρονίου προς τη μάζα του (m). Μόνον αυτός ο λόγος (e/m) μπορεί να υπολογισθεί από αυτό το πείραμα, γιατί το μέγεθος της καμπυλότητας της τροχιάς επηρεάζεται ταυτόχρονα και από το φορτίο (e) και τη μάζα (m) και όχι από το καθένα ξεχωριστά, ενώ δεν μπορεί να υπολογισθεί από κάποια μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων. Η τιμή που έχει υπολογισθεί για το e/m είναι $1{,}759 \times 10^8$ coulombs ανά γραμμάριο (το coulomb είναι μονάδα μετρήσεως του ηλεκτρικού φορτίου).

Τα πειράματα που επιβεβαίωσαν την αριθμητική τιμή του e/m απετέλεσαν την πρώτη ισχυρή ένδειξη για την ύπαρξη των ηλεκτρονίων. Η σημασία των πειραμάτων αναγνωρίσθηκε σύντομα και χάρισε τιμές, όπως και τον τίτλο του ιππότη, στον επιστήμονα που τα είχε εμπνευσθεί, τον Σερ J.J. Thomson. Αφού προσδιορίσθηκε η αριθμητική τιμή του e/m, ήταν πια φανερό ότι, αν προσδιοριζόταν χωριστά το ένα από το άλλο, δηλαδή το e από το m, θα γινόταν αμέσως γνωστές οι τιμές και των δύο, του e και του m.

Το 1906, το ίδιο έτος κατά το οποίο ο Thomson τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για την εργασία του, ένας Αμερικανός φυσικός, ο Robert Millikan, βρήκε έναν τρόπο να μετρήσει το φορτίο του ηλεκτρονίου. Το διάγραμμα της συσκευής που χρησιμοποιήθηκε γι' αυτό το πείραμα



Robert Andrews Millikan (1868 - 1953)

Ο Robert Millikan πήρε το διδακτορικό του δίπλωμα από το Πανεπιστήμιο Κολούμπια το 1895, το ίδιο έτος κατά το οποίο ο Roentgen ανακάλυψε τις ακτίνες Χ. Ενώ εργαζόταν ως ερευνητής σε μία περίοδο, όπου ο επιστημονικός κόσμος εσείετο από μεγάλες ανακαλύψεις, ενδιαφέρθηκε κυρίως για το έργο του J.J. Thomson, δηλαδή τη μέτρηση του λόγου φορτίο προς μάζα των ηλεκτρονίων. Ο Thomson μαζί με έναν άλλο Άγγλο επιστήμονα, που ονομαζόταν Townsend, είχαν πραγματοποιήσει μετρήσεις του φορτίου ενός ηλεκτρονίου στα τέλη του 1890, με τη μελέτη της συμπεριφοράς φορτισμένων σταγονιδίων νερού. Η εργασία τους δεν ήταν πολύ ακριβής και ο Millikan ήταν βέβαιος ότι ένας παράγοντας που δυσκόλευε το έργο τους ήταν η εξάτμιση του νερού, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων τους.

Το 1909 ο Millikan ανέπτυξε το –γνωστό σήμερα– “πείραμα σταγονιδίων λαδιού”, που βασίσθηκε στη συμπεριφορά των φορτισμένων σταγονιδίων λαδιού μέσα σε ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Συχνά ξόδευε πολλές ώρες, για να παρατηρήσει ένα μοναδικό σταγονίδιο λαδιού καθώς κινούνταν διά μέσου της συσκευής του. Όταν τα πειράματά του ολοκληρώθηκαν, ήταν σε θέση να υπολογίσει το φορτίο ενός ηλεκτρονίου· επίσης επιβεβαίωσε, πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι το φορτίο αυτό ήταν μια στοιχειώδης μονάδα ηλεκτρισμού. Μετά την εργασία του επάνω στο φορτίο ενός ηλεκτρονίου, έστρεψε την προσοχή του στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, κατά το οποίο το φως απελευθερώνει ηλεκτρόνια από την επιφάνεια των μετάλλων.

Ως επιβράβευση αυτής της εργασίας, καθώς και της προηγούμενης επάνω στο φορτίο του ηλεκτρονίου, τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 1923.

Αφήνοντας το Πανεπιστήμιο του Σικάγου το 1921, πήγε στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνιας, όπου ως πρόεδρος της Εκτελεστικής Επιτροπής της Σχολής τη βοήθησε, ώστε να καταστεί ένα από τα καλύτερα επιστημονικά ιδρύματα του κόσμου. Επί πολλές δεκαετίες τον εδιέφεραν υπερβολικά οι κοσμικές ακτινοβολίες. Εργαζόμενος σε αυτόν τον τομέα ανακάλυψε και άλλα στοιχειώδη σωματίδια.

Ανοιχτόκαρδος, συμπαθητικός και ενεργητικός άνθρωπος σε όλη τη ζωή του ο Robert Millikan, ήταν μια πηγή εμπνεύσεως για όσους τον γνώρισαν. Η συνεισφορά του στον τομέα της ατομικής φυσικής μας βοήθησε, ώστε να έχομε σήμερα τόσες πολλές γνώσεις γύρω από τη δομή της ύλης.

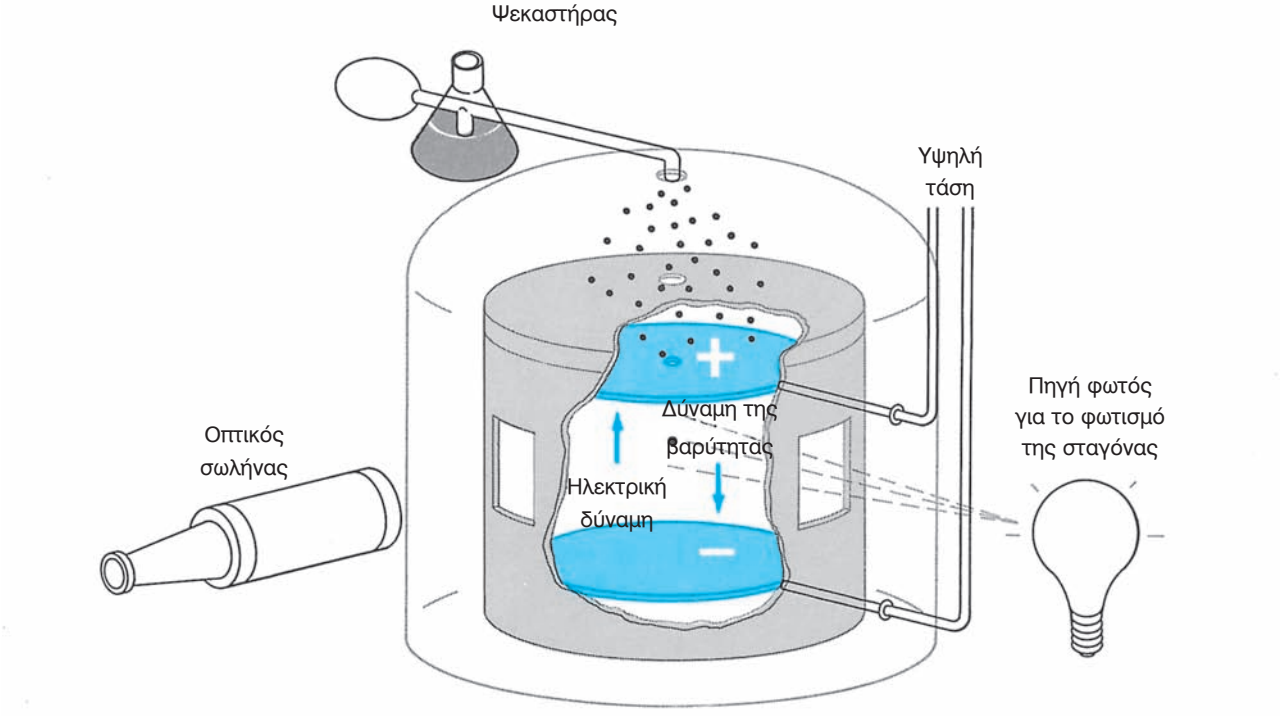
φαίνεται στο σχήμα 9-14. Μικροσκοπικά σταγονίδια λαδιού ή κάποιου άλλου υγρού ψεκάζονται από το επάνω μέρος της συσκευής. Μερικά σταγονίδια περνούν μέσα από μία μικρή οπή στο θάλαμο, που βρίσκεται από κάτω. Ένα σταγονίδιο λαδιού, είναι πολύ πιθανόν κατά το σχηματισμό του να φορτισθεί από την τριβή και να κερδίσει ή να χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια. Μόλις ένα σταγονίδιο λαδιού εισέλθει στον κάτω θάλαμο, εφαρμόζεται μία τάση στις μεταλλικές πλάκες. Αν το σταγονίδιο είναι φορτισμένο είναι δυνατόν να σταματήσει εντελώς η πτώση του όταν ρυθμίσομε την τάση έτσι ώστε να ασκηθεί πάνω στο φορτισμένο σταγονίδιο μία ανοδική ηλεκτρική δύναμη, ίση και αντίθετη με την (προς τα κάτω) δύναμη της βαρύτητας.

Ο Millikan πραγματοποίησε χιλιάδες προσδιορισμούς φορτίου σε σταγονίδια λαδιού, γλυκερίνης και υδραργύρου. Το φορτίο του σταγονιδίου ήταν άλλοτε θετικό και άλλοτε αρνητικό, αλλά πάντα το μέγεθός του ήταν κάποιο ακέραιο πολλαπλάσιο του $1{,}602 \times 10^{-19}$ coulomb. Σε καμιά περίπτωση το φορτίο δεν ήταν λιγότερο ή περισσότερο από αυτό. Τα πειράματα αυτά δείχνουν με σαφήνεια ότι η στοιχειώδης μονάδα ηλεκτρισμού πρέπει να είναι ένα φορτίο ίσο με $1{,}602 \times 10^{-19}$ coulomb. Αν το ηλεκτρόνιο είναι ο φορέας αυτής της στοιχειώδους μονάδας ηλεκτρισμού (όπως πιστεύουν οι επιστήμονες), η τιμή του φορτίου του ηλεκτρονίου θα είναι $1{,}602 \times 10^{-19}$ coulomb.

Τώρα πια το φορτίο του ηλεκτρονίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της μάζας του. Από το λόγο $e/m = 1{,}759 \times 10^{8}$ coulomb/g υπολογίζεται η μάζα του ηλεκτρονίου με τον ακόλουθο τρόπο:

$$m = \frac{1{,}602 \times 10^{-19} \text{ coulomb/ηλεκτρόνιο}}{1{,}759 \times 10^{8} \text{ coulomb/g}}$$

$$m = 9{,}11 \times 10^{-28} \text{ g/ηλεκτρόνιο}$$



ΣΧΗΜΑ 9-14. *Σταγονίδια λαδιού πέφτουν μέσα από μία οπή στο θετικό ηλεκτρόδιο. Κάθε σταγονίδιο φέρει μόνο ένα ηλεκτρόνιο ή μία μικρή περίσσεια ηλεκτρονίων (n). Αν μετρήσομε την τάση που είναι απαραίτητη για να σταματήσει η προκαλούμενη από τη βαρύτητα προς τα κάτω κίνηση του σταγονιδίου, μπορεί να υπολογισθεί το συνολικό φορτίο (n φορές το φορτίο του ενός ηλεκτρονίου).*

9.7 *Πώς μέτρησε ο Thomson το λόγο e/m.*

Στην παράγραφο αυτή θα περιγραφεί με λεπτομέρεια πώς μέτρησε ο μεγάλος Βρετανός επιστήμονας J.J. Thomson το λόγο του φορτίου e προς τη μάζα m του ηλεκτρονίου. Το πείραμα αυτό είναι ένα από εκείνα που απετέλεσαν ορόσημο στη σύγχρονη επιστήμη. Όταν το αποτέλεσμα του Thomson για το e/m συνδυάσθηκε με τη τιμή του φορτίου e, που μετρήθηκε από τον Αμερικανό φυσικό Robert Andrews Millikan, έγινε γνωστή η πραγματική μάζα του ηλεκτρονίου.

Η βάση του πειράματος του Thomson είναι το γεγονός ότι, αν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινούμενο σε ευθεία γραμμή εισέλθει σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, θα διαγράψει κυκλική τροχιά (σχ. 9-15).

Η ακτίνα r του κύκλου, στο οποίο θα κινηθεί, καθορίζεται από τις ακόλουθες τέσσερις ποσότητες:

1. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου, που συμβολίζεται με B. Όσο ισχυρότερο είναι το πεδίο, τόσο μεγαλύτερη είναι καμπυλότητα της τροχιάς. Όσο αυξάνεται το B, το r ελαττώνεται. Το r είναι ανάλογο του $1/B$.
2. Το φορτίο του σωματιδίου. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του e, τόσο μικρότερος θα είναι ο κύκλος, στον οποίο θα κινηθεί. Όσο αυξάνεται το e, το r ελαττώνεται. Το r είναι ανάλογο του $1/e$.
3. Την ταχύτητα v του σωματιδίου. Όσο ταχύτερα κινείται ένα σωματίδιο, τόσο λιγότερο μπορεί να εκτραπεί από ένα δεδομένο μαγνητικό πεδίο. Όσο αυξάνεται το v, αυξάνεται το r. Το r είναι ανάλογο του v.
4. Τη μάζα m του σωματιδίου. Όσο μεγαλύτερη μάζα έχει ένα σωματίδιο, τόσο λιγότερο εκτρέπεται από ένα δεδομένο πεδίο. Αυξανανόμενο το m, αυξάνεται το r. Το r είναι ανάλογο του m.

Όταν συνδυασθούν αυτά τα τέσσερα μεγέθη, καταλήγομε στην ακόλουθη εξίσωση, η οποία δείχνει την εξάρτηση της ακτίνας της κυκλικής τροχιάς από αυτά:

$$r = \frac{1}{B} \times \frac{1}{e} \times v \times m = \frac{m \times v}{B \times e} = \frac{m}{e} \times \frac{v}{B} \qquad (1)$$

Είναι σαφές ότι, αν είναι δυνατόν να μετρηθούν τα r, v και B, τότε μπορεί να υπολογισθεί ο λόγος e/m, γιατί τροποποιώντας την ανωτέρω εξίσωση λαμβάνομε την ακόλουθη:

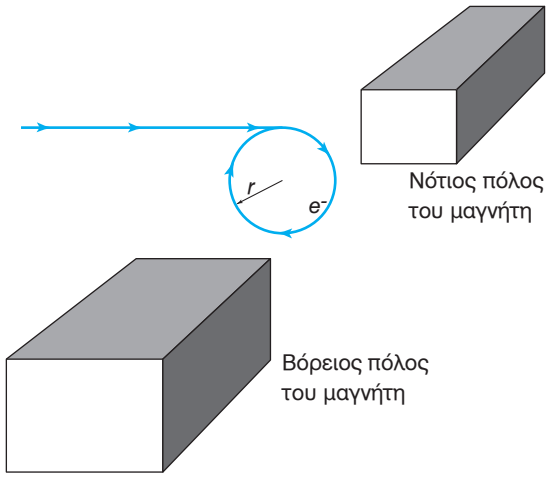
$$\frac{e}{m} = \frac{1}{r} \times \frac{v}{B} \qquad (2)$$

Στο πραγματικό πείραμα, ένα ρεύμα ηλεκτρονίων, που δημιουργείται από ένα θερμό νήμα και επιταχύνεται από μία υψηλή τάση, διέρχεται μέσα από ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, όπως φαίνεται στο σχήμα 9-16

Αν δεν υπάρχει πεδίο, η δέσμη των ηλεκτρονίων θα προσπέσει στη φθορίζουσα οθόνη, στο σημείο Α. Όταν δημιουργηθεί πεδίο, η δέσμη εκτρέπεται κατά απόσταση d και προσκρούει στην οθόνη στο σημείο Β. Η τροχιά που ακολουθούν τα ηλεκτρόνια μέσα από το μαγνητικό πεδίο είναι ένα τόξο κύκλου με ακτίνα r. Από τη μετρηθείσα απόκλιση d και τις διαστάσεις της συσκευής είναι εύκολο να υπολογισθεί αυτή η ακτίνα r.

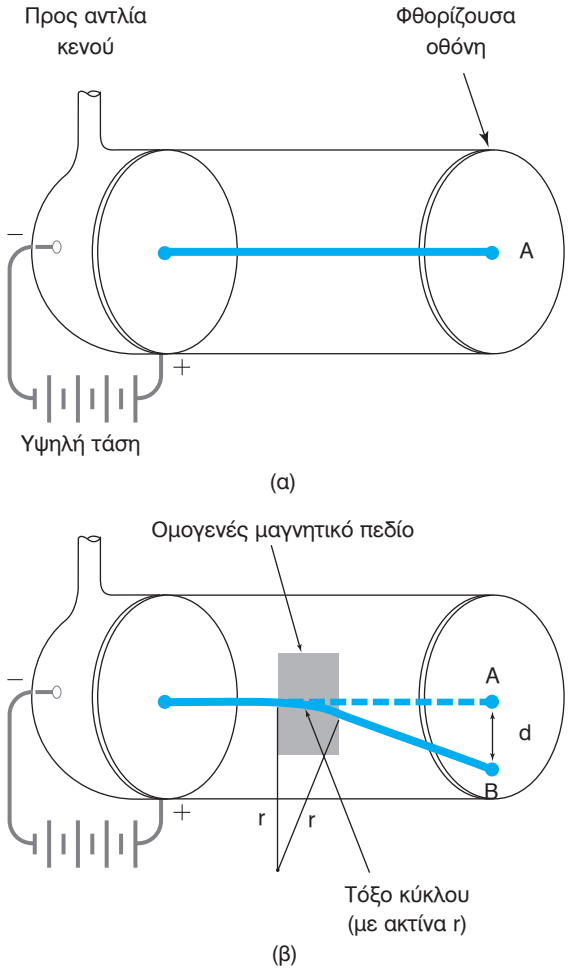
Η ένταση (B) του μαγνητικού πεδίου είναι δυνατόν να μετρηθεί ανεξάρτητα.

Το μόνο που χρειάζεται είναι η ταχύτητα v. Αυτή προσδιορίζεται από την υψηλή τάση, που επιτάχυνε τα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια χρειάζονται ένα ποσό κινητικής ενέργειας ίσο προς το φορτίο τους, πολλαπλασιασμένο επί την τάση V που χρησιμοποιήθηκε. Δηλαδή η κινητική τους ενέργεια είναι ίση με e x V. Η κινητική ενέργεια



ΣΧΗΜΑ 9-15. *Ένα φορτισμένο σωματίδιο, όπως το ηλεκτρόνιο, που εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο με κατεύθυνση κάθετη προς αυτήν του πεδίου θα διαγράψει κυκλική τροχιά.*

όμως ενός κινούμενου σώματος ορίζεται $1/2\ mv^2$



ΣΧΗΜΑ 9-16. *Μία δέσμη ηλεκτρονίων κατευθύνεται στο σημείο Α της οθόνης, ακολουθώντας ευθεία γραμμή (α). Όταν εφαρμοσθεί ένα μαγνητικό πεδίο, η τροχιά της δέσμης εκτρέπεται και προσκρούει στο σημείο Β της οθόνης (β).*

και από τον τύπο m και v είναι αντίστοιχα η μάζα και η ταχύτητα του σώματος. Έτσι:

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (3)$$

Αυτό τροποποιείται ως εξής:

$$v^2 = \frac{e}{m} \times 2V \qquad (4)$$

Αν τετραγωνίσομε και τα δύο μέρη της εξισώσεως (2) έχομε:

$$\frac{e^2}{m^2} = \frac{1}{r^2} \times \frac{v^2}{B^2}$$

Αν τώρα αντικατασταθεί η τιμή του v^2 από την εξίσωση (4) και στη συνέχεια τροποποιηθεί η εξίσωση, λαμβάνονται τα ακόλουθα:

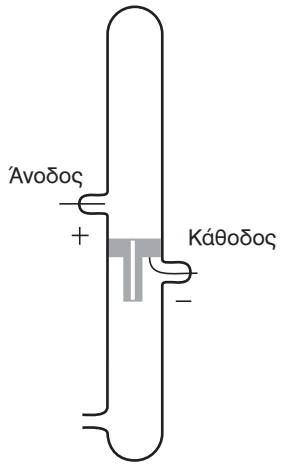
$$\frac{e^2}{m^2} = \frac{1}{r^2} \times \frac{\frac{e}{m} \times 2V}{B^2}$$
$$\frac{e^2}{m^2} \times \frac{m}{e} = \frac{1}{r^2} \times \frac{2V}{B^2} \qquad (5)$$
$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{r^2 B^2}$$

Τώρα το e/m εκφράζεται εξ ολοκλήρου συναρτήσει των ποσοτήτων, που είναι δυνατόν να μετρηθούν στο πείραμα: V (η επιταχύνουσα τάση), r (η καμπυλότητα της τροχιάς) και B (το μαγνητικό πεδίο που εφαρμόζεται).

9.8 *Ιόντα στα αέρια.*

Έχει γίνει η υπόθεση ότι τα άτομα αποτελούνται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια ώστε το συνολικό θετικό φορτίου όλων των πρωτονίων να ισοδυναμεί ακριβώς με το συνολικό αρνητικό φορτίο όλων των ηλεκτρονίων. Γι' αυτό το άτομο είναι ουδέτερο. Έχει όμως αναφερθεί ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν να αποσπασθούν από τα άτομα και να κινηθούν ανεξάρτητα από αυτά. Όταν απομακρυνθούν ηλεκτρόνια, θα παραμείνουν κάποια άτομα, από τα οποία θα λείπει ένα ή μερικά ηλεκτρόνια. Έτσι, αυτά τα ελλιπή σε ηλεκτρόνια άτομα θα είναι θετικά φορτισμένα και θα ονομάζονται ***ιόντα*** ή, ειδικότερα, θετικά ιόντα. Είναι δυνατόν επίσης να γίνουν πειράματα, στα οποία θα ανιχνευθούν θετικά ιόντα και θα μετρηθούν οι ιδιότητές τους (φορτίο και μάζα). Τα πειράματα αυτά είναι ανάλογα με αυτά που αναφέρθηκαν σχετικά με τα ηλεκτρόνια. Μπορεί να χρησιμοποηθεί ένας σωλήνας αερίου εκκενώσεως, ανάλογος με αυτόν που περιγράψαμε προηγουμένως, γιατί οι μετρήσεις δείχνουν ότι μαζί με τα ηλεκτρόνια υπάρχουν και θετικά ιόντα. Ενώ τα ηλεκτρόνια έλκονται προς ένα θετικό ηλεκτρόδιο, τα θετικά φορτισμένα ιόντα έλκονται προς την αντίθετη κατεύθυνση, προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα ιόντα αυτά μπορούν να κατευθυνθούν διά μέσου μιας συσκευής σαν δέσμη, ακριβώς όπως δημιουργήθηκε και σκόπευσε τη φθορίζουσα οθόνη η δέσμη των ηλεκτρονίων.

Το σχήμα 9-17 δείχνει ένα σωλήνα εκκενώσεως, που σχεδιάσθηκε από τον E. Goldstein το 1886 για την ανίχνευση των θετικών ιόντων. Είναι δυνατόν με εκτροπή της δέσμης των θετικών ιόντων στα ηλεκτρικά και μαγνητικά

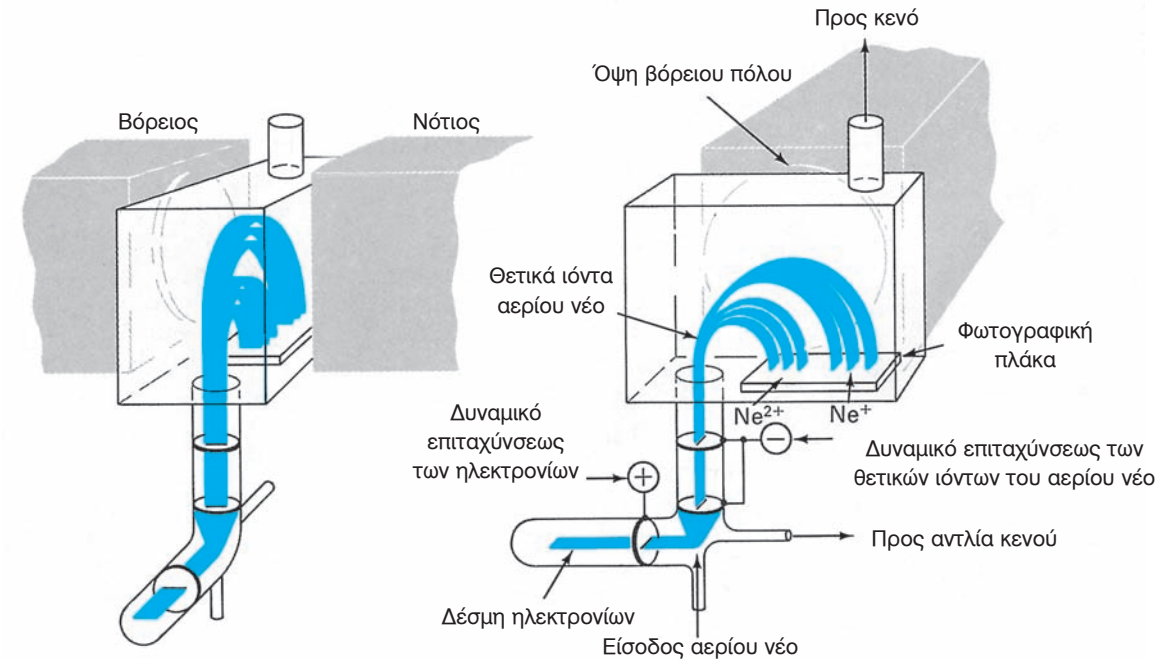


ΣΧΗΜΑ 9-17. *Σωλήνας εκκενώσεως τύπου Goldstein. Τα θετικά ιόντα περνούν προς τα κάτω, μέσα από το άνοιγμα της καθόδου.*

πεδία να μετρηθούν τα φορτία και οι μάζες των θετικών ιόντων.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτού του τύπου δείχνουν δύο πολύ σημαντικές διαφορές, σε σχέση με τις μετρήσεις που έγιναν επάνω σε ηλεκτρόνια. (1) Ο λόγος φορτίο/μάζα των θετικών ιόντων αλλάζει, όταν αλλάζει και το αέριο μέσα στο σωλήνα. Αντίθετα, όταν οι μετρήσεις του e/m γίνονται σε ηλεκτρόνια, λαμβάνεται πάντα η ίδια τιμή, ανεξάρτητα από το αέριο που χρησιμοποιείται. (2) Ο λόγος φορτίο/μάζα για τα θετικά ιόντα είναι πάρα πολύ μικρότερος από το e/m για τα ηλεκτρόνια. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα θετικά ιόντα σχηματίζονται από άτομα του αερίου μέσα στο σωλήνα. Επειδή έχει θεωρηθεί ότι το ηλεκτρικό φορτίο δημιουργείται με την απομάκρυνση ενός ή περισσοτέρων ηλεκτρονίων από ένα άτομο ή μόριο, η τιμή του λόγου (φορτίο/μάζα) για τα θετικά ιόντα εξαρτάται από το αέριο. Κάθε είδος ατόμου ή μορίου έχει μία ξεχωριστή μάζα. Επιστήμονες έχουν κατασκευάσει ένα μηχάνημα για τη μέτρηση της μάζας των θετικών ιόντων, που ονομάζεται ***φασματογράφος μάζας.*** Διάγραμμα ενός τύπου αυτού του οργάνου υπάρχει στο σχήμα 9-18.

Τα θετικά ιόντα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι δυνατόν να παραχθούν και να αναλυθούν με τη βοήθεια ενός σωλήνα εκκενώσεως. Συνήθως όμως προκύπτουν με το βομβαρδισμό αερίων από μία δέσμη ηλεκτρονίων. Αν τα ηλεκτρόνια βομβαρδισμού έχουν αρκετή ενέργεια, μπορούν να εκτοπίσουν ένα ή



ΣΧΗΜΑ 9-18. *Ένας φασματογράφος μάζας δίνει τη δυνατότητα στους επιστήμονες να βρουν τις μάζες των θετικών ιόντων. Στην προκειμένη περίπτωση το πείραμα γίνεται με τα ιόντα του στοιχείου νέο: συγκεκριμένα μετρούνται οι καμπύλες της τροχιάς τους μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Το νέο αποτελείται από τρία ισότοπα.*

περισσότερα ηλεκτρόνια από κάθε άτομο ή μόριο, με το οποίο θα συγκρουσθούν. Έτσι δημιουργούνται θετικώς φορτισμένα ιόντα.

Στο σχήμα 9-18 φαίνεται το αέριο νέο να εισέρχεται από το κάτω μέρος της συσκευής. Διέρχεται μέσα από τη δέσμη των ηλεκτρονίων και μερικά από τα άτομά του συγκρούονται με ηλεκτρόνια σχηματίζοντας ιόντα του αερίου νέο. Δημιουργούνται ιόντα Ne^{+} και Ne^{2+} και έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο, που έχει στο κέντρο του μία οπή. Μία δέσμη ιόντων περνάει μέσα από αυτό το ηλεκτρόδιο και κατευθύνεται με μεγάλη ταχύτητα προς το μαγνητικό πεδίο. Τα θετικά ιόντα, όταν εισέρχονται στο μαγνητικό πεδίο, ακολουθούν κυκλική τροχιά (η δύναμη εκτροπής, η ασκούμενη επάνω σε ένα φορτισμένο σωματίδιο, κινούμενο εντός ενός ομογενούς μαγνητικού πεδίου, έχει κυκλική κατεύθυνση). Το μεγέθος της καμπυλότητας της τροχιάς ενός ιόντος εξαρτάται και από τη μάζα, αλλά και από το φορτίο του, όταν το μαγνητικό πεδίο έχει σταθερή ένταση. Όσο μεγαλύτερη είναι η μάζα ενός ιόντος, τόσο μεγαλύτερη δύναμη χρειάζεται για να το εκτρέψει. Δηλαδή το μέγεθος της καμπυλότητας είναι αντιστρόφως ανάλογο προς τη μάζα του ιόντος. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο του ιόντος, τόσο μεγαλύτερη δύναμη ασκείται επάνω σε αυτό από το μαγνητικό πεδίο. Έτσι, το μέγεθος της καμπυλότητας είναι ευθέως ανάλογο προς το φορτίο του ιόντος.

Κάθε θετικό ιόν λοιπόν ακολουθεί μία κυκλική τροχιά, προκαθορισμένη από τη μάζα και το φορτίο του. Τα ιόντα, αφού διανύσουν ένα τόξο 180°C, συγκεντρώνονται επάνω σε μία φωτογραφική πλάκα. Η επαφή των ιόντων με τη φωτογραφική πλάκα δημιουργεί μία αντίδραση, με αποτέλεσμα το μαύρισμα της ευαίσθητης επιφάνειας, ακριβώς όπως γίνεται και με το φως. Μία τέτοια καταγραφή εμφανίζεται ως μία κηλίδα ή μία γραμμή για κάθε ιόν σε θέση, που καθορίζεται από το λόγο φορτίο προς μάζα. Αν το όργανο είναι ανάλογα ρυθμισμένο, είναι δυνατόν να καθορισθούν οι μάζες των διαφόρων ιόντων από τη θέση των κηλίδων ή των γραμμών επάνω στη πλάκα. Η καταγραφή αυτή ονομάζεται "φάσμα μάζας".

Όταν τοποθετηθεί μέσα στο φασματογράφο αέριο νέο, το φάσμα μάζας που λαμβάνεται αποτελείται από δύο σαφώς διαχωριζόμενες ομάδες, των τριών κηλίδων η κάθε μία. Οι τρεις κηλίδες που αντιστοιχούν στο μικρότερο μέγεθος καμπυλότητας ή εκτροπής δημιουργούνται από ιόντα αερίου νέο με ένα μόνο θετικό φορτίο. Οι τρεις κηλίδες που αντιστοιχούν στο μεγαλύτερο μέγεθος καμπυλότητας δημιουργούνται από διπλά φορτισμένα ιόντα. Οι τρεις ελαφρώς διαχωριζόμενες κηλίδες για κάθε ιονικό φορτίο δείχνουν ότι το νέο αποτελείται από άτομα με τρεις διαφορετικές μάζες. Άτομα του αυτού στοιχείου που έχουν διαφορετική μάζα ονομάζονται ***ισότοπα***. Θα εξετασθούν λεπτομερώς στο κεφάλαιο 10. Οι σχετικές αναλογίες των ισοτόπων προσδιορίζονται με μέτρηση της εντάσεως των κηλίδων, που δημιουργεί κάθε μία δέσμη ιόντων.

9.9 Ιόντα σε διάλυμα.

Ο απλούστερος τρόπος για να μελετηθούν κατ' αρχήν τα ιόντα είναι να παρατηρηθεί η συμπεριφορά τους μέσα σε σωλήνες κενού όπως είναι ο φασματογράφος μάζας. Όμως η ανακάλυψη των ιόντων έγινε πολύ πριν γίνουν αυτά τα πειράματα. Αν και τα πειράματα με αέρια ιόντα είναι απλά και σαφή, χρειάζονται για να διεξαχθούν τις πλέον πολύπλοκες συσκευές. Όμως ενδείξεις για την ύπαρξη και τη συμπεριφορά των ιόντων μπορούμε να λάβομε –και μάλιστα με απλούς σχετικά τρόπους– πειραματιζόμενοι και με τα διαλύματα. Μία τέτοια ένδειξη επισημάνθηκε ήδη από το 1830. Πολλές ουσίες διαλύονται στο νερό και δίνουν διαλύματα μέσα από τα οποία διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Από το καθαρό νερό όμως δεν περνά ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό μας οδηγεί να πιστεύομε ότι οι διαλυμένες ουσίες πρέπει να δημιουργούν φορτισμένα σωματίδια, που έχουν τη δυνατότητα να κινούνται, όταν βρεθούν κάτω από την επίδραση μιας τάσεως. Οι διαλυμένες ουσίες είναι ηλεκτρικά ουδέτερες και τα διαλύματα, στο σύνολό τους, είναι επίσης ηλεκτρικά ουδέτερα. Θα πρέπει λοιπόν να συμπεράνομε ότι οι διαλυμένες ουσίες διίστανται σε φορτισμένα σωματίδια έτσι, ώστε το σύνολο όλων των αρνητικών φορτίων να ισούται με το σύνολο όλων των θετικών φορτίων. Από μεγάλο αριθμό ενδείξεων προκύπτει ότι τα φορτισμένα σωματίδια μέσα στο διάλυμα δεν είναι απλώς πρωτόνια ή ηλεκτρόνια. Μάλλον είναι θετικά και αρνητικά ιόντα. Ό,τι αφορά τις ουσίες που διαλύονται σχηματίζοντας ιόντα και τις ιδιότητες των διαλυμάτων τους θα εξετασθεί με πολύ περισσότερες λεπτομέρειες σε επόμενα

κεφάλαια. Ο σκοπός εδώ είναι να φανεί απλά ότι τέτοια διαλύματα παρέχουν άμεσες ενδείξεις για την ηλεκτρική φύση της ύλης και δίνουν επιπρόσθετες λεπτομέρειες γύρω από αυτό το θέμα. Το απλό φαινόμενο ότι τα διαλύματα άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι μία σοβαρή ένδειξη ότι η ύλη αποτελείται από ηλεκτρικά φορτία, όμοια με αυτά στα οποία οφείλουν τα μέταλλα την ικανότητά τους να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Οπωσδήποτε, πολύ πιο ενδιαφέρουσες πληροφορίες μπορούν να εξαχθούν από τις χημικές μεταβολές, που επέρχονται, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται διά μέσου ορισμένων διαλυμάτων. Πειράματα, σχετικά με τα όσα έχουν αναφερθεί ως εδώ, έγιναν πρώτα από το μεγάλο Άγγλο χημικό Michael Faraday, περίπου το 1830. Ο Faraday οδηγήθηκε σε πολύ σωστά συμπεράσματα βασιζόμενος στα πειράματα που διεξήγαγε, αν και δε ήταν σε θέση να τα εξηγήσει όλα πλήρως, πράγμα που μπορεί να γίνει σήμερα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

9.10 Η σχέση ανάμεσα στα moles των ηλεκτρονίων και τα moles των μετάλλων που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρόλυση.

Στις αρχές του 1800 οι William Nicholson και Anthony Carlisle στην Αγγλία βρήκαν ότι ο ηλεκτρισμός θα μπορούσε να προκαλέσει χημικές μεταβολές διερχόμενος μέσα από διαλύματα. Με βάση την πληροφορία αυτήν ο Humphry Davy πειραματίσθηκε με τηγμένα άλατα και βρήκε ότι μπορούσε να τα αποσυνθέσει, με ηλεκτρικό ρεύμα που διαβίβαζε σε αυτά. Μία τέτοια διαδικασία είναι γνωστή ως ***ηλεκτρόλυση.*** Πιο πριν αναφέρθηκε ότι και το νερό μπορεί να αποσυντεθεί κατά τον ίδιο τρόπο.

Ο Michael Faraday, ο οποίος υπήρξε βοηθός του Davy στο Royal Institution, εξακολούθησε επί αρκετά χρόνια να βελτιώνει τα πειράματα του Davy. Το 1830, αφού συγκέντρωσε αρκετά στοιχεία, ήταν σε θέση να συμπεράνει ότι υπήρχε μία ακριβής σχέση ανάμεσα στις ποσότητες ηλεκτρισμού που χρησιμοποιήθηκαν και τις μάζες των χημικών ουσιών που αντιδρούσαν κατά τη διάρκεια των ηλεκτροχημικών διαδικασιών.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα και τα στοιχεία που θα χρησιμοποιήσετε φαίνονται στο σχήμα 9-19.

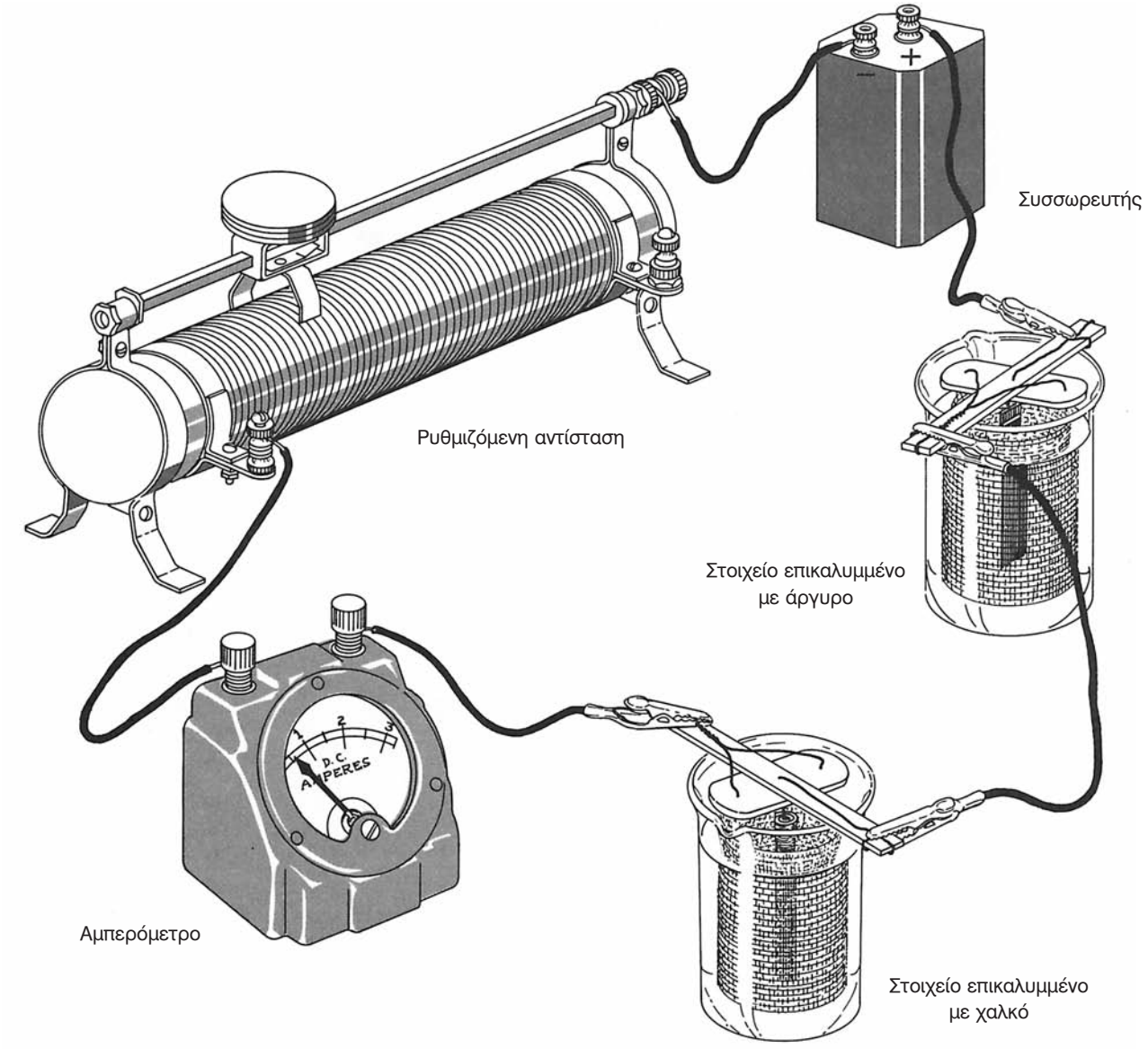
Η πηγή των ηλεκτρονίων μπορεί να είναι ή ένας συσσωρευτής, όπως φαίνεται στο σχήμα, ή ένα τροφοδοτικό που δίνει συνεχές ρεύμα. Το συνεχές ρεύμα είναι απαραίτητο ώστε τα ηλεκτρόνια να κινούνται μόνο προς μία κατεύθυνση μέσα στο κύκλωμα. Το αμπερόμετρο μετρά την ταχύτητα ροής των ηλεκτρονίων στο κύκλωμα. Οι μονάδες που υπάρχουν επάνω στο αμπερόμετρο είναι ***amperes.*** Ένα ampere είναι το ποσό εκείνο του ρεύματος που κυκλοφορεί, όταν $1{,}10 \times 10^{-5}$ moles* ηλεκτρονίων διέλθουν μέσα από μια διατομή του αγωγού σε ένα δευτερόλεπτο. Ο αριθμός αυτός των ηλεκτρονίων έχει συνολικό φορτίο ενός coulomb.

Η πηγή του συνεχούς ρεύματος αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να συνωστίζονται επάνω στο ένα από τα ηλεκτρόδια και να απομακρύνονται από το άλλο. Το κύκλωμα είναι πλήρες, όταν στο ένα ηλεκτρόδιο ένα ιόν ή μόριο, που βρίσκεται μέσα στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη, δέχεται ηλεκτρόνια, ενώ στο άλλο ηλεκτρόδιο ένα ιόν ή μόριο χάνει ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρόδιο που δίνει ηλεκτρόνια είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, γνωστό ως ***κάθοδος.*** Τα ηλεκτρόνια εναποτίθενται στο θετικό ηλεκτρόδιο, γνωστό ως ***άνοδος.***

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα αυτό θα εξετασθεί η σχέση ανάμεσα στον αριθμό των moles

* *Σ.τ.Μ. Βλέπε κεφ. 5 παράγρ. 11.*

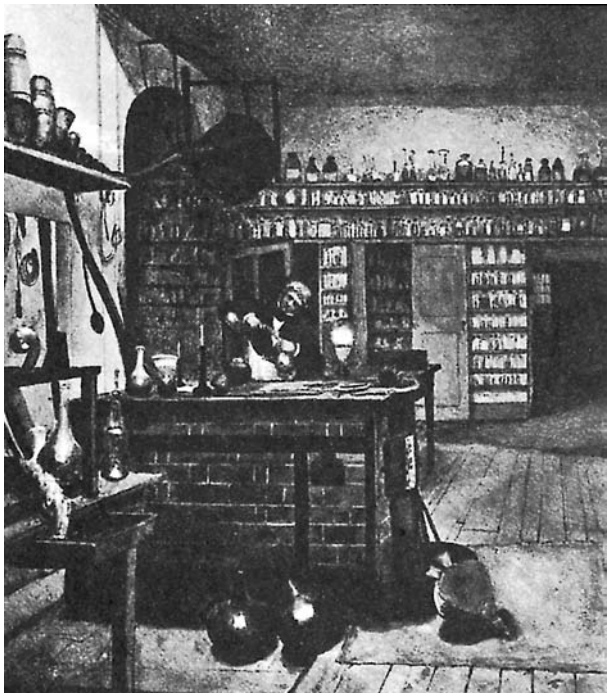


ΣΧΗΜΑ 9-19. *Ηλεκτρικό κύκλωμα και στοιχεία γι' αυτό το πείραμα.*

ηλεκτρονίων, που μετακινούνται, τον αριθμό των moles ατόμων χαλκού, που κερδίζουν ή χάνουν ηλεκτρόνια, και τον αριθμό των moles ατόμων αργύρου, που προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια.

ΥΛΙΚΑ

Όργανο μετρήσεως συνεχούς ρεύματος, 1 ampere
Ρυθμιζόμενη αντίσταση
4 ακροδέκτες (κροκοδειλάκια)
Χρονόμετρο
200 ml διάλυμα του ηλεκτρολύτη θειικού χαλκού
200 ml διάλυμα του ηλεκτρολύτη θει-
5 κομμάτια σύρματος χαλκού μονωμένο, μήκους 20-30 cm
2 κομμάτια φύλλου χαλκού, 6 x 16 cm
Μακρόστενο φύλλο μολύβδου, 2 x 7 cm, πάχους περίπου 1/16˝
Τετράγωνο φύλλο χαλκού, πλευράς 6 cm και πάχους 0,008 mm με προσαρμοσμένο επάνω του ένα χάλκινο



Ο Michael Faraday ενώ εργάζεται στο χημικό εργαστήριο του Βασιλικού Ινστιτούτου.

Michael Faraday (1791 - 1867)

Ο Michael Faraday, του οποίου ο πατέρας ήταν πεταλωτής στην Αγγλία, δεν έλαβε ποτέ τη βασική εκπαίδευση. Σε ηλικία 13 ετών ήταν το παιδί για τα θελήματα σε ένα βιβλιοπωλείο και ένα χρόνο αργότερα μαθήτευσε για μία επταετία στο ίδιο χώρο προκειμένου να γίνει βιβλιοδέτης, χαρτοπώλης και βιβλιοπώλης. Αν και έγινε σύντομα ένα ικανός βιβλιοδέτης, ταυτόχρονα έδειχνε ενδιαφέρον και για το περιεχόμενο των βιβλίων, κυρίως των επιστημονικών, και άρχισε να επαναλαμβάνει μερικά από τα απλούστερα πειράματα που περιγράφονταν σε αυτά. Αφού παρακολούθησε αρκετές δημόσιες επιστημονικές διαλέξεις και επιδείξεις, απευθύνθηκε στο Sir Humphry Davy για μία θέση στο εργαστήριό του, όπου προσλήφθηκε σύντομα.

Δουλεύοντας για πολλά χρόνια με τον Davy, ο Faraday τον βοήθησε στην κατασκευή του λαμπτήρα ασφαλείας των ορυχείων, που σχεδιάσθηκε, για να προλαμβάνει τις εκρήξεις από τα αέρια που υπάρχουν μέσα σε αυτά. Με την πάροδο του χρόνου, άρχισε να εκτελεί δικές του επιστημονικές έρευνες, που κάλυψαν ένα πλατύ πεδίο γνώσεων. Αρχικά μελέτησε ενώσεις του άνθρακα και του χλωρίου, ανάμεσα στις οποίες είναι και ο γνωστός τετραχλωράνθρακας. Αργότερα κατόρθωσε να απομονώσει την καθαρή ουσία βενζόλιο, έναν από τους σημαντικότερους υδρογονάνθρακες. Για ένα διάστημα πειραματίσθηκε με μεταλλικά κράματα, που ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή περισσότερο κοφτερών και ανθεκτικών λεπίδων.

Έγινε γνωστός κυρίως για τη εργασία του στον ηλεκτρισμό, το μαγνητισμό και την ηλεκτροχημεία. Η ανακάλυψή του (αν τοποθετηθεί ένα σύρμα που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα επάνω από ένα σταθερό μαγνήτη θα αρχίσει να περιστρέφεται) ήταν η βάση για την εφεύρεση του ηλεκτρικού κινητήρα. Κατόπιν, ανακάλυψε ότι, αν ένας μαγνήτης περάσει μέσα από ένα συρμάτινο ελατήριο, θα δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα σε αυτό το ελατήριο. Αυτή είναι η βασικότερη αρχή, στην οποία στηρίχθηκε η λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών. Αφού έκανε πολλά πειράματα, στα οποία διαβίβαζε ηλεκτρικό ρεύμα στα διαλύματα χημικών ουσιών διετύπωσε το θεμελιώδη νόμο της ηλεκτροχημείας, σύμφωνα με τον οποίο “ίσες ποσότητες ηλεκτρισμού εκφορτίζουν ισοδύναμες ποσότητες ιόντων στα δύο ηλεκτρόδια, οποιαδήποτε και αν είναι τα ιόντα”. Ακόμη πρότεινε τους περισσότερους από τους όρους, που χρησιμοποιούνται στην

οθειικού αργύρου
Πηγή συνεχούς ρεύματος, συσσωρευτές 6 volt ή τροφοδοτικό
σύρμα μήκους 5 cm ή, αν δεν υπάρχει φύλλο χαλκού, 80 cm λεπτό χάλκινο σύρμα (διαμέτρου #16)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Κατασκευάστε ένα στοιχείο χαλκού, παίρνοντας ως κάθοδο ένα κυλινδρικό έλασμα χαλκού και ως άνοδο ένα μακρόστενο κομμάτι τυλιγμένο ελικοειδώς, ή ένα πιο βαρύ σύρμα χαλκού, τυλιγμένο σαν σφικτό ελατήριο. Κρατήστε τα ηλεκτρόδια μόνο από τα σύρματα, που είναι προσαρμοσμένα επάνω τους. Διαφορετικά τα δάκτυλά σας θα αφήνουν αποτυπώματα λίπους, επάνω στα οποία δεν θα συγκρατηθεί σταθερά ο χαλκός που πρόκειται να εναποτεθεί.
2. Κατασκευάστε επίσης ένα στοιχείο αργύρου χρησιμοποιώντας ως κάθοδο έναν κύλινδρο από έλασμα χαλκού, καλυμμένο με άργυρο, και ως άνοδο ένα μακρόστενο φύλλο μολύβδου. Προσέξτε πάλι να μην αγγίξετε με τα δάκτυλά σας τα καθαρά ηλεκτρόδια.
3. Προσδιορίστε με ακρίβεια 0,01 g τη μάζα καθενός στεγνού και καθαρού κυλινδρικού ελάσματος.
4. Συνδέστε τα ηλεκτρόδια μέσα σε διαφορετικά ποτήρια ζέσεως των 250 ή 400 ml με ξύλινες λαβίδες ή με μανταλάκια, ακολουθώντας τις οδηγίες του καθηγητή σας. Βεβαιωθείτε ότι οι άνοδοι βρίσκονται ακριβώς στο κέντρο των κυλινδρικών καθόδων και ότι δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους.
5. Στερεώστε τις επαφές του κυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 9-19 αφήνοντας ελεύθερο ένα από τα καλώδια, που φθάνουν στη ρυθμιζόμενη αντίσταση, και ρυθμίστε την έτσι, ώστε να χρησιμοποιείτε τη μεγαλύτερη τιμή της. Ζητήστε από τον καθηγητή σας να ελέγξει τη διάταξη. Αν χρησιμοποιείτε αντί για συσσωρευτή ένα τροφοδοτικό μεταβαλλόμενης τάσεως, τότε δεν χρειάζεται η ρυθμιζόμενη αντίσταση. Συνδέστε τον αρνητικό πόλο του τροφοδοτικού κατ' ευθείαν με το όργανο μετρήσεως συνεχούς ρεύματος (αμπερόμετρο). Στη συνέχεια, θα μπορείτε να ρυθμίζετε το ρεύμα που κυκλοφορεί μέσα από το κύκλωμα, μεταβάλλοντας την τάση που βγαίνει από το τροφοδοτικό.
6. Προσθέστε το διάλυμα του ηλεκτρολύτη που περιέχει τα ιόντα χαλκού στο ποτήρι με τη χάλκινη άνοδο. Χρησιμοποιήστε τόσο διάλυμα, όσο απαιτείται για να καλυφθεί η κάθοδος από χάλκινο έλασμα.
7. Κατά ανάλογο τρόπο, προσθέστε το διάλυμα, που περιέχει τα ιόντα αργύρου, στο άλλο ποτήρι.
8. Πριν συνεχίσετε, βεβαιωθείτε ότι έχετε στη διάθεσή σας ένα χρονόμετρο. Τώρα προχωρήστε και στην τελευταία σύνδεση. Ρυθμίστε γρήγορα το ρεύμα στο ένα ampere, ελαττώνοντας την αντίσταση λειτουργίας από τη μεταβαλλόμενη αντίσταση ή αυξάνοντας την τάση του τροφοδοτικού. Σημειώστε την ώρα με ακρίβεια δευτερολέπτου.
9. Αφήστε το ρεύμα να κυκλοφορήσει για 30 λεπτά. Παρατηρήστε το αμπερόμετρο και φροντίστε να διατηρείτε το ρεύμα όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο ένα ampere, ρυθμίζοντας είτε τη μεταβαλλόμενη αντίσταση είτε το ρυθμιστή τάσεως του τροφοδοτικού.
10. Αποσυνδέστε ένα καλώδιο, για να διακόψετε το κύκλωμα και σημειώστε το χρόνο με ακρίβεια δευτερολέπτου. Ξεπλύντε τις δύο καθόδους βυθίζοντάς τες προσεκτικά σε ένα ποτήρι με κρύο νερό. Προσέξτε να μην κινήσετε τα ηλεκτρόδια βίαια, γιατί υπάρχει κίνδυνος να ξεκολλήσει το μέταλλο, που έχει εναποτεθεί επάνω τους.
11. Στη συνέχεια, ξεπλύντε τις καθόδους με ακετόνη, για να απομακρυνθούν οι

σταγόνες του νερού και αφήστε τες να στεγνώσουν για 2 ή 3 λεπτά.

12. Όταν οι κάθοδοι στεγνώσουν τελείως προσδιορίστε τη μάζα τους με τον ίδιο ζυγό που χρησιμοποιήσατε και προηγουμένως, με ακρίβεια 0,01 g.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πίνακες, σαν αυτούς που ακολουθούν, γραμμένοι στο τετράδιό σας, θα σας βοηθήσουν να οργανώσετε τα δεδομένα και τα αποτελέσματά σας. Όλες οι μάζες να μετρηθούν σε γραμμάρια.

Α. Κάθοδος από χαλκό.
Μάζα του ελάσματος με την επικάλυψη του Cu.
Μάζα του ελάσματος στην αρχή.
Μάζα του στρώματος Cu που έχει εναποτεθεί.

Β. Κάθοδος με επικάλυψη αργύρου.
Μάζα του ελάσματος με την επικάλυψη του Ag.
Μάζα του ελάσματος στην αρχή.
Μάζα του στρώματος Ag που έχει εναποτεθεί.

Γ. Χρόνος που πέρασε.
Χρόνος μέχρι το τέλος του πειράματος.
Χρόνος στην αρχή του πειράματος.
Χρόνος που διήρκεσε η ροή των ηλεκτρονίων.

Υπολογισμοί.

1. Υπολογίσετε σε γραμμάρια τις μάζες του χαλκού (Cu) και του αργύρου (Ag) που έχουν εναποτεθεί. Να συμπεριλάβετε και τα σφάλματα αβεβαιότητας στα αποτελέσματά σας.
2. Υπολογίστε τον αριθμό των moles του κάθε μετάλλου που έχει εναποτεθεί.
3. Υπολογίστε το λόγο: moles Ag/moles Cu.
4. Αξιολογήστε τα όρια σφάλματος στον παραπάνω λόγο των moles.
5. Υπολογίστε τον αριθμό των coulombs ηλεκτρισμού που καταναλώθηκαν. Η ταχύτητα ροής των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα κύκλωμα μετρείται με amperes, δηλαδή με τον αριθμό των coulombs, που περνούν από συγκεκριμένο σημείο σε ένα δευτερόλεπτο*. Έτσι, ο συνολικός αριθμός των coulombs υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας το ρεύμα, σε amperes, επί το χρονικό διάστημα, σε δευτερόλεπτα (coulombs/δευτ. x δευτ. = συνολικά coulombs).
6. Υπολογίστε τον αριθμό των moles ηλεκτρονίων, που χρησιμοποιήθηκαν. Στην αρχή αυτού του πειράματος βρήκατε ότι, όταν ρεύμα εντάσεως ενός ampere κυκλοφορήσει επί ένα δευτερόλεπτο, τότε θα έχει κυκλοφορήσει ένας αριθμός ηλεκτρονίων ίσος με $1{,}04 \times 10^{-5}$ moles. Έτσι, τα moles των ηλεκτρονίων είναι ίσα με $1{,}04 \times 10^{-5}$ επί τον αριθμό των coulombs (moles ηλεκτρονίων/coulombs x coulombs = moles ηλεκτρονίων).

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πόσα moles ηλεκτρονίων χρειάζονται, για να εναποτεθεί: (α) Ένα mole Ag. (β) Ένα mole Cu;

---

* *Σ.τ.Μ. Βλέπε παραγράφους 9.6 και 9.10.*

2. Πόσα ηλεκτρόνια προσλαμβάνει κάθε ιόν αργύρου, όταν φθάνει στηνκάθοδο; Πόσα ηλεκτρόνια προσλαμβάνει κάθε ιόν χαλκού, όταν και αυτό εναποτίθεται στην κάθοδο;

9.11 Ιόντα, άτομα και ηλεκτρόνια.

Ο τύπος του πειράματος που μόλις πραγματοποιήθηκε οδηγεί σε μερικά πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Σε ανάλογα πειράματα διαπιστώνομε ότι με το ίδιο ποσό ηλεκτρισμού εναποτίθενται πάντα ο ίδιος αριθμός moles από οποιοδήποτε μέταλλο. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε άτομο μετάλλου απαιτείται κάποιο απολύτως συγκεκριμένο ηλεκτρικό φορτίο. Ας δεχθούμε ότι ένα άτομο μετάλλου φθάνει και επικάθεται στην κάθοδο, όταν έχουν μεταφερθεί αρκετά ηλεκτρόνια στο θετικό ιόν, ώστε να το εξουδετερώσουν.

Το πρώτο πράγμα που μπορείτε να συμπεράνετε από το προηγούμενο πείραμα είναι ότι τα ιόντα χαλκού φέρουν επάνω τους διπλάσιο θετικό φορτίο από τα ιόντα αργύρου. Αυτός είναι ο λόγος, που με ορισμένο αριθμό coulombs εναποτίθενται μόνο τα μισά moles χαλκού από ό,τι αργύρου. Το ότι ο λόγος των φορτίων δύο διαφορετικών ιόντων είναι ακέραιος αριθμός (με κάποιο πειραματικό σφάλμα), προϋποθέτει ότι τα φορτία έρχονται ως καλοδιαμορφωμένα "πακέτα". Κάθε ιόν έχει λοιπόν ένα ορισμένο αριθμό από αυτά τα πακέτα φορτίου. Οι λόγοι των φορτίων διαφορετικών ιόντων είναι συνήθως μικροί ακέραιοι αριθμοί ή και μισοί αριθμοί. Για παράδειγμα, θα πρέπει να υπάρχουν λόγοι όπως: 2 : 2 = 1, 2 : 1 = 2, 3 : 1 =3, 4 : 2 = 2, ή και 3 : 2 = 1½. Για συντομία, μπορούμε να πούμε ότι το πρώτο συμπέρασμα, στο οποίο καταλήξαμε με τα πειράματα της ηλεκτρολύσεως, είναι ότι το ηλεκτρικό φορτίο των ιόντων εμφανίζεται σε καθορισμένα ποσά (πακέτα).

Τώρα όμως τα πράγματα προκαλούν ακόμη περισσότερο το ενδιαφέρον μας. Αν ένα πείραμα, όπως αυτό που μόλις εκτελέσατε, γίνει με όργανα και χρονόμετρα μεγαλύτερης ακριβείας, θα δείξει ότι, για να εναποτεθεί ένα mole αργύρου, απαιτούνται 96.500±100 coulombs ηλεκτρισμού. Επειδή σε ένα mole υπάρχουν 6,02 x 10^{23} (αριθμός του Avogadro) άτομα, είναι εύκολο να υπολογίσομε πόσο αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο πρέπει να προσφερθεί σε κάθε ιόν αργύρου, για να το μετατρέψει σε ουδέτερο άτομο.

Φορτίο ανά ιόν Ag =

$$= \frac{(9,65 \pm 0,01) \times 10^{4} \text{ coulombs / mole}}{6,02 \times 10^{23} \text{ άτομα / mole}}$$

$$= (1,60 \pm 0,0017) \times 10^{-19}$$

$$= 1,60 \times 10^{-19} \frac{\text{coulomb}}{\text{άτομο}}$$

Μήπως αυτός ο αριθμός εκφράζει κάτι πολύ σπουδαίο; Αν όχι, πηγαίνετε πίσω στην παράγραφο 9.6. Με κάποια πειραματική αβεβαιότητα είναι το φορτίο ενός ηλεκτρονίου;

Έτσι, τώρα εξάγονται τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

1. Ο ηλεκτρισμός μεταφέρεται μέσα στα καλώδια και τα διαλύματα με ηλεκτρόνια*.
2. Τα άτομα μετάλλων μετατρέπονται σε θετικά ιόντα χάνοντας ένα, δύο ή και κάποιον άλλο ακέραιο αριθμό ηλεκτρονίων.
3. Το ιόν του αργύρου έχει φορτίο 1+, ενώ το ιόν χαλκού έχει φορτίο 2+. Τα αντίστοιχα σύμβολα είναι Ag^+ και Cu^{2+}.
4. Αν με e^- παριστάνομε το φορτίο ενός ηλεκτρονίου, τότε για τις αντιδράσεις που γίνονται στις καθόδους των πειραματικών διατάξεών σας γράφονται οι παρακάτω αντιδράσεις:

$$Ag^+ + e^- = Ag$$
$$Cu^{2} + 2e^- = Cu$$

Περίληψη.

Από διάφορες πηγές μας έρχονται λεπτομερείς ενδείξεις για την ηλεκτρική φύση της ύλης. Είναι εύκολο να δείξομε ότι υπάρχει νέφος ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων στους σωλήνες κενού και στους σωλήνες εκκενώσεως αερίων. Αν μετρηθεί η συμπεριφορά αυτών των ρευμάτων μέσα σε μαγνητικά και ηλεκτρικά πεδία, μπορούν να καθορισθούν οι μάζες των ιόντων και των ηλεκτρονίων. Από τη μελέτη διαλυμάτων που άγουν τον ηλεκτρισμό

* *Σ.τ.Μ. Στα διαλύματα γίνεται μετακίνηση τον ιόντων, φορτισμένων δηλαδή σωματιδίων που έχουν πλεόνασμα ή έλλειψη ηλεκτρονίων.*

προκύπτουν πολύ σοβαρές ενδείξεις για τα ακόλουθα: (1) Η μικρότερη μονάδα αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου είναι το ηλεκτρόνιο και (2) θετικά ιόντα σχηματίζονται με την απώλεια ενός ακεραίου αριθμού ηλεκτρονίων –συνήθως ενός, δύο ή τριών– από ένα άτομο.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιο είδος πειράματος μας δείχνει ότι ο σωλήνας κενού και ο σωλήνας εκκενώσεως αερίου περιέχουν νέφος σωματιδίων;
2. Οι μάζες των θετικών ιόντων προσδιορίζονται με ένα φασματογράφο μάζας. Πώς λειτουργεί αυτό το όργανο;
3. Τι είναι ένα θετικό ιόν;
4. Πώς ονομάζεται η μικρότερη ποσότητα αρνητικού φορτίου;

Περίληψη κεφαλαίου

Η ύπαρξη ηλεκτρικών φορτίων στην ύλη είναι μια από τις βασικές ιδιότητές της. Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων, τα οποία ονομάζομε αρνητικά και θετικά. Ένα σώμα που δεν έχει ηλεκτρικό φορτίο λέγεται ουδέτερο. Όνα σώμα είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, όταν σε αυτό συνυπάρχουν αρνητικά και θετικά φορτία σε ίσα ποσά.

Ομώνυμα φορτία (δηλαδή και τα δύο θετικά ή και τα δύο αρνητικά) απωθούνται, ενώ ετερώνυμα έλκονται. Ο νόμος του Coulomb ορίζει ότι η δύναμη έλξεως ή απώσεως αυξάνεται ανάλογα με το γινόμενο των δύο φορτίων, δηλαδή $q_1 \times q_2$. Ο ίδιος νόμος ορίζει επίσης ότι η δύναμη ελαττώνεται σύμφωνα με το τετράγωνο της αποστάσεως d, που χωρίζει τα φορτία. Η δύναμη είναι ανάλογη προς το $1/d^2$. Η πλήρης αλγεβρική διατύπωση του νόμου του Coulomb είναι: Δύναμη $= (q_1 \times q_2)/d^2$. Αν πρόκειται για ομώνυμα φορτία, η δύναμη έχει θετικό πρόσημο και είναι απωθητική. Αν αντιθέτως τα φορτία είναι ετερώνυμα, η δύναμη έχει αρνητικό πρόσημο και είναι ελκτική.

Οι βασικοί φορείς θετικών και αρνητικών φορτίων είναι σωματίδια, που ονομάζονται αντίστοιχα πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Το θετικό φορτίο ενός πρωτονίου είναι ίσο σε μέγεθος και αντίθετο σε πρόσημο από το αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου. Τα αντικείμενα αποκτούν φορτία, όταν η ισορροπία πρωτονίων-ηλεκτρονίων διαταραχθεί από κάποια εξωτερική αιτία, όπως η τριβή.

Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η διέλευση των ηλεκτρονίων μέσα από ένα σώμα, από μία αρνητική περιοχή προς μία θετική. Είναι δυνατόν να αναγκάσομε μία δέσμη ηλεκτρονίων να διασχίσει ένα κενό χώρο κατευθυνόμενη από ένα θερμό, αρνητικά φορτισμένο, ηλεκτρόδιο προς ένα θετικά φορτισμένο. Η συμπεριφορά της δέσμης ηλεκτρονίων αυτού του είδους που μπορεί να εκτραπεί από ένα μαγνητικό πεδίο και να παρεμποδιστεί από κάποιο στερεό αντικείμενο, δείχνει ότι τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα σωματίδια. Η μάζα και το φορτίο του ηλεκτρονίου έχουν μετρηθεί.

Τα άτομα είναι ουδέτερα, γιατί περιέχουν ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια είναι δυνατόν να αποσπασθούν από ένα άτομο. Το θετικά φορτισμένο σωματίδιο που παραμένει ονομάζεται θετικό ιόν. Θετικά ιόντα είναι δυνατόν να μελετηθούν σε σωλήνες εκκενώσεως αερίου. Οι μάζες τους προσδιορίζονται από την τροχιά της καμπύλης που ακολουθούν μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Η συσκευή που χρησιμοποιείται γι' αυτόν το σκοπό ονομάζεται φασματογράφος μάζας. Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε ότι είναι πιθανόν να υπάρχουν άτομα του ίδιου στοιχείου, που έχουν διαφορετικές μάζες. Αυτά ονομάζονται ισότοπα.

Και τα δύο, τα αρνητικά και τα θετικά ιόντα, σχηματίζονται και σε μερικά διαλύματα. Όταν τοποθετηθούν ηλεκτρόδια σε ένα τέτοιο διάλυμα και εφαρμοσθεί κάποια τάση, τότε τα θετικά ιόντα, που ονομάζονται κατιόντα, κινούνται προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται κάθοδος. Τα αρνητικά ιόντα, που ονομάζονται ανιόντα, κινούνται προς το θετικό ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται άνοδος.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Περιγράψτε μερικά φαινόμενα που στηρίζουν

την άποψη περί της ηλεκτρικής φύσεως ολόκληρης της ύλης.

2. Αφού υποθέσαμε ότι η ύλη περιέχει θετικά και αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, εξηγήστε το γεγονός ότι τα περισσότερα υλικά συνήθως είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.
3. Όταν τρίψομε μια πλαστική ή από σκληρό ελαστικό ράβδο σε ένα κομμάτι γούνας:
   (α) Τι είδους φορτίο αποκτά η ράβδος;
   (β) Τι είδους φορτίο αποκτά η γούνα;
   (γ) Ποιο ήταν το αρχικό φορτίο του καθενός;
4. Αν φορτίσετε ηλεκτρικά μία κτένα κτενίζοντας τα μαλλιά σας, τι θα συμβεί, αν στη συνέχεια φέρετε αργά την κτένα κοντά στα μαλλιά σας; Εξηγήστε.
5. Περιγράψτε σύντομα τι θα συμβεί σε ένα αντικείμενο, όταν αυτό αποκτήσει θετικό ηλεκτρικό φορτίο.
6. Είναι δυνατόν να μετατραπεί ένα ηλεκτρικά ουδέτερο αντικείμενο σε αρνητικά φορτισμένο, με απομάκρυνση ενός ή περισσοτέρων πρωτονίων από τα άτομά του; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
7. Τι συμβαίνει με τη δύναμη ανάμεσα σε δύο φορτισμένα σώματα: (α) Αν η μεταξύ τους απόσταση μειωθεί στο μισό, (β) αν η απόσταση τριπλασιασθεί και (γ) αν η απόσταση ανάμεσα στα δύο σώματα παραμείνει η ίδια και το φορτίο του κάθε σώματος διπλασιασθεί; Προκειμένου να απαντήσετε βασισθείτε στο νόμο του Coulomb.
8. Γιατί υποστηρίζουν οι επιστήμονες ότι υπάρχουν μόνο δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων;
9. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα σε ένα άτομο και ένα ιόν;
10. Για να φορτισθεί θετικά ένα άτομο, θα πρέπει να απομακρυνθούν από αυτό όλα τα αρνητικά φορτία; Εξηγήστε.
11. Κάποια εποχή οι επιστήμονες πίστευαν ότι το ηλεκτρικό ρεύμα κυκλοφορεί από το θετικό στον αρνητικό πόλο. Από όσα μάθατε γύρω από τα ηλεκτρόνια να αποδείξετε γιατί κάτι τέτοιο είναι αδύνατον να συμβεί.
12. Ας υποθέσομε ότι τρίψατε μία σκληρή λαστιχένια ράβδο σε ένα κομμάτι γούνας και μία γυάλινη ράβδο σε ένα κομμάτι από μετάξι. Σημειώστε αν κάθε μία από τις φράσεις που ακολουθούν είναι αληθής ή ψευδής και δικαιολογήστε εν συντομία την απάντησή σας.
   (α) Το γυαλί θα έλξει τη γούνα.
   (β) Το μετάξι θα έλξει τη γούνα.
   (γ) Το γυαλί θα έλξει το λάστιχο.
13. Ποιο από τα ιόντα των παρακάτω ζευγών θα εκτραπούν από τους μαγνήτες ενός φασματογράφου μάζας ακολουθώντας μία κυκλική τροχιά με τη μεγαλύτερη καμπυλότητα; (α) K^+ ή K^{2+}; (β) Ένα ελαφρό ισότοπο του ιόντος Ca^{2+} ή ένα βαρύτερο ισότοπο του ιόντος Ca^{2+}; Εξηγήστε.
14. Αν με Cu, Cu^{2+} και e^- συμβολίζαμε αντίστοιχα ένα άτομο χαλκού, ένα ιόν Cu και ένα ηλεκτρόνιο, γράψτε την εξίσωση της αντιδράσεως, που λαμβάνει χώρα στη χάλκινη άνοδο ενός ηλεκτρολυτικού στοιχείου.
15. Σήμερα γνωρίζομε ότι δύο ισότοπα του ίδιου στοιχείου έχουν ίδιους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων στα άτομά τους, όμως τα άτομα έχουν διαφορετική μάζα. Οι επιστήμονες το 1920 είχαν υποθέσει την ύπαρξη ενός σωματιδίου χωρίς φορτίο, το οποίο ονόμασαν νετρόνιο. Το σωματίδιο αυτό πειραματικά ανιχνεύθηκε το 1932. Αν ήσαστε στη θέση τους, ποια πιθανή εξήγηση θα δίνατε για τη διαφορά στις μάζες των δύο ισοτόπων του ίδιου στοιχείου;
16. Γιατί ο J.J. Thomson δεν ήταν σε θέση να υπολογίσει τη μάζα ενός ηλεκτρονίου, μέχρι που ο Millikan προσδιόρισε το φορτίο του;
17. Στη δίοδο του κενού σωλήνα που φαίνεται στο σχήμα 9-7 είδατε ότι, όταν θερμανθεί η κάθοδος, αρχίζει να κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο κύκλωμα. Τι θα περιμένατε να συμβεί, αν αντιστρέφατε τα καλώδια που καταλήγουν στους συσσωρευτές (κάτω στο σχήμα) έτσι, ώστε το θερμαινόμενο ηλεκτρόδιο να γίνει άνοδος και το ψυχρό ηλεκτρόδιο κάθοδος; Εξηγήστε (αφού απαντήσετε σε αυτήν την ερώτηση, ίσως να θέλετε να μάθετε και τη σημασία ενός ανορθωτή κενού σωλήνα, ο οποίος εξασφαλίζει συνεχές ρεύμα στα ηλεκτρονικά κυκλώματα).
18. Τα σωματίδια της σκόνης είναι δυνατόν να απομακρυνθούν από τον αέρα, αν διασχίσουν ένα χώρο όπου γίνονται ηλεκτρικές εκκενώσεις και στη συνέχεια διέλθουν διά μέσου ενός ζεύγους αντίθετα φορτισμένων μεταλλικών πλακών. Εξηγήστε πώς απομακρύνεται η σκόνη με αυτήν τη διάταξη. (Ηλεκτροστατικά φίλτρα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται συχνά στις μονάδες

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και σε άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την κατακράτηση των πολύ λεπτών σωματιδίων του καπνού, ώστε να μην μολύνεται ο γύρω αέρας).

19. Όταν μερικά σταγονίδια λαδιού εισέλθουν στο θάλαμο παρατηρήσεως της συσκευής του Millikan, τότε ανοίγομε και ρυθμίζομε την τάση. Ένα σταγονίδιο πιθανόν να παραμείνει στάσιμο, μερικά ίσως κινηθούν προς τα επάνω, ενώ άλλα ίσως και να πέσουν κάτω. Να εξηγήσετε αυτές τις παρατηρήσεις.
20. Πόσα ηλεκτρόνια έχουν βάρος 1 g; Ποια θα είναι η μάζα ενός mole ηλεκτρονίων;
21. Αν χρειάζονται *n* coulombs, για να εναποτεθούν 0,119 g κασσίτερου από ένα διάλυμα $SnSO_4$, πόσα coulombs χρειάζονται, για να εναποτεθούν 0,119 g κασσίτερου από ένα διάλυμα $Sn(SO_4)_2$;

   Σημείωση: Και οι δύο ενώσεις διαλύονται και σχηματίζουν ιόντα SO_4^{2-}.
22. Ένα κύκλωμα είναι έτσι συνδεδεμένο, ώστε να κυκλοφορούν συνεχώς επί 2,0 ώρες 0,6 amperes ρεύματος. Σε αυτό το χρονικό διάστημα πόσα coulombs ηλεκτρισμού, πόσα moles ηλεκτρονίων και πόσα ηλεκτρόνια έχουν διέλθει;
23. Το αέριο σε ένα σωλήνα γεμάτο με νέο αρχίζει να ακτινοβολεί, όταν η πίεση στο σωλήνα μειωθεί περίπου στο 0,01 ή 10^{-2} atm. Αν μειωθεί ακόμη περισσότερο η πίεση, περίπου στο 10^{-6} atm, η λάμψη εξαφανίζεται. Αν ένα mole αερίου καταλαμβάνει 24,0 l σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 20°C, να βρείτε πόσα μόρια θα υπάρχουν σε κάθε κυβικό εκατοστό αερίου του σωλήνα, όταν εμφανίζεται η λάμψη. Επίσης να βρείτε πόσα μόρια θα έχουν παραμείνει σε κάθε κυβικό εκατοστό αερίου, όταν η λάμψη εξαφανίζεται, στη χαμηλότερη πίεση. Υποθέστε ότι ο σωλήνας λειτουργεί στη θερμοκρασία των 20°C.
24. Δύο αντικείμενα, το καθένα με ένα ηλεκτρικό φορτίο 3–, αιωρούνται σε απόσταση 2 mm το ένα από το άλλο. Δύο αντικείμενα, το καθένα με ηλεκτρικό φορτίο 4+, αιωρούνται σε απόσταση 3 mm το ένα από το άλλο:

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ



Η φύση του ατόμου

Η χημεία ασχολείται με τις αντιδράσεις και τις ιδιότητες των ποικίλων μορφών της ύλης. Όλες αυτές οι μορφές της ύλης αποτελούνται από άτομα, τα οποία συνδυάζονται με άπειρους τον αριθμό τρόπους. Είναι λοιπόν ευνόητο ότι για να κατανοήσομε τη χημεία, θα πρέπει απαραιτήτως να κατανοήσομε τα άτομα.

Η κατανόηση των ατόμων δεν είναι εύκολη. Δεν μπορούμε να δούμε μεμονωμένα άτομα. Τα προσεγγίζομε έμμεσα, μέσα από πολλά ερευνητικά πειράματα και με λογικά πορίσματα που βασίζονται σε αυτά. Διαπιστώνομε επίσης ότι οι λειτουργίες στο εσωτερικό σωματιδίων τόσο μικροσκοπικών όσο τα άτομα δεν είναι δυνατόν να περιγραφούν με τις ίδιες φυσικές αρχές, που χρησιμοποιούμε για την περιγραφή μεγάλων, καθημερινής χρήσεως σωμάτων. Έτσι, έπρεπε να αναπτυχθεί μια νέα ομάδα αρχών, η οποία ονομάσθηκε κβαντομηχανική.

Στην ενότητα αυτή θα μάθετε πώς δομούνται τα άτομα, από άλλα στοιχειώδη σωματίδια και πώς περιγράφονται οι ενέργειες και άλλες σημαντικές ιδιότητες των ατόμων σύμφωνα με τις αρχές της κβαντομηχανικής. Τέλος, θα μάθετε πώς η γνώση της δομής του ατόμου σας βοηθά να κατανοήσετε το γιατί ο περιοδικός πίνακας οδηγεί στη συσχέτιση των χημικών ιδιοτήτων των στοιχείων, πράγμα εξαιρετικά χρήσιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Η δομή του ατόμου



Ο λόρδος Ernest Ratherford κατά τη διάρκεια μιας τυπικής εξετάσεως των φοιτητών του, όταν ήταν διευθυντής του εργαστηρίου Cavendish, στο Πανεπιστήμιο του Cambridge.

Οι πρώτες ερωτήσεις που αφορούν στα άτομα είναι αυτές που έχουν σχέση με την περιγραφή της βασικής τους μορφής. Πόσο μεγάλα είναι; Πώς βρίσκονται τοποθετημένα τα θετικά και τα αρνητικά συστατικά τους; Υπάρχουν άλλα σωματίδια, εκτός από τα θετικά και τα αρνητικά φορτισμένα μέσα στο άτομο; Πώς μπορούμε να υπολογίσομε τη μάζα των ατόμων;

Πριν ασχοληθούμε με τη διερεύνηση προβλημάτων πιο ειδικών ή πολυπλόκων θα πρέπει να γνωρίζομε τις απαντήσεις σε αυτές και σε άλλες ανάλογες ερωτήσεις, όπως: Ποιες ενεργειακές καταστάσεις είναι δυνατές για τα άτομα; Πώς μπορούν να συνδεθούν τα άτομα, για να δημιουργήσουν μόρια;

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε πώς οι επιστήμονες με το πείραμα και το συλλογισμό ανακάλυψαν τη βασική δομή του ατόμου. Επίσης, θα δούμε πώς μπορεί μία ιδέα - ένα πρότυπο - να δοκιμασθεί στην πράξη και να ελεγχθεί κατά πόσο συμφωνεί ή όχι με τα πειραματικά δεδομένα, ώστε μετά από αυτήν τη δοκιμασία να γίνει αποδεκτό ή να απορριφθεί. Τέλος, θα συζητηθεί η αρχή, το πρότυπο του ατόμου που εμείς δεχόμαστε τώρα, ακριβώς γιατί έχει περάσει όλες τις εμπειρικές δοκιμασίες.

Τα άτομα έχουν καθορισμένο σχήμα

10.1 Πειράματα σκεδάσεως του Rutherford.

Τα πειράματα που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα έδειξαν ότι τα άτομα αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια, που ονομάζονται πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Είναι γνωστό ότι ηλεκτρόνια μπορούν να αποσπασθούν από τα άτομα και έτσι να δημιουργηθούν θετικά ιόντα. Είναι επίσης δυνατόν μερικά άτομα να δεχθούν ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια και να σχηματίσουν αρνητικά ιόντα. Οι μάζες και τα φορτία των διαφόρων ιόντων ή ηλεκτρονίων μπορούν να μετρηθούν. Αλλά παραμένει ένα μεγάλο ερωτηματικό: Ποια είναι η διάταξη των αρνητικών και των θετικών σωματιδίων μέσα στα άτομα; Ποιο είναι το σχήμα ή η δομή ενός ατόμου; Μέχρι το κεφάλαιο αυτό δεν έχετε ακόμη αποκτήσει αυτήν τη γνώση, γεγονός που ίσχυε και για τους επιστήμονες μέχρι το 1898.

Το 1898 ο J.J. Thomson, ο οποίος είχε διεξαγάγει μερικά από τα πειράματα που βοήθησαν στον προσδιορισμό της έννοιας του ηλεκτρονίου, πρότεινε το πρώτο ολοκληρωμένο πρότυπο της δομής του ατόμου. Σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, το άτομο ήταν σαν μία σφαίρα θετικού ηλεκτρισμού, στην οποία τα ηλεκτρόνια ήταν διασκορπισμένα, όπως οι σταφίδες σε ένα κέικ. Βέβαια ο Thomson, είχε φαντασθεί έτσι το πρότυπό του, ώστε να μπορεί να εξηγεί τις εμπειρικές αλήθειες, που ο ίδιος ήξερε μέχρι τότε. Αυτές οι αλήθειες περιελάμβαναν και αυτές που ήδη έχουν αναφερθεί, δηλαδή ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν μάλλον εύκολα να αποσπασθούν από τα άτομα, ενώ τα θετικά σωματίδια δεν μπορούν. Αν και το πρότυπο του Thomson συμφωνούσε με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, δεν ήταν χρήσιμο, προκειμένου να προβλέψει ή να εξηγήσει όλες τις ιδιότητες του ατόμου. Τελικά το 1911, μια σειρά πειραμάτων, που διεξήχθησαν από τον Ernest Rutherford στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου του Manchester στην Αγγλία, έδειξαν ότι το πρότυπο της δομής του ατόμου του Thomson έπρεπε να εγκαταλειφθεί.

Τα πειράματα που έγιναν από τον Rutherford και τους συνεργάτες του περιγράφουν το βομβαρδισμό πολύ λεπτού φύλλου χρυσού με σωματίδια α. Τα σωματίδια *α* (άλφα) είναι μικρά θετικά φορτισμένα σωματίδια, που εκπέμπονται από μερικά ραδιενεργά υλικά (η εκπομπή των σωματιδίων α από ραδιενεργά υλικά αναφέρεται στο κεφάλαιο 10 παράγραφο 9). Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα του Rutherford φαίνεται στο σχήμα 10-1.

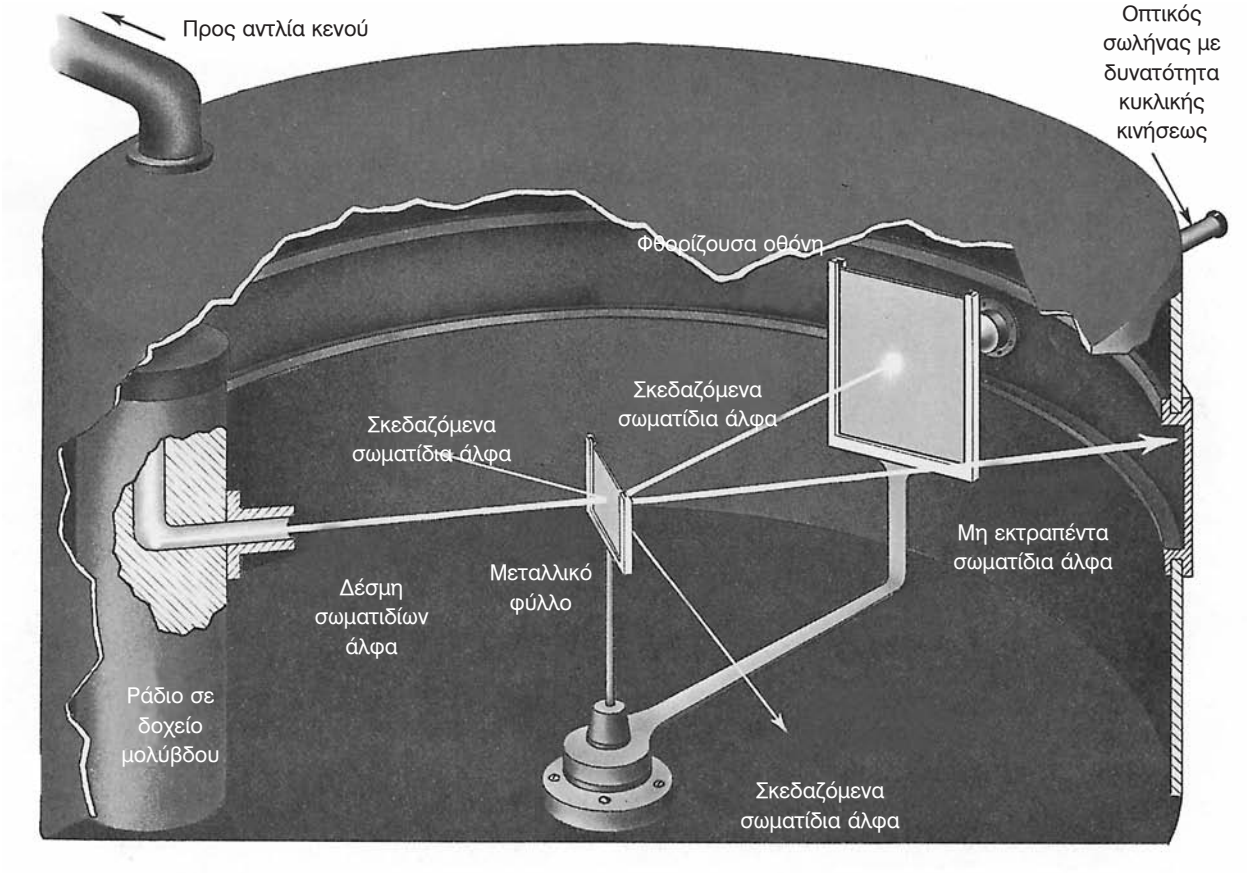
Τα σωματίδια α παράγονται από ραδιενεργό διάσπαση ραδίου. Μία στενή δέσμη τους βγαίνει από μία βαθιά οπή, που υπάρχει στο μολύβδινο περίβλημα το οποίο θωρακίζει το ράδιο. Η δέσμη αυτή κατευθύνεται προς ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο, πάχους περίπου 10.000 ατόμων. Τα σωματίδια α ανιχνεύονται από το φως που

εκπέμπουν, όταν προσκρούουν επάνω σε μία φθορίζουσα οθόνη. Αυτή η οθόνη είναι μία πλάκα με επίστρωση θειούχου ψευδαργύρου, όμοια με το εμπρόσθιο μέρος του καθοδικού σωλήνα της τηλεοράσεως. Είναι στερεωμένη σε ένα βραχίονα, ώστε να μπορεί να γυρίζει κυκλικά. Το κέντρο του κύκλου βρίσκεται στην ίδια ευθεία με το σημείο, στο οποίο η δέσμη των σωματιδίων α συναντά το μεταλλικό φύλλο. Ένας οπτικός σωλήνας είναι στερεωμένος πίσω από την οθόνη, ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν και να μετρηθούν οι πολύ μικρές αναλαμπές που παράγονται, όταν τα σωματίδια *α* πέφτουν επάνω στη φθορίζουσα οθόνη. Επειδή οι ακτινοβολίες είναι πολύ αδύνατες, θα πρέπει όλες οι παρατηρήσεις να γίνονται σε σκοτεινό δωμάτιο. Η συσκευή λειτουργεί υπό κενό, για να μη δημιουργούνται αποκλίσεις από τυχόν συγκρούσεις των σωματιδίων *α* με τα μόρια του αέρα.

Η πρώτη παρατήρηση που έγινε με αυτήν τη συσκευή ήταν ότι όλα τα σωματίδια *α* φαίνεται να περνούν μέσα από το μεταλλικό φύλλο χωρίς απόκλιση. Συμφωνεί αυτή η παρατήρηση με το πρότυπο του ατόμου του Thomson; Θα μπορούσε να συμφωνεί. Ο Thomson διετύπωσε την άποψη ότι το θετικό φορτίο είναι κατανεμημένο ομοιόμορφα σε όλον τον όγκο του ατόμου, με διασκορπισμένα μέσα σε αυτό τα αρνητικά ηλεκτρόνια. Αφού τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρή μάζα, θα πρέπει σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου να οφείλεται στο θετικό τμήμα. Έτσι, οι φωτογραφίες του προτύπου του Thomson δείχνουν τα άτομα να έχουν ομοιόμορφη πυκνότητα.

Άραγε πώς θα έμοιαζε το μεταλλικό φύλλο, αν αποτελούνταν από άτομα όπως αυτά του Thomson; Οι φυσικές ιδιότητες των περισσοτέρων στερεών δείχνουν ότι τα άτομά τους βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Έτσι, το μεταλλικό φύλλο θα ήταν σαν αυτό του σχήματος 10-2α.

Στην πραγματικότητα το φύλλο έχει πάχος 10.000 ατόμων. Τι θα συνέβαινε στα σωματίδια α, αν κατευθύνονταν σε ένα στερεό με τόσο ομοιόμορφη πυκνότητα; Στην αρχή ίσως πίστευε κάποιος ότι όταν θα συγκρούονταν με τα άτομα



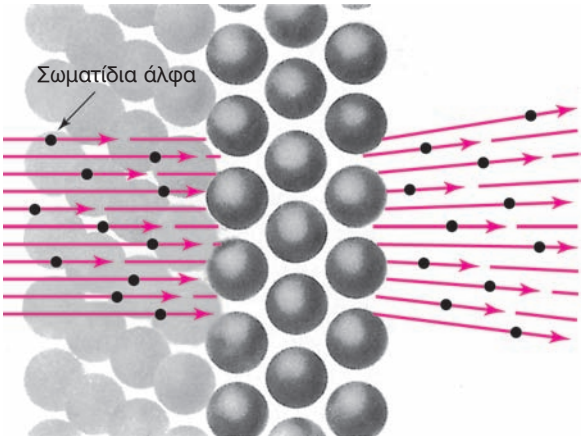
ΣΧΗΜΑ 10-1. *Συσκευή για το σκεδασμό των σωματιδίων α. Η δέσμη των σωματιδίων α (άλφα), μέσα στο δοχείο το οποίο είναι υπό κενό, κατευθύνεται από το ράδιο στο μεταλλικό φύλλο. Τα σωματίδια που εκτρέπονται παρατηρούνται επάνω στη φθορίζουσα οθόνη.*

του στερεού θα σταματούσαν ή ότι θα γύριζαν πίσω. Από τη στιγμή όμως που φαίνεται ότι τα σωματίδια α συνεχίζουν την πορεία τους διά μέσου του μεταλλικού φύλλου, θα πρέπει να μελετηθεί το πρόβλημα εκτενέστερα.

Αν πυροβοληθεί ένα κομμάτι τυρί με ένα ισχυρό όπλο, το βλήμα θα διαπεράσει με δύναμη το τυρί. Τα σωματίδια α που εκπέμπονται από το ράδιο έχουν πολύ υψηλή κινητική ενέργεια και μοιάζουν πολύ με τα βλήματα ενός ισχυρού όπλου. Ίσως λόγω της μεγάλης κινητικής ενέργειάς τους μπορούν να συνεχίζουν με δύναμη την πορεία τους διά μέσου των ατόμων του μεταλλικού φύλλου. Επειδή τα βλήματα ενός όπλου πέφτοντας επάνω στο τυρί θα το διαπερνούσαν χωρίς να εκτραπούν της πορείας τους, φαίνεται λογικό το συμπέρασμα ότι και τα σωματίδια α θα διαπερνούσαν χωρίς απόκλιση το μεταλλικό φύλλο.

Επομένως, όπως ήδη αναφέρθηκε, σύμφωνα με το πρότυπο του Thomson, ένα μεταλλικό φύλλο θα πρέπει να έχει βασικά ομοιόμορφη πυκνότητα. Αν αυτό ήταν αλήθεια τότε, κατά το βομβαρδισμό του με σωματίδια α, θα έπρεπε αυτά να μην αποκλίνουν και μάλιστα κατά μεγάλες γωνίες αποκλίσεως. Το πολύ να εκτρέπονταν τα σωματίδια α ελαφρά λόγω των πολλών συγκρούσεών τους με πολλά άτομα. Το πρότυπο του Thomson προβλέπει ένα σκεδασμό όμοιο με αυτόν του σχήματος 10-2α.

Τα πρώτα πειράματα του Rutherford οδηγούσαν σε συμπεράσματα που συμφωνούσαν με την εικόνα του ατόμου του Thomson. Όμως, μετά από προσεκτική παρατήρηση έγινε μία σημαντική ανακάλυψη. Μετακινώντας την οθόνη κυκλικά γύρω από το μεταλλικό φύλλο, ο Rutherford και οι συνεργάτες του κατόρθωσαν να παρατηρήσουν ότι μικρός αριθμός από λάμψεις εμφανιζόταν σε διαφορετικές γωνίες. Μερικές από αυτές τις γωνίες πλησίαζαν τις 180°C. Ήταν σαν κάποιο από τα σωματίδια α να είχε επιστρέψει μετά από μία μετωπική σύγκρουση με ένα ακίνητο αντικείμενο. Ο ίδιος ο Rutherford έλεγε: «Είναι τόσο απίστευτο, όσο το να εκτοξεύσεις ένα μεγάλο βλήμα σε ένα φύλλο χαρτί και αυτό να γυρίσει πίσω, και να σε κτυπήσει». Ήταν αδύνατον να εξηγηθούν οι διαφορές στις γωνίες αποκλίσεως των σωματιδίων α, χρησιμοποιώντας ως πρότυπο το άτομο του Thomson.



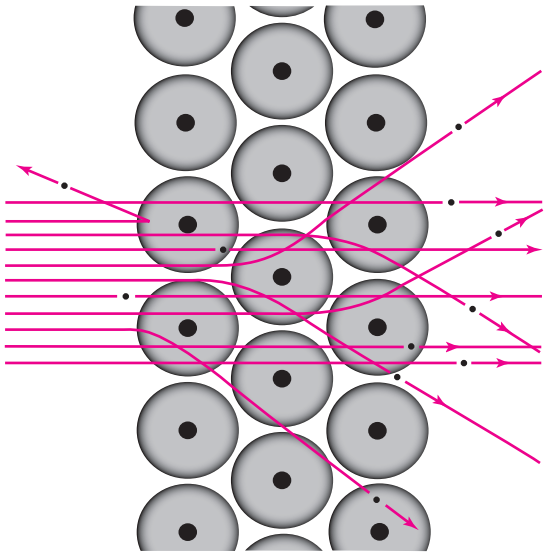
ΣΧΗΜΑ 10-2α. *Το πρότυπο του ατόμου του Thomson οδήγησε τον Rutherford στον εικονιζόμενο τρόπο σκεδασμού των σωματιδίων α.*

10.2 Το ατομικό πρότυπο του Rutherford.

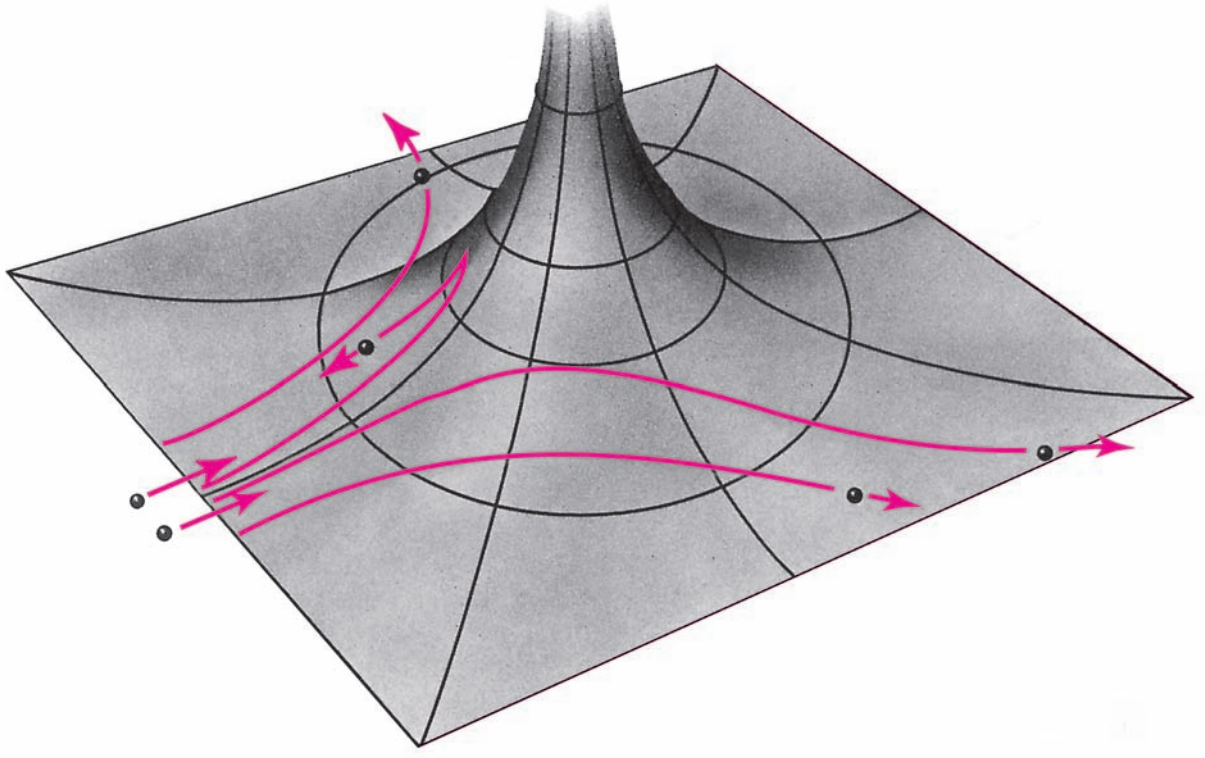
Με σκοπό να εξηγήσει τα αποτελέσματα των πειραμάτων του, ο Rutherford σχεδίασε ένα νέο πρότυπο για το άτομο. Υποστήριξε ότι το άτομο καταλαμβάνει ένα σφαιρικό όγκο ακτίνας περίπου 10^{-8}cm. Δέχθηκε επίσης ότι στο κέντρο κάθε ατόμου υπάρχει ο πυρήνας με ακτίνα περίπου 10^{-12} cm και ότι αυτός ο πυρήνας αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου. Διετύπωσε τέλος την άποψη ότι ο πυρήνας έχει θετικό φορτίο που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του ηλεκτρονίου. Ο χώρος, έξω από τον πυρήνα καταλαμβάνεται από τα ηλεκτρόνια. Το σχήμα 10-2β παρουσιάζει το πρότυπο ατόμου του Rutherford. Σύμφωνα με αυτό το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του ατόμου έχει πολύ μικρή πυκνότητα. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρότυπο του ατόμου, είναι εύκολο να δικαιολογηθεί η απόκλιση των σωματιδίων α, κατά μεγάλη ή μικρή γωνία. Αν σωματίδια α κτυπήσουν επάνω σε ένα μεταλλικό φύλλο, που αποτελείται από άτομα βασισμένα στο πρότυπο ατόμου του Rutherford, μόνο μερικά από αυτά θα εκτραπούν από το μεταλλικό φύλλο· (τα βαριά και γρήγορα κινούμενα σωματίδια α, θα μπορέσουν να περάσουν ανάμεσα από τα αραιά τοποθετημένα ηλεκτρόνια, χωρίς να εκτραπούν). Επειδή το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του μεταλλικού φύλλου είναι σχετικά κενός χώρος, τα περισσότερα σωματίδια α θα περάσουν μέσα από το μέταλλο χωρίς να εκτραπούν. Είναι όμως δυνατόν μερικά σωματίδια να εκτραπούν υπό μεγάλη γωνία και να διασπαρούν προς διάφορες

κατευθύνσεις. Επίσης, επειδή και τα δύο, δηλαδή τα σωματίδια α και ο πυρήνας του ατόμου, είναι θετικά φορτισμένα, ασκούν το ένα επάνω στο άλλο απωστική δύναμη. Αυτή η δύναμη γίνεται ισχυρή, μόνον όταν τα σωματίδια α πλησιάζουν πολύ τον πυρήνα (θυμηθείτε το νόμο του Coulomb). Ο πυρήνας των ατόμων του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μεταλλικό φύλλο έχει αρκετά μεγαλύτερη μάζα από τα σωματίδια α, γι' αυτό και μπορεί να προκαλέσει σημαντική απόκλιση αυτών, όπως ακριβώς εκτρέπεται μία σφαίρα που εκτοξεύθηκε από ένα όπλο, αν πέσει επάνω σε ένα σιδερένιο στύλο (το σχήμα 10-3, δείχνει παραστατικά τη διασπορά των σωματιδίων α από έναν πυρήνα).

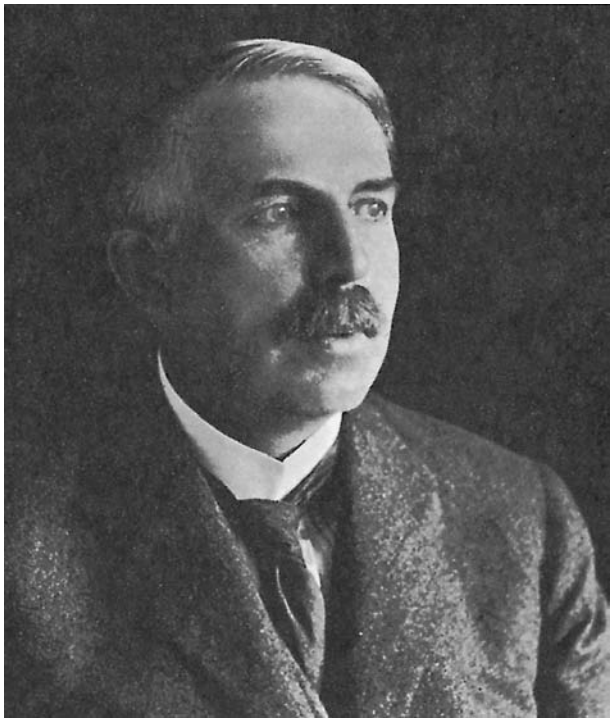
Το πείραμα του Rutherford, εκτός του ότι συνέβαλε στην ορθή απεικόνιση του ατόμου, μας έδωσε και μία μέθοδο υπολογισμού του φορτίου του πυρήνα. Η δύναμη που ασκεί ο πυρήνας επάνω σε ένα σωματίδιο α εξαρτάται τόσο από το μέγεθος του ηλεκτρικού φορτίου του πυρήνα, όσο και από τη μεταξύ τους απόσταση. Ο Rutherford συσχέτισε τον αριθμό των σωματιδίων α, που διασπείρονται προς διάφορες κατευθύνσεις (υπό διάφορες γωνίες) με το μέγεθος του φορτίου του πυρήνα. Οι αρχικές μετρήσεις του πυρηνικού φορτίου με αυτήν τη μέθοδο δεν ήταν και πολύ



ΣΧΗΜΑ 10-2β. *Το ατομικό πρότυπο (επάνω) που πρότεινε ο Rutherford εξηγεί τα πειραματικά του αποτελέσματα.*



ΣΧΗΜΑ 10-3. *Ένα πρότυπο που απεικονίζει με ακρίβεια το σκεδασμό των σωματιδίων α από τον πυρήνα. Η άπωση που υφίσταται ένα σωματίδιο α γίνεται μεγαλύτερη, όσο πλησιάζει τον πυρήνα (το ανώτερο σημείο του προτύπου).*



Ernest Rutherford (1871 - 1937)

Ο Rutherford επηρέασε περισσότερο ίσως από κάθε άλλο επιστήμονα τον τομέα της ατομικής επιστήμης, κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα. Άνθρωπος αξιόλογος, άρχισε την επαγγελματική του σταδιοδρομία σε μία εποχή συναρπαστική για την επιστήμη. Στο μέσο όλων των νέων εξελίξεων, ο Rutherford άρχισε έρευνες σε διάφορους τομείς, που τελικά τον οδήγησαν σε μία νέα θεώρηση της δομής του ατόμου.

Γεννήθηκε στη Νέα Ζηλανδία και εκεί έλαβε τη βασική εκπαίδευση. Κερδίζοντας μία υποτροφία για το Πανεπιστήμιο του Cambridge της Αγγλίας, έγινε βοηθός του J.J. Thomson, υπεύθυνου του εργαστηρίου του Cavendish. Κατά την περίοδο αυτή διεξήγαγε μαζί με τον Thomson πειράματα, που οδήγησαν στην ανακάλυψη του ηλεκτρονίου. Έπειτα από τρία χρόνια, πήγε στο Πανεπιστήμιο Mc Gill, στο Montreal του Καναδά. Εκεί διετέλεσε διευθυντής στο εργαστήριο φυσικής. Ένα χρόνο μετά την ανακάλυψη της ραδιενέργειας, ανακάλυψε ότι η ακτινοβολία από το ουράνιο δεν είναι απλή αλλά, αποτελείται από «μαλακές» ακτίνες, τις ακτίνες α, και «σκληρές», τις ακτίνες β. Λίγο αργότερα ανακάλυψε μαζί με το βοηθό του Frederick Soddy ότι οι ακτίνες α, που εκπέμπονται από το ραδιενεργό στοιχείο θόριο, ήταν στην πραγματικότητα θετικά φορτισμένοι πυρήνες των ατόμων του στοιχείου ήλιο. Ως επιβράβευση αυτής της συνεχούς εργασίας στη ραδιενέργεια του απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ για τη Χημεία το 1908. Ο συνεργάτης του Soddy εξελίχθηκε επίσης σε διακεκριμένο επιστήμονα και κέρδισε το Νόμπελ Χημείας το 1921.

Το 1908 ο Rutherford επέστρεψε στην Αγγλία, όπου έγινε καθηγητής Φυσικής στο Πανεπιστήμιο του Manchester. Εκεί πραγματοποίησε και τα πειράματα εκτροπής των σωματιδίων α, που μετά τέσσερα χρόνια τον οδήγησαν στη διατύπωση ενός «πλανητικού» προτύπου της ατομικής δομής (αυτή ίσως είναι η πλέον σημαντική εργασία του).

Τέλος, έγινε διευθυντής του εργαστηρίου του Cavendish, στο Cambridge, θέση την οποία κατείχε μέχρι το τέλος της ζωής του. Η επιστημονική σταδιοδρομία του Rutherford κράτησε 40 χρόνια. Η αρχή της σχεδόν συνέπεσε με την ανακάλυψη της ραδιενέργειας. Μετά το θάνατό του άρχισε η ατομική εποχή. Στον τομέα

ακριβείς, αλλά πάντως έδειξαν ότι διαφορετικά στοιχεία έχουν και διαφορετικά πυρηνικά φορτία. Μέχρι το 1920 τα πειράματα εκτροπής των σωματιδίων α βελτιώθηκαν τόσο πολύ, ώστε μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον ακριβή προσδιορισμό του φορτίου του πυρήνα.

10.3 Το άτομο με πυρήνα. Ένα επιτυχημένο επιστημονικό πρότυπο.

Όπως είδαμε μέχρι τώρα, πλήθος από δεδομένα έπεισαν τους επιστήμονες ότι τα άτομα πρέπει να αποτελούνται από μικρά φορτισμένα σωματίδια. Όσα έχουν αρνητικό φορτίο ονομάσθηκαν **ηλεκτρόνια**. Αυτά με θετικό φορτίο (για τα οποία λίγα πράγματα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα) ονομάσθηκαν **πρωτόνια**. Σε ένα κανονικό άτομο τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια έχουν ίσα αλλά αντίθετα φορτία και βρίσκονται σε ίσους αριθμούς μέσα σε αυτό. Έτσι εξηγείται το ότι ένα κανονικό άτομο είναι και ηλεκτρικά ουδέτερο. Επίσης είδατε πώς τα πειράματα εκτροπής του Rutherford έδειξαν ότι το θετικό φορτίο που υπάρχει σε ένα άτομο θα πρέπει να είναι συγκεντρωμένο σε ένα μικροσκοπικό κεντρικό πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια είναι διασκορπισμένα γύρω από τον πυρήνα και στο μεγαλύτερο μέρος του όγκου του ατόμου. Επειδή τα ηλεκτρόνια έχουν πολύ μικρή μάζα σε σχέση με αυτήν ολόκληρου του ατόμου, συμπεραίνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της μάζας ενός ατόμου θα πρέπει να βρίσκεται συγκεντρωμένο στον πυρήνα.

Με τις εργασίες του ο Rutherford όρισε τα γενικά χαρακτηριστικά του πυρηνικού προτύπου ενός ατόμου. Από την εποχή εκείνη μέχρι σήμερα, έγιναν πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες από χημικούς και φυσικούς, με αποτέλεσμα να τελειοποιηθεί αυτό το πρότυπο.

Προφανώς περισσότερες διευκρινίσεις χρειάζονταν τα εξής δύο σημεία:

1. Πώς ακριβώς είναι ο πυρήνας;
2. Πώς ακριβώς είναι κατανεμημένα τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα;

Η δεύτερη ερώτηση είναι πολύ σημαντική για τη χημεία, γι' αυτό και οι επόμενες παράγραφοι θα αφιερωθούν σε αυτήν. Το υπόλοιπο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα αφιερωθεί στα κυριότερα σημεία της απαντήσεως της πρώτης ερωτήσεως και θα προετοιμαστεί το έδαφος για μία λεπτομερή εξέταση της συμπεριφοράς των ηλεκτρονίων.

Ατομικοί αριθμοί. Το θετικό φορτίο του πυρήνα είναι ανάλογο με τον αριθμό των πρωτονίων που περιέχει. Εξετάζοντας το ηλεκτρικό φορτίο σε επίπεδο ατόμου, το θετικό φορτίο του πρωτονίου θεωρείται ως η μονάδα του θετικού φορτίου. Ανάλογα, ως μονάδα του αρνητικού φορτίου θεωρείται το αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου. Αυτές οι δύο μονάδες έχουν ίδιο αλλά αντίθετο μέγεθος φορτίου. Έτσι, ένας πυρήνας που περιέχει ένα πρωτόνιο έχει φορτίο +1, και ένας άλλος με x πρωτόνια έχει φορτίο +x.

Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα λέγεται **ατομικός αριθμός** του ατόμου. Εφόσον το άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, ο ατομικός αριθμός θα είναι αριθμητικά ίσος και με τον αριθμό των ηλεκτρονίων, που περιβάλλουν τον πυρήνα. Όλα τα άτομα του ίδιου στοιχείου έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό.

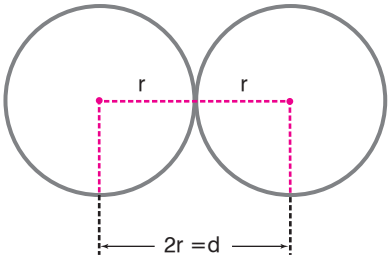
Το υδρογόνο έχει το ελαφρότερο άτομο με το μικρότερο θετικό φορτίο, +1. Κατά την περιγραφή ενός ατόμου, είτε αναφερθεί ότι πρόκειται για το άτομο υδρογόνου είτε ότι πρόκειται για άτομο με ατομικό αριθμό 1, είναι το ίδιο ακριβώς πράγμα.

Ανάλογα, το άτομο του ηλίου έχει πυρηνικό φορτίο +2. Ο πυρήνας του περιέχει δύο πρωτόνια (ατομικός αριθμός 2). Τα άτομα του λιθίου έχουν ατομικό αριθμό 3 (πυρηνικό φορτίο +3) κλπ. Όπως θα αναφερθεί αργότερα, η αιτία που διαφορετικά είδη ατόμων έχουν διαφορετικές χημικές ιδιότητες είναι το γεγονός ότι έχουν διαφορετικά πυρηνικά φορτία και γι' αυτό διαφορετικό αριθμό ηλεκτρονίων.

10.4 Μέγεθος του ατόμου.

Όπως μάθατε (κεφ. 10 παράγρ. 2), ο Rutherford υποστήριξε ότι ο πυρήνας του ατόμου έχει διάμετρο περίπου 10^{-12}cm, ενώ ολόκληρο το άτομο έχει διάμετρο περίπου 10^{-8}cm. Ο πρώτος αριθμός προέκυψε από τα πειράματα εκτροπής των σωματιδίων α. Πώς βρήκε, όμως, το δεύτερο αριθμό; Πώς έγιναν γνωστά τα μεγέθη των ατόμων;

Επειδή τα άτομα δεν είναι ορατά, δεν είναι τόσο απλό να δοθεί απάντηση σε αυτήν την ερώτηση· (πρακτικά, δεν είναι δυνατόν να δοθεί απάντηση για ένα μεμονωμένο άτομο). Αυτό που μπορεί να γίνει είναι να καθορισθεί πόσο μπορούν να πλησιάσουν δύο όμοια άτομα. Αν υποτεθεί ότι τα άτομα είναι σφαίρες, τότε, όταν πλησιάσουν όσο το δυνατόν περισσότερο μεταξύ τους, η απόσταση μεταξύ των πυρήνων τους δείχνει πόση είναι και η διάμετρος αυτών των



ΣΧΗΜΑ 10-4. *Η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πυρήνων, όταν ένα στοιχείο είναι σε στερεή κατάσταση, μπορεί να θεωρηθεί, κατά προσέγγιση, ότι είναι ίση με τη διάμετρο των ατόμων.*

ατόμων. Ακόμη και αυτή η μέθοδος υπολογισμού δεν είναι τόσο εύκολη, γιατί η ελάχιστη απόσταση των ατόμων εξαρτάται από τη δύναμη ή την ενέργεια που χρειάζεται, για να ωθήσει το ένα άτομο προς την πλευρά του άλλου.

Για λόγους πρακτικούς μπορούμε να θεωρήσομε ότι η απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών πυρήνων ενός στοιχείου (όταν το στοιχείο βρίσκεται στη στερεή κατάσταση) είναι περίπου ίση με τη διάμετρο των ατόμων του (σχ. 10-4).

Αυτό εύκολα μπορεί να προσδιορισθεί, αν είναι γνωστή η ατομική μάζα του στοιχείου και ο αριθμός του Avogadro ($6{,}02 \times 10^{23}$), όπως και η πυκνότητά του στερεού δείγματος.

Ως παράδειγμα ας εξετάσομε το στοιχείο άργυρος. Η ατομική μάζα του είναι 108. Η πυκνότητά του 10,5 g/cm^3. Έτσι, ένα κυβικό εκατοστό αργύρου περιέχει:

[illegible]

Ας υποτεθεί ότι **n** άτομα είναι τοποθετημένα ομοιόμορφα και πολύ κοντά το ένα με το άλλο, ώστε να γεμίζουν ένα κύβο (σχ. 10-5). Τότε, θα πρέπει η ακμή του κύβου να αποτελείται από $\sqrt[3]{n}$ αριθμό ατόμων, όπως φαίνεται στο επάνω μέρος του σχήματος 10-6. Από αυτό προκύπτει ότι υπάρχουν:

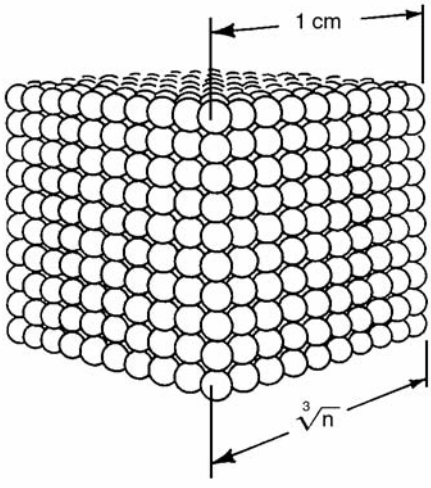
$$\sqrt[3]{5{,}85 \times 10^{22}} = \sqrt[3]{0{,}585 \times 10^{23}}$$

= περίπου $0{,}40 \times 10^8$ άτομα / cm

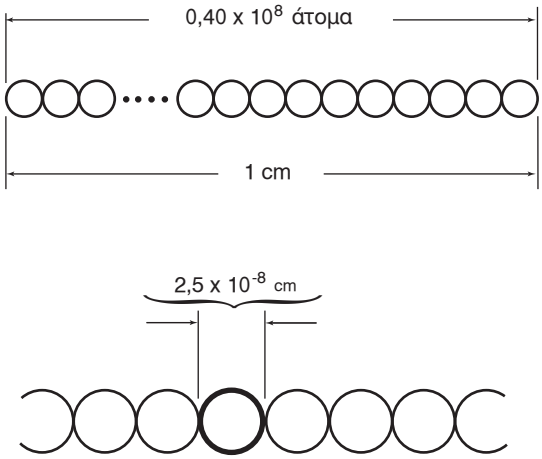
Τελικά, αν μία σειρά από $0{,}40 \times 10^{18}$ άτομα έχει μήκος ένα εκατοστό, κάθε άτομο πρέπει να έχει διάμετρο (σχ. 10-6, κάτω) περίπου

$$\frac{1}{0{,}40 \times 10^8} = 0{,}25 \times 10^{-8} \text{ cm} = (2{,}5\text{Å})$$

Ανάλογοι υπολογισμοί για άλλα άτομα δείχνουν ότι τα μεγέθη των ατόμων κυμαίνονται μεταξύ 1×10^{-8} και 5×10^{-8} cm. Επειδή οι χημικοί και οι φυσικοί αναφέρονται τόσο συχνά στα



ΣΧΗΜΑ 10-5. *Ένας κύβος από άτομα. Αν ο όγκος του είναι ένα cm^3 και υπάρχουν n άτομα μέσα σε αυτόν, τότε κάθε ακμή έχει $\sqrt[3]{n}$ άτομα.*



ΣΧΗΜΑ 10-6. *Μία σειρά από άτομα (επάνω), από τον κύβο του σχήματος 10-5, περιέχει $0{,}40 \times 10^8$ άτομα (δηλαδή σε ένα εκατοστόμετρο –1 cm– χωράνε σε παράταξη 40.000.000 άτομα). Αν ο αριθμός των ατόμων είναι γνωστός, η διάμετρος ενός απλού ατόμου (κάτω) μπορεί να υπολογισθεί ότι είναι $2{,}5 \times 10^{-8}$cm.*

μεγέθη ατόμων και μορίων, το 10^{-8} cm καθιερώθηκε ως μονάδα μήκους. Λέγεται **άνγκστρεμ** (Ångström) και συμβολίζεται με **Å**.

Ο πυρήνας του ατόμου πάντως έχει διάμετρο περίπου 10^{-12} cm. Δηλαδή η διάμετρος του πυρήνα είναι περίπου 1/10.000 της διαμέτρου του ατόμου. Αν φανταστεί κάποιος ένα άτομο, το οποίο υπό μεγέθυνση είναι τόσο μεγάλο, όσο ένα στάδιο, τότε ο πυρήνας του θα είναι ίσος με ένα μυρμήγκι!

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

10.5 Μετρήσεις του μεγέθους ενός μορίου.

Όπως αναφέρθηκε, είναι δυνατός ο υπολογισμός του μεγέθους ενός ατόμου με μέτρηση της πυκνότητας του στοιχείου και υπολογισμό της ατομικής διαμέτρου από τον αριθμό των ατόμων, που περιέχονται σε ένα κυβικό εκατοστό του στοιχείου.

Είναι δυνατόν να πάρει κάποιος μία ιδέα για το μέγεθος ενός μορίου και με έναν άλλο, έμμεσο τρόπο.

Είναι γνωστό ότι, όταν χυθεί λίγο πετρέλαιο στην επιφάνεια μιας ποσότητας νερού δεν αναμιγνύεται με αυτό, αλλά ξεχωρίζει από το νερό και απλώνεται σε μία πολύ λεπτή στοιβάδα, σχηματίζοντας μία κηλίδα. Έχει αποδειχθεί ότι μία τέτοια κηλίδα εξαπλώνεται επάνω στην επιφάνεια του νερού, μέχρι να αποκτήσει πάχος περίπου ενός μορίου. Σχηματίζεται δηλαδή μια «μονομοριακή στοιβάδα». Το ίδιο συμβαίνει και με το λάδι.

Ας υποτεθεί ότι γνωστός όγκος λαδιού έχει χυθεί στην επιφάνεια μιας ποσότητας νερού και ότι πέρασε αρκετός χρόνος, ώστε να απλωθεί όσο περισσότερο γίνεται και να σχηματιστεί τελικά στοιβάδα πάχους ενός μορίου. Τότε, μπορεί να υπολογισθεί το πάχος της στοιβάδας, που θα ισούται με το μήκος ή τη διάμετρο των μορίων του λαδιού.

Οι υπολογισμοί είναι εύκολοι, γιατί ο όγκος ενός υλικού σώματος ισοδυναμεί με το εμβαδόν της βάσεως επί το ύψος ή το πάχος του. Αν η βάση είναι κύκλος, ο τύπος γίνεται:

$$\text{Όγκος} = \pi \times \text{ακτίνα}^2 \times \text{πάχος}$$

Αν γίνει δεκτό ότι τα μόρια είναι μικροσκοπικές σφαίρες, τότε το πάχος της στοιβάδας του λαδιού θα ισοδυναμεί με τη διάμετρο των σφαιρικών μορίων.

Επειδή υπάρχουν πολλές πιθανότητες τα μόρια να μην είναι σφαιρικά, οι μετρήσεις δεν θα δώσουν ακριβώς το μέγεθος της διαμέτρου, αλλά θα δώσουν μία ένδειξη της τάξεως μεγέθους των διαστάσεων των μορίων που τυχόν εξετάζονται.

Στο επόμενο πείραμα θα μελετηθεί μια χημική ένωση, που αποτελείται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο και λέγεται ελαϊκό οξύ. Είναι μία λιπαρή ουσία, που δεν αναμιγνύεται με το νερό, αλλά σχηματίζει λεπτό στρώμα στην επιφάνειά του. Επειδή μία σταγόνα ελαϊκού οξέος θα σκεπάσει τεράστια επιφάνεια νερού, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί πολύ αραιό διάλυμα του οξέος σε αλκοόλη. Οι διαστάσεις της στοιβάδας του ελαϊκού οξέος επάνω στο νερό θα φανούν καλύτερα, αν έχει προστεθεί λίγη σκόνη από κιμωλία στην επιφάνειά του, πριν πέσει το οξύ. Όταν το ελαϊκό οξύ έλθει σε επαφή με το νερό, θα αρχίσει εύκολα να απωθεί τη σκόνη, μέχρι να σταματήσει η εξάπλωσή του.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα γίνει υπολογισμός κατά προσέγγιση του μεγέθους του μορίου του ελαϊκού οξέος.



ΣΧΗΜΑ 10-7.

ΥΛΙΚΑ

Σκόνη λυκοποδίου ή σκόνη από τριμμένη κιμωλία.
Δίσκος σερβιρίσματος, διαστάσεων περίπου 45 x 60 cm.
Ελαϊκό οξύ, διαλυμένο σε αλκοόλη μέσα σε σταγονομετρικό φιαλίδιο.
Ογκομετρικός κύλινδρος 10 ml.
Υποδεκάμετρο.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Σας δίνεται ένα σταγονομετρικό φιαλίδιο με αλκοολικό διάλυμα ελαϊκού οξέος. Η συγκέντρωση είναι 0,005 κυβικά εκατοστά του ελαϊκού οξέος ανά κυβικό εκατοστό αλκοολικού διαλύματος.
2. Γεμίστε ένα μεγάλο δίσκο σερβιρίσματος με νερό σε ύψος ενός εκατοστού. Πρέπει ο δίσκος να είναι καθαρός, πριν χρησιμοποιηθεί. Αν για το πλύσιμό του χρησιμοποιήθηκε σαπούνι ή απορρυπαντικό, πρέπει, αφού ξεπλυθεί καλά, να σκουπισθεί και κατόπιν να τον γεμίσετε με νερό.
3. Διασκορπίστε μία πολύ μικρή ποσότητα σκόνης λυκοποδίου ή τριμμένης κιμωλίας στην επιφάνεια του νερού (αρκεί να τιναχθεί επάνω από το νερό το σφουγγάρι, με το οποίο σβήνετε τον πίνακα, για να πέσει αρκετή ποσότητα άσπρης σκόνης).
4. Αν υπάρχει αμφιβολία για το αν η αλκοόλη μπορεί να επηρεάσει το πείραμα, να προστεθούν δύο-τρεις σταγόνες στην επιφάνεια του νερού του δίσκου. Διαταράσσεται καθόλου το λεπτό στρώμα της σκόνης; Γιατί;
5. Με τη βοήθεια του σταγονόμετρου προσθέστε μία μόνο σταγόνα από το αλκοολικό διάλυμα του ελαϊκού οξέος στο κέντρο του δίσκου, όπως στο σχήμα 10-7. Η επιφάνεια που καλύπτεται από τη στοιβάδα που εξαπλώνεται θα έχει περισσότερο ή λιγότερο κυκλική περίμετρο, ανάλογα με το πόσο προσεκτικά θα γίνει το πείραμα.
   Να μετρηθεί η διάμετρος της κηλίδας σε μερικές διαφορετικές κατευθύνσεις. Αφού βρεθεί ο μέσος όρος των διαμέτρων, να υπολογισθεί το εμβαδόν της κηλίδας.
6. Προσθέστε ακόμη μία σταγόνα στο κέντρο της κηλίδας που υπάρχει στο δίσκο. Με νέα μέτρηση της διαμέτρου να υπολογισθεί το νέο εμβαδόν. Το ίδιο να γίνει και για μία τρίτη σταγόνα. Πώς συνδέονται τα τρία εμβαδά; Τι συμπέρασμα μπορεί να βγει για τον αριθμό των μορίων, που βρίσκονται επάνω στο νερό σε κάθε στιγμή; Από τα αποτελέσματά σας θα περιμένατε τα μόρια να συσσωρεύονται το ένα επάνω στο άλλο ή να διασκορπίζονται σε μια απλή στοιβάδα; Γιατί;
7. Με γεμάτο το σταγονόμετρο από αλκοολικό διάλυμα του ελαϊκού οξέος, να μετρηθούν πόσες σταγόνες χρειάζονται, για να προστεθεί ένα κυβικό εκατοστό από αυτό σε έναν καθαρό ογκομετρικό κύλινδρο των 10 ml. Υποτίθεται ότι ένα κυβικό εκατοστό ($1\ cm^3$) ισούται με ένα χιλιοστόλιτρο (1 ml). Να βρεθεί σε τι αριθμό κυβικών εκατοστών αναλογεί μία σταγόνα του διαλύματος.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Θα πρέπει να σχηματίσετε έναν πίνακα στο τετράδιό σας, για να καταγραφούν οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα. Ανάλογοι πίνακες θα πρέπει επίσης να γίνουν και για τις κηλίδες που δημιουργούνται από δύο ή τρεις σταγόνες του ελαϊκού οξέος.

Κηλίδα με μία σταγόνα.

Διάμετρος 1 (cm).
Διάμετρος 2 (cm).
Διάμετρος 3 (cm).
Σύνολο.
Μέσος όρος διαμέτρων (cm).
Εμβαδόν (cm^2).
Εμβαδόν ανά σταγόνα (cm^2).

Υπολογισμοί.

1. Από τα αποτελέσματα των σταδίων 5 και 6 να βρεθεί ο μέσος όρος του εμβαδού ανά σταγόνα.
2. Από τον αριθμό των σταγόνων του διαλύματος που βρέθηκε ότι αντιστοιχούν σε ένα κυβικό εκατοστό, να υπολογισθεί ο αριθμός των cm^3 του διαλύματος που αντιστοιχεί σε μία σταγόνα.

$$\frac{1\,cm^3}{\text{αριθμός σταγόνων}} = cm^3\ /\text{σταγόνα}$$

3. Να υπολογισθεί ο αριθμός των cm^3 του καθαρού ελαϊκού οξέος, που υπάρχει σε μία σταγόνα αλκοολικού διαλύματος (cm^3 διαλύματος ανά σταγόνα x 0,005 cm^3 ελαϊκού οξέος ανά cm^3 αλκοολικού διαλύματος = cm^3 καθαρού οξέος ανά σταγόνα).
4. Να υπολογισθεί το πάχος της στοιβάδας του οξέος. Ο όγκος του καθαρού οξέος είναι ίσος με τον όγκο της κηλίδας και ο όγκος της κηλίδας ισούται με το εμβαδόν της επί το πάχος της.

$$\text{Πάχος κηλίδας} = \frac{\text{Όγκος καθαρού ελαϊκού οξέος}}{\text{εμβαδόν κηλίδας}}$$

Αν τα μόρια του ελαϊκού οξέος ήταν σφαιρικά, το πάχος της κηλίδας θα ήταν ίσο με τη διάμετρο του μορίου.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ο τύπος του ελαϊκού οξέος είναι $C_{17}H_{33}COOH$. Ποια είναι τα πιθανά σχήματα που μπορούν να αποδοθούν σε αυτό το μόριο;
2. Στην αρχή αυτού του πειράματος αναφέρθηκε ότι αυτό το πείραμα δίνει μία ένδειξη της τάξεως μεγέθους των διαστάσεων των υπό εξέταση μορίων. Τι εννοούμε με τον όρο τάξη μεγέθους;
3. Με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων σας, να υπολογίσετε τι εμβαδόν θα καλύψει ένα κυβικό εκατοστό από καθαρό ελαϊκό οξύ, όταν εξαπλωθεί σχηματίζοντας κηλίδα πάχους ενός μορίου. Αν η κηλίδα ήταν κυκλική, ποια θα έπρεπε να ήταν η διάμετρος σε εκατοστά/ σε μέτρα;
4. Ας υποτεθεί ότι το μόριο του ελαϊκού οξέος δεν είναι σφαιρικό, όπως έγινε δεκτό στους προηγούμενους υπολογισμούς, αλλά ότι αποτελείται από μία μακρά αλυσίδα ή σειρά 18 ατόμων άνθρακα, με τα άτομα του υδρογόνου τοποθετημένα επάνω και κάτω, κατά μήκος όλου του μορίου, ώστε το μήκος του να είναι περίπου οκτώ φορές μεγαλύτερο από το πλάτος του. Με βάση τις μετρήσεις του προηγούμενου πειράματος, ποιες, θα πρέπει να είναι οι διαστάσεις του μορίου, αν γίνει δεκτό ότι αυτά τα μόρια «στέκονται» στο νερό με τη μεγαλύτερη διάστασή τους κάθετη στην επιφάνεια του νερού;

10.6 Νετρόνια.

Τα πρωτόνια βρίσκονται μέσα στον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια γύρω από αυτόν. Όπως αναφέρθηκε, το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου βρίσκεται συγκεντρωμένο στον πυρήνα.

Αυτές οι δύο διαπιστώσεις οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το ηλεκτρόνιο έχει πολύ μικρότερη μάζα από το πρωτόνιο· και πράγματι έτσι είναι.

Έχουν γίνει διάφορα πειράματα και έχει υπολογισθεί η πραγματική μάζα των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων. Βρέθηκε λοιπόν ότι η μάζα του πρωτονίου είναι 1840 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου. Έτσι δικαιολογείται το ότι στον πυρήνα πρακτικά περιέχεται όλη η μάζα ενός ατόμου. Όμως, με εξαίρεση το άτομο του υδρογόνου, δεν είναι μόνο τα πρωτόνια, από τα οποία αποτελείται η μάζα του ατόμου. Για παράδειγμα, ένα άτομο ηλίου (ατομικός αριθμός 2) έχει δύο πρωτόνια, ενώ το άτομο του υδρογόνου έχει ένα. Πειραματικά βρέθηκε ότι το άτομο του ηλίου έχει τετραπλάσια μάζα από το άτομο του υδρογόνου και όχι διπλάσια. Επίσης το άτομο του φθορίου έχει ατομικό αριθμό 9 και επί πλέον έχει 19 φορές μεγαλύτερη μάζα από τη μάζα του ατόμου του υδρογόνου. Από αυτές και άλλες ανάλογες παρατηρήσεις προκύπτει ότι ο πυρήνας των ατόμων θα πρέπει να περιέχει και ένα ή περισσότερα σωματίδια, που έχουν μάζα ενώ δεν έχουν φορτίο. Το 1932 είχαμε τις πρώτες πειραματικές ενδείξεις για την ύπαρξη ενός τέτοιου σωματιδίου. Το σωματίδιο αυτό ονομάσθηκε ***νετρόνιο*** και είχε μάζα περίπου ίση με τη μάζα του πρωτονίου.

Τώρα είναι δυνατόν να δικαιολογηθούν με απλό και σωστό τρόπο οι ποικίλες διαφορές στις μάζες των ατόμων διαφόρων στοιχείων.

Στον πυρήνα των ατόμων του ηλίου υπάρχουν δύο νετρόνια μαζί με δύο πρωτόνια. Έτσι, η συνολική του μάζα είναι περίπου τετραπλάσια από τη μάζα του πρωτονίου.

Στον πυρήνα των ατόμων του φθορίου θα πρέπει μαζί με τα εννέα πρωτόνια να υπάρχουν και δέκα νετρόνια, ώστε η συνολική μάζα του να είναι 19 φορές πιο μεγάλη από τη μάζα του πρωτονίου.

Ο συνολικός αριθμός των σωματιδίων του πυρήνα, πρωτόνια και νετρόνια, ονομάζεται ***μαζικός αριθμός*** ενός στοιχείου.

Για παράδειγμα μαζικός αριθμός του ηλίου, του οποίου ο πυρήνας του ατόμου του αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, είναι 4.

10.7 Βασικά χαρακτηριστικά του πυρηνικού ατόμου.

Στο σημείο αυτό μπορούν πλέον να περιγραφούν τα βασικά χαρακτηριστικά της δομής του ατόμου. Κάθε άτομο αποτελείται από έναν αριθμό πρωτονίων, ίσο με τον ατομικό αριθμό, και έναν αριθμό των νετρονίων. Τα νετρόνια μαζί με τα πρωτόνια δίνουν το μαζικό αριθμό, δηλαδή την ατομική του μάζα. Τόσο η ηλεκτρική ουδετερότητα, όσο και το μέγεθος του ατόμου οφείλονται στα ηλεκτρόνια, των οποίων ο αριθμός είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων, δηλαδή με τον ατομικό αριθμό.

Υπάρχει μόνο μία δυσκολία σε αυτό το πρότυπο. Πώς είναι δυνατόν δύο ή περισσότερα πρωτόνια, δηλαδή δύο θετικά φορτία, να βρίσκονται τοποθετημένα τόσο κοντά το ένα με το άλλο, χωρίς να ασκούν ισχυρές απωστικές δυνάμεις μεταξύ τους και να προκαλούν έτσι αστάθεια στον πυρήνα;

Αυτή είναι μία πολύ σημαντική ερώτηση. Ίσως η πιο σημαντική που θα μπορούσε να τεθεί σε σχέση με τη φύση της ύλης. Πυρηνικοί φυσικοί, ακόμη και σήμερα, ασχολούνται με αυτό το ερώτημα.

Σε γενικές γραμμές, η απάντηση θα πρέπει να είναι ότι τα νετρόνια κατά κάποιο τρόπο χρησιμεύουν στο να κρατούν σταθερό τον πυρήνα, παρά τις απωστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των πρωτονίων.

Δεν γνωρίζομε κανένα πυρήνα που να περιέχει δύο ή περισσότερα πρωτόνια και να μην περιέχει τουλάχιστον ένα νετρόνιο και μάλιστα οι πιο σταθεροί πυρήνες περιέχουν περισσότερα νετρόνια από τα πρωτόνια.

Μέχρι σήμερα δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί ένα λεπτομερειακό πρότυπο για το ρόλο των νετρονίων ως σωματιδίων συνοχής. Οι κύριες ιδιότητες των βασικών σωματιδίων που αποτελούν τα άτομα αναγράφονται στον πίνακα 10.1.

10.8 Ισότοπα.

Όλα τα άτομα ενός στοιχείου έχουν το ίδιο πυρηνικό φορτίο, δηλαδή τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων και επομένως τον ίδιο ατομικό αριθμό.

Όμως, όλα τα άτομα ενός και του αυτού στοιχείου έχουν και την ίδια μάζα; Ας εξετάσομε πρώτα το άτομο ενός απλού στοιχείου, του υδρογόνου. Σχεδόν όλα τα άτομα του υδρογόνου

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.1.
Μερικά βασικά σωματίδια.

Σωματίδιο	Φορτίο (ηλεκτρονικές μονάδες)	Μέση μάζα (σχέση με τη μάζα του πρωτονίου)
Ηλεκτρόνιο	-1	1/1840
Πρωτόνιο	+1	1
Νετρόνιο	0	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.
Βασικά χαρακτηριστικά μερικών γνωστών ισοτόπων.

Όνομα	% παρουσία στη φύση	Ατομικός αριθμός	Μαζικός αριθμός	Πυρήνας			Αριθμός των ηλεκτρονίων
				Σύσταση*	Μάζα	Φορτίο	
Υδρογόνο-1	99,984	1	1	1p	1	+1	1
Υδρογόνο-2	0,016	1	2	1p, 1n	2	+1	1
Ήλιο-3	$1,34 \times 10^{-4}$	2	3	2p, 1n	3	+2	2
Ήλιο-4	100	2	4	2p, 2n	4	+2	2
Λίθιο-6	7,40	3	6	3p, 3n	6	+3	3
Λίθιο-7	92,60	3	7	3p, 4n	7	+3	3
Βηρύλλιο-9	100	4	9	4p, 5n	9	+4	4
Βόριο-10	18,83	5	10	5p, 5n	10	+5	5
Βόριο-11	81,17	5	11	5p, 6n	11	+5	5
Άνθρακας-12	98,892	6	12	6p, 6n	12	+6	6
Άνθρακας-13	1,108	6	13	6p, 7n	13	+6	6
Άζωτο-14	99,64	7	14	7p, 7n	14	+7	7
Άζωτο-15	0,36	7	15	7p, 8n	15	+7	7
Οξυγόνο-16	99,76	8	16	8p, 8n	16	+8	8
Οξυγόνο-17	0,04	8	17	8p, 9n	17	+8	8
Οξυγόνο-18	0,20	8	18	8p, 10n	18	+8	8
Φθόριο-19	100	9	19	9p, 10n	19	+9	9
Χλώριο-35	75,4	17	35	17p, 18n	35	+17	17
Χλώριο-37	24,6	17	37	17p, 20n	37	+17	17
Χρυσός-197	100	79	197	79p,118n	197	+79	79
Ουράνιο-234	0,01	92	234	92p,142n	234	+92	92
Ουράνιο-235	0,71	92	235	92p,143n	235	+92	92
Ουράνιο-238	99,28	92	238	92p,146n	238	+92	92

** p =πρωτόνιο, n = νετρόνιο*

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.3.
Κανονικό και βαρύ νερό. Συγκριτικές ιδιότητες.

		H_2O (0,016%D)	D_2O
Πυκνότητα,	g/cm^3 (στους 20 °C)	0,9982	1,105
Σημείο πήξεως,	°C	0,00	3,82
Σημείο ζέσεως,	°C	100,00	101,42

έχουν την ίδια μάζα: Το άθροισμα της μάζας ενός πρωτονίου και ενός ηλεκτρονίου. Σε αυτά τα άτομα ο πυρήνας περιέχει ένα μόνο πρωτόνιο. Παρ' όλα αυτά, ένα μικρό ποσοστό από τα άτομα του υδρογόνου (0,016%) έχουν πυρήνες, που οι μάζες τους είναι διπλάσιες περίπου από αυτές του πρωτονίου. Για την εξήγηση αυτής της διαφοράς στη μάζα των ατόμων υδρογόνου υποθέτομε ότι κάθε ένας από τους πυρήνες τους αποτελείται από ένα νετρόνιο (φορτίο 0, μάζα 1) και ένα πρωτόνιο (φορτίο +1, μάζα 1). Αυτά τα άτομα υδρογόνου ονομάζονται υδρογόνο-2 ή αλλιώς δευτέριο. Τα δύο είδη ατόμων του υδρογόνου (που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, αλλά διαφορετικές μάζες) λέγονται ισότοπα. Ένα ισότοπο περιγράφεται συνήθως με το σύμβολο ή το όνομα του στοιχείου στο οποίο ανήκει και στη συνέχεια με το πλήθος των πρωτονίων και νετρονίων, δηλαδή με το μαζικό του αριθμό.

Τα ***ισότοπα*** είναι άτομα του ίδιου στοιχείου με διαφορετικό αριθμό νετρονίων και, επομένως, διαφορετικούς μαζικούς αριθμούς. Είναι άτομα του ίδιου στοιχείου, επειδή έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό (αριθμό πρωτονίων). Ο πίνακας 10.2 περιλαμβάνει μερικά από τα συνήθη ισότοπα.

Σύμφωνα με την εκατοστιαία αναλογία του πίνακα, στη φύση, σε κάθε 6.250 άτομα υδρογόνου μόνο το ένα είναι δευτέριο. Αυτό το άτομο, αν και από χημικής απόψεως συμπεριφέρεται όπως ένα κανονικό άτομο υδρογόνου, συχνά έχει το χαρακτηριστικό σύμβολο D. Μέσα σε ένα δείγμα κανονικού νερού θα υπάρχουν μερικά μόρια με ένα άτομο δευτερίου (D) και πολύ λίγα με δύο άτομα. Η αναλογία θα είναι περίπου ένα μόριο DHO σε 6.000 μόρια H_2O, ενώ για το D_2O η αναλογία θα είναι περίπου ένα μόριο σε $3,6 \times 10^7$ μόρια H_2O. Η ύπαρξη του ισοτόπου D και των μορίων D_2, DH, DHO και D_2O δεν ήταν γνωστή μέχρι το 1932.

Τη χρονιά αυτή ένας Αμερικανός χημικός, ο Harold Urey, ανακοίνωσε ότι οι συνεργάτες του και αυτός επιβεβαίωσαν την ύπαρξη των ατόμων δευτερίου (D). Στα χρόνια που ακολούθησαν αναπτύχθηκε μία πιο προσεκτική μέθοδος κλασματικής αποστάξεως του νερού και έτσι κατέστη δυνατόν να απομονωθεί το βαρύ νερό σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Το «βαρύ νερό» είναι κατά 99,9% καθαρό D_2O. Επειδή η ατομική μάζα των ατόμων δευτερίου είναι 2,0, η μοριακή μάζα του D_2O είναι $(2 \times 2,0) + 16,0 = 20,0$. Αν υποτεθεί ότι τα μόρια του D_2O έχουν την ίδια διάταξη με τα μόρια του H_2O που έχουν μοριακή μάζα 18,0, τότε το βαρύ νερό θα έχει πυκνότητα περίπου 20/18 ή 1,11 φορές μεγαλύτερη από το κοινό νερό. Ο πίνακας 10.3 επιβεβαιώνει αυτήν την αναλογία, ενώ συγχρόνως δείχνει ότι το βαρύ νερό και το κοινό νερό διαφέρουν λίγο σε διάφορες ιδιότητες, όπως το σημείο πήξεως και το σημείο ζέσεως.

Περίληψη.

Σύμφωνα με το πυρηνικό πρότυπο, ένα άτομο αποτελείται από έναν πυρήνα και από ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια που τον περιβάλλουν. Τα ηλεκτρόνια έχουν όλο το αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και καταλαμβάνουν σχεδόν ολόκληρο το χώρο του ατόμου, ενώ αποτελούν μόνο ένα ελάχιστο μέρος της μάζας του. Στο κέντρο του ηλεκτρονικού νέφους είναι ο πυρήνας που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Τα πρωτόνια έχουν όλο το θετικό ηλεκτρικό φορτίο και μαζί με τα νετρόνια αποτελούν ουσιαστικά όλη τη μάζα των ατόμων. Οι μάζες των πρωτονίων και των νετρονίων είναι κατά προσέγγιση ίσες ενώ ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και

νετρονίων είναι ο «μαζικός αριθμός» του ατόμου. Ατομικός αριθμός του ατόμου είναι ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα. Αυτός είναι που καθορίζει τη χημική ταυτότητα του ατόμου.

Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται ισότοπα. Είναι άτομα του ίδιου στοιχείου, που διαφέρουν κατά μία ή περισσότερες μονάδες μάζας.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στο μαζικό και τον ατομικό αριθμό;
2. Να αναφερθούν οι διαφορές ανάμεσα σε πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια. Ποιο είναι το μόνο άτομο που δεν έχει νετρόνια;
3. Πόσο περίπου είναι το μέγεθος της διαμέτρου των ατόμων (10^{-7} cm); Πώς ονομάζεται αυτή η μονάδα μετρήσεως;

Ο ατομικός πυρήνας μπορεί να διασπασθεί

10.9 Ραδιενέργεια.

Όλοι οι ατομικοί πυρήνες δεν είναι σταθεροί. Οι ασταθείς πυρήνες (πρόκειται κυρίως για πυρήνες μεγάλου μαζικού αριθμού) εκπέμπουν ακτινοβολίες διαφόρων τύπων.

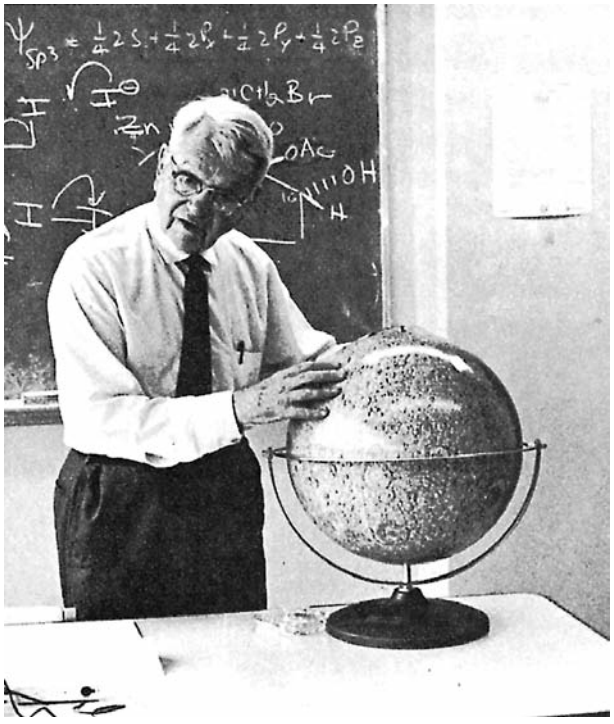
Οι ακτινοβολίες αυτές ανακαλύφθηκαν προς το τέλος του 19ου αιώνα. Με την ανακάλυψή τους άρχισε η μελέτη της ατομικής και πυρηνικής δομής, που οδήγησε στην ανακάλυψη της πυρηνικής ενέργειας και στη δυνατότητα των εφαρμογών της.

Όταν μία ουσία περιέχει πυρήνες, που από μόνοι τους αποσυντίθενται εκλύοντας ακτινοβολία, λέγεται ***ραδιενεργός***.

Σχεδόν κάθε ασταθής πυρήνας εκπέμπει μια ή περισσότερες από τις παρακάτω ακτινοβολίες:

1. *α* (άλφα) σωματίδια. Είναι όμοια με τους πυρήνες ενός ατόμου ηλίου. Αποτελούνται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια.
2. *β* (βήτα) σωματίδια. Πρόκειται για ηλεκτρόνια που αποβάλλονται από τον πυρήνα με ποικίλες ταχύτητες.
3. *γ* (γάμα) σωματίδια. Δεν πρόκειται για σωματίδια, αλλά για μία μορφή ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος. Είναι ανάλογες με τις ακτίνες Χ αλλά με περισσότερη ενέργεια. Συνήθως συνοδεύουν τα σωματίδια α και β και, γενικά, εκπέμπονται κάθε φορά που συμβαίνει κάποια σημαντική μεταβολή στον πυρήνα. Η εκπομπή μόνο ακτινών γ είναι ένας τρόπος, για να απαλλαγεί ο πυρήνας από την περίσσεια ενέργειας χωρίς να αλλάξει ο αριθμός των ηλεκτρονίων και πρωτονίων που περιέχει.

Δεν θα εξετασθεί εδώ γιατί μερικοί πυρήνες είναι ασταθείς και δημιουργούν ραδιενέργεια. Θα εξετασθούν μόνο τα αποτελέσματα της ραδιενεργού αποικοδομήσεως, δηλαδή κατά πόσο μεταβάλλεται η ταυτότητα του ατόμου, όταν συμβαίνουν τέτοιου είδους αποικοδομήσεις. Κάθε αλλαγή στον πυρήνα, που συνοδεύεται από μεταβολή στον αριθμό των πρωτονίων, αλλάζει και την ταυτότητα του ατόμου. Και η α και η β αποικοδόμηση (δηλαδή η εκπομπή α και β σωματιδίων) αλλάζουν τον ατομικό αριθμό. Όταν ένας πυρήνας εκπέμπει ένα σωματίδιο α, χάνει δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια συγχρόνως. Γι' αυτό μετατρέπεται σε ένα άλλο στοιχείο με ατομικό αριθμό κατά δύο μονάδες μικρότερο και, αντίστοιχα, με μαζικό αριθμό κατά τέσσερις μονάδες μικρότερο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εκφρασθεί με σύμβολα ανάλογα με αυτά που μεταχειριζόμαστε, για να γράψομε χημικές εξισώσεις. Για κάθε στοιχείο η αρχή γίνεται από το συνηθισμένο χημικό σύμβολο, με το μαζικό αριθμό γραμμένο επάνω και, αντίστοιχα, τον ατομικό αριθμό γραμμένο κάτω αριστερά. Έτσι, το ισότοπο του ουρανίου (ατομικός αριθμός 92) με μαζικό αριθμό 235, γράφεται $^{235}_{92}U$. Ανάλογα, το σωματίδιο α γράφεται $^{4}_{2}He$, γιατί στην πραγματικότητα είναι ένας πυρήνας ηλίου. Για την ακρίβεια, έπρεπε να γραφεί $^{4}_{2}He^{2+}$, επειδή μόνο ο πυρήνας του ηλίου είναι ένα ιόν με φορτίο +2. Αλλά σε εξισώσεις που περιγράφουν πυρηνικές μετατροπές, συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές στα εξωτερικά ηλεκτρόνια. Τελικά, κάθε ιόν που σχηματίζεται χάνει ή παίρνει ηλεκτρόνια, κατά περίπτωση, για να



Harold C. Urey
(1893 - 1981)

Ο Harold Urey εργάσθηκε επάνω σε διάφορα προβλήματα σχετικά με την πυρηνική ενέργεια, το σχηματισμό των πλανητών, τη μορφολογία της επιφάνειας της σελήνης και την προέλευση της ζωής.

Έγινε γνωστός με την ανακάλυψη του δευτερίου (πρόκειται για ένα βαρύ ισότοπο του H_2 που συμβολίζεται $^{2}_{1}H$ ή D).

Η ιδέα των ισοτόπων αρχικά προτάθηκε το 1913 από τον Frederick Soddy, συνεργάτη του Ernest Rutherford.

Τα ισότοπα πολλών στοιχείων ανακαλύφθηκαν το 1930, αν και ο F.W. Aston, ο οποίος είχε κατασκευάσει έναν από τους πρώτους φασματογράφους μάζας, ανέφερε το 1927 ότι οι μετρήσεις του δεν έδειξαν ούτε ίχνος ισοτόπου υδρογόνου.

Το 1931 μερικοί επιστήμονες εξετάζοντας πάλι τα δεδομένα του Aston, υποστήριξαν ότι βάσει μερικών μετρήσεων είναι πιθανόν να υπάρχει ένα $^{2}_{1}H$ μέσα σε 4.500 $^{1}_{1}H$. Με αφετηρία αυτήν την πληροφορία, ο Urey υπολόγισε τη θεωρητική τάση ατμών του δευτερίου, την ύπαρξη του οποίου υποπτευόταν σε σύγκριση με την τάση ατμών του κανονικού υδρογόνου.

Ο Urey κατέληξε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει τέτοια διαφορά στις τάσεις ατμών, που να επιτρέπει το διαχωρισμό του $^{2}_{1}H$ από το $^{1}_{1}H$ με κλασματική απόσταξη του υγρού υδρογόνου. Μεταξύ Αυγούστου και Νοεμβρίου 1931, μαζί με τον George Murphy, έναν από τους σπουδαστές του, και τον F.G. Brickwedde, απέσταξαν επανειλημμένως και προσεκτικά μεγάλες ποσότητες υδρογόνου, συγκεντρώνοντας τις μικρές ποσότητες του αποστάγματος, που πίστευαν ότι περιείχε το ισότοπο. Τελικά, όταν τοποθέτησαν αυτό το αέριο σε ένα σωλήνα ηλεκτρικών εκκενώσεων και εξέτασαν το φάσμα του, εντόπισαν μερικές ασθενείς γραμμές ακριβώς στις προβλεπόμενες για το $^{2}_{1}H$ θέσεις. Έτσι επιβεβαίωσαν την ύπαρξη του δευτερίου. Η αναλογία του δευτερίου βρέθηκε να είναι ένα άτομο $^{2}_{1}H$ σε κάθε 6.000 άτομα $^{1}_{1}H$. Το πιο εκπληκτικό σημείο όλης αυτής της υποθέσεως είναι το γεγονός ότι αργότερα αποδείχθηκε πως

σχηματίσει ένα ουδέτερο άτομο.

Αν από το άτομο $^{235}_{92}U$ του ουρανίου αφαιρεθεί ένα σωματίδιο α, τότε αυτό μετατρέπεται στο ισότοπο με μαζικό αριθμό 231 ενός στοιχείου με ατομικό αριθμό 90. Το στοιχείο αυτό είναι το θόριο (Th). Έτσι, η εκπομπή σωματιδίου α από το ουράνιο μπορεί να γραφεί με την ακόλουθη πυρηνική εξίσωση:

$$^{235}_{92}U \rightarrow ^{231}_{90}Th + ^{4}_{2}He$$

Κανονικά, τα σύμβολα των στοιχείων δεν χρειάζονται, γιατί οι ατομικοί αριθμοί μόνοι τους δείχνουν ακριβώς για ποιο στοιχείο πρόκειται. Παρ' όλα αυτά, σχεδόν πάντα τα χρησιμοποιούμε, όπως στην παραπάνω εξίσωση.

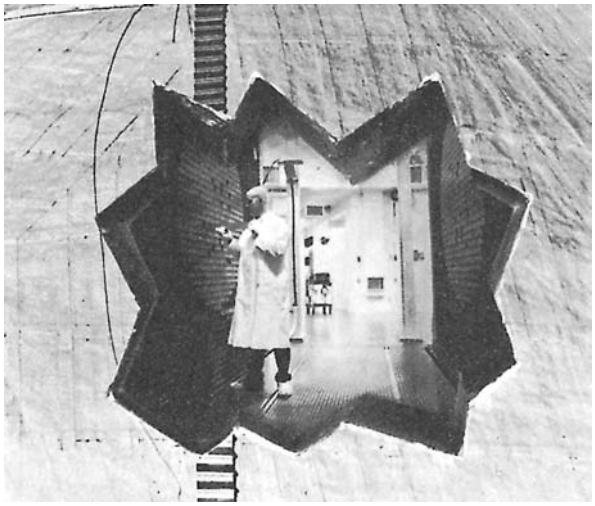
Κατά την εκπομπή σωματιδίων β, ο πυρήνας εκπέμπει ένα ηλεκτρόνιο. Πώς γίνεται όμως αυτό, αφού ο πυρήνας δεν έχει ηλεκτρόνια; Σήμερα, είναι γνωστό με ακρίβεια πώς δημιουργείται ένα ηλεκτρόνιο. Με κάποιο τρόπο ένα νετρόνιο διασπάται δίνοντας ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο και αποβάλλεται. Έτσι, όταν ένας πυρήνας υφίσταται β-αποικοδόμηση, ο ατομικός αριθμός του αυξάνει κατά μία μονάδα, ενώ ο μαζικός αριθμός του δεν αλλάζει (χάθηκε ένα νετρόνιο, αλλά δημιουργήθηκε ένα επί πλέον πρωτόνιο).

Το κοβάλτιο-60, $^{60}_{27}Co$, είναι ισότοπο που διασπάται με εκπομπή β- σωματιδίων και σχηματίζει ένα ισότοπο με μαζικό αριθμό 60 ενός στοιχείου, που έχει ατομικό αριθμό μεγαλύτερο κατά μία μονάδα από τον ατομικό αριθμό του κοβαλτίου. Το νέο στοιχείο (με μαζικό αριθμό 60 και ατομικό αριθμό 28) είναι ισότοπο του νικελίου. Η πυρηνική αντίδραση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$^{60}_{27}Co \rightarrow ^{60}_{28}Ni + ^{0}_{-1}e$$

10.10 Πυρηνικές αντιδράσεις και πυρηνική ενέργεια.

Το γεγονός ότι ο πυρήνας παραμένει αμετάβλητος κατά τις χημικές αντιδράσεις δείχνει ότι οι συνδετικές δυνάμεις και οι ενέργειες του πυρήνα είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που έχουν σχέση με χημικές αντιδράσεις. Πειράματα δείχνουν ότι οι πυρηνικές δυνάμεις και ενέργειες είναι περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερες από τις χημικές δυνάμεις και ενέργειες. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν μεγάλο ενδιαφέρον οι πυρηνικές αντιδράσεις ως



ΣΧΗΜΑ 10-8. *Η τομή του ερευνητικού αντιδραστήρα στο Idaho δείχνει την τοποθέτηση του καυσίμου στο ένα από τα δύο μέρη του. Τα δύο αυτά μέρη έρχονται σε επαφή, για να ξεκινήσει η αυτοκαταλυόμενη αντίδραση σχάσεως.*

πηγή ενέργειας. Η ενέργεια των πυρηνικών αντιδράσεων συνήθως λέγεται «ατομική ενέργεια», όρος που δεν είναι πολύ ακριβής, επειδή με αυτόν θα μπορούσε να εννοηθεί και οποιαδήποτε άλλη ενέργεια που προέρχεται από άτομα, όπως π.χ. η ενέργεια από χημικές διεργασίες, όπως το κάψιμο του πετρελαίου. Ο ορθός όρος για τις τεράστιες ποσότητες ενέργειας που εκλύονται κατά τις πυρηνικές αντιδράσεις είναι «πυρηνική ενέργεια».

Οι δύο μορφές ραδιενεργού αποικοδομήσεως που έχουν περιγραφεί, δηλαδή η αποικοδόμηση με εκπομπή α και αυτή με εκπομπή β σωματιδίων είναι δύο είδη πυρηνικών αντιδράσεων. Συμβαίνουν αυθορμήτως σε ορισμένους πυρήνες, που από τη φύση τους είναι ασταθείς. Υπάρχουν άλλες πυρηνικές αντιδράσεις οι οποίες είναι δυνατόν να συμβούν μόνο υπό ορισμένες συνθήκες. Ένα σπουδαίο παράδειγμα είναι η διάσπαση του πυρήνα. Επάνω σε αυτό το είδος της πυρηνικής αντιδράσεως βασίζονται ο ατομικός αντιδραστήρας (όμοιος με αυτόν που φαίνεται στο σχήμα 10-8) και η ατομική βόμβα.

Μία πυρηνική αντίδραση σχάσεως μπορεί να παρασταθεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + \text{ενέργεια}$$

Αυτό σημαίνει ότι, όταν ένα νετρόνιο, που συμβολίζεται $^{1}_{0}n$ (μαζικός αριθμός 1, φορτίο 0),

εισχωρήσει σε έναν πυρήνα $^{235}_{92}U$, δημιουργεί αστάθεια, εξ αιτίας της οποίας ο πυρήνας διασπάται σε δύο μέρη, ελευθερώνοντας έτσι μερικά νέα νετρόνια και ενέργεια.

Σε μία από τις πολλές πιθανές διασπάσεις, τα κύρια κομμάτια από τη διάσπαση του ατόμου είναι άτομα (ή ιόντα) βαρίου (Ba) και κρυπτού (Kr), γι' αυτό ανεγράφησαν και τα ισότοπα $^{144}_{56}Ba$ και $^{89}_{36}Kr$ στην εξίσωση της διασπάσεως. Η ενέργεια που ελευθερώνεται, όταν ένα mole ουρανίου -235 υφίσταται σχάση, είναι 10 εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από αυτήν που ελευθερώνεται, όταν καίγεται ένα mole (δηλ. 12 g) άνθρακα.

10.11 Υπολογισμοί της ενέργειας των πυρηνικών αντιδράσεων.

Οι ποσότητες ενέργειας που ενυπάρχουν σε έναν ατομικό πυρήνα και εκλύονται σε μερικές πυρηνικές αντιδράσεις είναι τόσο μεγάλες, ώστε ισοδυναμούν με ποσότητα μάζας ικανής να μετρηθεί. Μπορούμε να την υπολογίσομε χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Einstein $E = mc^2$ (κεφ. 3.10)*.

Με τη βοήθεια φασματογράφων μάζας ειδικής κατασκευής, όπως αυτός που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 9.8, είναι δυνατόν να μετρηθούν οι μάζες των διαφόρων ατόμων με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε ότι οι μάζες μερικών ατόμων και του νετρονίου είναι αυτές

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.4.
Ακριβείς μάζες μερικών ατόμων και του νετρονίου.

Άτομο ή σωμάτιο	Μάζα (g/mole)
$^{3}_{1}H$ (τρίτιο)**	3,01605
$^{2}_{1}H$ (δευτέριο)	2,01410
$^{4}_{2}H$ (ήλιο)	4,00260
$^{1}_{0}n$ (νετρόνιο)	1,00867

που φαίνονται στον πίνακα 10.4.

Μία πιθανή πυρηνική αντίδραση, όπως αυτή που στην πραγματικότητα συμβαίνει στον ήλιο και τα αστέρια, είναι η ακόλουθη αντίδραση σύντηξης:

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

Σύνολο μάζας 5,03015 → 5,01127

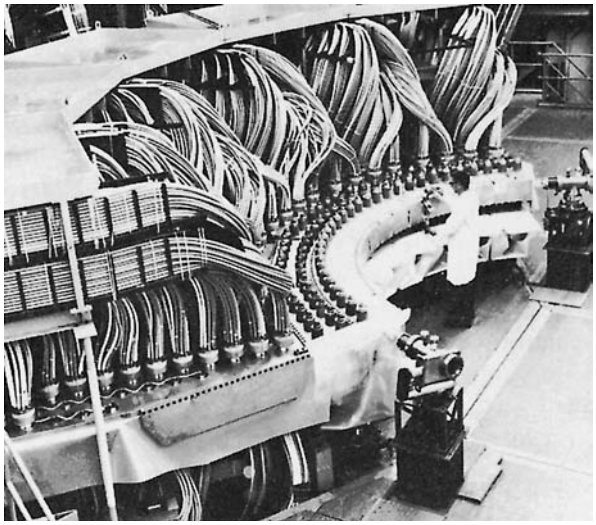
Είναι φανερό ότι οι συνολικές μάζες στα δύο μέρη της εξισώσεως ***δεν*** είναι ίδιες. Προφανώς ένα μέρος της μάζας έχει χαθεί. Προκειμένου να ισχύει ο Νόμος της διατηρήσεως Μάζας και ενέργειας. Για να εφαρμοσθεί ο Νόμος της ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας, θα πρέπει να γίνει δεκτό ότι αυτή η μάζα εμφανίσθηκε ως ενέργεια. Από την εξίσωση του Einstein μπορεί να υπολογισθεί με ακρίβεια πόση ενέργεια ελευθερώνεται, όταν ένα mole $^{2}_{1}H$ συνδέεται με ένα mole $^{3}_{1}H$, για να σχηματίσει ένα mole $^{4}_{2}He$.

Η μείωση της μάζας είναι:

$$5{,}03015 - 5{,}01127 = 0{,}01888 \text{ g/mole}$$
$$E = mc^2$$
$$= (1{,}888 \times 10^{-5} \text{ kg}) \times (3{,}00 \times 10^{8} \text{ m/sec})^2$$
$$= 1{,}70 \times 10^{12} \text{ joules}$$
$$= 4{,}06 \times 10^{11} \text{ calories}$$

Αυτό ισοδυναμεί με ενέργεια 20.000 φορές μεγαλύτερη από αυτήν που παράγεται κατά την καύση ενός τόνου κάρβουνου.

Υπάρχουν συγκεκριμένοι πρακτικοί λόγοι, που



ΣΧΗΜΑ 10-9. *Ένα κυκλικό τμήμα μήκους 5 μέτρων της ερευνητικής θερμοπυρηνικής μονάδας Scyllac του Νέου Μεξικού. Ολόκληρη η μονάδα θα έχει σχήμα κυκλικό και θα παράγει θερμοκρασίες 5 x 10^7 K.*

* *Σ.τ.Μ. ($E = mc^2$): Ο πολλαπλασιασμός μιας έστω και πολύ μικρής μάζας (m) με το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός (3 x 10^{10})^2 = 9 x 10^{20}, συνεπάγεται την έκλυση τεράστιας ποσότητας ενέργειας.*

** *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για το τρίτο γνωστό ισότοπο του υδρογόνου. Είναι ραδιενεργό και υπάρχει μόνο σε ελάχιστα ίχνη στη φύση. Μπορεί να σχηματισθεί στους ατομικούς αντιδραστήρες.*

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Στο δυτικό κόσμο (και προοδευτικά σε κάθε σημείο της γης) η διατήρηση της ζωής εξαρτάται από την παραγωγή πολύ μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Ένα μικρό μέρος αυτής της ενέργειας μπορούμε να το προμηθευθούμε κατ' ευθείαν από τη φύση αξιοποιώντας τις υδατοπτώσεις, τα φράγματα, τη γαιοθερμική ενέργεια και την ηλιακή θερμότητα, όπως και τη ανθρώπινη μυική δύναμη και τη δύναμη των κατοικιδίων ζώων. Αλλά το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται, παράγεται με πιο πολύπλοκες διαδικασίες. Μέχρι πρόσφατα, όλες αυτές οι διαδικασίες βασίζονταν στη χημική αντίδραση που λέγεται καύση. Τα περισσότερα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού καίνε κάρβουνο, τα κτήρια θερμαίνονται με την καύση κάρβουνου, αερίου ή πετρελαίου, και τα περισσότερα τροχοφόρα κινούνται με βενζίνη. Δηλαδή η καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, αέριο, πετρέλαιο) είναι ο κύριος τρόπος, δια του οποίου ο άνθρωπος σήμερα παράγει ενέργεια. Τα αποθέματα αυτών των προϊόντων όμως δεν είναι ανεξάντλητα. Κάποια ημέρα θα εξαντληθούν. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί ακριβώς το πότε, γιατί δεν είναι ακριβώς γνωστός ο ρυθμός με τον οποίο θα αυξηθεί στο μέλλον η κατανάλωση, αλλά και γιατί δεν είναι ακριβώς γνωστά τα αποθέματα ορισμένων καυσίμων.

Αυτό που μπορεί κάποιος να πει με κάποια βεβαιότητα είναι ότι τα ορυκτά καύσιμα θα είναι αρκετά τουλάχιστον για ένα ακόμη αιώνα, εκτός αν πολύ γρήγορα οι άνθρωποι επιστρέψουν στον «προ-βιομηχανικό» τρόπο ζωής.

Ακόμη και αν τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων ήταν απεριόριστα, υπάρχουν σοβαρά προβλήματα μολύνσεως του περιβάλλοντος, που δημιουργούνται από τη χρήση τους.

Όπως έχει αναφερθεί (κεφ. 6), πολλά από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής περιέχουν μικρά ποσά θείου και θειούχων ενώσεων. Αυτά ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα σχηματίζοντας SO_2.

Γι' αυτό, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική ενέργεια είναι για πολλούς ιδανική λύση.

Υπάρχουν βασικά δύο τρόποι, για να γίνει αυτό: Με σύντηξη και με διάσπαση. Και οι δύο διεργασίες βασίζονται στο γεγονός ότι πυρήνες με μεσαίου μεγέθους ατομικούς αριθμούς είναι πολύ σταθερότεροι από αυτούς που έχουν πολύ μεγάλους ή πολύ μικρούς ατομικούς αριθμούς.

Έτσι, όταν ένας μεγάλος πυρήνας, όπως του ουρανίου, διασπάται σε μερικούς άλλους πυρήνες μεσαίου μεγέθους, ελευθερώνεται επίσης ενέργεια. Αυτή είναι η αρχή για την παραγωγή ενέργειας με διάσπαση του πυρήνα.

Όταν πολύ ελαφρείς πυρήνες συνενώνονται για να σχηματίσουν έναν βαρύτερο, ελευθερώνεται ενέργεια. Αυτή είναι η αρχή για την παραγωγή ενέργειας με σύντηξη πυρήνων.

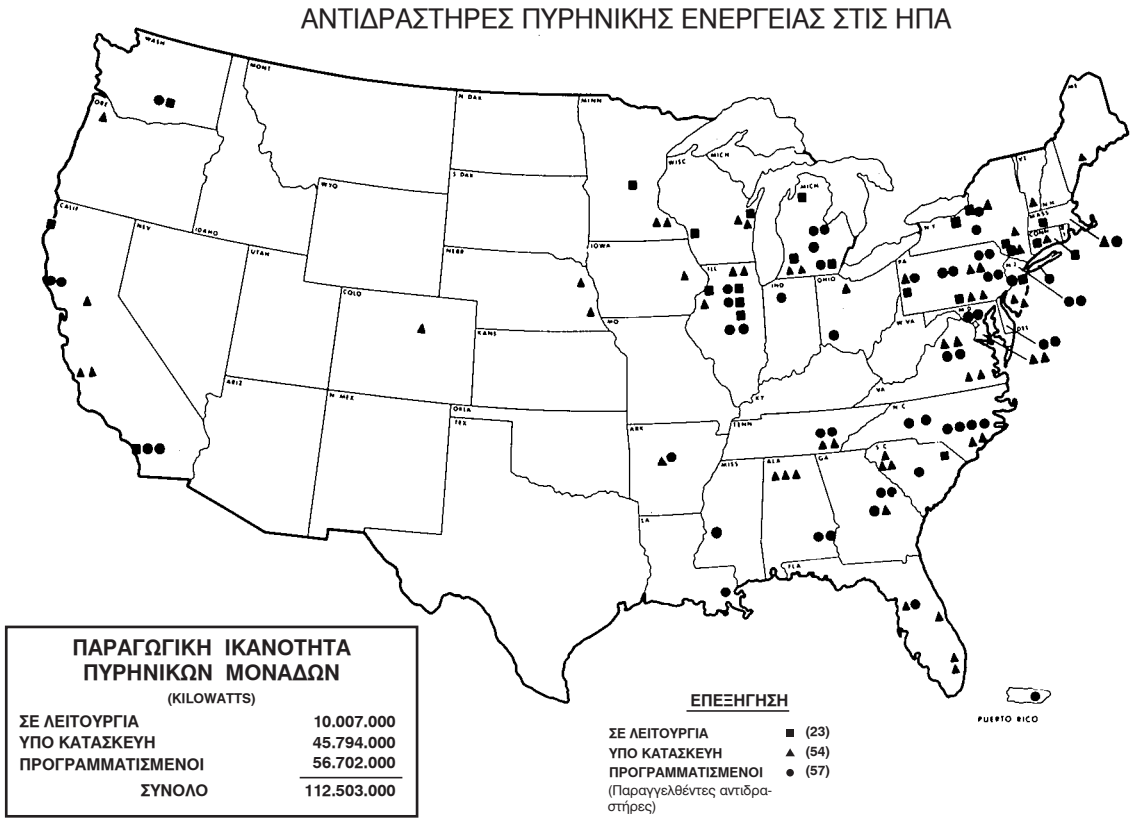
Προς το παρόν, για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας βρίσκει εφαρμογή η διάσπαση (σχάση) των πυρήνων. Αν και οι μέθοδοι συντήξεως φαίνονται αρκετά ελκυστικές, εν τούτοις, διάφορα τεχνικά προβλήματα ως προς την εφαρμογή τους δεν έχουν ακόμη λυθεί. Για να πλησιάσουν οι δύο ελαφρείς πυρήνες, πρέπει να τους δοθεί αρχικά πολύ μεγάλη ενέργεια. Αυτή και ακόμη περισσότερη ενέργεια εκλύεται μετά την πυρηνική σύντηξη. Παρ' όλα αυτά, η μελέτη ενός τέτοιου αντιδραστήρα, στον οποίο θα γίνεται η σύντηξη και στη συνέχεια η ενέργεια που ελευθερώνεται θα μετατρέπεται σε χρήσιμη μορφή θερμικής ενέργειας, δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί. Δεν είναι απόλυτα βέβαιο σήμερα ότι είναι δυνατή μία τέτοια εξέλιξη, αν και αυτοί που ασχολούνται με τη σύντηξη προβλέπουν ότι θα έχουν ξεπεράσει τα προβλήματά τους στη δεκαετία του 1980 και ότι από το 1990* θα λειτουργούν τέτοιοι σταθμοί ισχύος.

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται κυρίως με τους αντιδραστήρες διασπάσεως (σχάσεως). Οι τεχνικές λεπτομέρειες αυτής της μεθοδολογίας είναι ήδη γνωστές. Αρκετές μονάδες χρησιμοποιούνται ήδη στις ΗΠΑ, στην Αγγλία και αλλού. Μικροί αντιδραστήρες αυτού του τύπου τροφοδοτούν και τα επονομαζόμενα πυρηνοκίνητα υποβρύχια.

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 10.10, με τη διάσπαση του ουρανίου-235 ελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Υπάρχουν επίσης άλλοι πυρήνες, όπως το πλουτόνιο-239, που λειτουργούν ικανοποιητικά ως πυρηνικά καύσιμα. Επί πλέον, είναι τεχνικά εφικτό να λειτουργήσουν αναπαραγωγικοί (breeder) αντιδραστήρες**. Σε αυτούς, από τη διάσπαση του ^{235}U ή του ^{239}Pu δεν παράγεται μόνο ενέργεια αλλά, ταυτόχρονα,

* *Σ.τ.Μ. Η πρόβλεψη αυτή δεν επαληθεύθηκε τουλάχιστον μέχρι σήμερα.*

** *Σ.τ.Μ. Οι αντιδραστήρες αυτοί δημιουργούν περισσότερο σχάσιμο υλικό από αυτό που ξοδεύουν.*



ι έσεις των υπαρχόντων και των προγραμματισθέντων να λειτουργήσουν αντιδραστήρων πυρηνικής ενέργειας στις ΗΠη, το ν άρτιο του 1972

το ^{238}Pu που υπάρχει, μετατρέπεται σε ^{239}Pu, που χρησιμοποιείται επίσης ως καύσιμο.

Από τεχνικής απόψεως δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η πυρηνική διάσπαση είναι ένας πολύ πρακτικός τρόπος για την παραγωγή ενέργειας. Το μεγάλο πρόβλημα, που όλος ο κόσμος θα πρέπει να σκεφθεί, είναι η επίδραση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας στο περιβάλλον, σε σύγκριση με την επίδραση της παραγωγής ενέργειας με συμβατικούς τρόπους.

Η πυρηνική ενέργεια έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Η προμήθεια του καυσίμου δεν παραμορφώνει το περιβάλλον, όπως π.χ. η εξόρυξη του κάρβουνου.
2. Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι αμελητέα σε σύγκριση με αυτήν, που προκαλείται από την καύση των συμβατικών καυσίμων.
3. Με τη χρήση των αναπαραγωγικών αντιδραστήρων μπορεί να προβλεφθεί ότι οι υπάρχουσες πηγές καυσίμων είναι αρκετές περίπου για 50.000 χρόνια.

Υπάρχουν όμως και τα εξής μειονεκτήματα:

1. Οι εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας προκαλούν περισσότερη θερμική μόλυνση. Δηλαδή το ποσό της άχρηστης θερμότητα κατά μονάδα ενέργειας που παράγεται, είναι μεγαλύτερο σε μία πυρηνική μονάδα από ό,τι σε μία συμβατική.
2. Η πυρηνική διάσπαση παράγει επικίνδυνα ραδιενεργά απόβλητα, που θα πρέπει για εκατοντάδες χρόνια να αποθηκευθούν με ασφάλεια, μέχρι να αδρανοποιηθούν. Αυτό δεν είναι και τόσο εύκολο, όταν πρόκειται για τόσο μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι ραδιενεργές ουσίες είναι πολύ επικίνδυνες για κάθε έμβιο ον. Ειδικά οι ακτίνες β και γ καταστρέφουν ευαίσθητους ιστούς, όπως ο νωτιαίος μυελός και τα ερυθρά αιμοσφαίρια. Μεγάλη ποσότητα ραδιενέργειας προκαλεί πολύ γρήγορα το θάνατο. Μικρότερες ποσότητες, που μπορούν να διαρρεύσουν από

αποθηκευμένα απόβλητα προκαλούν καρκίνο, αναιμία και γενετικές βλάβες.

3. Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να υποστεί κάποια βλάβη ο πυρηνικός αντιδραστήρας, εξ αιτίας της οποίας είναι πιθανόν να σημειωθεί υπερθέρμανση ή να διαρρεύσει ραδιενέργεια στο περιβάλλον, σε επίπεδα επικίνδυνα για κάθε ζώντα οργανισμό.

Όπως είναι προφανές, υπάρχουν κίνδυνοι και μειονεκτήματα. Στην ερώτηση σε τι έκταση και με ποιο ρυθμό πρέπει να γίνει η μετάβαση σε εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας αντί να αυξηθούν οι δυνατότητες παραγωγής ενέργειας με τους συμβατικούς τρόπους*, δεν είναι εύκολο να δοθεί απάντηση. Το πρόβλημα κυρίως δημιουργείται από τις μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις που επιβάλλει ο σύγχρονος τρόπος ζωής. Ο πληθυσμός αυξάνεται πολύ γρήγορα και η κατά κεφαλή κατανάλωση ηλεκτρισμού ακόμη γρηγορότερα. Εξ αιτίας αυτών των δύο παραγόντων οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια γίνονται μεγαλύτερες.

Υπάρχουν μερικοί που απαντούν στο πρόβλημα χωρίς να αποφαίνονται για το ποια πορεία είναι σκόπιμο να ακολουθηθεί ως προς την παραγωγή ενέργειας. Αντί αυτού προτείνουν να ελεγχθεί η αύξηση του πληθυσμού και οι ενεργειακές ανάγκες. Είναι και αυτή μία πρόταση, που επίσης χρειάζεται πολλή σκέψη.

εμποδίζουν τη χρήση αυτού του είδους πυρηνικής συντήξεως και άλλων αναλόγων για την παραγωγή ενέργειας. Οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν ακόμη τον τρόπο παραγωγής της με ένα ελεγχόμενο ρυθμό (μια από τις τεχνικές που προσπαθούν να τελειοποιήσουν γι' αυτό το σκοπό φαίνεται στο σχήμα 10-9).

Η υδρογονοβόμβα αποτελεί παράδειγμα μη ελεγχόμενης αντιδράσεως πυρηνικής συντήξεως (ανάλογης με την παραπάνω). Ο ήλιος παράγει την ενέργειά του με αντιδράσεις πυρηνικής συντήξεως. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τους μηχανικούς και τους άλλους επιστήμονες είναι η υπό έλεγχο παραγωγή ενέργειας με πυρηνική σύντηξη.

Μπορεί επίσης να παραχθεί ενέργεια από τη διάσπαση του πυρήνα. Έχει επιτευχθεί μάλιστα ο έλεγχος της πορείας αυτής της αντιδράσεως. Το πρόβλημα με τη διάσπαση (σχάση) του πυρήνα είναι ότι παράγονται πολλά ραδιενεργά υλικά, που είναι επικίνδυνα και τα οποία είναι δύσκολο να αποθηκευθούν με ασφάλεια.

Περίληψη.

Οι εκ φύσεως ασταθείς ατομικοί πυρήνες υφίστανται ραδιενεργό αποσύνθεση (αποικοδόμηση), εκπέμποντας α ή β σωματίδια και ακτίνες γ. Η αποικοδόμηση α είναι η εκπομπή ενός σωματιδίου α ή πυρήνων ηλίου, που μειώνει την ατομική μάζα κατά 4 μονάδες και τον ατομικό αριθμό κατά 2.

Στην αποικοδόμηση β εκπέμπονται από τους πυρήνες ηλεκτρόνια. Το αποτέλεσμα είναι ένα άτομο με την ίδια ατομική μάζα, αλλά με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο κατά 1 μονάδα. Όταν εκπέμπονται ακτίνες γ από τον πυρήνα, δεν αλλάζει η ατομική μάζα και ο ατομικός αριθμός, αλλά ελευθερώνεται ενέργεια. Οι πυρηνικές δυνάμεις και ενέργειες είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες χημικές. Γι' αυτό ακριβώς η διάσπαση, η ελεγχόμενη σχάση του ατομικού πυρήνα παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Συνίσταται στην προσθήκη ενός νετρονίου στον πυρήνα ενός ατόμου μεγάλου ατομικού βάρους και αριθμού, προκειμένου να παραχθούν διάφορα άλλα άτομα μικρότερου ατομικού αριθμού, επί πλέον νετρόνια και ενέργεια.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς εξηγείται η εκπομπή των ακτινών γ;
2. Το $^{214}_{84}$Po διασπάται αυτόματα εκπέμποντας σωματίδια α. Να εκφρασθεί αυτό με μία πυρηνική εξίσωση.
3. Το $^{214}_{83}$Bi διασπάται αυτόματα εκπέμποντας σωματίδια β. Να εκφρασθεί αυτό με μία πυρηνική εξίσωση.
4. Να αναφερθούν τέσσερα διαφορετικά είδη πυρηνικών αντιδράσεων.

---

* *Σ.τ.Μ. Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες (αν και όχι σημαντικές) για την αξιοποίηση των ηπίων μορφών ενέργειας. Η καύση υδρογόνου για παραγωγή ενέργειας είναι μια από τις πιθανές λύσεις στο πρόβλημα. Ποιες προϋποθέσεις νομίζετε ότι πρέπει να διερευνηθούν;*



Η Marie (1867-1934) και ο Pierre (1859-1906) Curie μοιράσθηκαν με τον Becquerel, το 1903, το βραβείο Νόμπελ στη Φυσική. Το 1911, η Marie Curie τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ στη Χημεία.

Χρυσή εποχή των ατομικών ανακαλύψεων (1895 - 1940)

Αυτός που θέλει να αναφερθεί στις συγκλονιστικές επιστημονικές κατακτήσεις όσον αφορά στη δομή του ατόμου και του πυρήνα, οι οποίες σημειώθηκαν τα τελευταία ενενήντα πέντε χρόνια, αισθάνεται αμηχανία, γιατί δεν ξέρει από πού να αρχίσει. Τη στιγμή που είναι έτοιμος να καθορίσει την αρχή μιας «Χρυσής εποχής» με βάση το έργο κάποιου επιστήμονα, συνειδητοποιεί αμέσως ότι αυτός βασίσθηκε στο έργο κάποιου άλλου, ο οποίος είχε ασχοληθεί με το ίδιο θέμα ένα χρόνο, ή δέκα χρόνια ή πενήντα χρόνια νωρίτερα.

Ίσως η μεγαλύτερη έκρηξη γνώσεως στο πεδίο της ατομικής δομής ξεκίνησε με την ανακάλυψη των ακτινών Χ από τον William Roentgen το 1895. Ο Roentgen στην πραγματικότητα συνέχισε το έργο που είχαν αρχίσει το 1859 ο Geissler και ο Plücker, οι οποίοι είχαν ανακαλύψει τις καθοδικές ακτίνες σε σωλήνες εκκενώσεως αερίου. Αρκετοί άλλοι επιστήμονες στο διάστημα μεταξύ του 1859 και του 1895 είχαν εργασθεί επάνω στους ίδιους σωλήνες εκκενώσεως και χωρίς αμφιβολία είχαν παραγάγει ακτίνες Χ, αλλά ο Roentgen υπήρξε ο πρώτος που παρατήρησε το φθορισμό που προκαλούν οι ακτίνες Χ σε ουσίες που βρίσκονται έξω από τους σωλήνες.

Η ανακάλυψη της ραδιενέργειας από τον Becquerel στη Γαλλία ένα χρόνο αργότερα, ήταν άμεσο αποτέλεσμα της ερευνητικής εργασίας του Roentgen. Ο Becquerel υποπτεύθηκε ότι η λάμψη στο σκοτάδι ενός κομματιού μεταλλεύματος του ουρανίου, το οποίο προηγουμένως είχε εκτεθεί σε ηλιακό φως, ίσως να οφειλόταν σε σχηματισμό ακτινών Χ προερχομένων από τη δράση του ηλιακού φωτός στο μετάλλευμα. Η ανακάλυψή του, ότι δηλαδή το μετάλλευμα του ουρανίου παρήγαγε ακτινοβολίες, οι οποίες προσέβαλαν τις φωτογραφικές πλάκες, έστω και αν το μετάλλευμα αυτό δεν είχε προηγουμένως εκτεθεί στον ήλιο, απετέλεσε την πρώτη παρατήρηση της ραδιενέργειας.

Δεν χρειάσθηκε πολύ για να ανακαλύψει ο Becquerel ότι προφανώς υπήρχαν πολλές πηγές ραδιενέργειας στο μετάλλευμα του ουρανίου. Ανέθεσε στον Pierre και την Marie Curie, δύο από τους πτυχιούχους σπουδαστές του, το θέμα του προσδιορισμού αυτών των πηγών. Μέσα σε δύο χρόνια, ανακάλυψαν δύο νέα στοιχεία, το ράδιο και το πολώνιο.

Στο μεταξύ, ο Rutherford είχε ανακαλύψει τις ακτίνες άλφα και τις ακτίνες βήτα, που εκπέμπονται από το ουράνιο. Ο Becquerel και άλλοι ανακάλυψαν ότι αυτές οι ακτίνες μπορούσαν να εκτραπούν από μαγνήτες. Το 1900, ο Becquerel απέδειξε ότι οι ακτίνες βήτα ήταν όμοιες με τα σωματίδια των καθοδικών ακτίνων, τα οποία όπως, αποδείχθηκε αργότερα, ήταν ηλεκτρόνια. Εννέα χρόνια αργότερα ο Rutherford απέδειξε ότι τα σωματίδια άλφα ήταν θετικά φορτισμένα άτομα ηλίου. Η διείσδυση στην ατομική δομή ακολούθησε μερικές διαφορετικές πορείες. Ο Rutherford και άλλοι χρησιμοποίησαν τις ακτινοβολίες από ραδιενεργές πηγές, για να βομβαρδίσουν διάφορα υλικά. Αποκορύφωμα αυτής της τακτικής είναι τα πειράματα σκεδάσεως των σωματιδίων άλφα, που οδήγησαν στη σύλληψη της πυρηνικής δομής του ατόμου το 1911.

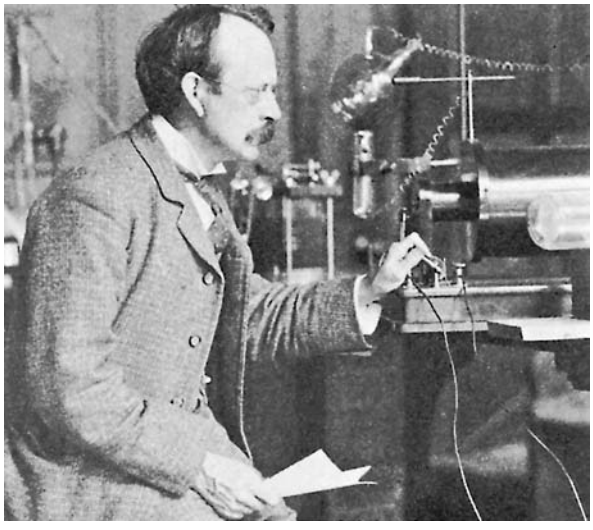
Ο J.J. Thomson κατά τη διάρκεια όλης αυτής της περιόδου μετρούσε το λόγο φορτίο προς μάζα του ηλεκτρονίου και ο R.A. Millikan μετρούσε με επιτυχία το φορτίο του ηλεκτρονίου με τα πειράματα «της σταγόνας του λαδιού», το 1910.

Ενώ συνέβαιναν όλά αυτά, πολλοί άλλοι

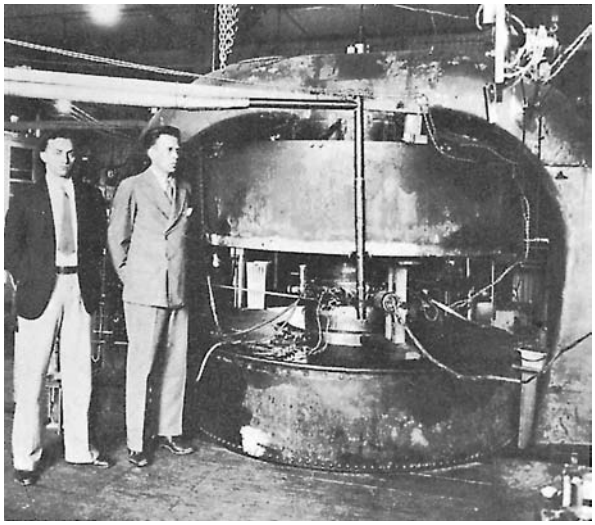
επιστήμονες διερευνούσαν το φαινόμενο «Edisson», το οποίο περιέγραφε την εκπομπή των ηλεκτρονίων από θερμά νήματα. Επίσης, άλλοι επιστήμονες εξέταζαν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, που προκαλούνταν από τη δράση του φωτός επάνω σε μερικά μέταλλα.

Το 1884, ένας Ελβετός δάσκαλος, ο Balmer, εξέτασε τις γραμμές του φάσματος του υδρογόνου και βρήκε ότι υπήρχε μια σημαντική μαθηματική σχέση ανάμεσα στις θέσεις των γραμμών (κεφ. 11). Το γεγονός αυτό άνοιξε ένα νέο πεδίο ερευνών. Για πολλά χρόνια άλλοι επιστήμονες μελέτησαν τα φάσματα πολλών διαφορετικών στοιχείων κάτω από ποικίλες συνθήκες. Με την έρευνά τους έγιναν γνωστές μερικές ακόμη κανονικές μαθηματικές σειρές, που περιγράφουν τη θέση των γραμμών στις φασματογραφικές πλάκες. Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν αργότερα, για να βοηθήσουν στην ερμηνεία της θέσεως των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα ενός ατόμου.

Το 1913, ο Niels Bohr από τη Δανία ήταν σε θέση να διατυπώσει την πρώτη επιτυχή θεωρία ατομικής δομής, βασισμένη σε έναν πυκνά δομημένο πυρήνα, όπως αυτός περιγράφηκε από τον Rutherford, και ένα ηλεκτρόνιο περιφερόμενο γύρω από τον πυρήνα σε μια σειρά τροχιών. Καθώς συγκεντρώθηκαν περισσότερα πειραματικά στοιχεία στα χρόνια που ακολούθησαν, έγιναν πολλές τροποποιήσεις στις βασικές ιδέες του Bohr. Το ατομικό πρότυπο του Bohr εξετάζεται στο κεφάλαιο 11.



Ο J.J. Thomson (1856-1940) ενώ εργάζεται στο εργαστήριο του Cavendish.



Ο M.S. Livingston (αριστερά) και ο Ernest O. Lawrence (δεξιά), στέκονται δίπλα στο μαγνήτη ενός από τα πρώτα συστήματα επιταχύνσεως σωματιδίων (κύκλοτρο).

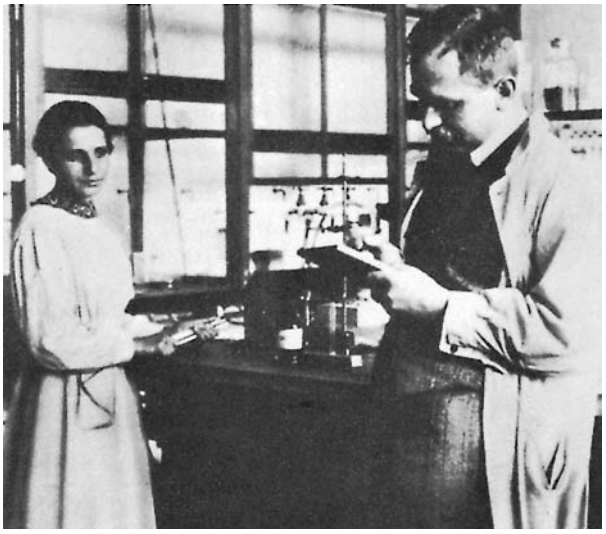
Στα χρόνια μεταξύ του 1907 και του 1912, ο J.J. Thomson επεξέτεινε τις ερευνητικές εργασίες του που αφορούσαν στη μέτρηση του λόγου φορτίο προς μάζα του ηλεκτρονίου, από τη μέτρηση μόνο των ηλεκτρονίων στη μέτρηση όλων των ειδών των θετικών ιόντων. Αυτό σήμανε την αρχή της επιστήμης της φασματομετρίας μάζας και κατέστησε δυνατό τον προσδιορισμό των ισοτόπων όλων των στοιχείων.

Ένας πολύ (απλός) μετρητής, που ανακαλύφθηκε αρχικά το 1908 από τον Geiger και τελειοποιήθηκε το 1928 από τον Mueller, απετέλεσε τη βάση μιας μεθόδου ανιχνεύσεως της ακτινοβολίας. Ο Βρετανός επιστήμονας C.T.R. Wilson, το 1911, εφεύρε τον πρώτο θάλαμο εκτονώσεως νέφους. Η διάταξη αυτή, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση της πορείας των ταχέως κινουμένων σωματιδίων, αποδείχθηκε ως μία από τις πιο σημαντικές συσκευές που κατασκευάσθηκαν ποτέ, ώστε να χρησιμοποιηθούν στην πυρηνική φυσική.

Το 1919, ο βομβαρδισμός του αζώτου από τον Rutherford με σωματίδια άλφα οδήγησε στην πρώτη μετατροπή στοιχείου που έγινε από τον άνθρωπο. Σύντομα, άλλοι επιστήμονες άρχισαν να αναζητούν άλλα πιο ισχυρά μέσα, προκειμένου να τα χρησιμοποιήσουν, για να βομβαρδίσουν τα στοιχεία. Αυτό είχε ως



Η Irθne Curie και ο σύζυγος της, Frθdθric Joliot. Μοιράσθηκαν το 1936 το βραβείο Νόμπελ Χημείας.



Η Lise Meitner και ο Otto Hahm συνεργάτες στο ερευνητικό πεδίο για περισσότερα από 30 χρόνια.

αποτέλεσμα τη δημιουργία από τον Robert J. Van de Graaff, το 1931 στις ΗΠΑ, της πρώτης επίσημης ηλεκτροστατικής γεννήτριας υψηλής τάσεως. Το 1932 οι E.O. Lawrence και M.S. Livingston, επίσης στις ΗΠΑ, κατασκεύασαν το πρώτο κύκλοτρο. Την ίδια χρονιά στην Αγγλία, ο Cockcroft και ο Walton πραγματοποίησαν για πρώτη φορά μια πυρηνική αντίδραση με έναν επιταχυντή υψηλής τάσεως.

Το νετρόνιο, την ύπαρξη του οποίου είχε προβλέψει ο Rutherford πριν από 12 χρόνια, ανακαλύφθηκε στην Αγγλία από τον Chadwick, το 1932. Το νετρόνιο είναι ένα μη φορτισμένο σωματίδιο, το οποίο δεν χρειάζεται επιταχυντή υψηλής τάσεως, για να εισχωρήσει στον πυρήνα ενός ατόμου. Μέσα σε δύο χρόνια, η Irθne Joliot-Curie και ο Frθdθric Joliot -στη Γαλλία- βρήκαν ότι μπορούσαν να δημιουργήσουν ραδιενεργά στοιχεία εκθέτοντάς τα σε νετρόνια. Επί πλέον εργασίες των ιδίων αυτών επιστημόνων, όπως και το έργο του Enrico Fermi στην Ιταλία, του Otto Hahm, του Fritz Strassmann, της Lise Meitner και του Otto Frisch στη Γερμανία, οδήγησαν στην ανακάλυψη της διασπάσεως του ουρανίου, το 1939. Ο Glenn Seaborg και ο Edwin Mc Millan το 1940 σχημάτισαν και απομόνωσαν τα πρώτα δύο συνθετικά στοιχεία, το ποσειδώνιο και το πλουτώνιο.

Θα χρειαζόταν πολύς χρόνος για να αναφερθούμε σε όλες τις επιστημονικές ανακαλύψεις στον τομέα της ατομικής δομής, που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο από το 1895 μέχρι το 1940. Ο κύριος σκοπός αυτής της αναφοράς ήταν να δείξομε πώς οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν ως αφετηρία των δικών τους μελετών εργασίες άλλων επιστημόνων και να καταστήσομε νοητό πόσοι πολλοί διαφορετικοί τύποι γνώσεων χρειάστηκε να συνδυασθούν για να προκύψει η σημερινή εικόνα της ατομικής δομής, η οποία είναι βέβαιο ότι στα χρόνια που έρχονται θα τροποποιηθεί πάλι.

Περίληψη κεφαλαίου

Όλα τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται σήμερα για τα άτομα βασίζονται σε ένα πρότυπο, αυτό του «ατόμου με πυρήνα».

Περιλαμβάνουν ένα μικροσκοπικό πυρήνα, που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Τα νετρόνια είναι ουδέτερα σωματίδια και έχουν περίπου την ίδια μάζα με τα πρωτόνια. Το μόνο άτομο που δεν έχει νετρόνια στον πυρήνα του είναι το πιο κοινό ισότοπο του υδρογόνου ${}^{1}_{1}H$. Ο πυρήνας του έχει ένα μόνο πρωτόνιο. Όλοι οι άλλοι πυρήνες περιέχουν τουλάχιστον ένα νετρόνιο μαζί με ένα ή περισσότερα πρωτόνια.

Το μεγαλύτερο μέρος του ατόμου καταλαμβάνεται από τα ηλεκτρόνια, που περιβάλλουν τον πυρήνα. Όσα είναι τα ηλεκτρόνια που περιβάλλουν τον πυρήνα, τόσα είναι και τα πρωτόνια, που περιέχονται σε αυτόν, ώστε το άτομο στο σύνολό του να είναι ουδέτερο.

Η διάμετρος των ατόμων είναι της τάξεως του ενός άνγκστρεμ (Å), μονάδας μήκους που ισούται με 10^{-8} cm.

Ο αριθμός των πρωτονίων (άρα και των ηλεκτρονίων) καθορίζει το στοιχείο, στο οποίο ανήκει το άτομο, και ονομάζεται ατομικός αριθμός του ατόμου ή του στοιχείου. Ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων του πυρήνα καθορίζει κατά προσέγγιση τη μάζα του ατόμου, γιατί κάθε ένα πρωτόνιο ή νετρόνιο έχει μάζα 1840 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα ενός ηλεκτρονίου. Ο συνολικός αριθμός των σωματιδίων του πυρήνα (πρωτονίων και νετρονίων) λέγεται μαζικός αριθμός του ατόμου.

Άτομα με περισσότερα ή λιγότερα ηλεκτρόνια από ό,τι πρωτόνια έχουν αντίστοιχα αρνητικό ή θετικό φορτίου και λέγονται ιόντα.

Άτομα με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (δηλαδή άτομα του ίδιου στοιχείου), αλλά με διαφορετικό αριθμό νετρονίων, λέγονται ισότοπα.

Από αντιδράσεις, κατά τις οποίες αλλάζει ο πυρήνας, προκύπτουν ποσά ενέργειας περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερα από αυτά που προκύπτουν από χημικές αντιδράσεις. Μία κατηγορία πυρηνικών αντιδράσεων περιλαμβάνει την αυτόματη σχάση των ασταθών πυρήνων, κατά την οποία πιθανόν να υπάρξει εκπομπή σωματιδίων α (πυρήνων ηλίου), σωματιδίων β (ταχέων ηλεκτρονίων) ή ακτινών γ. Ένας άλλος τύπος πυρηνικών αντιδράσεων οδηγεί σε διάσπαση, κατά την οποία ένα νετρόνιο εισχωρεί στον πυρήνα και τον διασπά σε κλάσματα, προξενώντας έτσι την απελευθέρωση νετρονίων και ενέργειας.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

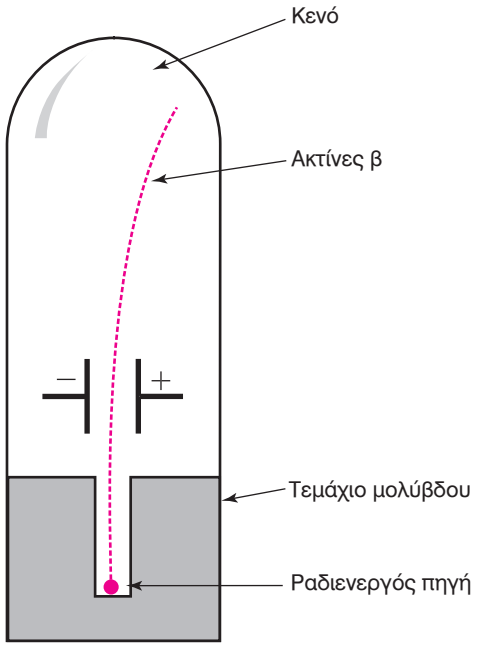
1. Τι είναι το σωματίδιο άλφα; Πώς είναι δυνατόν να σχηματισθούν σωματίδια άλφα προκειμένου να τα παρατηρήσομε;
2. Γιατί ήταν απαραίτητο να διεξάγονται τα πειράματα σκεδάσεως του Rutherford μέσα σε κενό;
3. Ποια είναι τα τρία βασικά συμπεράσματα που εξάγονται από τις παρατηρήσεις που έγιναν στα πειράματα σκεδάσεως του Rutherford;
4. Ποια παρατήρηση κατά τη διάρκεια των πειραμάτων σκεδάσεως του Rutherford συμφωνεί με το πρότυπο του ατόμου του Thomson; Ποια παρατήρηση δεν συμφωνεί με αυτό; Γιατί;
5. Γιατί ο Rutherford κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ακτίνα του πυρήνα ενός ατόμου είναι μόνο το ένα δεκάκις εκατομμυριοστό της ακτίνας αυτού του ατόμου; Τι τον ανάγκασε να πιστεύει ότι ο πυρήνας είναι τόσο πυκνά δομημένος;
6. Τι κοινό έχουν τα πρωτόνια και τα νετρόνια; Σε τι διαφέρουν;
7. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στον ατομικό και το μαζικό αριθμό ενός ατόμου;
8. Αν ένα ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο έχει ατομικό αριθμό 10, ποια από τις ακόλουθες καταστάσεις του ατόμου μπορεί να αληθεύει; Δικαιολογήστε με συντομία την απάντησή σας.
   (α) Έχει 10 νετρόνια.
   (β) Υπάρχουν 10 ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα.
   (γ) Υπάρχουν 10 πρωτόνια στον πυρήνα.
   (δ) Η ατομική μάζα του ατόμου είναι 10.
   (ε) Η ατομική μάζα του ατόμου είναι 20.
9. Ένα άτομο ενός ισοτόπου του ουρανίου έχει ατομικό αριθμό 92 και μαζικό αριθμό 238. Πόσα ηλεκτρόνια περιέχει αυτό το άτομο; Ποιο κλάσμα της συνολικής μάζας αυτού του ατόμου αποτελούν, κατά προσέγγιση, τα ηλεκτρόνια;

10. Σε τι διαφέρουν τα ισότοπα ενός στοιχείου μεταξύ τους; Σε τι μοιάζουν;
11. Συγκρίνατε τις ιδιότητες των ακτινοβολιών άλφα, βήτα και γάμμα, που παράγονται από ραδιενεργές ουσίες.
12. Στο σχήμα 10-10 μια ραδιενεργός πηγή έχει τοποθετηθεί στο βάθος μιας βαθιάς οπής, η οποία έχει διανοιχθεί σε ένα τεμάχιο μολύβδου. Η πηγή παράγει ακτινοβολίες άλφα, βήτα και γάμμα, που όλες εξέρχονται από την οπή ακολουθώντας ευθεία γραμμή μέσα σε ένα μονωμένο θάλαμο υπό κενό. Όταν οι ακτίνες αυτές διέλθουν ανάμεσα από δύο αντίθετα φορτισμένες μεταλλικές πλάκες, διαπιστώνεται ότι οι ακτίνες βήτα εκτρέπονται και ακολουθούν μια καμπύλη τροχιά, που δηλώνεται με τη διακεκομμένη γραμμή. Αντιγράψτε πρόχειρα το σχεδιάγραμμα. Σημειώστε τις τροχιές που θα περιμένατε να ακολουθήσουν οι ακτινοβολίες άλφα και γάμμα στις ίδιες συνθήκες. Εξηγήστε.
13. Το στοιχείο ράδιο (Ra) αποβάλλει ένα σωματίδιο άλφα κατά τη διάρκεια της ραδιενεργού διασπάσεώς του. Ένα ισότοπο του βισμουθίου (Bi) αποβάλλει ένα σωματίδιο βήτα. Συμπληρώστε τις παρακάτω δύο εξισώσεις. Προσδιορίστε πρώτα τον ατομικό και τον μαζικό αριθμό των σχηματιζομένων προϊόντων. Προσδιορίστε κατόπιν τα προϊόντα εντοπίζοντάς τα από τους αντίστοιχους ατομικούς αριθμούς τους στον περιοδικό πίνακα.

(α) $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + \text{——}$

(β) $^{214}_{83}Bi \rightarrow {}^{0}_{-1}e + \text{——}$

14. Μια αντίδραση διασπάσεως ξεκινά με την είσοδο ενός νετρόνιου στον πυρήνα ενός ατόμου ουρανίου. Γιατί είναι πιο εύκολη η είσοδος ενός νετρονίου σε έναν πυρήνα από ό,τι θα ήταν η είσοδος πρωτονίου σε αυτόν;
15. Αναφέρατε ποιος είναι: (α) ο αριθμός πρωτονίων, (β) ο αριθμός νετρονίων, (γ) ο αριθμός ηλεκτρονίων και (δ) το φορτίο του πυρήνα του ατόμου του καθενός από τα δύο



ΣΧΗΜΑ 10-10.

απαντώνται στη φύση ισότοπα του άνθρακα, $^{12}_{6}C$ και $^{13}_{6}C$.

16. Η μέση διάσταση της διαμέτρου ενός πυρήνα είναι 1×10^{-12} cm και της διαμέτρου ενός ατόμου 1×10^{-8} cm. Προσδιορίστε το λόγο του όγκου του ατόμου προς τον όγκο του πυρήνα.
17. Ας υποτεθεί ότι ο πυρήνας ενός ατόμου φθορίου είναι μια σφαίρα με ακτίνα 5×10^{-13} cm. Αν το φθόριο έχει ατομικό αριθμό 9 και μαζικό αριθμό 19, να υπολογίσετε την πυκνότητα (σε γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό) της ύλης στον πυρήνα του φθορίου.
18. Η πυκνότητα του μετάλλου χαλκού είναι περίπου 8,9 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό. Η ατομική μάζα του χαλκού είναι 63,54 γραμμάρια ανά mole.
    (α) Πόσα άτομα υπάρχουν σε ένα κυβικό εκατοστό χαλκού;
    (β) Πόσα άτομα θα υπάρχουν στη μια ακμή κύβου χαλκού διαστάσεως ενός εκατοστού;
    (γ) Ποια είναι κατά προσέγγιση η διάμετρος του ατόμου του χαλκού;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

Αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο φως και τα άτομα



Υδράργυρος, Hg



Λίθιο, Li



Κάδμιο, Cd



Στρόντιο, Sr



Βάριο, Ba



Ασβέστιο, Ca



Ήλιο, He

Χαρακτηριστικά γραμμικά φάσματα, όπως αυτά της φωτογραφίας, παράγονται από αέρια στοιχεία, που έχουν υψηλή ενέργεια. Από τη μελέτη των γραμμικών φασμάτων έχουν προκύψει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση της δομής του ατόμου.

Το φως είναι μια από τις πολλές μορφές ενέργειας. Όλες οι μορφές της ύλης έχουν τη δυνατότητα να εκλύουν, υπό ορισμένες συνθήκες, φως και να το απορροφούν κάτω από άλλες συνθήκες. Ένας από τους πιο χρήσιμους τρόπους για να λάβομε πληροφορίες σχετικά με τη δομή των μορίων και των ατόμων, είναι η λεπτομερής μελέτη του τρόπου με τον οποίο απορροφούν και εκπέμπουν φως. Προσεκτικές μετρήσεις αυτών των διαδικασιών βοήθησαν τους επιστήμονες να κατανοήσουν πώς είναι κατανεμημένα τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα των ατόμων και πόση ενέργεια έχουν στην κάθε μία από τις διαφορετικές διατάξεις τους γύρω από αυτόν. Στο κεφάλαιο αυτό θα επαναλάβομε μερικά από τα βασικά πειράματα αυτού του είδους και εσείς θα προσπαθήσετε να τα ερμηνεύσετε. Επειδή το φως παίζει ένα τόσο σημαντικό ρόλο σε όλα αυτά τα πειράματα, θα ξεκινήσομε με τη μελέτη της φύσεως αυτού του

Η φύση του φωτός

11.1 Το φως ως κυματομορφή.

Θα έχετε οπωσδήποτε δει ακτίνες ή δέσμες ακτίνων φωτός. Τι είναι δέσμη φωτός; Οι εμπειρίες σας γενικά, ίσως σας έχουν βοηθήσει να καταλήξετε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με τη φύση του φωτός, ανάλογα με αυτά που ακολουθούν:

1. Ακόμη και ένα δυνατό φως δεν μοιάζει να ασκεί κάποια δύναμη επάνω σας. Το φως κατά πάσα πιθανότητα, δεν είναι μια μορφή ύλης, γιατί δεν μοιάζει να έχει μάζα.
2. Όταν βρίσκεστε κάτω από το δυνατό φως του ήλιου αισθάνεστε ζεστασιά. Προφανώς το φως μεταφέρει ενέργεια και αυτή, όταν απορροφάται από το δέρμα σας, μετατρέπεται σε θερμότητα. Ίσως το φως να είναι μόνο ενέργεια. Αν όμως αυτό αληθεύει, τότε πώς διαδίδεται;
3. Το φως εμφανίζεται με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Τι εξήγηση δίνετε για τα διαφορετικά χρώματα του φωτός;

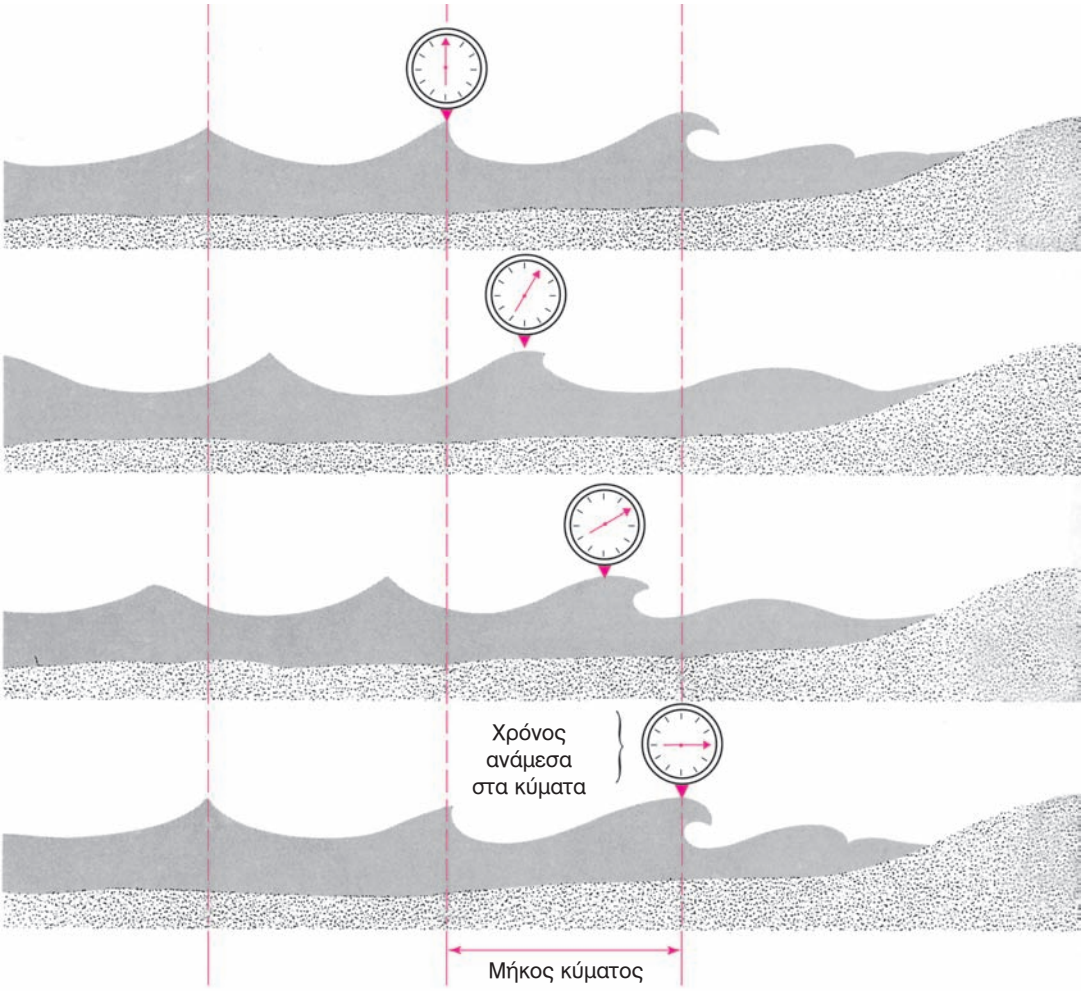
Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις και για να απαντήσουν οι επιστήμονες στα ερωτήματα που δημιουργήθηκαν, ανέπτυξαν ένα πρότυπο για το φως. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, το φως έχει τα χαρακτηριστικά της ***κυματοειδούς κινήσεως***. Για να κατανοήσομε τι σημαίνει αυτός ο ορισμός, ας φέρομε στο νου μας μια πολύ γνωστή περίπτωση κυματοειδούς κινήσεως, τα κύματα του θαλάσσιου νερού, όταν φθάνουν και κτυπούν στην ακρογιαλιά. Το σχήμα 11-1 δείχνει δύο μετρήσεις, που είναι δυνατόν να γίνουν: Τη μέτρηση της αποστάσεως ανάμεσα σε δύο κορυφές και τη μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο κύματα.

Η απόσταση ανάμεσα στις κορυφές δύο διαδοχικών κυμάτων λέγεται μήκος κύματος. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο διαδοχικά κύματα (t) είναι η απαραίτητη χρονική περίοδος, για να περάσει ένα πλήρες κύμα από ένα καθορισμένο σημείο. Το αντίστροφο του ($1/t$) χρησιμοποιείται περισσότερο και είναι ο αριθμός των κυμάτων που περνούν σε ένα δευτερόλεπτο από ένα καθορισμένο σημείο. Είναι γνωστός ως ***συχνότητα*** και μετρείται σε κύματα ανά δευτερόλεπτο. Συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα νι (ν).

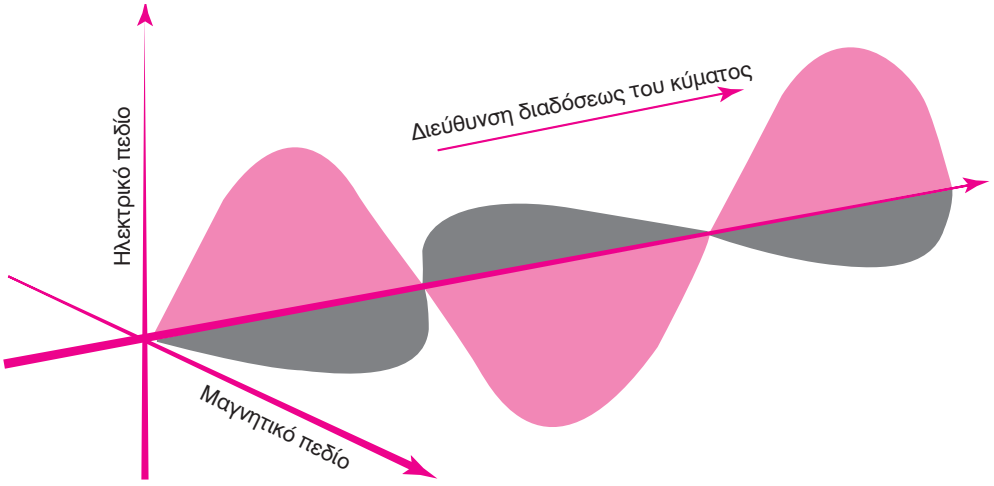
Το φως διαδίδεται στο διάστημα, όπως διαδίδονται τα κύματα επάνω στην επιφάνεια του νερού. Το φως είναι ένα είδος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, δηλαδή αποτελεί συνδυασμό ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, τα οποία έχουν την ίδια διεύθυνση μέσα στο χώρο (ή μέσα σε κάποιο άλλο μέσο, όπως είναι το γυαλί). Η ένταση του ηλεκτρικού αλλά και του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλεται διαρκώς. Αυτές οι μεταβολές στην ένταση των πεδίων είναι ανάλογες με τις μεταβολές της επιφανείας του νερού στο παράδειγμα των κυμάτων πάνω στο νερό.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 11-2, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους. Και τα δύο πεδία είναι επίσης κάθετα προς τη διεύθυνση, κατά την οποία κινούνται τα «κύματα του φωτός». Κατ' αναλογία η ύψωση και η ταπείνωση των κυμάτων του νερού είναι σε οποιοδήποτε σημείο κάθετες προς τη διεύθυνση, κατά την οποία διαδίδονται τα κύματα.

Το ***μήκος κύματος***, στην περίπτωση των κυμάτων του φωτός, ισούται με την απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μέγιστες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου. Στην ανάλογη περίπτωση των κυμάτων του νερού, μήκος κύματος είναι η



ΣΧΗΜΑ 11-1. *Τα κύματα του νερού μας βοηθούν να κατανοήσομε τις δύο σημαντικές ιδιότητες όλων των κυμάτων: το μήκος κύματος και τη συχνότητα. Συχνότητα είναι ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από κάποιο σημείο σε ένα δευτερόλεπτο.*



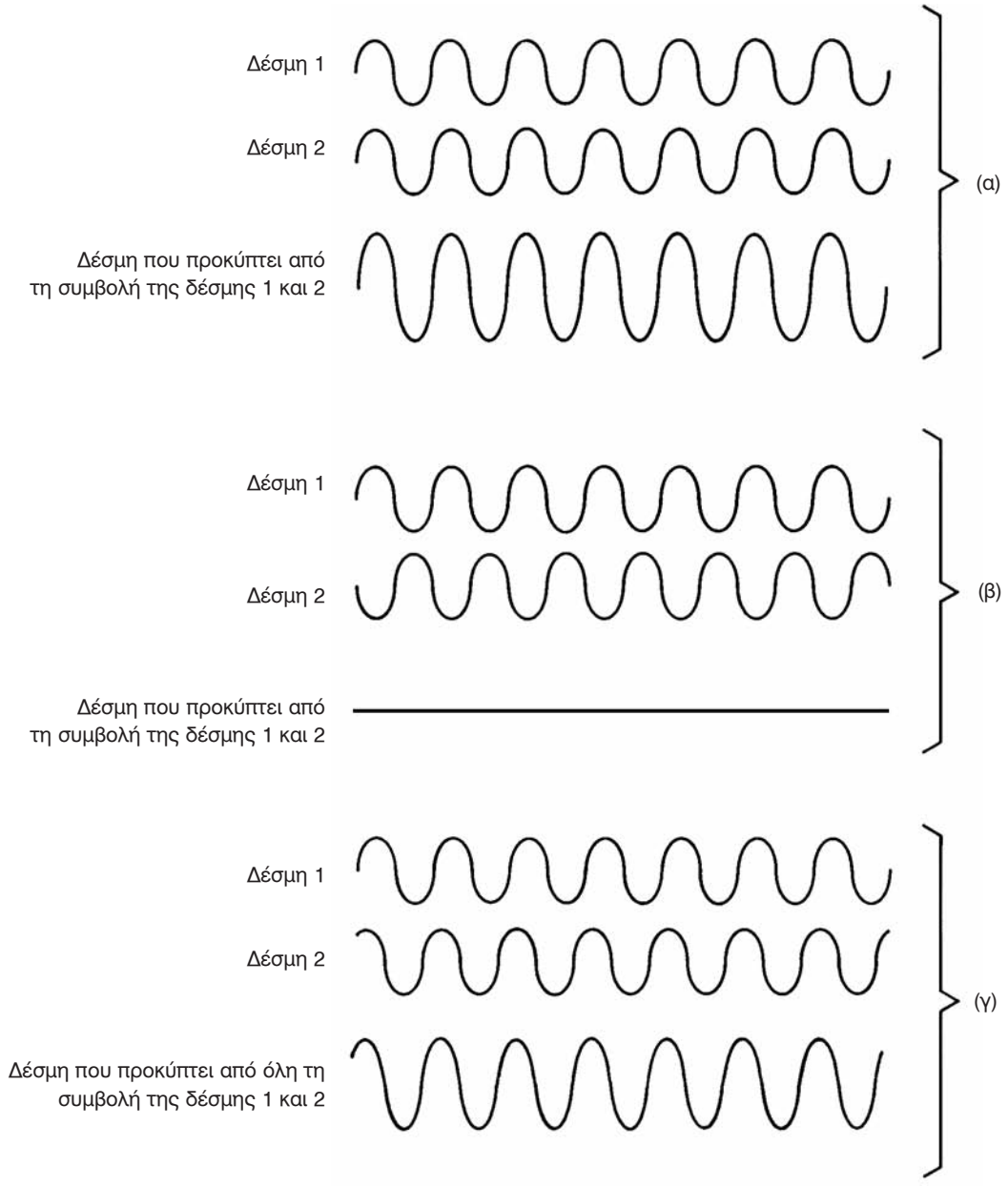
ΣΧΗΜΑ 11-2. *Στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η ενέργεια διαδίδεται συγχρόνως με τη μορφή ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, τα οποία μεταβάλλονται με κυματοειδή μορφή. Όπως συμβαίνει και στα κύματα του νερού, υπάρχουν κοιλάδες και κορυφές με χαρακτηριστικές ιδιότητες το μήκος κύματος και τη συχνότητα.*

απόσταση από κορυφή σε κορυφή. Το σύμβολο του μήκους κύματος είναι πάλι ένα ελληνικό γράμμα, το λάμβδα (λ).

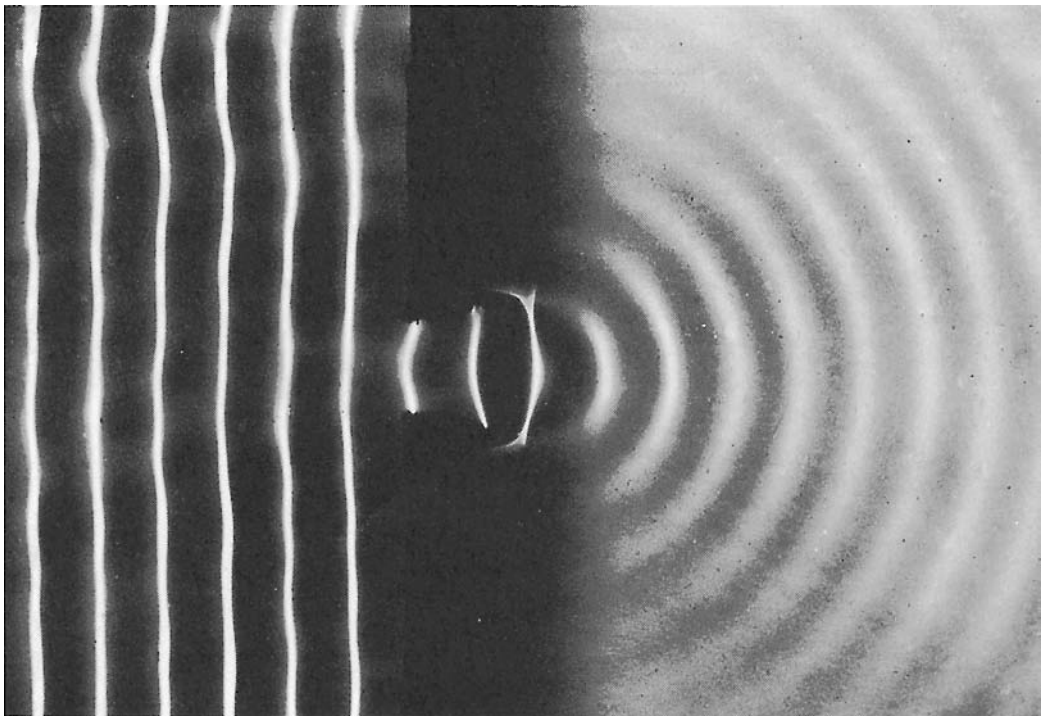
Ποια πειράματα βοήθησαν τους επιστήμονες να αντιληφθούν την κυματοειδή φύση του φωτός;

Μερικές από τις πιο σημαντικές άμεσες ενδείξεις για την κυματοειδή φύση του φωτός προέρχονται από πειράματα, τα οποία βασίζονται στην περίθλαση (σχ. 11-4 και 11-5) και τη συμβολή του φωτός. Πριν μελετήσομε αυτά τα πειράματα, ας σκεφθούμε με ποιους τρόπους αλληλεπιδρούν τα κύματα.

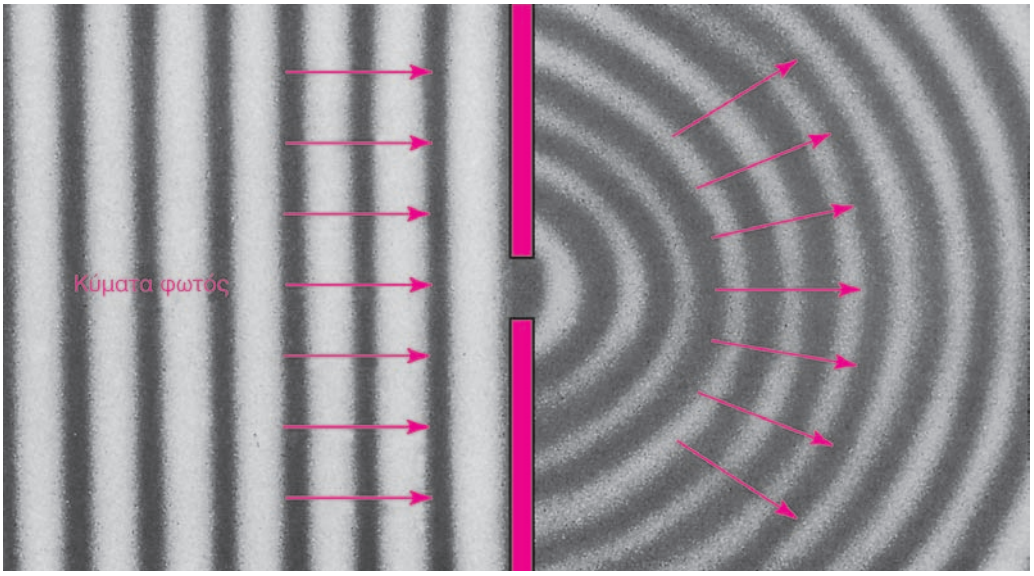
Ας υποθέσομε ότι αφήνομε να συμπέσουν δύο δέσμες φωτός. Η δέσμη που θα προκύψει τι μορφή θα έχει; Αυτό εξαρτάται από τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα κύματα της μιας και της άλλης δέσμης. Στο σχήμα 11-3 μπορείτε να δείτε μερικές διαφορετικές δυνατότητες (τα κύματα



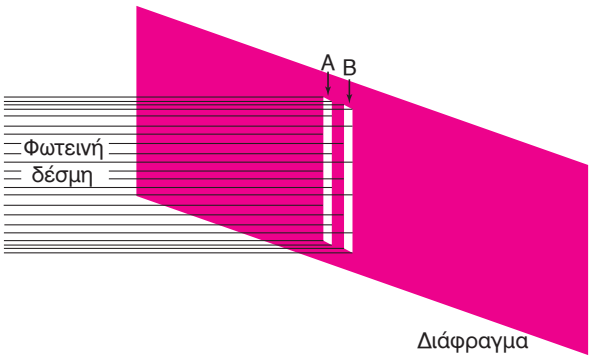
ΣΧΗΜΑ 11-3. *Τα φαινόμενα συμβολής έχουν ως αποτέλεσμα: α) την πλήρη ενίσχυση των δύο κυμάτων, β) την πλήρη αναίρεσή τους και γ) τη μερική αναίρεσή τους.*



ΣΧΗΜΑ 11-4. *Η φωτογραφία αυτή δείχνει κύματα νερού να περνούν από αριστερά προς στα δεξιά, μέσα από ένα στενό άνοιγμα. Η απόκλιση αυτή των κυμάτων από την πορεία τους ονομάζεται περίθλαση.*



ΣΧΗΜΑ 11-5. *Τα κύματα του φωτός, όταν περνούν μέσα από ένα μικρό άνοιγμα, υφίστανται επίσης περίθλαση, όπως δείχνει και το παραπάνω διάγραμμα.*

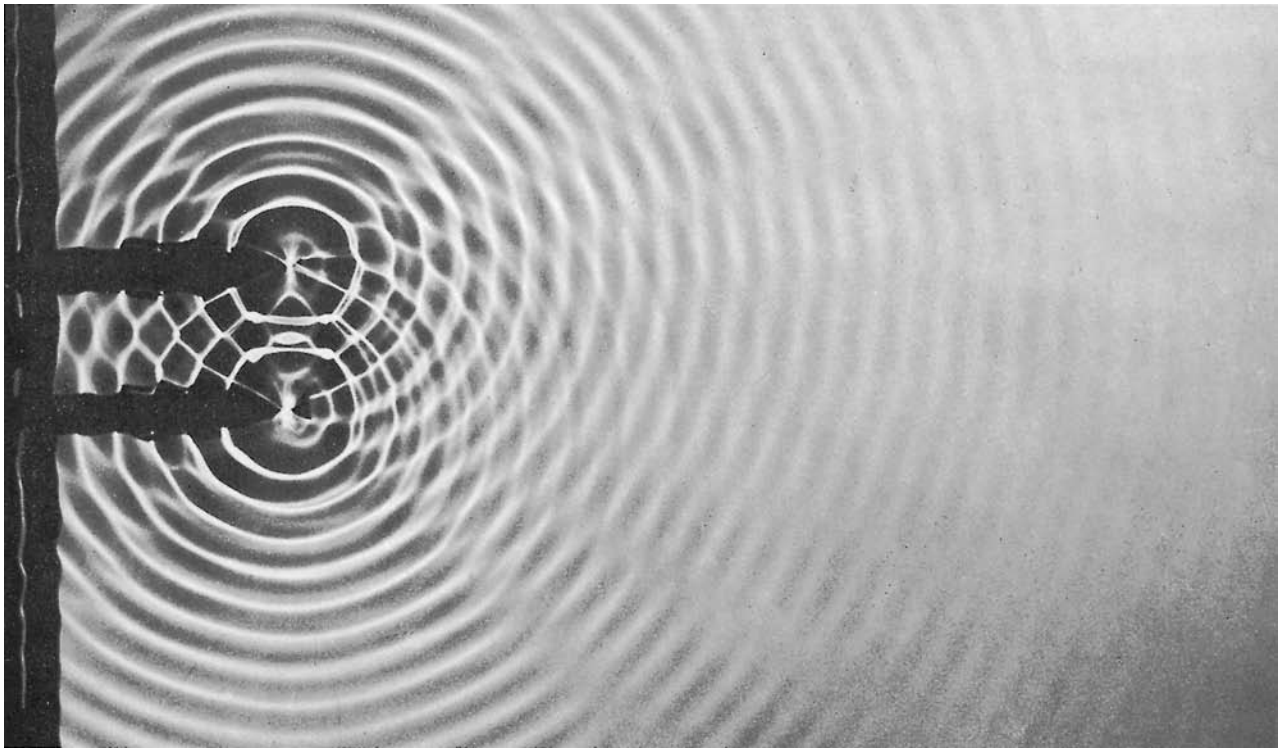


ΣΧΗΜΑ 11-6. *Μια φωτεινή δέσμη, καθώς προσεγγίζει ένα ζεύγος παραλλήλων σχισμών. Η απόσταση ανάμεσα στις δύο σχισμές είναι ίση με το μήκος κύματος του φωτός.*

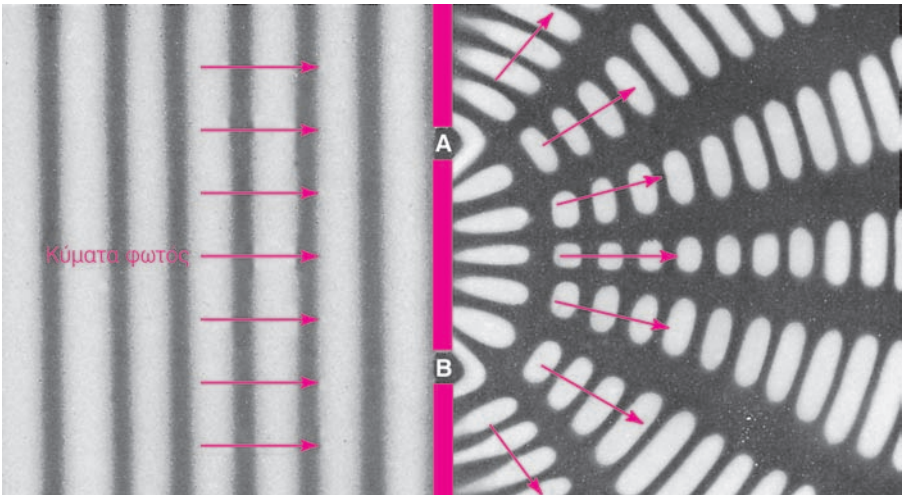
παριστάνουν μεταβολές στο μέγεθος των ηλεκτρικών πεδίων, επάνω στο ίδιο επίπεδο). Στην (α) περίπτωση οι καμπύλες της μιας δέσμης συμπίπτουν ακριβώς με τις καμπύλες της άλλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη ενίσχυση και γι' αυτό προκύπτει μια δέσμη πολύ ισχυρή. Στην (β) περίπτωση οι κορυφές της μιας δέσμης συμπίπτουν ακριβώς με τις κοιλάδες της άλλης. Έτσι, δημιουργείται πλήρης αναίρεση. Στην (γ) περίπτωση βλέπομε μια ενδιάμεση κατάσταση, υπάρχει δηλαδή μερική αναίρεση. Τα φαινόμενα που περιγράψαμε ονομάζονται φαινόμενα συμβολής.

Όταν παράλληλα κύματα συναντήσουν ένα διάφραγμα στο οποίο υπάρχει μικρό άνοιγμα, ένα μέρος τους θα περάσει μέσα από αυτό. Τότε, αντί για την ευθύγραμμη δέσμη των παραλλήλων κυμάτων που έφθανε μέχρι το διάφραγμα, διαπιστώνομε ότι μετά το άνοιγμα δημιουργείται μια κεκαμμένη μορφή κυμάτων. Η απόκλιση αυτή που δημιουργείται στα κύματα, ονομάζεται ***περίθλαση***. Το σχήμα 11-4 δείχνει το φαινόμενο της περιθλάσεως όπως εμφανίζεται στην περίπτωση των κυμάτων του νερού. Ανάλογα συμπεριφέρεται και το φως, όπως δείχνει το σχήμα 11-5.

Αν συνδυάσομε τα φαινόμενα περιθλάσεως και συμβολής, είναι δυνατόν να δημιουργήσομε με το φως άμεσα ορατά παραδείγματα συμβολής. Τα παραδείγματα αυτά δείχνουν με παραστατικό τρόπο ότι το φως έχει ιδιότητες κύματος. Ας υποτεθεί ότι μια στενή δέσμη φωτός διέρχεται μέσα από δύο παράλληλες κατακόρυφες σχισμές, όπως στο σχήμα 11-6. Η δέσμη που περνά μέσα από κάθε σχισμή, σύμφωνα με όσα είπαμε προηγουμένως, περιμένομε να υποστεί



ΣΧΗΜΑ 11-7. *Συμβολή δύο ομάδων κυμάτων νερού, που αλληλοεπιδρούν.*

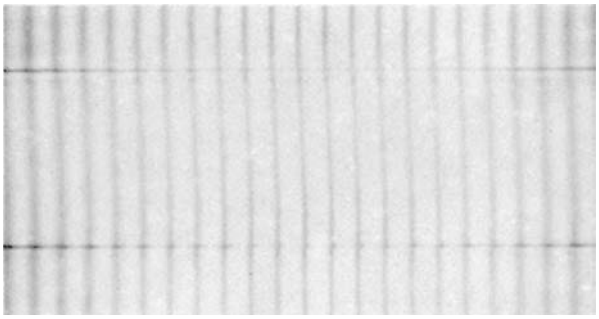


ΣΧΗΜΑ 11-8. *Το φαινόμενο της συμβολής γίνεται κατανοητό, αν κοιτάξομε από επάνω τις κορυφές των κυμάτων εκείνων που προέρχονται από δέσμες, οι οποίες υπέστησαν προηγουμένως περίθλαση. Τα βέλη δείχνουν τις γραμμές, κατά μήκος των οποίων υπάρχει μέγιστη ενίσχυση.*

περίθλαση. Τι συμβαίνει όμως, όταν οι δύο δέσμες που έχουν υποστεί προηγουμένως περίθλαση αλληλοεπιδράσουν, όπως στο σχήμα 11-6;

Η φωτογραφία της συμβολής των κυμάτων του νερού (σχ. 11-7) μας δείχνει το πιο πιθανό αποτέλεσμα. Αξίζει να σημειώσομε ότι σε μερικές θέσεις, τα κύματα μοιάζουν να έχουν εξαφανισθεί. Αν υπήρχε τρόπος να μετρήσομε το ύψος των κορυφών στα σημεία που δεν έχουν εξαφανισθεί τα κύματα, θα διαπιστώναμε ότι το ύψος τους είναι μεγαλύτερο από το ύψος των κορυφών του καθενός από τα κύματα χωριστά.

Ανάλογο θα είναι και το αποτέλεσμα που θα μας δώσουν οι φωτεινές δέσμες, αφού υποστούν προηγουμένως περίθλαση. Σε μερικά σημεία, θα υπάρχει σημαντική ενίσχυση, ενώ σε άλλα αναίρεση διαφόρων βαθμών. Οι αλληλεπιδράσεις που αναμένονται, δίνονται στο σχήμα 11-8, το οποίο παριστάνει μια εκ των άνω όψη της διατάξεως του σχήματος 11-6.



ΣΧΗΜΑ 11-9. *Ένα παράδειγμα συμβολής, που προέρχεται από ερυθρό φως.*

Αν τοποθετήσομε μια οθόνη ή πλησιάσομε οι ίδιοι σε κάποια απόσταση πέρα από τις δύο σχισμές θα διαπιστώσομε έναν τύπο συμβολής. Ένα τυπικό παράδειγμα συμβολής, που προέρχεται από το φως, φαίνεται στο σχήμα 11-9.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

11.2 Το φως συμπεριφέρεται άραγε όπως μία αλληλουχία κυμάτων;

Πριν μερικά χρόνια ο Ευγένιος Burdick έγραψε ένα βιβλίο με τον τίτλο «Το ένατο κύμα». Ο τίτλος του βιβλίου προήλθε από το γεγονός ότι αρκετοί ιστιοπλόοι παρατήρησαν πως σε σχεδόν τακτικά χρονικά διαστήματα έφθανε στην ακτή ένα ασυνήθιστα μεγάλο κύμα. Οι αθλητές το περίμεναν αυτό το κύμα με ιδιαίτερη ανυπομονησία. Αν και δεν υπάρχει κάποια επιστημονική ένδειξη ότι το ένατο κύμα είναι πάντα και το μεγαλύτερο, είναι βέβαιο ότι

εμφανίζεται πράγματι ένα κύμα πιο μεγάλο από τα άλλα σε κανονικά χρονικά διαστήματα. Αυτό οφείλεται στη συμβολή των κορυφών δύο ή περισσοτέρων ομάδων από κύματα, που πλησιάζουν ταυτόχρονα προς την ακτή. Ο συνδυασμός αυτών των πιο μικρών κυμάτων δημιουργεί ένα μεγάλο. Μερικές φορές τυχαίνει το κύμα που φθάνει στην ακτή να είναι μικρότερο από το μέσο όρο. Αυτό συμβαίνει, όταν η κορυφή ενός κύματος φθάνει στην ξηρά ταυτόχρονα με την κοιλάδα ενός άλλου κύματος. Με το συνδυασμό μιας κορυφής με μια κοιλάδα είτε προκύπτει ένα πολύ μικρό κύμα είτε δεν προκύπτει ίχνος κύματος. Αν το φως μπορεί να δημιουργεί κάποια φαινόμενα, ανάλογα με αυτά των κυμάτων του νερού, τότε ίσως να συμπεριφέρεται και ως μία αλληλουχία κυμάτων. Για να αποφασίσετε αν το φως έχει τα χαρακτηριστικά μιας κυμάνσεως, θα εξετάσετε τι συμβαίνει σε δύο δέσμες φωτός, όταν αλληλοεπιδρούν. Οι δύο δέσμες φωτός δημιουργούνται αν αφήσομε το φως να περάσει μέσα από δύο πολύ λεπτές παράλληλες σχισμές. Αν το φως αποτελείται πράγματι από κύματα, τότε τι περιμένετε να παρατηρήσετε: (α) Σε κάποιο σημείο, όπου φθάνουν ταυτόχρονα οι κορυφές δύο κυμάτων και (β) σε ένα σημείο, όπου μια κορυφή συμπίπτει με την κοιλάδα ενός κύματος;

ΣΚΟΠΟΣ

Θα μελετήσετε τι συμβαίνει, όταν δύο δέσμες φωτός συναντώνται, και θα προσδιορίσετε κατά πόσο το γεγονός αυτό οδηγεί σε κάποιο πρότυπο που υποδηλώνει ότι το φως αποτελείται από κύματα.

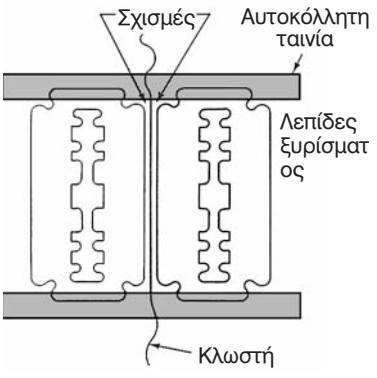
ΥΛΙΚΑ

Πηγή φωτός	Κόκκινο φίλτρο
Υποδεκάμετρο	Διαβήτης
Ένα κομμάτι χαρτόνι, 10 x 10 cm	Πράσινο ή μπλε φίλτρο

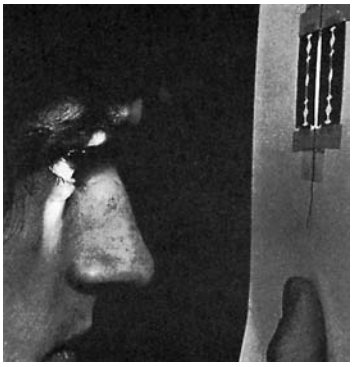
2 λεπίδες ξυρίσματος που κόβουν και από τις δυο πλευρές
10 cm χονδρή κλωστή ή αδιαφανής πετονιά
10 cm διαφανής αυτοκόλλητη ταινία ή ταινία σελοφάν

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Στο κέντρο ενός κομματιού από χαρτόνι με πλευρά περίπου 10 cm, ανοίξτε μια τετράγωνη τρύπα πλευράς περίπου 2 cm. Οι διαστάσεις δεν χρειάζεται να μετρηθούν με προσοχή· επίσης δεν είναι ανάγκη να γίνει η τρύπα με ακρίβεια. Κατά μήκος της τρύπας κολλήστε με ταινία, σύμφωνα με το σχήμα 11-10, τις δύο λεπίδες ξυρίσματος και τη χονδρή κλωστή ή την αδιαφανή πετονιά. Προσπαθήστε, ώστε να γίνουν οι σχισμές όσο το δυνατόν μικρότερες. Θα πρέπει το φως που διέρχεται μέσω αυτών μόλις να διακρίνεται.
2. Τοποθετήστε μια στενή κατακόρυφη πηγή φωτός σε απόσταση τριών περίπου μέτρων από τη δική σας θέση. Ως πηγή φωτός είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσετε ένα φωτεινό λαμπτήρα, που περιέχει ίσιο νήμα πυρακτώσεως. Αν δεν υπάρχει τέτοιου είδους λαμπτήρας μπορείτε να ανοίξετε μια κατακόρυφη σχισμή σε ένα κομμάτι χαρτόνι ή άλλο χονδρό χαρτί, και να φωτίσετε με έναν κοινό λαμπτήρα, τον οποίο θα τοποθετήσετε πίσω από αυτό.
3. Κρατήστε το κομμάτι από χαρτόνι με τις λεπίδες και την κλωστή πολύ κοντά στο μάτι σας και κοιτάξτε μέσα από τις σχισμές την κατακόρυφη φωτεινή πηγή, όπως δείχνει το σχήμα 11-11. Προσπαθήστε πρόχειρα να σχεδιάσετε στο τετράδιό σας όλα όσα βλέπετε.



ΣΧΗΜΑ 11-10.

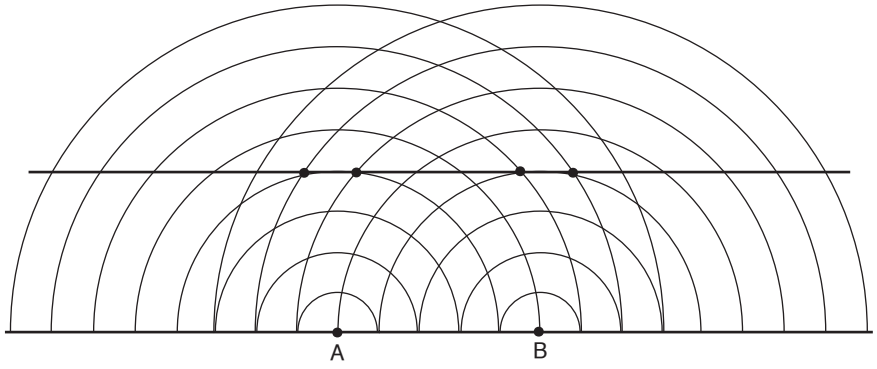


ΣΧΗΜΑ 11-11.

4. Τοποθετήστε ένα κόκκινο φίλτρο μπροστά από τη φωτεινή πηγή. Κοιτάξτε πάλι μέσα από τις σχισμές. Αυτό που βλέπετε τώρα είναι ίδιο ή διαφορετικό από αυτά που είχατε παρατηρήσει στο στάδιο 3;
5. Επαναλάβατε το πείραμα με ένα πράσινο ή μπλε φίλτρο αυτήν τη φορά. Αν υπάρχουν περισσότερες πηγές φωτός, τότε ίσως μπορείτε να κοιτάξετε πρώτα μέσα από ένα φίλτρο και αμέσως μετά μέσα από ένα άλλο, ώστε η πρώτη εικόνα να είναι έντονη στο μυαλό σας.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Εξηγήστε αυτό που είδατε μέσα από τις σχισμές. Μήπως διακρίνετε κάτι που συνηγορεί υπέρ της απόψεως ότι το φως συμπεριφέρεται ως μια αλληλουχία κυμάτων;
2. Μήπως το χρώμα του φωτός έχει κάποια σχέση με αυτό που βλέπετε μέσα από τις σχισμές; Πώς το εξηγείτε αυτό;
3. Σε ένα φύλλο χαρτί φτιάξτε ένα σχέδιο όμοιο με αυτό του σχήματος 11-12. Για να το επιτύχετε αυτό, τοποθετήστε αρχικά τη μύτη του διαβήτη στο μέσο της σχισμής Α και έπειτα στο μέσο της σχισμής Β. Λαμβάνοντας ως κέντρα αυτά τα δύο σημεία, σχεδιάστε δύο ημικύκλια, το καθένα με ακτίνα 0,5 cm και συνεχίστε γράφοντας ομόκεντρα ημικύκλια, των οποίων η ακτίνα να αυξάνει κατά 0,5 cm, μέχρι να φθάσετε σε ακτίνες 4,0 cm.
4. Φτιάξτε ένα ακόμη σχέδιο, όπως το προηγούμενο, με τη μόνη διαφορά οι ακτίνες των ομοκέντρων ημικυκλίων να είναι κατά 1,0 cm μεγαλύτερες από τις προηγούμενες.
5. Σε κάθε ένα από τα σχέδια αυτά χαράξτε μια ευθεία γραμμή σε απόσταση 2,0 cm από την αρχική οριζόντια γραμμή και παράλληλα προς αυτήν. Οι δύο αυτές ευθείες γραμμές θα πρέπει να τέμνουν όλα τα ομόκεντρα ημικύκλια που έχετε σχεδιάσει.
6. Σε καθένα από τα σχέδια τονίστε με ένα έντονο σημάδι κάθε σημείο τομής των ομοκέντρων ημικυκλίων, που συμπίπτει ή βρίσκεται πολύ κοντά στις ευθείες γραμμές που χαράξατε.
7. Ας θεωρήσομε ότι η ομάδα των ημικυκλίων, που απέχουν μεταξύ τους 1,0 cm, παριστάνει τα μέτωπα των κυμάνσεων του ερυθρού φωτός, ενώ η ομάδα των ημικυκλίων με απόσταση 0,5 cm μεταξύ τους παριστάνει τα μέτωπα των κυμάνσεων του πράσινου ή του κυανού φωτός. Μήπως διαπιστώνετε ότι υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στις αποστάσεις των σημείων που τονίσατε στα σχέδιά σας και των παρατηρήσεών σας κατά τη διάρκεια του πειράματος;



ΣΧΗΜΑ 11-12.

11.3 Το φως αποτελείται από κυματικές ακτινοβολίες διαφόρων συχνοτήτων.

Στο πείραμα που μόλις πραγματοποιήσατε ή τουλάχιστον παρακολουθήσατε την επίδειξη του δασκάλου σας, είδατε κάποια σχέδια συμβολής. Αυτά τα σχέδια υποδηλώνουν κατά έναν πολύ σχηματικό τρόπο ότι το φως έχει ιδιότητες κύματος. Όμως το πείραμα έδειξε και κάτι ακόμα. ***Τα σχέδια συμβολής άλλαξαν, όταν άλλαξε και το χρώμα του φωτός.*** Επειδή οι λεπτομέρειες του σχεδίου συμβολής θα πρέπει να καθορίζονται από το μήκος κύματος του φωτός (με την προϋπόθεση ότι το σύστημα της σχισμής διατηρείται αναλλοίωτο), το πείραμα αυτό φανερώνει ότι φως διαφορετικού χρώματος αντιστοιχεί σε διαφορετικά μήκη κύματος. Με μια περισσότερο λεπτομερή εξέταση των αποτελεσμάτων είναι δυνατόν να διαπιστωθεί ότι το ερυθρό φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από το κυανό (μπλε) φως.

Τα πειράματα μαρτυρούν ότι όλα τα χρώματα του φωτός διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα στο κενό, και σχεδόν με την ίδια ταχύτητα στον αέρα. Η ταχύτητα, με την οποία διαδίδεται το φως, συνδέεται με το μήκος κύματος και τη συχνότητά του, κατά έναν απλό τρόπο. Θυμηθείτε ότι η συχνότητα, ν, είναι ο αριθμός των κορυφών που περνούν από κάποιο σημείο σε ένα δευτερόλεπτο, ενώ το μήκος κύματος, λ, είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κορυφές. Η ταχύτητα του φωτός, c, πρέπει να ισούται με τον αριθμό των κορυφών που φθάνουν ανά δευτερόλεπτο επί την απόσταση ανάμεσα στις κορυφές, δηλαδή:

$$\text{cm/sec} = \frac{\text{cm}}{\text{κορυφή}} \times \frac{\text{κορυφή}}{\text{sec}}, \text{ ή } c = \lambda\nu$$

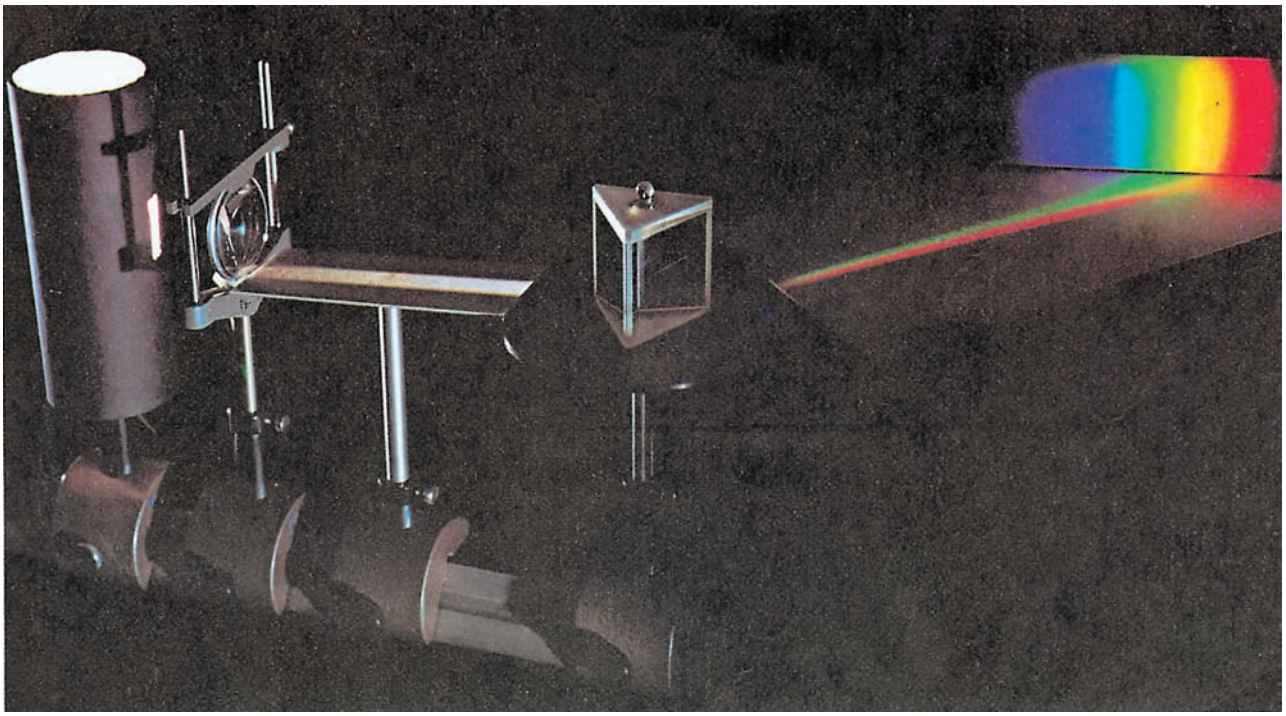
Η ταχύτητα του φωτός μετρήθηκε και βρέθηκε ίση με $3{,}00 \times 10^{10}$ cm/sec, στον αέρα. Με βάση αυτήν την τόσο σημαντική σχέση, διαπιστώνετε ότι, αν το ερυθρό φως έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από το κυανό φως, πρέπει να έχει και μικρότερη συχνότητα. Είναι δυνατόν να μάθομε περισσότερα για τη σχέση ανάμεσα στο χρώμα και τη συχνότητα του φωτός με τη βοήθεια ενός οργάνου, που λέγεται ***φασματογράφος***. Στο σχήμα 11-13 εικονίζεται ένα τέτοιο απλό όργανο. Ο φασματογράφος, όπως αναφέρθηκε, είναι ένα όργανο που αφήνει να φανεί η σύνθεση των συχνοτήτων του φωτός. Διαχωρίζει τις διάφορες συχνότητες που υπάρχουν στο ορατό φως, ενώ παράλληλα επιτρέπει τη μέτρηση καθεμιάς από αυτές.

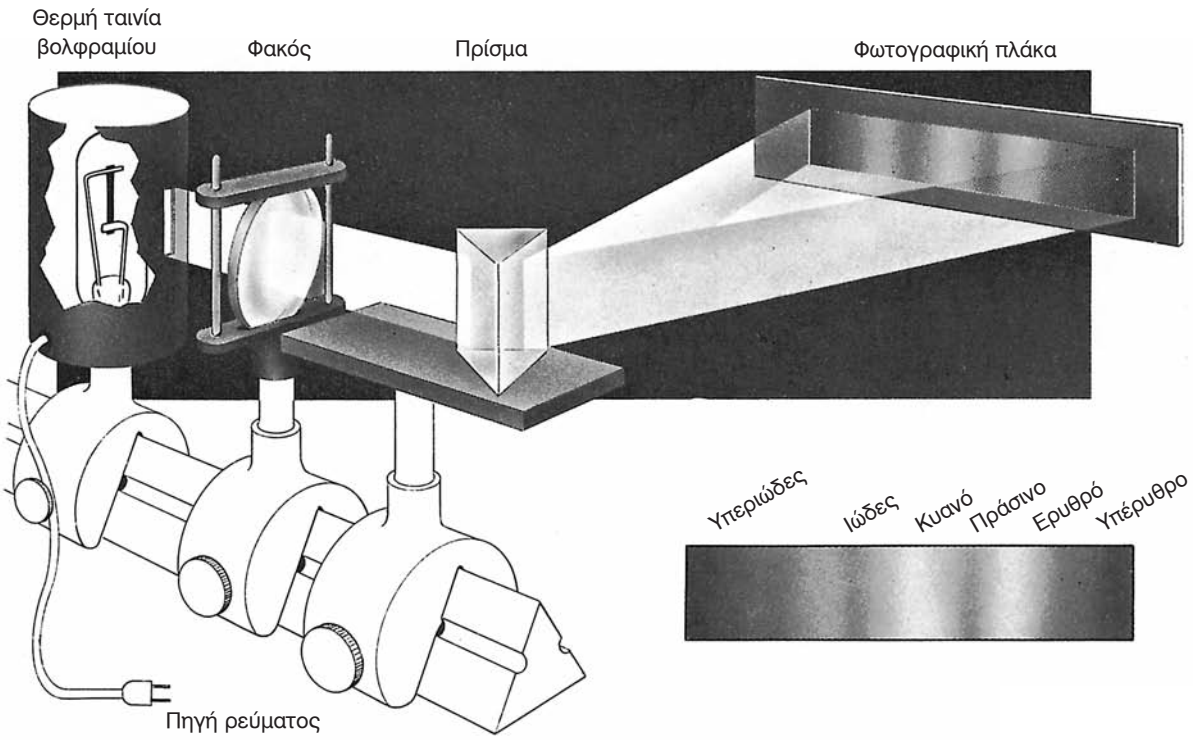
Στη διάταξη που εικονίζεται, το φως το οποίο διέρχεται μέσα από μια στενή σχισμή εστιάζεται - περνώντας- μέσα από τους φακούς, σε μια δέσμη παραλλήλων ακτίνων. Αυτή η δέσμη περνά στη συνέχεια μέσα από το πρίσμα. Όλο το φως ***διαθλάται***, δηλαδή ***κάμπτεται*** ή αλλάζει πορεία λόγω της παρεμβολής του πρίσματος. Οι διαφορετικές συχνότητες όμως εκτρέπονται κατά διαφορετικές γωνίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μαθαίνομε τη σύσταση των συχνοτήτων του φωτός που πέρασε από τη σχισμή με τη βοήθεια της εικόνας που αποτυπώνεται πάνω σε μια φωτογραφική πλάκα. Στο σχήμα 11-13 η πηγή του φωτός είναι μια ταινία βολφραμίου*, που θερμαίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα περίπου στους 1000°C.

Ο διαχωρισμός του φωτός στις συχνότητες από τις οποίες αποτελείται, δημιουργεί ένα φάσμα (σχ. 11-14). Το φάσμα αυτό είναι δυνατόν να αποτυπωθεί σε φωτογραφικό φιλμ. Όπως και στην περίπτωση μιας κοινής φωτογραφικής μηχανής (μετά την εμφάνιση του φιλμ), τα πιο σκοτεινά σημεία αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη ένταση φωτός. Από το φάσμα διαπιστώνετε ότι σε διαφορετικές συχνότητες αντιστοιχούν διαφορετικά χρώματα. Για παράδειγμα το κυανό φως έχει συχνότητα περίπου $7{,}5 \times 10^{14}$ κύματα ανά δευτερόλεπτο. Το ερυθρό έχει μικρότερη συχνότητα, περίπου $4{,}3 \times 10^{14}$ κύματα ανά δευτερόλεπτο. Τα τελευταία χρόνια η μονάδα μετρήσεως της συχνότητας έγινε περισσότερο γνωστή ως ***Hertz (Hz)***. Η μονάδα αυτή αντικατέστησε όχι μόνο την έκφραση «κύματα ανά δευτερόλεπτο», αλλά και άλλες ισοδύναμες εκφράσεις, όπως «κύκλοι ανά δευτερόλεπτο» ή «ταλαντώσεις ανά δευτερόλεπτο». Ισοδυναμεί με το αντίστροφο του δευτερολέπτου, δηλαδή είναι 1/sec ή sec^{-1}. Ονομάσθηκε έτσι προς τιμή του Heinrich Hertz, ο οποίος παρήγαγε πρώτος ραδιοκύματα πριν από 100 και πλέον χρόνια.

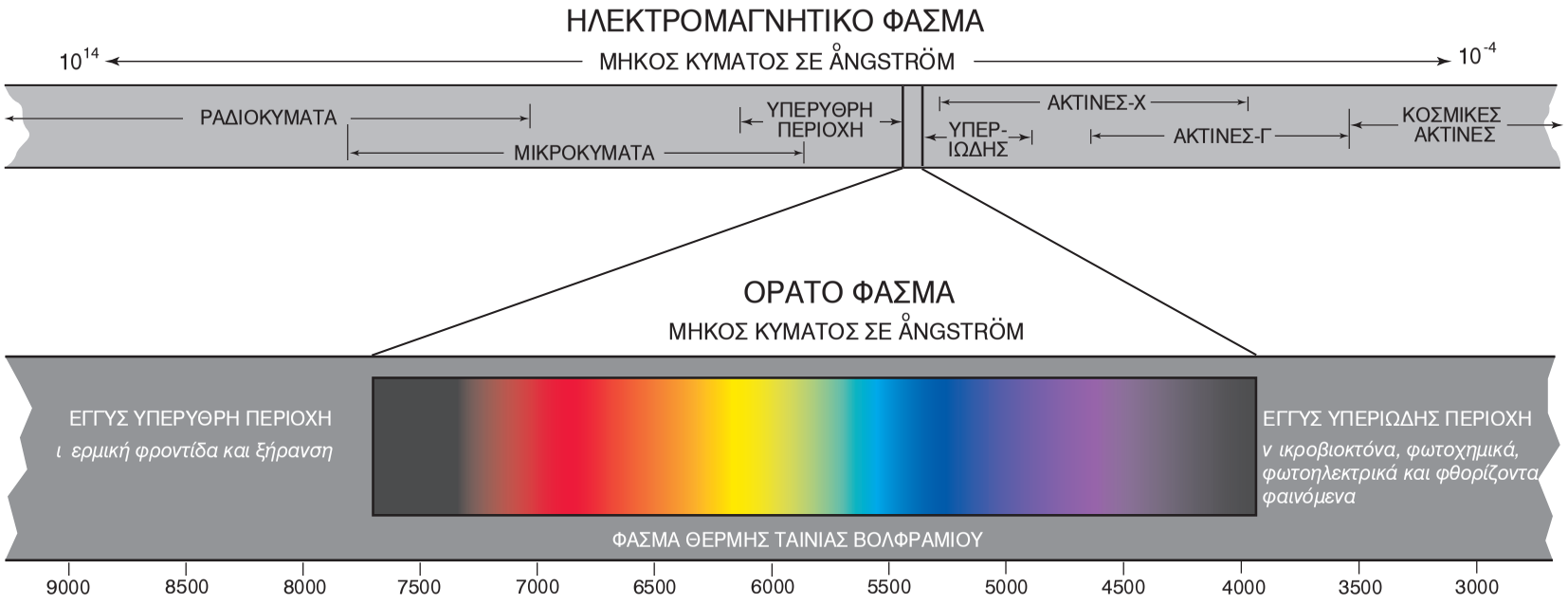
Με το πείραμα του σχήματος 11-13 διαπιστώνομε και ένα άλλο πολύ σημαντικό φαινόμενο. Η φωτογραφική πλάκα μαυρίζει και σε σημεία που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες γωνίες από αυτές στις οποίες αντιστοιχεί το κυανό φως, όπως και σε μικρότερες γωνίες από αυτές του ερυθρού φωτός. Αυτό σημαίνει ότι το φως που

* *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το νήμα των κοινών λαμπτήρων πυρακτώσεως.*

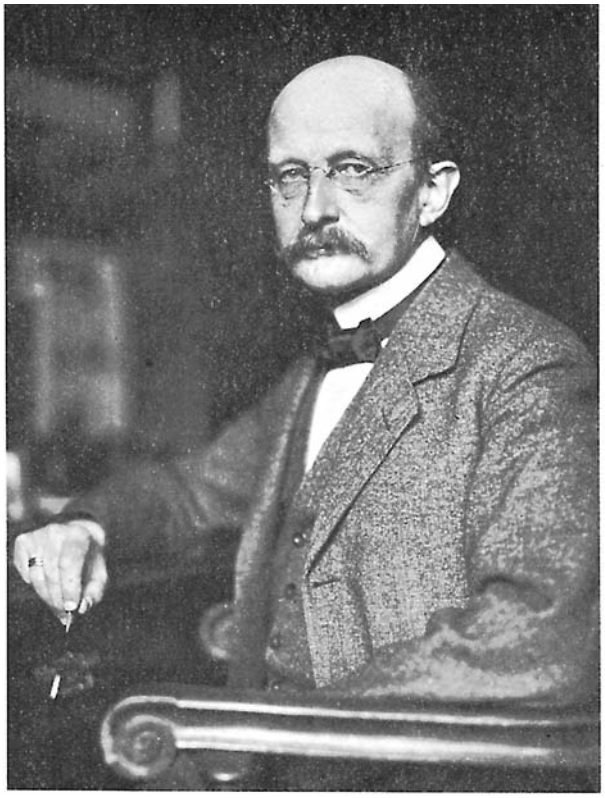




ΣΧΗΜΑ 11-13. *Επάνω: ένας φασματογράφος την ώρα της λειτουργίας του αφήνει το λευκό φως να περάσει (αφού έχει προηγουμένως εστιασθεί σε μια δέσμη παραλλήλων ακτίνων) μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα και αποτυπώνει το ορατό φάσμα. Το πρίσμα προκαλεί διάθλαση στις διάφορες συχνότητες κατά διαφορετικές γωνίες, διαχωρίζοντας έτσι τα ορατά χρώματα όπως φαίνεται στην οθόνη. Κάτω: τα κύρια μέρη ενός φασματογράφου.*



ΣΧΗΜΑ 11-14. *Σε ένα πλήρες ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (επάνω), είναι ορατή μόνο μια μικρή περιοχή (κάτω).*



Max Planck
(1858 - 1947)

Η θερμότητα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα της ζωής μας. Γι' αυτό οι επιστήμονες για πολλά χρόνια ασχολήθηκαν με τη μελέτη της και παράλληλα με τη μελέτη όλων των φυσικών φαινομένων που έχουν σχέση με αυτήν.

Όταν ανάβετε μια ηλεκτρική ψηστιέρα, διακρίνετε εύκολα το θερμαντικό στοιχείο που αρχίζει να πυρακτώνεται και να παίρνει ένα ανοικτό κόκκινο χρώμα. Καθώς θερμαίνεται περισσότερο, το χρώμα του γίνεται εντονότερα κόκκινο. Το νήμα ενός ηλεκτρικού λαμπτήρα «λευκοπυρώνεται» σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Οι επιστήμονες μελέτησαν τις μεταβολές του χρώματος σε σχέση με τη θερμότητα, και μάλιστα πιο εντατικά κατά το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα. Εξετάσθηκε η κατανομή του μήκους κύματος της φωτεινής ενέργειας, η οποία εκπέμπεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες από πολλές διαφορετικές ουσίες. Τελικά, κάθε φορά δημιουργούνταν οι ίδιες καμπύλες, ανεξάρτητα με το είδος του υλικού που χρησιμοποιούνταν. Όταν προσπάθησαν να προβλέψουν το σχήμα αυτών των καμπυλών της ενέργειας που ακτινοβολείται, για καθορισμένες θερμοκρασίες, με τη βοήθεια της κλασικής φυσικής, απέτυχαν.

Ο Max Planck, ένας επιστήμονας που εργαζόταν στο Ινστιτούτο Φυσικής του Βερολίνου, το 1900 κατέληξε σε μια εξίσωση με την οποία ήταν δυνατόν να χαράξει καμπύλες που έδειχναν με μεγάλη ακρίβεια τη σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και την κατανομή της ενέργειας. Ο Planck δεν ικανοποιήθηκε όμως από αυτήν την εξίσωση, γιατί απλώς συσχέτιζε τα δεδομένα μεταξύ τους χωρίς να τα εξηγεί. Έτσι στη συνέχεια πρότεινε ότι η ενέργεια μεταδίδεται με μικροσκοπικά ταλαντούμενα σωματίδια που μπορεί να έχουν μόνο κάποιες καθορισμένες ενέργειες. Οι ταλαντώσεις αυτές ακτινοβολούν ενέργεια μόνο, όταν μεταπίπτουν από μια επιτρεπτή ενεργειακή στάθμη σε μια χαμηλότερη. Υπέθεσε ότι η ενέργεια δεν είναι συνεχής, αλλά διαδίδεται μόνο με μικρά πακέτα ή κβάντα φωτός, που καθορίζονται από την εξίσωση $E = h \times \nu$, όπου E είναι η ενέργεια, h είναι μια σταθερά (γνωστή σήμερα ως σταθερά του Planck), και ν είναι η συχνότητα της ταλαντώσεως. Η πρόταση του Planck υπήρξε τόσο ριζοσπαστική, που λίγοι επιστήμονες της έδωσαν σημασία μέχρι το 1905, όταν ο Albert Einstein τη χρησιμοποίησε, για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η κβαντική θεωρία υπήρξε ο σημαντικότερος παράγοντας στην ανάπτυξη του ατομικού προτύπου του Bohr, το 1913, ενώ η ορθότητά της αποδείχθηκε επανειλημμένως, μετά από κάθε προσπάθεια ελέγχου της αξιοπιστίας της.

Το 1918 απονεμήθηκε στον Planck το βραβείο Νόμπελ της Φυσικής σε αναγνώριση των υπηρεσιών που προσέφερε για την ανάπτυξη της

εκπέμπεται από τη θερμή ταινία του βολφραμίου περιλαμβάνει και συχνότητες που δεν τις αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Οι μικρότερες συχνότητες, από αυτές του ερυθρού φωτός ονομάζονται ***υπέρυθρες*** (δηλαδή κάτω από τις ερυθρές). Οι μεγαλύτερες από τη συχνότητα του ιώδους φωτός ονομάζονται ***υπεριώδεις*** (δηλαδή επάνω από τις ιώδεις).

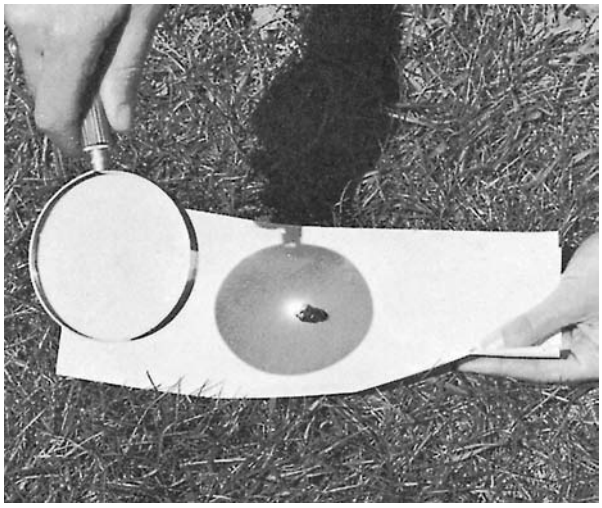
Οι επιστήμονες σήμερα έχουν διαπιστώσει ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εκτείνεται σε μια πολύ μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Η περιοχή αυτή είναι πολύ ευρύτερη από τη μάλλον στενή περιοχή του φάσματος, που είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι. Το σχήμα 11-14 δείχνει την περιοχή, που εξετάζεται συνήθως, και τα ονόματα, που δίνονται συνήθως στις διάφορες φασματικές περιοχές.

11.4 Το φως είναι μία μορφή ενέργειας.

Το φως αποτελεί μια μορφή ενέργειας. Η διατύπωση αυτή συμφωνεί απόλυτα με την κοινή εμπειρία. Για παράδειγμα, θα έχει τύχει να χρησιμοποιήσετε ένα φακό, για να συγκεντρώσετε τις ακτίνες του φωτός επάνω σε ένα χαρτί, το οποίο σε λίγο ανάβει, όπως φαίνεται στο σχήμα 11-15.

Το φαινόμενο αυτό έχει βρει εφαρμογή σε τεράστιους ηλιακούς φούρνους. Σε αυτούς αναπτύσσονται θερμοκρασίες πολλών χιλιάδων βαθμών και γίνεται δυνατή η τήξη των περισσοτέρων δυστήκτων (δηλαδή αυτών που τήκονται δύσκολα) υλικών. Η ανύψωση της θερμοκρασίας στο χαρτί ή στα δύστηκτα υλικά προκαλείται από την απορρόφηση φωτός. Ανύψωση της θερμοκρασίας σημαίνει ότι έχει απορροφηθεί ενέργεια. Αυτή η ενέργεια θα πρέπει να προήλθε από το φως. Η ενέργεια, που οφείλεται σε μερικές πολύ ισχυρές δέσμες ακτίνων laser, είναι τεράστια (σχ. 11-16).

Η ποιοτική διαπίστωση ότι το φως είναι ενέργεια, είναι φυσικό να μας οδηγήσει στην αναζήτηση και μιας ποσοτικής σχέσεως. Πόση ενέργεια περιέχεται στο φως; Η απάντηση, αν και είναι απλή ως έννοια δεν είναι το ίδιο απλή ως μαθηματική διατύπωση. Η φωτεινή ακτινοβολία μεταδίδεται σε μικροσκοπικά πακέτα ενέργειας. Κάθε πακέτο ονομάζεται ***φωτόνιο**** και περιέχει μια ποσότητα ενέργειας (E), η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός. Η διατύπωση αυτή



ΣΧΗΜΑ 11-15. *Το ηλιακό φως που συγκεντρώνεται μέσα από ένα κοινό φακό αποδεικνύει ότι το φως είναι μια μορφή ενέργειας. Το φως μετατρέπεται σε θερμότητα και καίει το χαρτί.*

εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$E = h\nu$$

Η ποσότητα h ονομάζεται ***σταθερά του Planck***. Πρόκειται μάλλον για ένα συντελεστή μετατροπής, που μας επιτρέπει να εκφράσομε τη συχνότητα (ν) σε μονάδες ενέργειας. Αν εκφρασθεί η συχνότητα σε sec^{-1} και η ενέργεια σε joules, τότε η σταθερά του Planck ισούται με $6{,}6 \times 10^{-34}$ joule-sec. Η πλήρης περιγραφή των πειραματικών ενδείξεων που οδήγησαν σε αυτήν την εξίσωση αποτελεί μια συναρπαστική ιστορία, την οποία ίσως να έχετε κιόλας ακούσει στο μάθημα της φυσικής. Προς το παρόν όμως το ενδιαφέρον μας συγκεντρώνεται στην ερμηνεία του φάσματος του υδρογόνου με την εφαρμογή αυτής της εξισώσεως. Σε αυτό το φάσμα δίνεται μια πλήρης περιγραφή των συχνοτήτων του φωτός, που εκπέμπονται από ένα άτομο υδρογόνου. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση $E = h\nu$, οι επιστήμονες έλαβαν πολύ σημαντικές πληροφορίες, όπως θα δείτε και εσείς, στην επόμενη παράγραφο, για τις ενέργειες των ατόμων του υδρογόνου.

11.5 Τα φωτόνια και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Ίσως σας προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι

* *Σ.τ.Μ. Ή κβάντουμ φωτός.*

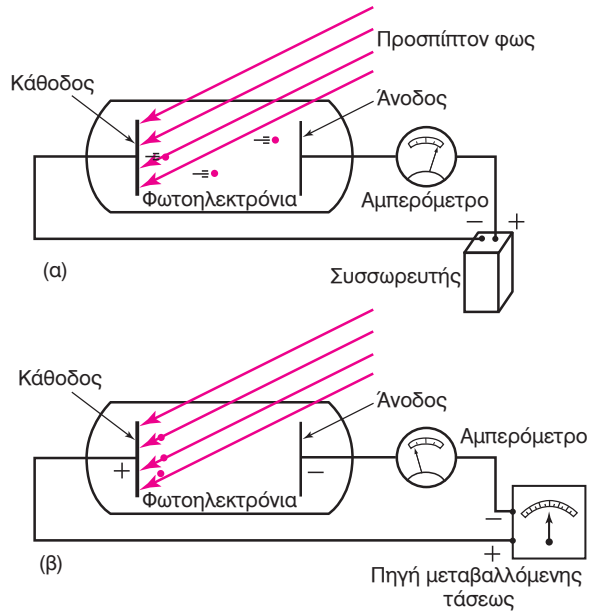
μερικές από τις προηγούμενες καταστάσεις μοιάζουν να είναι αντιφατικές. Πρώτα, με τη βοήθεια των φαινομένων περιθλάσεως και συμβολής, αποδείχθηκε ότι το φως εμφανίζει ιδιότητες, που το κάνουν να μοιάζει με κύμα. Κατόπιν διατυπώθηκε η άποψη ότι το φως λόγω της συμπεριφοράς του φαίνεται να αποτελείται από μικρά πακέτα ενέργειας ή σωματίδια. Οι δύο αυτές έννοιες, κύματα και σωματίδια, είναι διαφορετικές και κατά κάποιο τρόπο αντίθετες. Όμως, και οι δύο είναι απαραίτητες, για να δικαιολογηθούν οι ιδιότητες του φωτός που έχουν παρατηρηθεί. Η διπλή φύση του φωτός υπήρξε πηγή ανησυχίας και συγχύσεως για τους επιστήμονες επί πολλά χρόνια και εξακολουθεί να είναι ακόμη και τώρα. Το ερώτημα γιατί το φως έχει ιδιότητες που το κάνουν να μοιάζει άλλοτε με κύμα και άλλοτε με σωματίδια είναι όμοιο με το ερώτημα γιατί τα ηλεκτρικά φορτία άλλοτε έλκονται και άλλοτε απωθούνται μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει απάντηση σε τέτοιου είδος βασικές ερωτήσεις. Το μόνο που είναι δυνατόν να γίνει, είναι να περιγραφούν αυτές οι ιδιότητες με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Τι ώθησε τους επιστήμονες να δώσουν μια διπλή ερμηνεία στη φύση του φωτός; Έχουν αναφερθεί κιόλας μερικές ενδείξεις, που επιτρέπουν να εννοηθεί ότι το φως μοιάζει με κύμα. Υπάρχει κάποια ένδειξη και ποια είναι αυτή, για την ύπαρξη των σωματιδιων ή φωτονίων; Ένας μεγάλος αριθμός φαινομένων συνηγορεί υπέρ της υπάρξεώς τους. Αναμφίβολα, όμως η πιο πειστική απόδειξη προέρχεται από ένα φαινόμενο, που είναι γνωστό ως ***φωτοηλεκτρικό φαινόμενο***.

Στα πειράματα για την επίδειξη και τη μέτρηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου χρησιμοποιείται το είδος της συσκευής που φαίνεται στο σχήμα 11-17. Στη συνέχεια καταγράφονται οι σημαντικότερες παρατηρήσεις, που μπορεί να γίνουν και τα συμπεράσματα που μπορούμε να βγάλομε πειραματιζόμενοι με τη συσκευή του σχήματος 11-17.

1. Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ορισμένων μετάλλων, προκαλεί αποδέσμευση ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια, μερικά από αυτά τα ηλεκτρόνια διασχίζουν το κενό και φθάνουν στο ηλεκτρόδιο (άνοδο) που βρίσκεται τοποθετημένο απέναντι από τη μεταλλική πλάκα, διέρχονται μέσα από το σύρμα και τελικά επιστρέφουν στο σημείο εκπομπής τους. Ένα ευαίσθητο αμπερόμετρο καταγράφει τη διέλευση κάποιου ρεύματος. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 11-17α.
2. Όσο πιο έντονο είναι το φως, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος.
3. Αν παρεμβληθεί κάποια ηλεκτρική πηγή στο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 11-17β, η οποία προσδίδει με αυτόν τον τρόπο αρνητικό φορτίο στην άνοδο, τότε κυκλοφορεί λιγότερο ρεύμα (μικρότερης εντάσεως). Όταν αυξηθεί η τάση, ελαττώντεται η ένταση του ρεύματος όλο και περισσότερο, μέχρι τελικά να επιτευχθεί κάποια τάση, που παρεμποδίζει εντελώς την κυκλοφορία του. Μια προφανής εξήγηση γι' αυτές τις παρατηρήσεις είναι ότι η ενέργεια του φωτός μετατρέπεται, με κάποιο τρόπο, σε κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων του μετάλλου. Το αποτέλεσμα είναι τα ηλεκτρόνια αυτά να μπορούν να υπερνικήσουν τη δύναμη που τα συγκρατεί στην επιφάνεια του μετάλλου. Είναι απόλυτα φυσικό να περιμένομε ότι, όσο περισσότερο είναι το φως ανά μονάδα επιφανείας, τόσο περισσότερα ηλεκτρόνια θα αποσπασθούν από αυτήν την επιφάνεια, όπως ήδη παρατηρήσαμε. Επίσης, γίνεται κατανοητό ότι αντίθετη τάση μπορεί να επιβραδύνει ή και να σταματήσει τελείως τη ροή των ηλεκτρονίων από το ηλεκτρόδιο εκπομπής προς την άνοδο. Μέχρις εδώ δεν



ΣΧΗΜΑ 11-16. *Το δείγμα αυτό του μεταλλικού τιτανίου κόπηκε με ακτίνα laser και με ταυτόχρονη χρήση ρεύματος αερίου οξυγόνου.*



ΣΧΗΜΑ 11-17. *Επάνω: τα εκδιωχθέντα από το φως ηλεκτρόνια φθάνουν στη θετικά φορτισμένη άνοδο. Κάτω: τα εκδιωχθέντα ηλεκτρόνια εμποδίζονται να φθάσουν στην άνοδο, εξαιτίας του υψηλού αρνητικού δυναμικού της.*

υπάρχει τίποτα ασυμβίβαστο με το πρότυπο του φωτός σύμφωνα με το οποίο το φως έχει κυματικό χαρακτήρα. Όμως, ας εξετάσομε και τα παρακάτω αποτελέσματα.

4. Ας υποθέσομε ότι για ορισμένη ένταση φωτός, η τάση αυξάνεται τόσο, ώστε το ρεύμα μηδενίζεται. Αν αυξηθεί η ένταση του φωτός, το ρεύμα εξακολουθεί να μην κυκλοφορεί. Ανεξάρτητα δηλαδή από την ένταση του φωτός, το ρεύμα δεν κυκλοφορεί.
5. Ας θεωρήσομε τώρα ότι μεταβάλλεται η συχνότητα του φωτός, ενώ η τάση παραμένει στην τιμή εκείνη, που εμποδίζει τη διέλευση του ρεύματος. Όταν η συχνότητα μειώνεται, το ρεύμα εξακολουθεί να μην κυκλοφορεί. Όταν όμως αυξάνεται η συχνότητα, το ρεύμα αρχίζει να κυκλοφορεί πάλι. Αν η τάση εξακολουθήσει να μένει αμετάβλητη, σε αυτήν την υψηλότερη συχνότητα του φωτός, τότε η ποσότητα του ρεύματος θα είναι και πάλι ανάλογη προς την ένταση του φωτός.

Οι δυο τελευταίες παρατηρήσεις ώθησαν τους επιστήμονες να διατυπώσουν τη θέση ότι παράλληλα με την κυματική μορφή του, το φως συμπεριφέρεται και ως ένα ρεύμα ξεχωριστών σωματιδίων, των «φωτονίων». Οι βασικές προϋποθέσεις συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Το κάθε φωτόνιο που υπάρχει σε φως ορισμένης συχνότητας ισοδυναμεί με ένα πακέτο ή κβάντουμ (quantum) ενέργειας, όπως μερικές φορές ονομάζεται. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως η ποσότητα της ενέργειας δίνεται από την εξίσωση του Plank, $E = h \times \nu$.
2. Ένα ηλεκτρόνιο είναι δυνατόν να εκδιωχθεί από τη μεταλλική επιφάνεια, αν προσπέσει επάνω σε αυτήν ένα φωτόνιο και με την προϋπόθεση ότι αυτό το φωτόνιο διαθέτει αρκετή ενέργεια ώστε να υπερνικήσει τη δύναμη συνδέσεως του ηλεκτρονίου με το μέταλλο. Η εφαρμογή τάσεως με φορά αντίθετη από τη φορά ροής των ηλεκτρονίων όπως δείχνει και το σχήμα 11-17β, ισοδυναμεί με αύξηση της «ενέργειας συνδέσεως», που θα πρέπει να υπερνικηθεί.

Αν υποτεθεί ότι η ενέργεια συνδέσεως είναι E_β, και ότι τα φωτόνια που προσκρούουν στο μέταλλο έχουν ενέργεια (E), υπάρχουν δύο δυνατότητες. Αν $E \geq E_\beta$, τότε τα ηλεκτρόνια είναι δυνατόν να αποσπασθούν έχοντας μάλιστα κινητική ενέργεια ίση με $E - E_\beta$. Αν όμως $E < E_\beta$, τότε τα ηλεκτρόνια δεν θα είναι δυνατόν να απομακρυνθούν από την επιφάνεια του μετάλλου. Ας υποθέσομε ότι ένα ηλεκτρόνιο συγκρατεί ολόκληρη την ενέργεια του φωτονίου που συγκρούεται μαζί του. Επίσης, ας δεχθούμε ότι οι πιθανότητες να προσκρούσουν ταυτόχρονα δύο φωτόνια επάνω στο ίδιο ηλεκτρόνιο είναι ελάχιστες.

Είναι εύκολο να δικαιολογηθούν τα πειραματικά δεδομένα με βάση το πρότυπο του φωτονίου. Όταν η συχνότητα του φωτός που προσπίπτει σε μια μεταλλική επιφάνεια είναι τόση, ώστε $E < E_\beta$, δεν έχει σημασία πόσο έντονο γίνεται το φως. Η αύξηση της εντάσεως του φωτός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των φωτονίων που προσκρούουν στην επιφάνεια, στη μονάδα του χρόνου. Η ενέργεια ανά φωτόνιο όμως παραμένει η ίδια και έτσι δεν είναι δυνατόν τέτοια φωτόνια να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από τη μεταλλική επιφάνεια. Είναι σαν να έχομε ένα κανόνι με μέγιστη ακτίνα βολής 5 χιλιόμετρα, ενώ πρέπει να βομβαρδισθεί ένας στόχος, που βρίσκεται σε απόσταση 6,0 χιλιομέτρων. Δεν ωφελεί σε τίποτα να πυροδοτείται συνέχεια το κανόνι ή να τοποθετηθούν ακόμα 50 κανόνια όμοια με αυτό. Ο στόχος θα εξακολουθήσει να βρίσκεται εκτός βολής.

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αν ρίξετε μια ματιά στο παρελθόν και εξετάσετε τι ίσχυε για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, θα διαπιστώσετε ότι η πηγή ολόκληρης σχεδόν της ενέργειας ήταν και είναι ο ήλιος. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγετε με πολλούς τρόπους.

Πρώτα απ' όλα, η διατροφή μας έχει ως βάση το κρέας και τα φυτά (φρούτα, λαχανικά). Τα περισσότερα από τα ζώα, το κρέας των οποίων τρώμε, τρέφονται αποκλειστικά με φυτά. Η αγελάδα αποτελεί ένα καλό παράδειγμα. Ακόμη και οργανισμοί, όπως τα ψάρια, που τρέφονται από μικρότερα ψάρια, στην πραγματικότητα εξαρτώνται από φυτά (φυτοπλαγκτόν).

Αν ακολουθήσομε την ***τροφική αλυσίδα*** ξεκινώντας από τους μεγάλους και πολύπλοκους ζωικούς οργανισμούς και πηγαίνοντας προς τους μικρότερους και απλούστερους, θα βρούμε αργά ή γρήγορα κάποιο έμβιο ον, που έχει αποκλειστικά φυτικά διαιτολόγιο. Αυτά τα ίδια τα φυτά δεν τρώνε τίποτα. Η δική τους πηγή ενέργειας είναι το ηλιακό φως. Θα αναφερθούμε αργότερα στον τρόπο, βάσει του οποίου απορροφούν και χρησιμοποιούν αυτήν την ηλιακή ενέργεια. Το σημαντικό είναι ότι όλη η ενέργεια που διαθέτει το σώμα μας προέρχεται από την ενέργεια του ήλιου.

Βέβαια οι ποσότητες της ενέργειας που καταναλίσκομε είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που είναι δυνατόν να παράγομε εμείς οι ίδιοι ή τα υποζύγια. Αυτά τα επιπλέον τεράστια ποσά ενέργειας μας τα προμηθεύει η καύση του κάρβουνου, του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου. Πώς δημιουργήθηκε όμως το κάρβουνο, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο; Από την αποσύνθεση παμπάλαιας φυτικής ύλης. Έτσι, οδηγούμαστε πάλι σε πηγές ενέργειας, η ύπαρξη των οποίων οφείλεται στον ήλιο, ενώ τα φυτά μπορούν να θεωρηθούν ως η «πρώτη ύλη».

Πώς όμως τα φυτά απορροφούν την ηλιακή ενέργεια; Η πλήρης απάντηση σε αυτήν την ερώτηση δεν είναι ακόμη τελείως γνωστή. Οι σχετικές διαδικασίες πρέπει ακόμη να μελετηθούν εκτεταμένα, για να γίνουν απόλυτα κατανοητές, και αυτό ακριβώς αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο της χημικής έρευνας. Γνωρίζομε όμως τα κύρια σημεία αυτής της διαδικασίας. Έτσι, την ονομάζομε ***φωτοσύνθεση***, όρος σύνθετος που προήλθε από τη λέξη «φως» και τη λέξη «σύνθεση». Εν συντομία λοιπόν, φωτοσύνθεση είναι μια διαδικασία συνθέσεως που πραγματοποιείται με τη βοήθεια του φωτός.

Τι συντίθεται όμως κατά τη διαδικασία της φωτοσυνθέσεως; Η απάντηση είναι υδατάνθρακες. Στο κεφάλαιο 16 θα μάθετε με λεπτομέρειες τι είναι οι υδατάνθρακες. Προς το παρόν αρκεί να γνωρίζετε ότι πρόκειται για πολύπλοκα μόρια, που αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο, συνήθως σε αναλογίες $C_x(H_2O)_y$*. Στην πραγματικότητα, οι υδατάνθρακες έχουν τύπους, όπως ο $C_6H_{12}O_6$ (το σάκχαρο γλυκόζη), ο $C_{12}H_{22}O_{11}$ (η κοινή επιτραπέζια ζάχαρη, σακχαρόζη), και ο $(C_6H_{11}O_5)_x$ όπου x είναι ένας πολύ μεγάλος αριθμός για το άμυλο και την κυτταρίνη.

Για να παραχθούν υδατάνθρακες από τα φυτά με φωτοσύνθεση, συντελείται μία πολύπλοκη σειρά αντιδράσεων, τις οποίες μπορούμε να συνοψίσομε στην παρακάτω απλή εξίσωση:

$$xCO_2 + yH_2O + \text{ενέργεια} \rightarrow \underset{\text{υδατάνθρακας}}{C_x(H_2O)_y} + xO_2$$

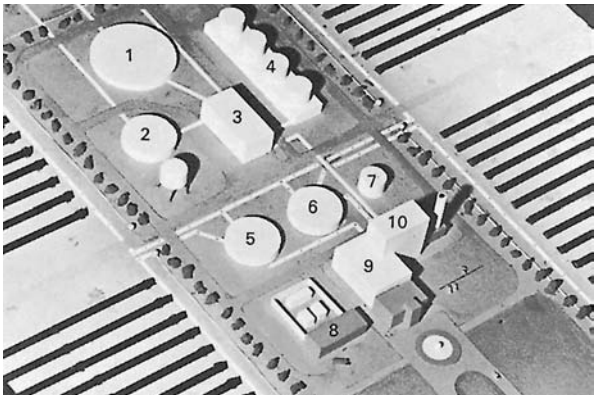
Η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη. Κατά την πορεία της φωτοσυνθέσεως, τα φυτά προσλαμβάνουν διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) από τον αέρα και νερό. Αυτά συνενώνονται με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας και παράγονται υδατάνθρακες. Το οξυγόνο ελευθερώνεται στον αέρα. Όταν καίγονται οι υδατάνθρακες (ή και άλλες ουσίες, που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο) δημιουργείται η αντίθετη αντίδραση, η διαδικασία της καύσεως. Τα προϊόντα της καύσεως είναι CO_2, νερό και ενέργεια με τη μορφή της θερμότητας.

Είναι σημαντικό να σημειώσομε ότι, όταν τα φυτά συνθέτουν υδατάνθρακες με φωτοσύνθεση, απορροφούν αναγκαστικά CO_2 από τον αέρα και επιστρέφουν σε αυτόν οξυγόνο. Αυτό είναι τόσο σημαντικό, όσο και η δημιουργία των υδατανθράκων. Ο άνθρωπος συνεχώς χρησιμοποιεί οξυγόνο για την καύση των ανθράκων και του πετρελαίου, ενώ παράγεται CO_2 και νερό. Η φύση φροντίζει να υπάρχει ισορροπία στο περιβάλλον, γιατί τα φυτά απομακρύνουν CO_2 και νερό από το γύρω τους χώρο, ενώ παράλληλα ελευθερώνουν οξυγόνο που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

Έτσι, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα κατά έναν έμμεσο τρόπο, που

---

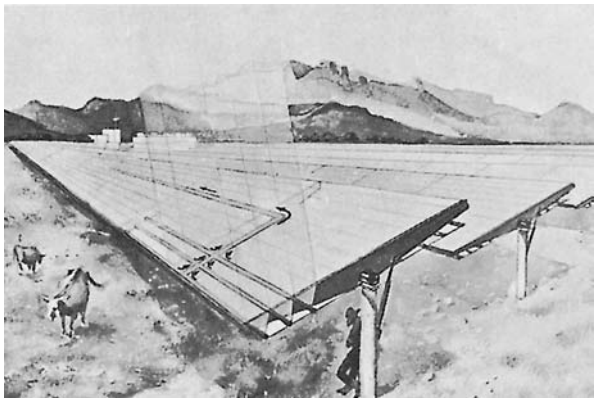
* *Σ.τ.Μ. Το υδρογόνο και το οξυγόνο βρίσκονται σε αναλογίες, όπως στο νερό, δηλαδή 2Η:1Ο (δύο υδρογόνα: ένα οξυγόνο).*



Πρότυπο ενός αγροκτήματος ηλιακής ενέργειας σε μια τυπική ερημική έκταση. Οι σειρές των συλλεκτών σκιάζουν αισθητά την έρημο. Αυτός ο ενεργειακός σταθμός θα είχε τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί τη θερμότητα που παράγεται κατά τη λειτουργία των ηλεκτρογεννητριών, για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού. 1. Δεξαμενή θαλασσινού νερού. 2. Κρύο νερό. 3. Εγκατάσταση αφαλατώσεως. 4. Πύργος ψύξεως. 5,6. Αποθήκευση θερμότητας. 7. Αποθήκευση πετρελαίου. 8. Χώρος επισκευών. 9 Ηλεκτρογεννήτρια. 10. Λέβητας.

περιλαμβάνει δύο στάδια. Πρώτον, τα φυτά χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια, για να σχηματίσουν υδατάνθρακες. Δεύτερον, ο άνθρωπος χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες ή άλλες ουσίες που προέρχονται από αυτούς, ως καύσιμο, για να παράγει θερμότητα. Η θερμότητα ή θερμική ενέργεια είναι δυνατόν να μετατραπεί στη συνέχεια σε ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια.

Αυτός ο έμμεσος τρόπος εκμεταλλεύσεως της ηλιακής ενέργειας έχει μερικά μειονεκτήματα. (1) Η καύση του άνθρακα και του πετρελαίου δημιουργεί σημαντική ρύπανση του αέρα. (2) Άνθρακας και πετρέλαιο, που για να σχηματισθούν χρειάσθηκαν μερικά εκατομμύρια χρόνια, καίγονται από τον άνθρωπο μέσα σε λίγους αιώνες. Τα αποθέματα αυτών των ουσιών συνεχώς μειώνονται και είναι φυσικό εκ των πραγμάτων ότι κάποτε θα εξαντληθούν. (3) Τα φυτά δεν παράγουν χρήσιμους υδατάνθρακες με την ίδια ταχύτητα που εμείς καταναλώνομε τα καύσιμα. Κατά μέσο όρο, τα φυτά χρησιμοποιούν περίπου το 1-2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει επάνω τους. Είναι φυσικό να αναρωτιόμαστε μήπως πρέπει να μάθομε να εκμεταλλευόμαστε την ηλιακή ενέργεια με καλύτερο τρόπο. Αν και φαίνεται να μην είναι



Βλέπομε πώς φαντάζονται οι αρχιτέκτονες τους συλλέκτες σε ένα αγρόκτημα ηλιακής ενέργειας.

δυνατόν να ικανοποιηθούν από μια άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας όλες οι ενεργειακές απαιτήσεις του ανθρώπου (τουλάχιστον αυτές που δημιουργούνται σύμφωνα με το σημερινό τρόπο ζωής), είναι όμως δυνατόν να σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία για τη μερική έστω κάλυψή τους. Η άμεση μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε θερμική ή μηχανική ούτε ρυπαίνει, ούτε ραδιενεργά απόβλητα προκύπτουν από αυτήν. Είναι όμως δυνατόν να γίνει κάτι τέτοιο;

Προς το παρόν δεν γνωρίζομε. Υπάρχουν μερικά ξεκάθαρα πράγματα. Μικρές συσκευές που τοποθετούνται στις οροφές ανεξαρτήτων κατοικιών -αν και έχει γίνει πολλή συζήτηση γι' αυτές στο παρελθόν- είναι τελικά δαπανηρές και απαιτούν υπερβολική συντήρηση. Εκτός αυτού, τα περισσότερα σπίτια δεν βρίσκονται σε θέσεις τέτοιες από όπου να είναι δυνατόν να δεσμευθεί η ηλιακή ενέργεια με ικανοποιητικό τρόπο. Πρακτική άμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι δυνατόν να επιτευχθεί μόνο σε μεγάλη κλίμακα και μόνο στα πιο ηλιόλουστα μέρη της γης.

Οι πιο εφευρετικές προτάσεις, μέχρι σήμερα, περιγράφουν «αγροκτήματα ηλιακής ενέργειας». Αυτά είναι δυνατόν να δημιουργηθούν σε περιοχές, όπως οι μεγάλες δυτικές έρημοι των Ηνωμένων Πολιτειών. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι περιοχές γύρω από την Καλιφόρνια, την Αριζόνα και τη Νεβάδα, ή οι κοιλάδες του Ρίο Γκράντε στο Τέξας και στο Νέο Μεξικό*.

Η πιθανή μορφή ενός τέτοιου αγροκτήματος ηλιακής ενέργειας φαίνεται στο πρότυπο που

* *Σ.τ.Μ. Πάρα πολλές ελληνικές περιοχές προσφέρονται για τη λειτουργία τέτοιων εγκαταστάσεων.*

εικονίζεται. Αυτή η εγκατάσταση θα μπορούσε να γίνει σε έκταση 15.000 στρεμμάτων περίπου, και θα είχε τη δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ισχύος ενός περίπου εκατομμυρίου μεγαβάτ.

Πριν γίνει όμως πραγματικότητα ένα τέτοιο αγρόκτημα, θα πρέπει να λυθούν ορισμένα επιστημονικά προβλήματα. Για τα συστήματα των διαστημοπλοίων έχουν αναπτυχθεί διατάξεις ικανές να μετατρέπουν απ' ευθείας ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Όμως σε αυτές τις εφαρμογές (δηλ. τις διαστημικές) το κόστος - μερικές εκαντοντάδες δολάρια ανά watt ηλεκτρισμού- δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Προς το παρόν, δεν φαίνεται ότι το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με αυτήν τη μέθοδο είναι δυνατόν να μειωθεί τόσο, ώστε να χρησιμοποιηθεί για ευρείας κλίμακας καθημερινές χρήσεις. Ίσως κάποια μέρα νέες ανακαλύψεις της χημείας και τις φυσικής να αλλάξουν τα δεδομένα.

Στις μέρες μας, η μόνη εφαρμογή που είναι δυνατόν να γίνει είναι η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την τροφοδοσία ανεμογεννητριών υψηλής θερμοκρασίας, οι οποίες με τη σειρά τους θα παράγουν ηλεκτρισμό. Ακόμη όμως και αυτή η εφαρμογή έχει να αντιμετωπίσει δύο μεγάλα προβλήματα. Το ένα είναι η ανάπτυξη των απαραιτήτων συσκευών που θα μετατρέπουν την ηλιακή σε θερμική ενέργεια. Πρόκειται για συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν το ηλιακό φως και να ανεβάζουν αρκετά τη θερμοκρασία τους (στους 500˚C περίπου). Η ανάπτυξή τους, η οποία απαιτεί τις συντονισμένες προσπάθειες χημικών, μηχανικών και φυσικών, βρίσκεται σε εξέλιξη.

Το άλλο πρόβλημα είναι πώς θα αποθηκευθεί η ηλεκτρική ενέργεια από τη στιγμή που θα δημιουργηθεί, μέχρι την ώρα που θα χρησιμοποιηθεί. Μην ξεχνάτε ότι στο αγρόκτημα ηλιακής ενέργειας παράγεται ηλεκτρισμός μόνο την ημέρα, ενώ η μεγαλύτερη κατανάλωση ρεύματος σημειώνεται τη νύχτα. Απ' ό,τι φαίνεται, η λύση θα πρέπει να αναζητηθεί σε κάποια χημική αντίδραση. Δηλαδή η αποθήκευση της ενέργειας θα γίνεται με τη βοήθεια μιας χημικής αντιδράσεως, η οποία θα έχει έτσι επιλεγεί, ώστε να οδεύει προς τη μία κατεύθυνση, όταν απορροφάται ενέργεια, και προς την αντίθετη, αργότερα, όταν θα ελευθερώνεται ενέργεια.

Είναι εύκολο να διαπιστώσετε ότι, εφ' όσον η ενέργεια των φωτονίων είναι έστω και ελάχιστα μεγαλύτερη από την E_β, τα ηλεκτρόνια είναι δυνατόν να εκδιωχθούν και ο αριθμός αυτών των ηλεκτρονίων που εκδιώκονται θα αυξάνεται, όσο αυξάνεται και ο αριθμός των φωτονίων ανά δευτερόλεπτο.

Το 1905, ο Albert Einstein πρότεινε το πρότυπο του φωτονίου, για να εξηγήσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Αυτή ήταν η εργασία που του χάρισε το βραβείο Νόμπελ, το 1921, και όχι η θεωρία της σχετικότητας. Ο Einstein έπεισε τον εαυτό του, αλλά και όλους τους άλλους μελετητές, ότι δεν ήταν δυνατόν να ερμηνευθούν τα γεγονότα με βάση το πρότυπο της καθαρά κυματικής φύσεως του φωτός. Η θεωρία του για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αποδείχθηκε πειραματικά από τον R.A. Millikan, το 1916. Το 1923 ο Millikan τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για την εργασία του αυτή, καθώς και για τον προσδιορισμό του φορτίου του ηλεκτρονίου.

Περίληψη.

Το φως είναι μια κυματικού χαρακτήρα μεταφορά ενέργειας διά μέσου του διαστήματος. Οι ιδιότητές του, όταν συμπεριφέρεται σαν κύμα, περιγράφονται: (1) από το μήκος κύματός του, δηλαδή την απόσταση από την κορυφή ενός κύματος έως αυτήν του επομένου και, (2) από τη συχνότητά του, δηλαδή τον αριθμό των κυμάτων που διέρχονται από ένα ορισμένο σημείο κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο ή Hertz).

Τα φαινόμενα περιθλάσεως και συμβολής αποδεικνύουν τον κυματικό χαρακτήρα του φωτός και δείχνουν ότι φως διαφορετικού χρώματος έχει διαφορετικά μήκη κύματος και συχνότητες. Η σχέση της συχνότητας, ν (sec^{-1}) και του μήκους κύματος, λ (cm), με την ταχύτητα του φωτός, c

(cm/sec), δίνεται από την εξίσωση $c = \lambda$ x ν. Ένας φασματογράφος διαχωρίζει το φως στις διάφορες συχνότητες από τις οποίες αποτελείται και τις διευθετεί σε φάσμα. Η ποσότητα της ενέργειας που αντιστοιχεί στο φως είναι ανάλογη με την συχνότητά του, όπως δείχνει και η εξίσωση $E = h$ x ν, όπου h είναι μια χαρακτηριστική φυσική σταθερά με το όνομα σταθερά του Planck και ν είναι η συχνότητα σε sec^{-1}.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να δώσετε μερικά παραδείγματα, τα οποία να στηρίζουν την απόψη ότι το φως είναι μια μορφή ενέργειας.
2. Ποιες είναι οι ενδείξεις που μας κάνουν να πιστεύομε ότι το φάσμα του ορατού φωτός αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος;
3. Πώς εκφράζεται η ταχύτητα του φωτός, c σε σχέση με το μήκος κύματος, λ, και τη συχνότητα, ν;

Τα άτομα εκπέμπουν μόνο ορισμένες συχνότητες φωτός

11.6 Ατομικά φάσματα.

Όλα τα άτομα, αν διεγερθούν με θέρμανση ή με κάποια ηλεκτρική εκκένωση υψηλής τάσεως, θα εκπέμψουν φως. Στο σχήμα 9-9 είδατε κιόλας μερικά παραδείγματα εκπομπών φωτός από διάφορα άτομα. Στην καθημερινή ζωή ίσως να γνωρίζετε το ιώδες φως, που εκπέμπεται από άτομα υδραργύρου, και το κίτρινο φως, που εκπέμπεται από άτομα νατρίου στους λαμπτήρες των δρόμων, οι οποίοι ονομάζονται, αντίστοιχα, λαμπτήρες υδραργύρου και λαμπτήρες νατρίου.

Το φως που εκπέμπει ένα συγκεκριμένο άτομο έχει ένα χαρακτηριστικό χρώμα. Προφανώς αυτό σημαίνει ότι το κάθε άτομο εκπέμπει φως κυρίως σε ένα τμήμα της ορατής περιοχής. Ο ιδιαίτερος τύπος των συχνοτήτων του φωτός που εκπέμπεται από ένα άτομο χαρακτηρίζεται ως φάσμα του ατόμου. Δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν δύο είδη ατόμων με το ίδιο φάσμα. Τα ατομικά φάσματα είναι όπως τα δακτυλικά αποτυπώματα. Χαρακτηρίζουν τα άτομα, τα οποία τα εκπέμπουν.

Τα ατομικά φάσματα είναι δυνατόν να μελετηθούν με τη βοήθεια ενός φασματογράφου, όπως αυτός του σχήματος 11-18. Όταν γίνεται αυτό, είναι δυνατόν να προκύψει μια αξιοσημείωτη παρατήρηση:

Τα ατομικά φάσματα αποτελούνται από στενές γραμμές. Δηλαδή αυτό σημαίνει ότι κάθε άτομο εκπέμπει μόνο λίγες απόλυτα καθορισμένες συχνότητες φωτός. Ίσως ο καθηγητής σας να μπορεί να σας δείξει κάποια γραμμικά φάσματα. Μερικά ατομικά φάσματα φαίνονται στην πρώτη σελίδα αυτού του κεφαλαίου, ενώ το σχήμα 11-19 δείχνει το φάσμα του υδρογόνου. Εξετάζοντας αυτά τα φάσματα σας δίνεται η δυνατότητα να διακρίνετε τη γραμμική φύση τους.

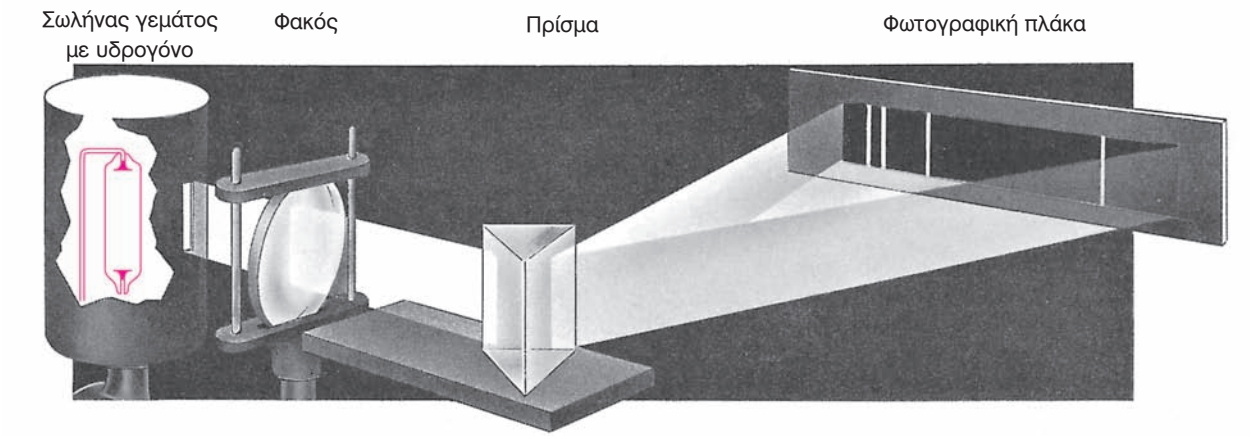
Εφ' όσον το φως είναι μια μορφή ενέργειας, ένα άτομο, όταν εκπέμπει φως, θα πρέπει να ***χάνει*** ενέργεια. Το γεγονός ότι εκπέμπει φως μόνο ορισμένων επακριβώς καθορισμένων συχνοτήτων, σημαίνει ότι χάνει μόνο κάποιες απόλυτα καθορισμένες ποσότητες ενέργειας. Αν είναι γνωστές οι συχνότητες, είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι ενέργειες με τη βοήθεια της εξισώσεως του Planck, $E = h$ x ν. Αυτός ο υπολογισμός περιγράφεται στο παράδειγμα που ακολουθεί.

Παράδειγμα.

Στο φάσμα του υδρογόνου του σχήματος 11-19, μια από τις ιώδεις γραμμές έχει μήκος κύματος 4103 ångströms. Σε ποια ενέργεια αντιστοιχεί αυτό, αν την εκφράσομε σε χιλιοθερμίδες ανά mole ατόμων υδρογόνου; Ο υπολογισμός είναι δυνατόν να γίνει, αν ακολουθήσομε την παρακάτω σειρά συλλογισμών:

1. Να μετατραπούν τα ångströms σε εκατοστόμετρα.
2. Να μετατραπεί σε συχνότητα το μήκος κύματος, που έχει εκφρασθεί σε εκατοστόμετρα.
3. Να μετατραπεί η συχνότητα σε ενέργεια (σε joules).
4. Να μετατραπούν τα joules ανά άτομο σε χιλιοθερμίδες ανά mole.

   Στη συνέχεια, γίνονται οι πραγματικοί υπολογισμοί.



ΣΧΗΜΑ 11-18. *Αν περάσει υψηλή τάση μέσα από ένα σωλήνα με αέριο υδρογόνο, εκπέμπονται μόνο ορισμένες συχνότητες φωτός. Ο φασματογράφος εμφανίζει τις συχνότητες του ορατού φωτός σαν γραμμές.*

1. Ένα ångström = 10^{-8} cm. Έτσι, 4103 Å = 4,103 x 10^{-5} cm.
2. Για να μετατρέψομε το λ (cm) σε ν (sec^{-1}), χρησιμοποιούμε την εξίσωση $c = \lambda \times \nu$. Αρχικά την ανασχηματίζομε στην $\nu = c/\lambda$ (c = 3,00 x 10^{10} cm/sec),

$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^{10}\ \text{cm/sec}}{4{,}103 \times 10^{-5}\ \text{cm}} = \frac{30{,}0 \times 10^{5}\ \text{sec}^{-1}}{4{,}103 \times 10^{-5}} =$$
$$= 7{,}31 \times 10^{14}\ \text{sec}^{-1}$$

3. Με βάση την εξίσωση του Planck, $E = h \times \nu$ (h = 6,63 x 10^{-34} joule-sec).

$$E = (6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{joule-sec}) \times (7{,}31 \times 10^{14}\ \text{sec}^{-1}) =$$
$$= 4{,}85 \times 10^{-19}\ \text{joule}$$

4. Αρχικά πολλαπλασιάζεται ο αριθμός των joules ανά άτομο με τον αριθμό του Avogadro, για να πάρομε τα joules ανά mole. Στη συνέχεια διαιρούνται με το 4,18 για να μετατραπούν σε θερμίδες ανά mole. Τέλος, διαιρούνται με το 10^3, για να μετατραπούν σε χιλιοθερμίδες ανά mole.

$$E = \left(4{,}85 \times 10^{-19}\ \frac{\text{joule}}{\text{άτομο}}\right)\left(6{,}02 \times 10^{23}\ \frac{\text{άτομα}}{\text{mole}}\right) =$$
$$= \frac{(4{,}85)(6{,}02)(10^{4})\ \text{joules/moles}}{4{,}18 \times 10^{3}\ \text{joules/kcal}} =$$
$$= 69{,}8\ \text{kcal/mole}$$

Οι επιστήμονες ανακάλυψαν πριν πολλά χρόνια τη γραμμική φύση των ατομικών φασμάτων. Βέβαια, αναρωτήθηκαν γιατί τα φάσματα παρουσιάζουν αυτόν το χαρακτήρα και γιατί οι γραμμές για κάθε άτομο βρίσκονται σε συγκεκριμένη θέση. Από τότε που βρήκαν ότι τα άτομα του υδρογόνου είχαν το πιο απλό γραμμικό φάσμα από όλα τα άλλα, όλες οι προσπάθειες για την κατανόηση των ατομικών φασμάτων όπως ήταν φυσικό εστιάσθηκαν σε αυτήν την ιδιάζουσα περίπτωση.

11.7 Το φάσμα του υδρογόνου.

Το σχήμα 11-20 δείχνει μερικές γραμμές του φάσματος εκπομπής των ατόμων υδρογόνου. Μια ομάδα γραμμών βρίσκεται στην ορατή περιοχή του φάσματος. Οι άλλες γραμμές εκτείνονται σε υψηλότερες συχνότητες και βρίσκονται στην υπεριώδη περιοχή. Στο σχήμα 11-20 δίνονται οι


Υδρογόνο, H

ΣΧΗΜΑ 11-19. *Το πραγματικό γραμμικό φάσμα που δημιουργείται στην ορατή περιοχή από το υδρογόνο.*

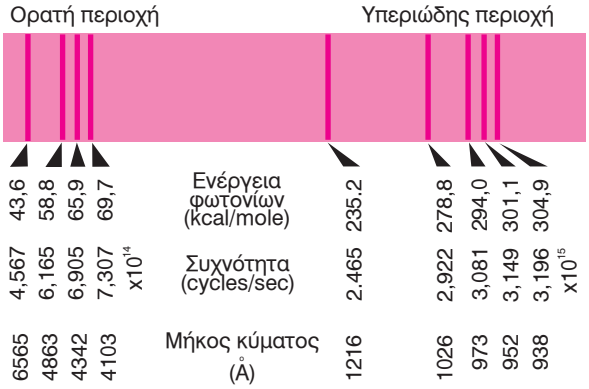
θέσεις των γραμμών εκφρασμένες σε μήκος κύματος, σε συχνότητα, καθώς και σε ενέργεια που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή συχνότητας. Οι ενέργειες εκφράζονται σε χιλιοθερμίδες ανά mole ατόμων, γιατί αυτή αποτελεί μια πολύ συνηθισμένη μονάδα ενέργειας στη χημεία.

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι, για να αναγκασθούν να εκπέμψουν φως τα άτομα, απαιτούνται μάλλον μεγάλα ποσά ενέργειας. Οι σωλήνες εκκενώσεως αερίου που εικονίζονται στο σχήμα 9-9 χρειάζονται τάση περίπου 10.000 volts για να εκπέμψουν φως. Πώς επιδρά η ενέργεια στα άτομα, ώστε να τα αναγκάζει να ακτινοβολούν; Γιατί η φωτοβολία παράγει μόνο κάποιες καθορισμένες συχνότητες φωτός, όπως δείχνουν και τα γραμμικά φάσματα;

Προκειμένου να δοθούν απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα, οι επιστήμονες προσπάθησαν να βασισθούν σε κάποιο πρότυπο. Στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν το φάσμα του υδρογόνου, επινόησαν ένα πρότυπο και έκαναν δύο θεμελιώδεις υποθέσεις. Η μία ήταν ότι το ηλεκτρόνιο είναι υπεύθυνο και για την απορρόφηση, αλλά και για την εκπομπή ενέργειας από το άτομο. Η δεύτερη ήταν ότι το ηλεκτρόνιο έχει τη δυνατότητα να κατέχει μόνο μερικές «επιτρεπόμενες» στάθμες ενέργειας μέσα στο κάθε άτομο. Η δεύτερη υπόθεση ίσως μοιάζει λίγο αυθαίρετη, αλλά, όπως θα διαπιστώσετε, λειτουργεί ικανοποιητικά. Ο Niels Bohr, που έδωσε την πρώτη ερμηνεία για τη φύση του ατομικού φάσματος του υδρογόνου, συνήθιζε να επαναλαμβάνει μια αστεία διαπίστωση, απόσπασμα της οποίας αναφέρεται παρακάτω:

«Όλοι συμφωνούμε ότι η θεωρία είναι παράλογη. Το ζήτημα επί του οποίου διαφωνούμε είναι αν είναι τόσο παράλογη, ώστε να έχει κάποια πιθανότητα να αποδειχθεί σωστή».

Τι είδους ενέργεια έχει ένα ηλεκτρόνιο μέσα σε ένα άτομο; Όπως έδειξε ο Rutherford, τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια έλκονται από το θετικά φορτισμένο πυρήνα. Ο Rutherford, ενώ είχε τη δυνατότητα να μας δώσει κατά προσέγγιση τους όγκους που καταλαμβάνουν τα ηλεκτρόνια και ο πυρήνας, δεν κατάφερε να μας πει τι κάνει μόνο του το ηλεκτρόνιο. Ανεξάρτητα όμως του τι κάνει, θα πρέπει να έλκεται από τον πυρήνα. Η δύναμη της έλξεως εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου του πυρήνα και του ηλεκτρονίου, καθώς και από το τετράγωνο της αποστάσεως ανάμεσά τους. Επειδή ούτε το ηλεκτρονικό ούτε και το πυρηνικό φορτίο μεταβάλλουν το μέγεθός τους, αυτό που θα πρέπει



ΣΧΗΜΑ 11-20. *Η διάταξη των γραμμών του υδρογόνου στην ορατή και την υπεριώδη περιοχή. Υπάρχουν και άλλες γραμμές, αλλά βρίσκονται πολύ κοντά η μια στην άλλη, για να είναι δυνατόν να απεικονισθούν.*

να μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται η ενέργεια των ηλεκτρονίων, είναι η απόσταση ανάμεσα στο ηλεκτρόνιο και τον πυρήνα. Έτσι, το ηλεκτρόνιο έχει δυναμική ενέργεια, η οποία εξαρτάται από την απόστασή του από τον πυρήνα.

Το ηλεκτρόνιο θα πρέπει επίσης να έχει κινητική ενέργεια. Διαφορετικά θα έπεφτε επάνω στον πυρήνα. Κάτι ανάλογο που θα μπορούσατε να φαντασθείτε είναι ένας δορυφόρος, που γυρίζει γύρω από τη γη. Αν δεν έχει κινητική ενέργεια, θα πέσει αμέσως στη γη εξαιτίας του πεδίου βαρύτητας αυτής. Αν και αυτή η αναλογία προϋποθέτει μια συγκρίσιμη ισορροπία δύο δυνάμεων, μιας κινητικής και μιας δυναμικής, το ηλεκτρόνιο δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ότι στρέφεται γύρω από τον πυρήνα, ακριβώς όπως ο δορυφόρος γύρω από τη γη. Όπως θα μάθετε παρακάτω, σήμερα πιστεύομε ότι είναι αδύνατον να περιγράψομε με ακρίβεια τι κάνει ένα ηλεκτρόνιο μέσα σε ένα άτομο. Έτσι, ένα πρότυπο ανάλογο με το δορυφόρο δεν ταιριάζει, στην περίπτωση του ηλεκτρονίου, όσο και αν είναι ελκυστική μια τέτοια φανταστική εικόνα.

Από όσα γνωρίζομε και έχομε φαντασθεί μέχρι τώρα, οι μεταβολές της ενέργειας μέσα σε ένα άτομο οφείλονται σε μεταβολές στη θέση του ηλεκτρονίου, σε σχέση με τον πυρήνα. Αυτό που μας χρειάζεται τώρα είναι να κατασκευάσομε ένα πρότυπο, που να ταιριάζει με τις παραπάνω υποθέσεις, και κάτι που είναι πιο σημαντικό, να συμφωνεί με τα πειραματικά δεδομένα. Έτσι, προκειμένου να επιχειρήσομε το επόμενο μεγάλο βήμα, μπορούμε να μεταχειρισθούμε μία κλίμακα (σκάλα).

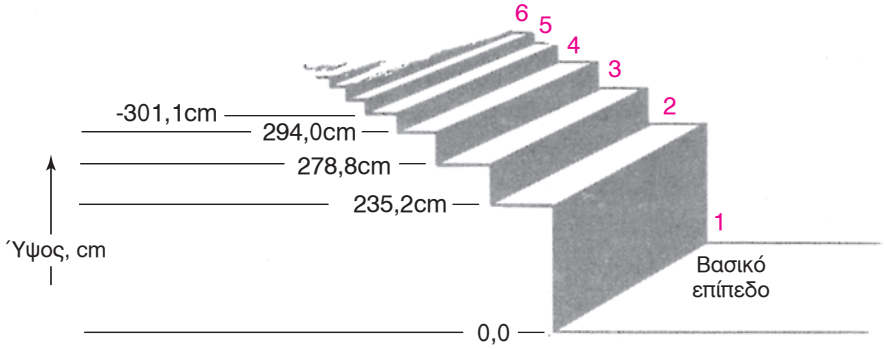
11.8 Ένα πρότυπο για την ερμηνεία του φάσματος του υδρογόνου.

Μια κλίμακα αποτελεί έναν ειδικό τύπο συστήματος δυναμικής ενέργειας. Μπορείτε να αυξήσετε τη δυναμική σας ενέργεια σε σχέση με το πάτωμα ανεβαίνοντας στην κλίμακα, ακριβώς όπως μπορείτε να την αυξήσετε σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας, αν ανεβείτε σε ένα λόφο ή σε ένα βράχο. Η κλίμακα όμως σας επιτρέπει να πάρετε μόνο μερικά καθορισμένα ύψη σχετικά με το πάτωμα. Δεν έχετε τη δυνατότητα να σταματήσετε και να ξεκουρασθείτε ανάμεσα στα σκαλοπάτια. Έτσι μόνο μερικές συγκεκριμένες δυναμικές ενέργειες είναι «επιτρεπτές» για σας.

Το παράδειγμα με την κλίμακα ίσως σας βοηθήσει να φαντασθείτε τις δυναμικές ενέργειες, που είναι επιτρεπτές για ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου. Ποιο μακροσκοπικό αντικείμενο θα μας ήταν χρήσιμο, για να παραστήσομε το ηλεκτρόνιο; Όπως είδατε, τα ηλεκτρόνια μέσα στους σωλήνες εκκενώσεως αερίων συμπεριφέρονταν σαν μικρά σωματίδια. Το απλούστερο σχήμα που θα μπορούσαμε να φαντασθούμε γι' αυτά τα μικρά σωματίδια είναι το σφαιρικό. Αν θέλετε οι μικρές αυτές σφαίρες να παρομοιασθούν με συνηθισμένα αντικείμενα της καθημερινής σας ζωής, ας τις φαντασθείτε σαν μπαλάκια αντισφαιρίσεως (τένις).

Ένας ιδιαίτερος τύπος κλίμακας και ένα μπαλάκι αντισφαιρίσεως είναι τα μακροσκοπικά αντικείμενα, που θα σας βοηθήσουν να κατανοήσετε τις ατομικές εκείνες διαδικασίες οι οποίες τελικά οδηγούν στο φάσμα του υδρογόνου. Είναι πολύ δύσκολο να επινοήσετε ένα πρότυπο αποτελούμενο από μακροσκοπικά αντικείμενα καθημερινής χρήσεως, τα οποία να μοιάζουν πολύ με αυτά τα μικροσκοπικά αντικείμενα που ονομάζονται άτομα. Ακόμη, η αναλογία που θα αναφερθεί παρακάτω, δίνει με σαφήνεια μερικά κρίσιμα χαρακτηριστικά του είδους των ενεργειών που υπάρχουν μέσα σε ένα άτομο υδρογόνου.

Φανταστείτε μία κλίμακα, της οποίας ο σχεδιασμός είναι ανορθόδοξος (σχ. 11-21). Το πιο παράξενο χαρακτηριστικό της κλίμακας αυτής είναι ότι το διάστημα ανάμεσα στα σκαλοπάτια δεν είναι σταθερό, όπως συμβαίνει στις συνηθισμένες κλίμακες. Αντίθετα, ελαττώνεται συνεχώς, καθώς η κλίμακα ανεβαίνει. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό αυτής είναι ότι κάθε σκαλοπάτι έχει μια ελάχιστη κλίση προς τα εμπρός, κατά τρόπο που ένα στρογγυλό αντικείμενο όπως ένα μπαλάκι αντισφαιρίσεως, δεν θα ήταν δυνατόν να παραμείνει για πολύ χρόνο επάνω σε ένα σκαλοπάτι. Αντίθετα, θα έπεφτε γρήγορα σε ένα από τα χαμηλότερα σκαλοπάτια. Εκεί, όπως και προηγουμένως, δεν θα παρέμενε για πολύ. Είναι φανερό ότι σε οποιοδήποτε υψηλότερο σκαλοπάτι και αν βρισκόταν τοποθετημένο, θα ακολουθούσε την πορεία που θα το οδηγούσε κάτω, προς το έδαφος. Καθώς θα έπεφτε προς τα κάτω, ίσως σταματούσε προσωρινά σε ένα ή και σε περισσότερα ενδιάμεσα σκαλοπάτια. Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό αυτής της ιδιόμορφης κλίμακας είναι ότι θα υψωνόταν απεριόριστα με ένα ατέλειωτο αριθμό από σκαλοπάτια, τα οποία θα εξακολουθούσαν να πλησιάζουν όλο και πιο κοντά μεταξύ τους.



ΣΧΗΜΑ 11-21. *Το πρότυπο που επινοήσαμε για τα επίπεδα ενέργειας του ηλεκτρονίου, δεν είναι τίποτε άλλο από τα σκαλοπάτια μιας φανταστικής κλίμακας, το ύψος των οποίων μειώνεται διαδοχικά. Οι αποστάσεις (σε cm) ανάμεσα στα σκαλοπάτια είναι αριθμητικά ίσες με τις ενέργειες των γραμμών που υπάρχουν στο υπεριώδες φάσμα του υδρογόνου.*

Τα διάφορα σκαλοπάτια της κλίμακας αντιπροσωπεύουν τα ύψη ή τα επίπεδα εκείνα επάνω στα οποία είναι δυνατόν να παραμείνει το μπαλάκι αντισφαιρίσεως για κάποιο σύντομο χρονικό διάστημα. Η μόνη θέση, στην οποία μπορεί να παραμείνει απεριόριστα το μπαλάκι είναι το έδαφος. Αν πετάξομε το μπαλάκι ψηλά, θα προσγειωθεί επάνω σε κάποιο από τα ψηλά σκαλοπάτια, και για λίγη ώρα, θα βρίσκεται σε ένα επίπεδο απόλυτα καθορισμένο. Όμως, σύντομα θα κατρακυλήσει προς ένα χαμηλότερο. Αν προσπέσει πάνω σε ένα κατακόρυφο τμήμα της κλίμακας με αρκετή δύναμη, θα αναπηδήσει τόσο απότομα, ώστε θα εκφενδονισθεί πάνω από όλα τα ενδιάμεσα σκαλοπάτια και θα πέσει κατ' ευθείαν στο έδαφος. Σε αυτήν την περίπτωση χάνει όλο το ύψος του με μια μοναδική πτώση. Η απόσταση της πτώσεως εξαρτάται από το ύψος του σκαλοπατιού, στο οποίο είχε αρχικά πέσει.

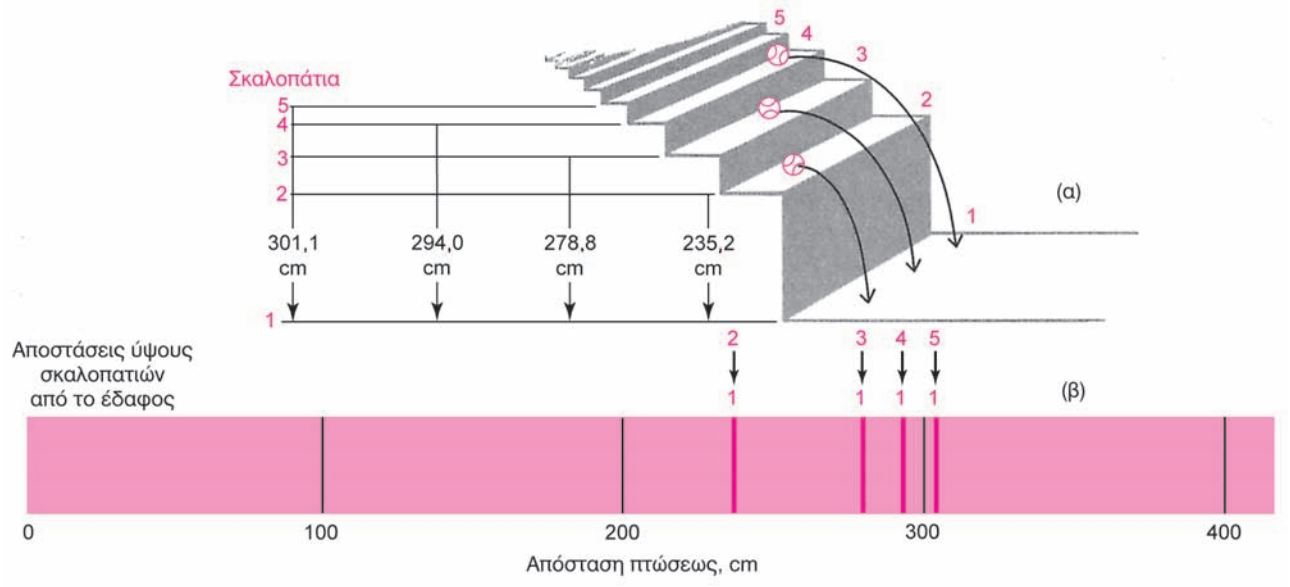
Ας υποθέσομε ότι το μπαλάκι πετάγεται πολλές φορές κατά έναν τελείως τυχαίο τρόπο, ώστε να προσγειώνεται επανειλημμένα στο καθένα από τα υψηλότερα σκαλοπάτια. Κάθε φορά το μπαλάκι πέφτει κάτω αμέσως. Κάποια φορά πέφτει από το σκαλοπάτι στο οποίο βρίσκεται κατευθείαν κάτω στο έδαφος. Άλλες φορές σταματά για λίγο επάνω σε ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα σκαλοπάτια. Κάθε πτώση, ανεξάρτητα από το ποια είναι η πορεία που ακολουθείται, ξεκινά από ένα συγκεκριμένο και καλά καθορισμένο ύψος και καταλήγει στο έδαφος. Είδατε ότι σε ένα μπαλάκι αντισφαιρίσεως που βρίσκεται επάνω σε μια κλίμακα επιτρέπονται μόνο ορισμένες μεταβολές θέσεως, αυτές που οδηγούν από τα υψηλότερα επίπεδα στο έδαφος. Το μπαλάκι έχει τη δυνατότητα να πέσει από το δεύτερο σκαλοπάτι στο έδαφος ή από το τρίτο σκαλοπάτι πάλι στο έδαφος και ούτω καθεξής. Κάθε πτώση το οδηγεί από μια μεγαλύτερη σε μια μικρότερη δυναμική ενέργεια. Για το μπαλάκι λοιπόν υπάρχει μόνο περιορισμένος αριθμός δυνατών ενεργειακών μεταβολών. Κατ' αναλογία, και οι γραμμές του φάσματος του υδρογόνου παριστάνουν μόνο κάποιες συχνότητες. Καθεμιά από αυτές τις συχνότητες αντιστοιχεί σε μια καθορισμενή ενέργεια, προφανώς στην ενέργεια που χάνεται όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από μια υψηλότερη σε μια χαμηλότερη δυναμική ενέργεια μέσα στο άτομο.

Το πρότυπο της κλίμακας συμφωνεί, τουλάχιστον ποιοτικά, με τις μικροσκοπικές διαδικασίες που είχαμε βάλει ως στόχο να κατανοήσομε.

Έχει τη δυνατότητα όμως να γίνει και ποσοτικό; Ας υποθέσομε ότι η απόσταση ανάμεσα σε κάθε σκαλοπάτι και το έδαφος εξισώνεται αριθμητικά με μια ενέργεια του φάσματος του υδρογόνου. Θα χρησιμοποιηθούν οι ενέργειες που παριστάνονται από τις γραμμές της υπεριώδους περιοχής, όπως δείχνει το σχήμα 11-20. Οι αποστάσεις θα εκφρασθούν σε εκατοστόμετρα, επειδή αυτή είναι μια γνωστή μονάδα μήκους (σχ. 11-21).

Τώρα, με τη βοήθεια του προτύπου της κλίμακας, ας δούμε τις δυναμικές ενεργειακές μεταβολές. Στο σχήμα 11-22α φαίνονται μερικές από αυτές τις μεταπτώσεις. Οι αριθμητικές τιμές της καθεμιάς έχουν σχεδιασθεί σε μια οριζόντια κλίμακα στο σχήμα 11-22β. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχήμα 11-22β να έχει την ίδια εμφάνιση με ένα μέρος του φάσματος του υδρογόνου. Η αλληλουχία των γραμμών είναι ανάλογη με αυτήν που υπάρχει στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος υδρογόνου. Σε αυτήν την περιοχή του φάσματος οι γραμμές έχουν τις υψηλότερες συχνότητες, από όλες τις άλλες και γι' αυτό έχουν και τις υψηλότερες ενέργειες.

Η αναλογία αυτή δεν είναι κάτι που μας εκπλήσσει. Τα ύψη των σκαλοπατιών επελέγησαν εσκεμμένα ώστε να αντιστοιχούν στις γραμμές του φάσματος. Η αξία του προτύπου θα εξαρτηθεί από το αν τώρα μπορούμε να οδηγηθούμε από αυτό σε κάποια πληροφορία που δεν την είχαμε θεωρήσει δεδομένη, όταν το δημιουργήσαμε. Έτσι, γι' αυτήν την ιδιαίτερη περίπτωση, είναι δυνατόν το πρότυπο να δικαιολογήσει την ύπαρξη των επομένων ομάδων γραμμών, όπως είναι αυτές της ορατής περιοχής του φάσματος; Είναι δυνατόν να το χρησιμοποιήσομε, για να προβλέψομε τις συχνότητές τους; Για να απαντήσομε σε αυτά τα ερωτήματα, ας δούμε το χρόνο που χρειάζεται το μπαλάκι για να πέσει από το σκαλοπάτι στο οποίο βρίσκεται αρχικά, στο σκαλοπάτι 2, αντί να κάνει ολόκληρη τη διαδρομή μέχρι το σκαλοπάτι 1 (έδαφος). Οι δυνατές αποστάσεις λοιπόν που θα διανύσει, όταν πέφτει, θα είναι αυτές που φαίνονται στο σχήμα 11-23α. Αν σχεδιάσομε αυτές τις αποστάσεις επάνω σε μια οριζόντια κλίμακα, θα προκύψει μια σειρά γραμμών ανάλογη με τις γραμμές που δίνει το φάσμα του υδρογόνου στην ορατή περιοχή (σχ. 11-23β). Επιπλέον, στην κάθε περίπτωση, οι σχετικές θέσεις των γραμμών είναι και ποσοτικά ίδιες. Είναι προφανές ότι η γραμμή της χαμηλότερης



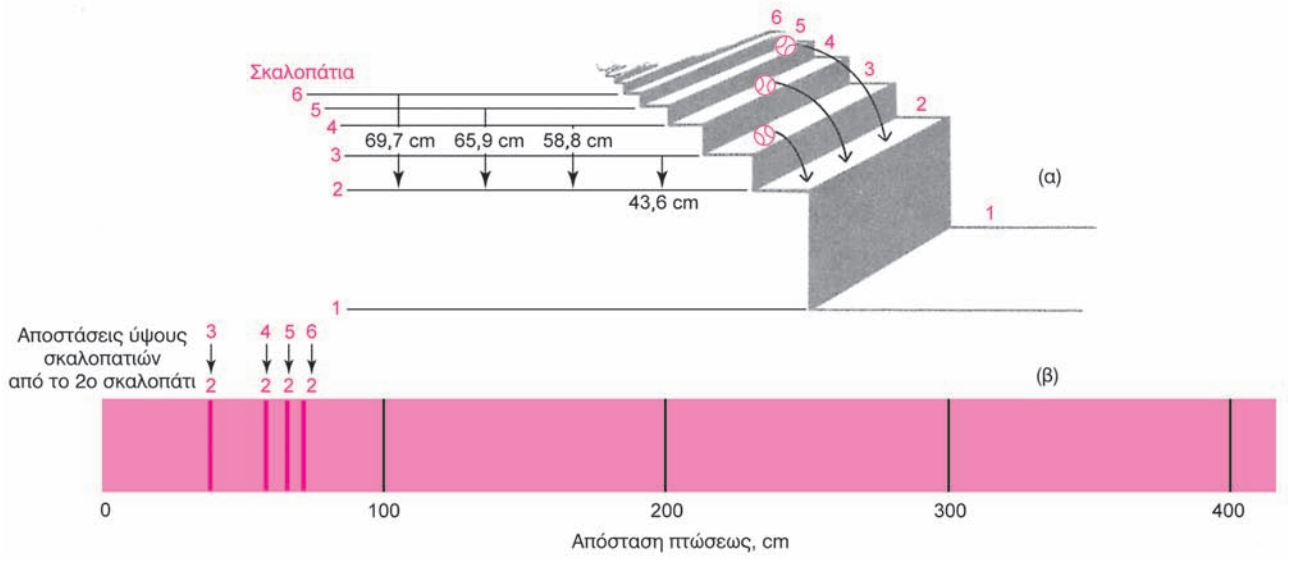
ΣΧΗΜΑ 11-22. *Όπως φαίνεται επάνω (α), τα διαδοχικά σκαλοπάτια στο πρότυπο κλίμακας βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από το έδαφος. Ένα οριζόντιο διάγραμμα αυτών των αποστάσεων (β) μοιάζει πάρα πολύ σαν ένα μέρος του φάσματος του υδρογόνου.*

ενέργειας στην ορατή ομάδα αντιστοιχεί στην απόσταση της πτώσεως από το σκαλοπάτι 3 στο σκαλοπάτι 2. Η μεταβολή της ενέργειας υπολογίζεται από τη διαφορά ύψους των σκαλοπατιών με τον εξής τρόπο:

$$278{,}8 - 235{,}2 = 43{,}6$$

Κατά τον ίδιο τρόπο, είναι δυνατόν να υπολογισθούν και όλες οι άλλες γραμμές αυτών των ομάδων, όπως δείχνει και ο πίνακας 11.1.

Με λίγη σκέψη καταλαβαίνομε ότι το πρότυπο προβλέπει και πολλές άλλες συγκεντρωμένες ομάδες γραμμών. Οι ομάδες που ακολουθούν



ΣΧΗΜΑ 11-23. *Επάνω (α), φαίνονται οι αποστάσεις, τις οποίες θα διανύσει το μπαλάκι αν πέσει μέχρι το σκαλοπάτι 2 και όχι μέχρι το έδαφος. Όταν σημειωθούν αυτές οι αποστάσεις επάνω σε έναν οριζόντιο άξονα (β), εμφανίζουν πάρα πολλές ομοιότητες με μια άλλη περιοχή του φάσματος του υδρογόνου.*

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1.
Μεταβολές ενέργειας που υπολογίσθηκαν.

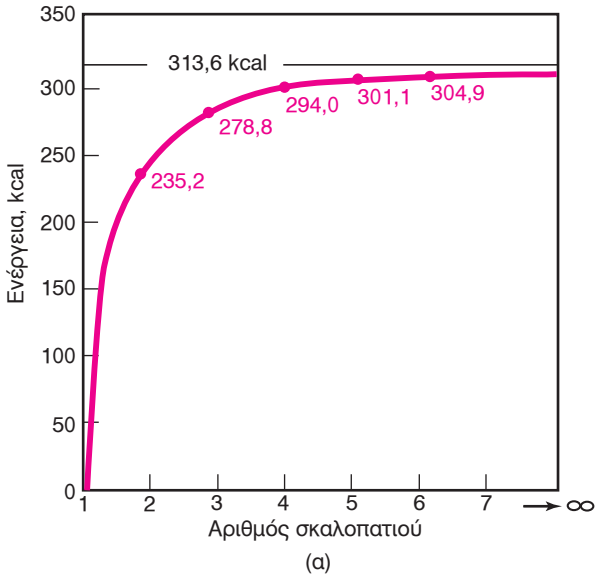
Μεταβολή σκαλοπατιού	Μεταβολή ενέργειας (kcal)	
	Από υπολογισμό	Από παρατήρηση
# 3 → # 2	278,8-235,2 = 43,6	43,6
# 4 → # 2	294,0-235,2 = 58,8	58,8
# 5 → # 2	301,1-235,2 = 65,9	66,0
# 6 → # 3	304,9-235,2 = 69,7	69,8

αποτελούνται από τις μεταβολές που προκύπτουν, όταν πέφτει το μπαλάκι από διάφορα υψηλότερα σκαλοπάτια, όπως το 4ο, το 5ο, το 6ο και λοιπά, κάτω στο 3ο. Άλλες πιθανές ομάδες αφορούν πτώσεις από υψηλότερα σκαλοπάτια στο 4ο, και ούτω καθεξής. Στην πραγματικότητα, αυτές οι ομάδες είναι δυνατόν να παρατηρηθούν με μια φασματογραφική συσκευή, που έχει τη δυνατότητα να εκτελεί μετρήσεις στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Οι θέσεις των γραμμών είναι ακριβώς αυτές που είχαμε προβλέψει με το πρότυπο της κλίμακας και αποδεικνύουν την ικανότητα του προτύπου να προβλέψει τις ιδιότητες που παρατηρούνται στο εργαστήριο.

11.9 Στάθμες ενέργειας του ατόμου του υδρογόνου.

Το πρότυπο της κλίμακας καλύπτει επαρκώς τα παρακάτω χαρακτηριστικά του φάσματος και των ενεργειακών καταστάσεων των ατόμων του υδρογόνου:

1. Δείχνει ότι το ηλεκτρόνιο έχει τη δυνατότητα να ανυψωθεί από την κατώτατη στάθμη που είναι η πιο σταθερή (αντίστοιχη της στάθμης εδάφους προκειμένου για το παράδειγμα με το μπαλάκι), μόνο σε μερικές άλλες συγκεκριμένες στάθμες, που αντιστοιχούν προς τα σκαλοπάτια 2,3,4 κλπ. και οι οποίες βρίσκονται επάνω από τη βασική στάθμη.
2. Δείχνει ότι το ηλεκτρόνιο δεν μπορεί να παραμείνει σε καμιά από αυτές της υψηλές στάθμες για πολύ, αλλά πρέπει να ξαναπέσει σε κάποια από τις χαμηλότερες και τελικά στη βασική.
3. Δείχνει ότι η διαδικασία της πτώσεως γίνεται μόνο ανάμεσα στα σκαλοπάτια, δηλαδή από ένα υψηλότερο σε ένα χαμηλότερο και ποτέ από ή προς σημεία ανάμεσα στα σκαλοπάτια. Οι αποστάσεις που διανύονται κατά την πτώση στην κλίμακα, αντιστοιχούν στις ποσότητες ενέργειας που εκπέμπονται από το άτομο, με τη μορφή του φωτός, όταν ένα ηλεκτρόνιο ξαναπέφτει στη χαμηλότερη στάθμη.
4. Το πρότυπο δείχνει ακριβώς ποιες ομάδες γραμμών εκπομπής είναι δυνατές στο φάσμα και την ποσοτική σχέση που υπάρχει ανάμεσά τους.

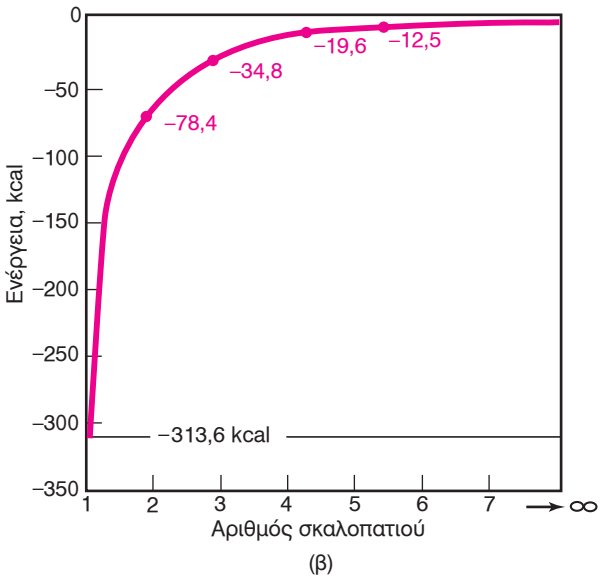


ΣΧΗΜΑ 11-24α. *Απεικόνιση της σχέσεως ανάμεσα στις ενέργειες των γραμμών του φάσματος υδρογόνου και του αριθμού των σκαλοπατιών. Το σκαλοπάτι 1 (βασικό) ισοδυναμεί με τη μηδενική στάθμη ενέργειας.*

Οι επιστήμονες έβγαλαν το συμπέρασμα ότι στην πραγματικότητα η κλίμακα των ενεργειών των ατόμων υδρογόνου είναι ανάλογη με το πρότυπο της κλίμακας με τα σκαλοπάτια που χρησιμοποιήσαμε στο παράδειγμα. Απλά, χρησιμοποίησαν επιστημονικούς όρους. Για παράδειγμα, ονόμασαν τα σκαλοπάτια, ***στάθμες ενέργειας***. Παρα-κάτω θα αντικαταστήσομε το παράδειγμα με τα σκαλοπάτια με έναν πιο συμβατικό τρόπο απεικονίσεως, που χαρακτηρίζεται ως διάγραμμα με στάθμες ενέργειας.

Στο σχήμα 11-24α δίνεται η γραφική παράσταση των ενεργειών των γραμμών της υπεριώδους περιοχής του φάσματος (ίσες με τις αποστάσεις πτώσεως επάνω στην κλίμακα σε εκατοστά), σε σχέση με τα ύψη των σκαλοπατιών.

Ενώνοντας τα σημεία αυτά προκύπτει μια ομαλή καμπύλη. Κοιτάξτε πρώτα την κατακόρυφη κλίμακα, όπως εμφανίζεται στην αριστερή πλευρά



ΣΧΗΜΑ 11-24β. *Η κλίμακα στον κατακόρυφο άξονα είναι βαθμολογημένη διαφορετικά απ' αυτήν του σχήματος 11-24α. Εδώ, η στάθμη της μέγιστης ενέργειας είναι μηδέν και οι λοιπές τιμές ενέργειας εκφράζονται με αρνητικούς αριθμούς.*

του σχεδιαγράμματος. Έχει κανονική διάταξη, με το μηδέν στο κάτω μέρος. Στη βαθμίδα 1 έχει σημειωθεί η μηδενική ενέργεια, στη βαθμίδα 2 η ενέργεια των 235,2 kcal, και ούτω καθεξής. Αυτά αντιστοιχούν ακριβώς στο σχήμα 11-22α.

Η καμπύλη που διέρχεται από αυτά τα σημεία έχει μια συγκεκριμένη και σημαντική ιδιότητα. Στην αρχή ανυψώνεται απότομα, αλλά μετά οριζοντιώνεται βαθμιαία. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των βαθμίδων, η καμπύλη γίνεται όλο και πιο οριζόντια*. Είναι δυνατόν να αποδειχθεί ότι ακόμη και για πολύ μεγάλους αριθμούς βαθμίδων, δεν θα ξεπεράσει την τιμή των 313,6 kcal. Στην πραγματικότητα, για μια βαθμίδα που αντιστοιχεί στο ∞ (άπειρο), θα πάρει ακριβώς αυτήν την τιμή των 313,6 kcal. Σε αυτήν την ιδιαίτερη τιμή ενέργειας η καμπύλη γίνεται εντελώς οριζόντια.

Είναι δυνατόν για το ίδιο σχεδιάγραμμα να χρησιμοποιηθεί ένας διαφορετικός κατακόρυφος άξονας, στον οποίο το μηδέν να παριστάνει τη μέγιστη δυνατή τιμή ενέργειας και με τη βοήθεια αρνητικών αριθμών να συνεχιστεί ο άξονας προς τα κάτω. Στο σχήμα 11-24β φαίνεται ένα διάγραμμα με έναν τέτοιο κατακόρυφο άξονα. Σε αυτό, η βαθμίδα 1 βρίσκεται σε μια στάθμη ενέργειας -313,6 kcal. Αυτός ο τρόπος διατάξεως του κατακόρυφου άξονα ίσως να φαίνεται αυθαίρετος. Σύντομα όμως θα διαπιστώσετε ότι έτσι είναι δυνατόν να δοθεί η καλύτερη απεικόνιση για τη διάταξη των βαθμίδων. Οι επιστήμονες παραδέχονται τώρα ότι αυτού του είδους η απεικόνιση αποτελεί μέρος της θεμελιώδους θεωρίας της συμπεριφοράς των ατόμων και των μορίων.

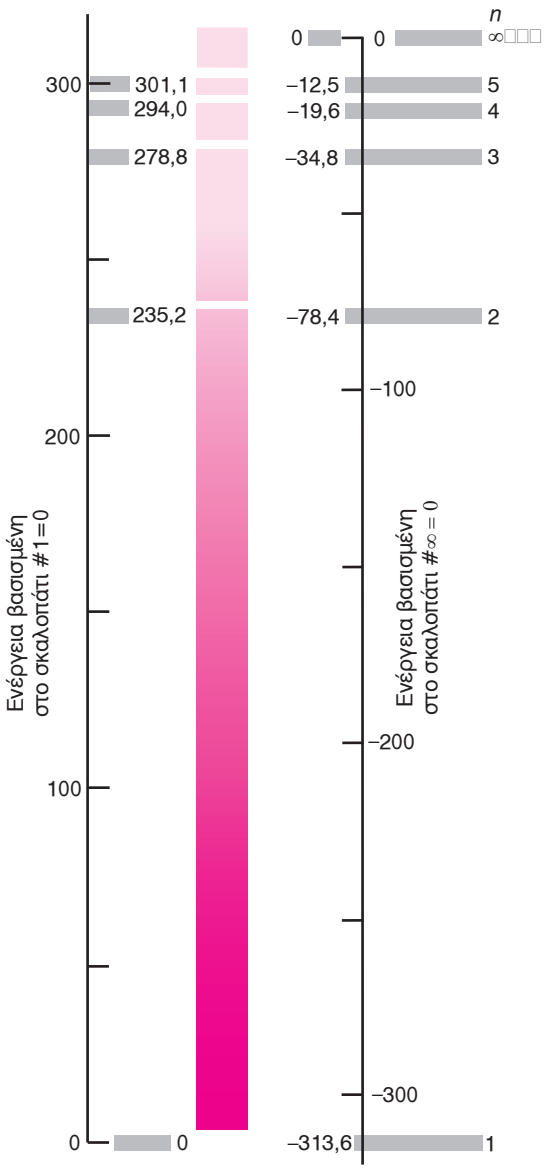
Το σχήμα 11-25 δείχνει ένα κατακόρυφο σχεδιάγραμμα με τις ενεργειακές στάθμες του ατόμου του υδρογόνου, όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος απεικονίσεως των τιμών της ενέργειας, που μόλις περιγράψαμε. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές ανάμεσα στις ποικίλες στάθμες ενέργειας, είναι ακριβώς οι ίδιες, έστω και αν οι ενέργειες που αντιστοιχούν σε αυτές είναι διαφορετικές**. Έτσι, ο άξονας εκείνος, στον οποίο το μηδέν ισοδυναμεί με τη μέγιστη ενέργεια, είναι απόλυτα χρήσιμος για την απεικόνιση των πειραματικών δεδομένων, έστω και αν δεν είναι κάτι, που θα το σκεφτόταν κάποιος από την πρώτη στιγμή. Στο σχήμα 11-25, χρησιμοποιούνται οι αριθμοί, οι οποίοι στην πραγματικότητα αντιστοιχούσαν στα σκαλοπάτια, προκειμένου να προσδιορισθούν οι στάθμες ενέργειας. Η κατώτερη στάθμη αντιστοιχεί στον αριθμό 1 και οι άλλοι αριθμοί ακολουθούν κατά σειρά αυξανόμενης ενέργειας (2, 3, 4 κλπ), ενώ υπάρχει ένα πιθανό ανώτατο όριο στο ∞, όπου η ενέργεια μηδενίζεται. Για πολύ καιρό αφ' ότου καθιερώθηκε αυτό το διάγραμμα για τις στάθμες ενέργειας του ατόμου του υδρογόνου, οι επιστήμονες εξακολουθούσαν να προβληματίζονται για την σπουδαιότητά του. Τελικά, στα τέλη της δεκαετίας του 1920, αναπτύχθηκε μια μαθηματική θεωρία, η οποία εξηγούσε τα γεγονότα. Η θεωρία αυτή που ονομάσθηκε ***κβαντομηχανική***, θα μελετηθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

11.10 Το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου.

Οι ενδείξεις που παρέχονται από τα γραμμικά φάσματα παρακίνησαν τους επιστήμονες να αναζητήσουν μια εξήγηση για τη συμπεριφορά του ηλεκτρονίου μέσα στο άτομο του υδρογόνου. Η πρώτη ερμηνεία που δόθηκε με επιτυχία το 1913 ήταν αυτή του μεγάλου Δανού φυσικού, του Niels Bohr.

* *Σ.τ.Μ. Χαρακτηρίζεται ως ασυμπτωτική.*

** *Σ.τ.Μ. Είναι διαφορετικές, γιατί είναι διαφορετικός ο τρόπος απεικονίσεως.*



ΣΧΗΜΑ 11-25. *Τα δεδομένα των σχημάτων 11-24 (α και β) καταγράφονται σε ένα κατακόρυφο διάγραμμα ενεργειακών επιπέδων. Τα ενεργειακά επίπεδα (όπως και τα σκαλοπάτια) είναι αριθμημένα από το ένα ως το άπειρο. Η κλίμακα, αριστερά, έχει ως ενεργειακό επίπεδο μηδέν το ένα. Η κλίμακα, δεξιά, έχει ως μηδενικό ενεργειακό επίπεδο το άπειρο, και κατ' αναλογία όλες οι άλλες ενέργειες επάνω στην κλίμακα εκφράζονται ως αρνητικές ποσότητες.*

Το λεπτομερειακό πρότυπο του ατόμου του υδρογόνου που πρότεινε ο Bohr εγκαταλείφθηκε αργότερα. Αξίζει όμως να περιγραφεί, γιατί αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα στην εξέλιξη του λεπτομερούς προτύπου που αποδέχονται οι επιστήμονες σήμερα. Παράλληλα το έργο του Bohr είναι άξιο προσοχής, γιατί δείχνει πώς προάγεται η επιστημονική θεωρία σε ορισμένες κρίσιμες εποχές ως αποτέλεσμα τολμηρών και εμπνευσμένων ιδεών, οι οποίες ενώ βασίζονται στις επιστημονικές κατακτήσεις του παρελθόντος, δίνουν ταυτόχρονα νέες κατευθύνσεις.

Το έτος 1912 ήταν γνωστό ότι το άτομο του υδρογόνου αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο και ότι αυτά τα σωματίδια έλκονται μεταξύ τους εξ αιτίας του αντιθέτου ηλεκτρικού φορτίου τους. Οι φυσικοί πίστευαν ότι ήταν σε θέση να υπολογίσουν τις ιδιότητες αυτού του συνδυασμού. Εξάλλου, είχαν μελετηθεί επί αιώνες οι νόμοι της κινήσεως των μακροσκοπικών σωμάτων. Επίσης, ήταν απόλυτα κατανοητή η συμπεριφορά των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων, σε μακροσκοπική κλίμακα. Παράλληλα όμως οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να εξηγήσουν πώς μπορεί και υπάρχει το άτομο υδρογόνου και πολύ περισσότερο γιατί πρέπει να διαθέτει κάποια ιδιαίτερη ποσότητα ενέργειας. Στην πραγματικότητα, οι νόμοι στους οποίους κατέληξαν από τη μελέτη των μακροσκοπικών σωμάτων, έδιναν μια πειστική (αν και λανθασμένη) πρόβλεψη ότι το πυρηνικό άτομο* είναι ασταθές και ότι το ηλεκτρόνιο πρόκειται να συντριβεί επάνω στον πυρήνα.

Σε αυτό το σημείο ο Niels Bohr διετύπωσε μια νέα σκέψη. Συγκεκριμένα υποστήριξε ότι η εξήγηση ταυτίζεται με την αναζήτηση ομοιοτήτων ανάμεσα σε κάποιο σύστημα που μελετάται και σε ένα άλλο καλώς κατανοητό πρότυπο σύστημα. Μια ερμηνεία είναι ικανοποιητική μόνο όταν οι ομοιότητες είναι έντονες. Πρότεινε λοιπόν ότι η μηχανική και η ηλεκτρική συμπεριφορά των μακροσκοπικών σωμάτων (δηλ. η «κλασική» φυσική) δεν οδηγεί σε πρότυπο εντελώς όμοιο με το άτομο του υδρογόνου. Γι' αυτό προχώρησε στην αναζήτηση ενός νέου προτύπου, που να μην συγκρούεται με τα γνωστά γεγονότα.

Στην αρχή υπέθεσε ότι η δομή ενός ατόμου (η τοποθέτηση των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα) καθορίζεται από την ενέργειά του. Για να συμφωνήσει με τα γεγονότα, πρότεινε ότι επιτρέπεται η ύπαρξη μόνο ορισμένων ατομικών

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή το άτομο με πυρήνα.*

δομών, τις οποίες και ονόμασε «σταθερές καταστάσεις». Κάθε μία από αυτές τις καταστάσεις διακρίνεται από μια ιδιαίτερα ενέργεια. Προέβλεπε λοιπόν ότι, αν υπήρχε ένα σύνολο χαρακτηριστικών ατομικών δομών, θα έπρεπε να ανευρεθεί και ένα σύνολο αντιστοίχων ενεργειών. Έτσι, ο Bohr ξέφυγε από τα παλαιότερα ατομικά πρότυπα, τα οποία επέτρεπαν δομές που αντιστοιχούσαν σε όλες τις ενέργειες.

Η σταθερότερη κατάσταση ενός ατόμου θα έπρεπε να είναι αυτή, σύμφωνα με την οποία το άτομο κατέχει τη μικρότερη ενέργεια. Θεώρησε ως θεμελιώδη κανόνα της φύσεως το γεγονός ότι ένα άτομο είναι δυνατόν να υπάρχει γενικά στην πιο σταθερή κατάσταση. Αν και αυτό δεν κατάφερε να το δικαιολογήσει (οι προηγούμενοι νόμοι της φυσικής προέβλεπαν ότι το άτομο θα έπρεπε να συντριβεί), όφειλε να το παραδεχθεί, γιατί συμφωνούσε με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Ο Bohr πρότεινε ακόμη ότι, αν και η χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση του ατόμου είναι και η πιο σταθερή, εν τούτοις είναι δυνατόν το άτομο, αν απορροφήσει ενέργεια, να διεγερθεί σε μεγαλύτερες «επιτρεπόμενες» ενεργειακές καταστάσεις. Το διεγερμένο άτομο δεν θα παραμείνει σε αυτήν την κατάσταση για πολύ. Σύντομα, θα αποβάλει την επιπλέον ενέργειά του, εκπέμποντας φως. Επειδή μόνο ορισμένα επίπεδα ενέργειας έχουν θεωρηθεί, σύμφωνα με τον Bohr, ως πιθανά, γι' αυτό είναι δυνατόν να συμβούν μόνον ορισμένες ενεργειακές μεταβολές. Η μεταβολή της ενέργειας του ατόμου πρέπει να είναι ίση με την ενέργεια του φωτός που εκπέμπεται και πρέπει να συμφωνεί με την εξίσωση $E_2 - E_1 = h \times \nu$. Κατά συνέπεια, η συχνότητα του φωτός που εκπέμπεται από ένα άτομο, θα καθορίζεται απολύτως από τις τιμές των ενεργειών εκείνων, οι οποίες είναι επιτρεπτές για τα ηλεκτρόνιά του.

Οι ιδέες αυτές ήταν τόσο επαναστατικές, ώστε δεν θα ήταν δυνατόν να γίνουν αποδεκτές, αν ο Bohr δεν ήταν σε θέση να προτείνει έναν τρόπο για τον ακριβή υπολογισμό των ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. Σήμερα όμως γνωρίζομε ότι είναι απόλυτα σωστές και γι' αυτό τις αποδεχόμαστε πλήρως. Όμως το ειδικό πρότυπο που θα περιγράψομε πιο κάτω πρέπει να εγκαταλειφθεί, έστω και αν με αυτό ο Bohr κατόρθωσε να υπολογίσει σωστά τις ενέργειες για το άτομο του υδρογόνου.

Ο Bohr, προκειμένου να σχηματίσει σαφή εικόνα για το άτομο του υδρογόνου και να υπολογίσει τις ενεργειακές του καταστάσεις δημιούργησε για τα ηλεκτρόνια μια σειρά από κυκλικές «τροχιές» γύρω από τον πυρήνα. Οι τροχιές αυτές ήταν ανάλογες με τις τροχιές των πλανητών γύρω από τον ήλιο. Προέβη σε δύο αυθαίρετες παραδοχές, η μία εκ των οποίων έχει κιόλας αναφερθεί.

1. Το ηλεκτρόνιο έχει τη δυνατότητα να παραμείνει για πάντα στην πιο σταθερή τροχιά και δεν πέφτει επάνω στον πυρήνα όπως θα συνέβαινε, σύμφωνα με την κλασική φυσική.
2. Σε κάθε τροχιά η στροφορμή του ηλεκτρονίου (η μάζα του επί την ταχύτητά του επί την ακτίνα, $m \cdot v \cdot r$) περιορίζονται στις τιμές $h/2\pi$, $2h/2\pi$, $3h/2\pi$ κ.ο.κ.

Συνδυάζοντας τη δεύτερη παραδοχή με τους νόμους της φυσικής που ίσχυαν απολύτως, είχε τη δυνατότητα να υπολογίσει την ενέργεια που θα είχε το ηλεκτρόνιο στην πιο σταθερή τροχιά. Αυτή η πλέον σταθερή τροχιά ήταν και η μικρότερη, γι' αυτό και ο Bohr τη χαρακτήρισε με αύξοντα αριθμό, n ίσο με 1.

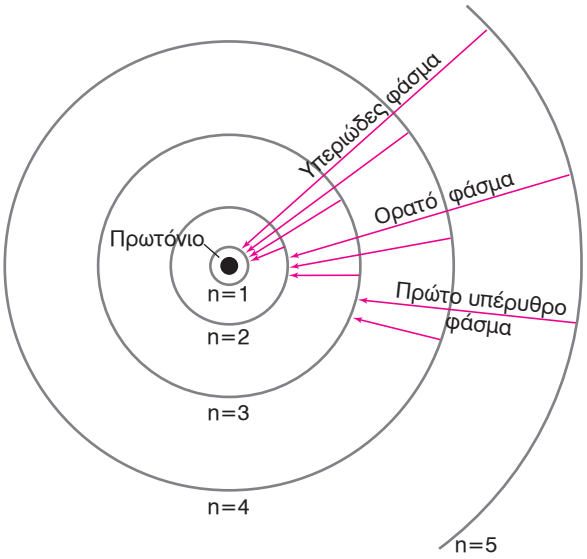
Την ενέργεια του ηλεκτρονίου στην πιο σταθερή τροχιά τη χαρακτήρισε με $-R$ (εδώ πρέπει να θυμηθείτε την κλίμακα των ενεργειών που αναφέρθηκε στην παράγραφο 11.9 και στην οποία χαρακτηρίζονταν όλες οι ενέργειες με αρνητικές τιμές). Στη συνέχεια έδειξε ότι οι ενέργειες των ηλεκτρονίων στις άλλες τροχιές ($n = 2, 3, 4,...$), είναι ίσες με $-R/n^2$. Χρησιμοποιώντας αυτήν την ενεργειακή διατύπωση ήταν πια σε θέση να δικαιολογήσει τις γραμμές στο φάσμα του υδρογόνου.

Το σχήμα 11-26 δείχνει πώς ο Bohr ερμήνευσε τις δύο ομάδες γραμμών (στο φάσμα του υδρογόνου) που εμφανίζονται στην ορατή και την υπεριώδη περιοχή. Η ενέργεια κάθε γραμμής προκύπτει από τη διαφορά ανάμεσα στην ενέργεια της κατώτερης (n_1) και της ανώτερης στάθμης (n_u), από την οποία ξεκινά το ηλεκτρόνιο.

Η μαθηματική έκφραση έχει ως εξής:

$$\text{Ενέργεια που εκπέμπεται} = \frac{-R}{(n_u)^2} - \frac{-R}{(n_1)^2} =$$

$$= R\left(\frac{1}{(n_1)^2} - \frac{1}{(n_u)^2}\right)$$



ΣΧΗΜΑ 11-26. *Οι τροχιές του ηλεκτρονίου για το άτομο του υδρογόνου, σύμφωνα με όσα πρότεινε το 1912 ο Niels Bohr. Διακρίνεται η προέλευση τριών φασματικών γραμμών.*

Για την ομάδα γραμμών στην υπεριώδη περιοχή, $n_1 = 1$.

$$\text{Ενέργεια που εκπέμπεται} = R\left(1 - \frac{1}{(n_u)^2}\right)$$

Για μερικές από τις πρώτες γραμμές προκύπτουν οι παρακάτω ενέργειες:

$$E_1 = \left(1 - \frac{1}{4}\right)R = \frac{3}{4}R$$
$$E_2 = \left(1 - \frac{1}{9}\right)R = \frac{8}{9}R$$
$$E_3 = \left(1 - \frac{1}{16}\right)R = \frac{15}{16}R$$

Εύκολα διακρίνετε ότι οι τιμές αυτών των ενεργειών σχηματίζουν μια σειρά, όπου πλησιάζουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους, ενώ βαθμιαία τείνουν σε ένα όριο, το οποίο δεν είναι άλλο από το R. Κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο φαίνεται να συμπεριφέρονται και οι ομάδες των γραμμών. Ο Bohr, όταν χρησιμοποιούσε μια οποιαδήποτε γραμμή, για να υπολογίσει την τιμή του R, είχε τη δυνατότητα να υπολογίσει στη συνέχεια με ακρίβεια τις θέσεις όλων των άλλων γραμμών της ίδιας ομάδας, όπως και μερικών ακόμη ομάδων.

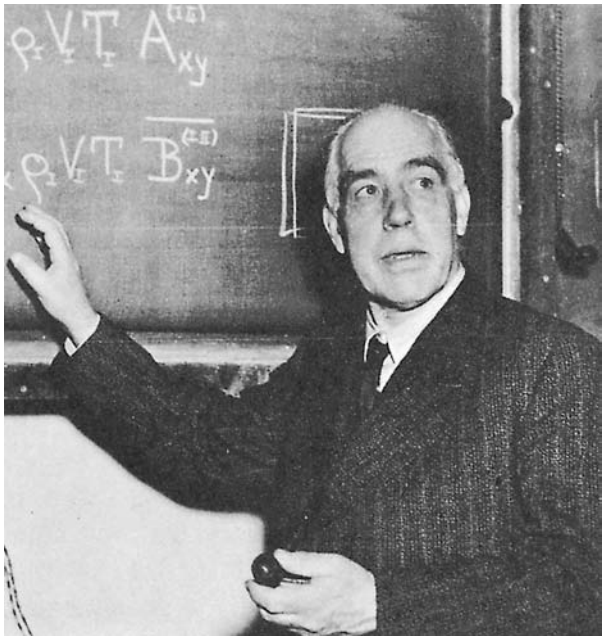
Από το σχήμα 11-24α προκύπτει ότι R = 313,6 kcal. Με τη βοήθεια αυτής της τιμής του R, υπολογίζονται οι ενέργειες των τριών πρώτων γραμμών της υπεριώδους ομάδας, σύμφωνα με τις παρακάτω πράξεις (σχ. 11.20).

$$E_1 = \frac{3}{4}(313{,}6) = 235{,}2 \text{ kcal}$$
$$E_2 = \frac{8}{9}(313{,}6) = 278{,}8 \text{ kcal}$$
$$E_3 = \frac{15}{16}(313{,}6) = 294{,}0 \text{ kcal}$$

Όπως βλέπετε, είναι απόλυτα σύμφωνες με τις πειραματικές τιμές (σχ. 11-20):

11.11 Συνεχή φάσματα.

Μετά από όλη αυτήν τη διερεύνηση για τη σχέση ανάμεσα στις γραμμές που ανακαλύφθηκαν στα φάσματα του υδρογόνου και άλλων στοιχείων, ίσως να αναρωτιέστε γιατί το φάσμα του θερμού νήματος βολφραμίου, που φαίνεται στο σχήμα 11-13 εμφανίζει μια συνεχή ανάμιξη του ενός χρώματος μέσα στο άλλο που ακολουθεί, χωρίς να διακρίνονται ξεχωριστές γραμμές. Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ ότι τα έντονα γραμμικά φάσματα εμφανίζονται μόνο, όταν διεγείρονται άτομα αερίων. Δημιουργούνται δηλαδή, όταν περάσει υψηλή τάση ηλεκτρικής εκκενώσεως μέσα από ένα σωλήνα, που περιέχει κάποιο αέριο. Είναι δυνατόν να παρατηρηθούν επίσης, όταν εξαερωθεί ένα δείγμα κάποιας ουσίας, από τη φλόγα ενός εργαστηριακού λύχνου ή από το τόξο ή και το σπινθήρα που δημιουργείται από μια υψηλή τάση. Τα άτομα στην αέρια φάση είναι αρκετά απομακρυσμένα μεταξύ τους και δεν αλληλοεπιδρούν, καθώς επιστρέφουν τα ηλεκτρόνια στις αντίστοιχες ενεργειακές τους στάθμες. Αντίθετα, τα άτομα στα στερεά βρίσκονται τοποθετημένα τόσο κοντά, ώστε οι ταλαντώσεις που παράγονται κατά τη θέρμανση είναι εξαιρετικά πολύπλοκες. Προφανώς, τα ηλεκτρόνια του ενός ατόμου επηρεάζονται από τις δυνάμεις των γειτονικών ατόμων. Ως αποτέλεσμα σχηματίζεται ένα συνεχές φάσμα χωρίς ανεξάρτητες σαφείς γραμμές. Είναι γεγονός ότι η χημική σύσταση του στερεού δεν έχει επίδραση επάνω στο είδος του φάσματος που παράγει, όταν θερμαίνεται. Η θερμοκρασία αποτελεί το μόνο παράγοντα, που καθορίζει το είδος του φάσματος. Ένα κομμάτι βολφραμίου, όταν θερμανθεί στους 1000°C, θα



Niels Bohr
(1885-1962)

Το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου αποτελεί αξιοσημείωτο παράδειγμα του πώς είναι δυνατόν να συνδυασθούν τα αποτελέσματα πολλών διαφορετικών μελετών, προκειμένου να λυθεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Από την εποχή που ο John Dalton πρότεινε την ατομική θεωρία (1803) μέχρι τότε που ο Max Planck διετύπωσε την κβαντική θεωρία (1900) πέρασε σχεδόν ένας αιώνας. Για πολλά χρόνια οι επιστήμονες μελετούσαν τα φάσματα διαφόρων στοιχείων, αλλά δεν είχαν καταφέρει να βρουν κάποια αντιστοιχία ανάμεσα σε αυτά και στη δομή του ατόμου.

Ο Bohr, ένας Δανός επιστήμονας, συνεργαζόταν με τον J.J. Thomson στο εργαστήριο Cavendish, στο Cambridge της Αγγλίας, την εποχή που ο Ernest Rutherford ανακοίνωσε το πυρηνικό πρότυπο του ατόμου (1911). Λίγο αργότερα, ο Bohr συνεργάσθηκε με τον Rutherford στο εργαστήριό του στο Μάντζεστερ, όπου και πέρασε δύο χρόνια ασχολούμενος με τις λεπτομέρειες του δικού του προτύπου του ατόμου. Αν και ο Rutherford είχε προτείνει ένα άτομο με ένα συμπαγή πυρήνα και ηλεκτρόνια να περιφέρονται γύρω του, εν τούτοις με τους κλασικούς νόμους του ηλεκτρισμού και της κινητικής δεν ήταν δυνατόν να αποδειχθεί η ύπαρξη κάποιας σχέσεως ανάμεσα στη δομή αυτού του ατόμου και στο φάσμα που δημιουργείται, όταν διεγερθεί.

Ο Bohr είχε μια έξοχη έμπνευση. Σκέφτηκε ότι θα μπορούσε να εφαρμόσει απ' ευθείας την κβαντική θεωρία του Planck, προκειμένου να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων μέσα στο άτομο. Υπολόγισε την αναγκαία ενέργεια, για να μετακινηθεί ένα ηλεκτρόνιο από μια σταθερή τροχιά γύρω από τον πυρήνα, με τη βοήθεια της σταθεράς του Planck. Το αποτέλεσμά του συμφωνούσε απόλυτα με την ενέργεια ιονισμού, που είχε μετρηθεί πειραματικά.

Επειδή ο Planck είχε ορίσει ότι η εκπομπή ενέργειας είναι δυνατή μόνο με τη μορφή ορισμένων σταθερών κβάντων, ο Bohr υπέθεσε ότι τα ηλεκτρόνια, που κινούνται γύρω από τον πυρήνα, έχουν τη δυνατότητα να κινούνται μόνο σε περιορισμένο αριθμό σταθερών τροχιών. Όσο διάστημα παρέμεναν τα ηλεκτρόνια σε αυτές τις τροχιές δεν εξέπεμπαν ενέργεια. Αν μετέπιπταν από μια τροχιά σε μια άλλη, θα κέρδιζαν ή θα έχαναν μόνο μερικά σταθερά ποσά ενέργειας. Με βάση αυτές τις υποθέσεις, όταν υπολόγισε ο Bohr τη συχνότητα της ακτινοβολίας που θα έπρεπε να εκπέμψει ένα διεγερμένο άτομο υδρογόνου, διεπίστωσε ότι τα αποτελέσματά του συμφωνούσαν απόλυτα και με τα πειραματικά αποτελέσματα. Αν και το πρότυπο του Bohr εμφάνιζε μεγάλες ομοιότητες μόνο με το άτομο του υδρογόνου, το έργο του άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη μεταγενεστέρων θεωριών, οι οποίες δικαιολογούσαν τη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων και σε άτομα πολλών άλλων στοιχείων.

Ο Bohr τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ, το 1922. Στα επόμενα χρόνια συμμετείχε ενεργά στην ανάπτυξη της ατομικής ενέργειας. Ενδιαφερόμενος όλο και περισσότερο για τις πιθανές χρήσεις της ατομικής ενέργειας, συμμετείχε στη διοργάνωση, το 1955 στη Γενεύη, του Συμποσίου με θέμα «Άτομα για ειρηνικούς

δημιουργήσει τα ίδια χρώματα με ένα κομμάτι σιδήρου, που θερμαίνεται στην ίδια θερμοκρασία. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας είναι δυνατόν να προσδιορίσομε τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου με απλή παρατήρηση του χρώματός του. Ένα αντικείμενο, που έχει «λευκοπυρωθεί», είναι πολύ πιο θερμό από αυτό που είναι ελαφρώς κόκκινο.

11.12 Μοριακά φάσματα.

Είδαμε ότι τα ατομικά φάσματα παρέχουν ένα τρόπο για τον προσδιορισμό των ενεργειακών επιπέδων των ατόμων. Αντίστοιχα, ίσως θα περιμένατε και τα μόρια να έχουν φάσματα, τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την ανεύρεση των ενεργειακών επιπέδων των μορίων. Επειδή όμως τα μόρια είναι πιο πολύπλοκα από τα άτομα, τα φάσματά τους είναι και αυτά πολύ πολύπλοκα. Στην πραγματικότητα, τα μόρια έχουν μερικά διαφορετικά είδη φασμάτων.

Τα μόρια, όπως και τα άτομα, έχουν ***ηλεκτρονικά φάσματα***. Αυτά είναι φάσματα τα οποία δημιουργούνται από την απορρόφηση ή την εκπομπή ενέργειας, γεγονός που συμβαίνει όταν μεταπηδούν ηλεκτρόνια από μια ενεργειακή κατάσταση σε μια άλλη, μέσα στο μόριο. Η ενέργεια ενός ηλεκτρονίου σε μια συγκεκριμένη ενεργειακή στάθμη, καθορίζεται από τις ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα σε αυτό και τους διάφορους πυρήνες των ατόμων του μορίου, όπως και από τις απωστικές δυνάμεις ανάμεσα σε αυτό και τα άλλα ηλεκτρόνια του μορίου. Η κατάσταση είναι ανάλογη με αυτήν που υπάρχει σε ένα άτομο, μόνο που είναι πιο πολύπλοκη, γιατί υπάρχουν διάφορα θετικά κέντρα, τα οποία έλκουν το κάθε ηλεκτρόνιο αντί να υπάρχει μόνο ένα. Έτσι, είναι δυσκολότερο να υπολογισθούν οι ενέργειες των ηλεκτρονίων. Επί πλέον, τα ηλεκτρόνια έχουν την δυνατότητα να ανέλθουν από χαμηλότερες σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες, όταν τα μόρια απορροφήσουν ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας. Βασικά οι διαδικασίες αυτές είναι όμοιες με αυτές που πραγματοποιούνται στα άτομα.

Τα ηλεκτρονικά φάσματα των μορίων διαφέρουν όμως από αυτά των ατόμων σημαντικά. Τα ατομικά φάσματα, όπως είδαμε, αποτελούνται από σειρές εντόνων γραμμών. Τα μοριακά φάσματα αποτελούνται από πλατιές ζώνες, όπως δείχνει και το σχήμα 11-27 (το σχεδιάγραμμα δείχνει μάλλον κάποια από τα μήκη κύματος του

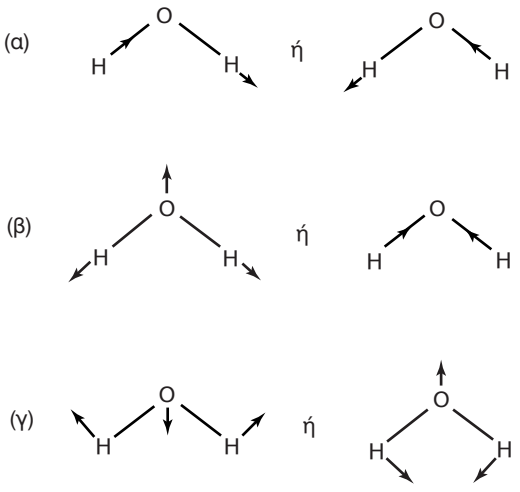


ΣΧΗΜΑ 11-27. *Η ζώνη απορροφήσεως της χαμηλότερης ενέργειας για την ακετόνη, C_3H_6O.*

φωτός, που απορροφάται από το δείγμα ενός υγρού, και όχι αυτό που εκπέμπεται από ένα διεγερμένο αέριο, όμως η αρχή είναι η ίδια· μόνο ορισμένα μήκη κύματος είναι δυνατόν να απορροφώνται ή να εκπέμπονται, και αυτό εξαρτάται από τα ενεργειακά επίπεδα, που είναι κατειλημμένα μέσα στο άτομο ή το μόριο).

Οι ενέργειες των ηλεκτρονικών καταστάσεων των μορίων, δεν είναι απόλυτα ξεκαθαρισμένες, γιατί τα μόρια έχουν άλλες μορφές ενέργειας. Αυτές οι διαφορετικές μορφές συνδέονται με ταλαντώσεις και περιστροφές, και θα μελετηθούν παρακάτω σε αυτό το κεφαλαίο. Παρά το γεγονός ότι τα μοριακά ηλεκτρονικά φάσματα περιέχουν μόνο πλατιές ζώνες, εξακολουθούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις ενέργειες των ηλεκτρονίων μέσα στα μόρια. Οι χημικοί μελετούν τα μοριακά φάσματα με μεγάλη προσοχή για να κατανοήσουν καλύτερα τον τρόπο κατανομής των ηλεκτρονίων μέσα στα μόρια, καθώς και το πώς βοηθούν αυτά τα ηλεκτρόνια στη σύνδεση των ατόμων μέσα στο μόριο.

Οι δεσμοί μέσα σε ένα μόριο δεν είναι δύσκαμπτοι και σταθεροί. Μοιάζουν περισσότερο με ελατήρια, που έχουν τη δυνατότητα να επιμηκύνονται και να συμπιέζονται. Ούτε οι γωνίες ανάμεσα στους δεσμούς είναι απόλυτα άκαμπτοι. Αντίθετα, είναι δυνατόν να μεγαλώνουν και να μικραίνουν. Επειδή κατ' αυτόν τον τρόπο τα μόρια είναι ευλύγιστα, υφίστανται διαρκώς ταλαντώσεις. Μια προσεκτική μαθηματική ανάλυση δείχνει ότι για κάθε μόριο αυτές οι ταλαντώσεις έχουν συγκεκριμένη μορφή. Προκειμένου για τα μόρια του νερού υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι ταλαντώσεων. Είναι αυτοί που

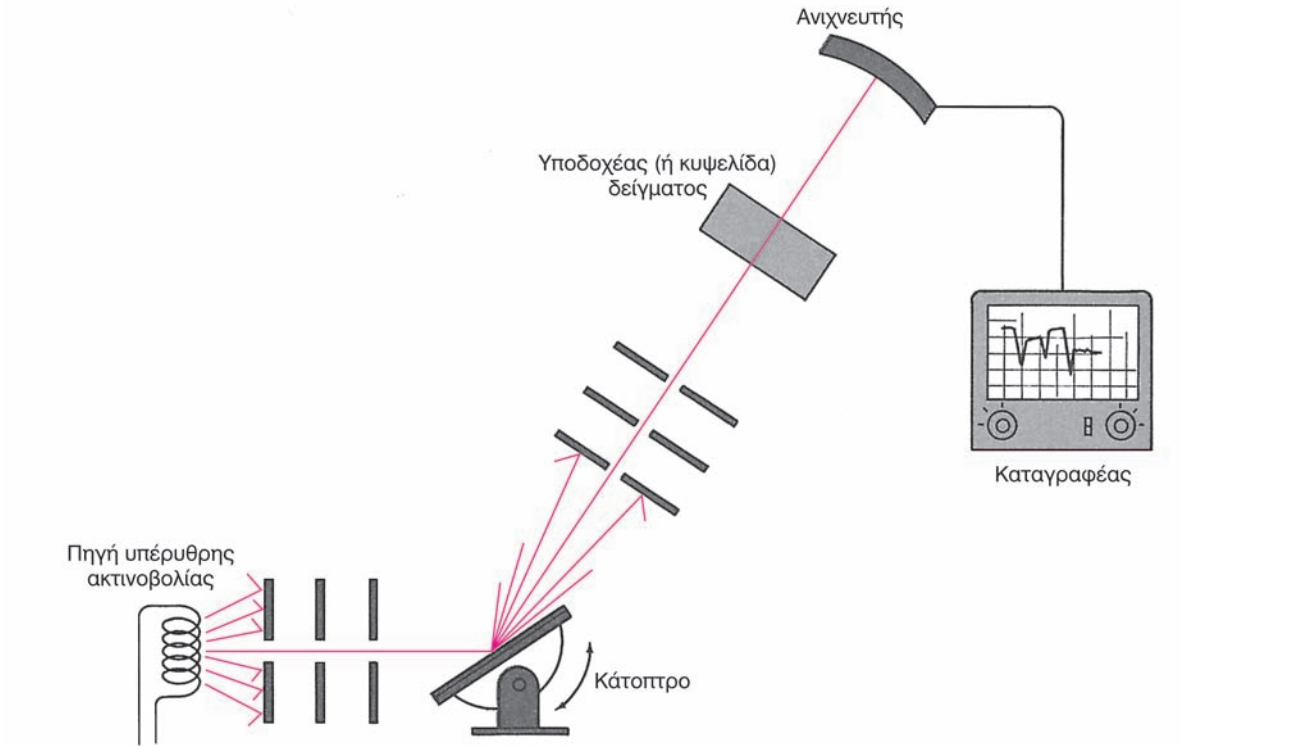


ΣΧΗΜΑ 11-28. *Διαγράμματα, που περιγράφουν τους τρεις τύπους ταλαντώσεως των μορίων του νερού. Στο (α), οι δύο δεσμοί Ο-Η επιμηκύνονται και συμπιέζονται, αλλά όχι ταυτόχρονα. Στο (β), οι δεσμοί Ο-Η επιμηκύνονται και συμπιέζονται ταυτόχρονα. Στο (γ), η γωνία Η-Ο-Η ανοίγει και μικραίνει.*

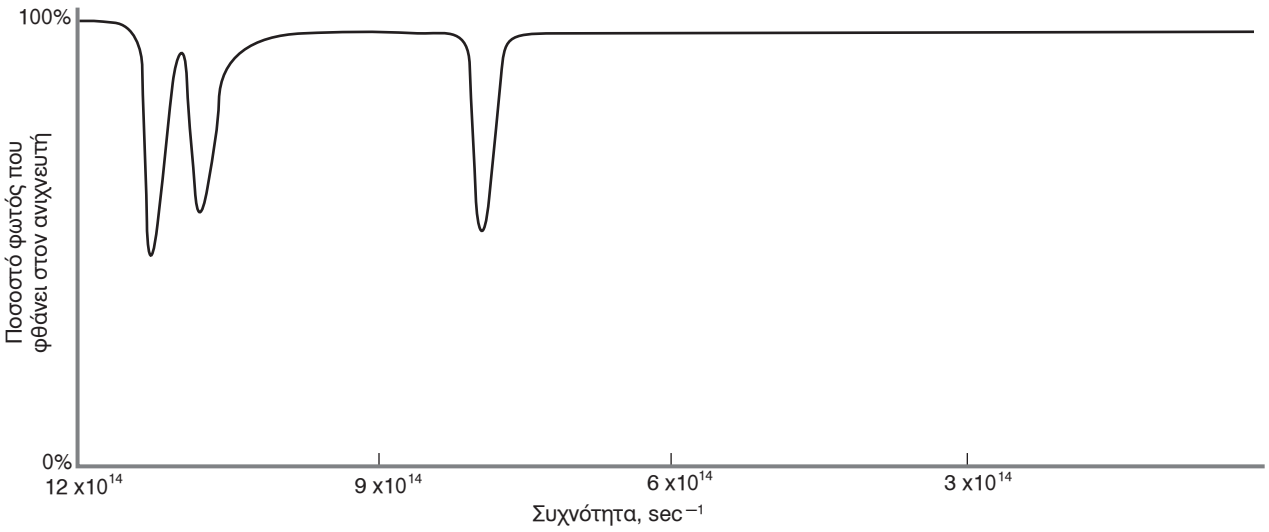
φαίνονται στο σχήμα 11-28. Όπως είναι δυνατόν να παρατηρήσετε, δύο από αυτούς τους τύπους συνίστανται κυρίως στην επιμήκυνση και τη συμπίεση των δεσμών Ο-Η. Ο άλλος δημιουργείται κυρίως από την κάμψη της γωνίας Η-Ο-Η.

Οι μοριακές ταλαντώσεις είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές από τα φάσματα τα οποία δίνουν. Κάθε τύπος ταλαντώσεως έχει μια ορισμένη συχνότητα, *f*. Κανονικά, το μόριο εκτελεί την ταλάντωση με αυτήν τη συχνότητα. Όμως, διαθέτει και διεγερμένες ταλαντωτικές στάθμες, στις οποίες εκτελείται ένας ή και περισσότεροι τύποι ταλαντώσεων με συχνότητα 2*f*, 3*f*, 4*f* κ.ο.κ. Αν ένα μόριο εκτεθεί σε ακτινοβολία συχνότητας *f*, συνήθως είναι δυνατόν να απορροφήσει ενέργεια. Έτσι, διεγείρεται από τη συνηθισμένη κατάσταση στην οποία επικρατεί ένας τύπος ταλαντώσεως συχνότητας *f*, σε μια άλλη με συχνότητα 2*f*. Οι συχνότητες των μοριακών ταλαντώσεων κυμαίνονται περίπου από 50 σε 400 cm^{-1}. Η ακτινοβολία που έχουν αυτές τις συχνότητες ονομάζεται υπέρυθρη ακτινοβολία.

Αν ένα μόριο, όπως το H_2O, το οποίο εμφανίζει τρεις τύπους ταλαντώσεων με αντίστοιχες



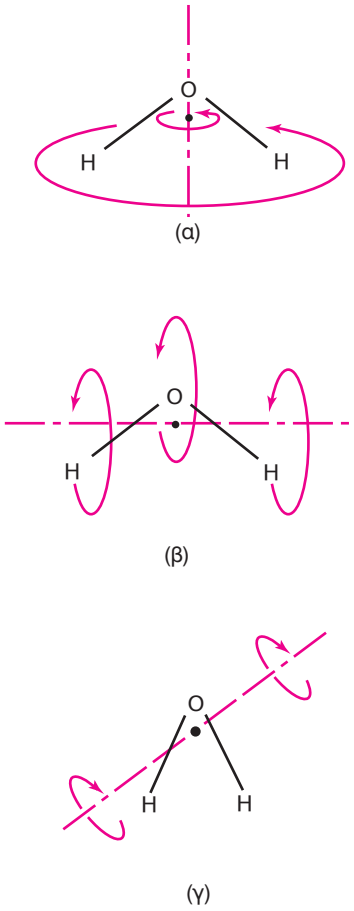
ΣΧΗΜΑ 11-29. *Τα βασικά τμήματα ενός φασματομέτρου υπερύθρων.*



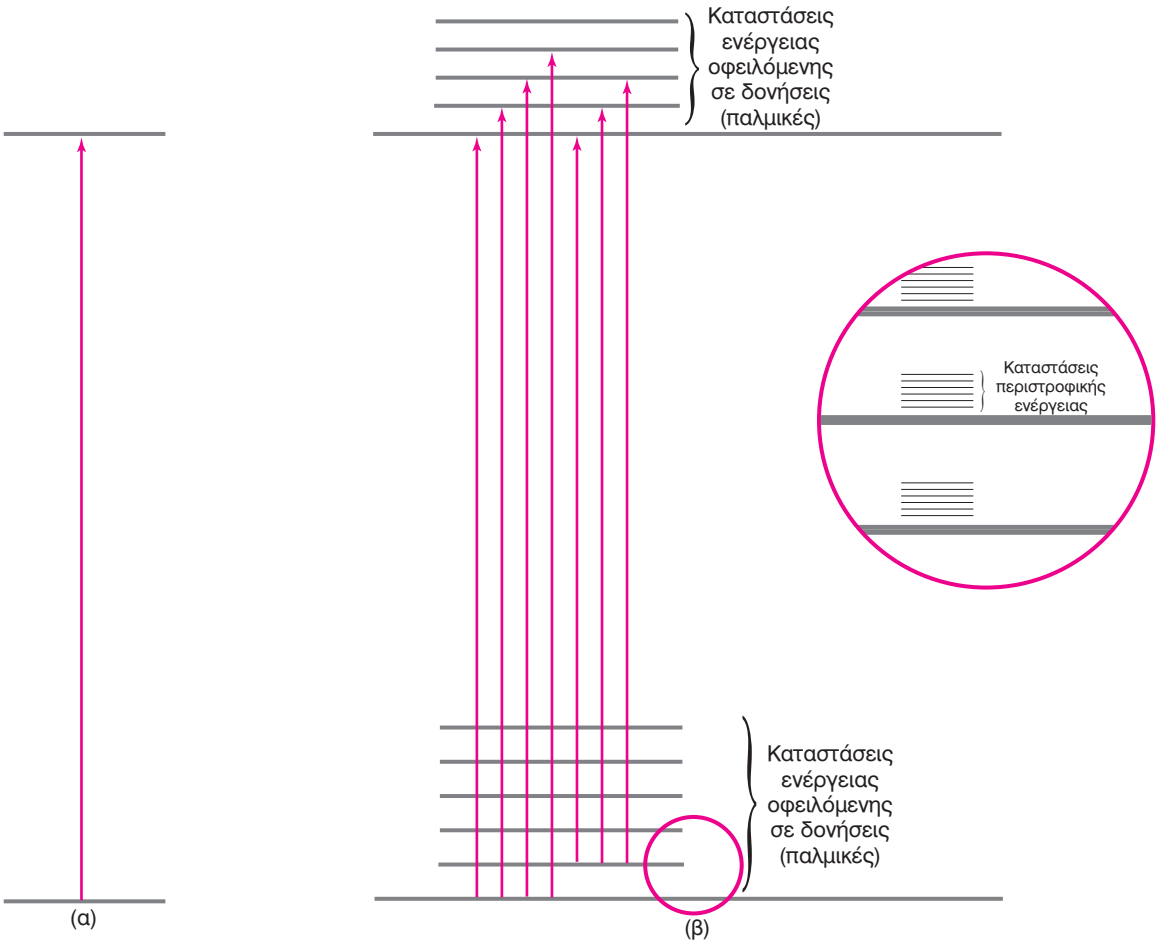
ΣΧΗΜΑ 11-30. *Μια απλοποιημένη απεικόνιση του (υπέρυθρου) φάσματος ταλαντώσεων νερού σε αέρια φάση.*

συχνότητες f_1, f_2 και f_3, εκτεθεί σε ακτινοβολία των περιοχών f_1, f_2 και f_3 θα απορροφήσει ακτινοβολία αυτών ακριβώς των συχνοτήτων. Στο πείραμα που μας βοηθά να διαπιστώσομε ότι η ενέργεια που απορροφάται έχει ακριβώς αυτές τις συχνότητες, χρησιμοποιείται ένα φασματόμετρο. Ο βασικός σχεδιασμός ενός φασματομέτρου φαίνεται στο σχήμα 11.29. Αν στραφεί το κάτοπτρο (ή το πρίσμα), μεταβάλλεται η συχνότητα του φωτός που διέρχεται. Εφ' όσον η συχνότητα του φωτός που φθάνει στο δείγμα δεν αντιστοιχεί σε καμιά από τις συχνότητες ταλαντώσεως του μορίου, δεν απορροφάται, αλλά το διαπερνά. Αν όμως η συχνότητα του φωτός που φθάνει στο δείγμα είναι ίση με f_1, f_2 ή f_3...., τότε απορροφάται ένα μέρος του. Τα μόρια, όταν απορροφούν φως, μεταπίπτουν σε διεγερμένες στάθμες ταλαντώσεων. Η απορρόφηση μειώνει την ποσότητα του φωτός που προσπίπτει στον ανιχνευτή και δημιουργείται στο καταγραφικό χαρτί μια κοιλότητα ή μια «ζώνη απορροφήσεως». Οι συχνότητες αυτών των ζωνών αντιστοιχούν στις διαφορές $2f_1 - f_1 = f_1$, $2f_2 - f_2 = f_2$ και $2f_3 - f_3 = f_3$. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να προσδιορισθούν πειραματικά οι τιμές των συχνοτήτων των ταλαντώσεων. Στο σχήμα 11-30 φαίνεται το φάσμα απορροφήσεως των ταλαντώσεων προκειμένου για τα μόρια του νερού. Αυτός ο τύπος φάσματος συχνά ονομάζεται υπέρυθρο φάσμα του μορίου.

Παράλληλα με τα ηλεκτρονικά φάσματα και τα φάσματα ταλαντώσεων, τα μόρια δίνουν και φάσματα περιστροφής. Τα μόρια, όπως δείχνει



ΣΧΗΜΑ 11-31. *Οι τρεις περιστροφικές κινήσεις των μορίων του νερού. Οι τρεις άξονες, γύρω από τους οποίους γίνεται η περιστροφή, είναι κάθετοι μεταξύ τους και συναντώνται στο κέντρο της μάζας του μορίου.*



ΣΧΗΜΑ 11-32. *(α): Μετάπτωση ηλεκτρονίου σε ένα άτομο. (β): Πολύπλοκο διάγραμμα μεταπτώσεων ενός μορίου από ένα σύνολο παλμικών καταστάσεων σε κάποιο άλλο.*

και το σχήμα 11-31 για την περίπτωση των μορίων του H_2O, στρέφονται διαρκώς γύρω από άξονες, οι οποίοι διέρχονται από τα κέντρα της μάζας του. Έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν ενέργεια κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ανυψωθούν από μια στάθμη χαμηλής περιστροφικής ενέργειας σε μία άλλη υψηλότερης. Αυτές οι ενεργειακές μεταβολές είναι πολύ μικρές και αντιστοιχούν σε κβάντα της περιοχής του φάσματος, που ονομάζεται περιοχή «μικροκυμάτων». Επειδή οι συχνότητες περιστροφής εξαρτώνται από την τοποθέτηση των ατομικών μαζών μέσα στο μόριο, τα φάσματα μικροκυμάτων αποτελούν μια πηγή πληροφοριών σχετικών με τη μοριακή δομή.

Τώρα είναι δυνατόν να αντιληφθούμε ποιος είναι ο λόγος που τα ηλεκτρονικά φάσματα των μορίων αποτελούνται από πλατιές ζώνες αντί για στενές γραμμές. Κάθε ηλεκτρονική διέγερση συνοδεύεται από κάποιες μεταβολές στις παλμικές και τις περιστροφικές ενέργειες. Επειδή τα άτομα δεν έχουν παλμικές και περιστροφικές ενέργειες, οι μεταβολές της ηλεκτρονικής ενέργειας είναι απλές και ευδιάκριτες και οδηγούν σε συγκεκριμένες φασματικές γραμμές, όπως δείχνει και το σχήμα 11-32α. Όπως είναι δυνατόν να διακρίνετε στο σχήμα 11-32β, οι διαφορές ανάμεσα στις παλμικές ενέργειες που συνοδεύουν την κάθε ηλεκτρονική στάθμη ενός μορίου, είναι μικρές σε σχέση με τις διαφορές ενέργειας ανάμεσα σε διαφορετικές ηλεκτρονικές στάθμες. Επιπλέον, τα επίπεδα ταλαντώσεων έχουν διαφορετική μορφή για κάθε ηλεκτρονική στάθμη. Τέλος, για κάθε ταλάντωση υπάρχει μια ολόκληρη σειρά από περιστροφικές ενέργειες. Αυτός είναι ο λόγος που κάθε ηλεκτρονική μεταβολή μέσα στο μόριο αποτελεί στην πραγματικότητα ένα ολόκληρο άθροισμα από μεταβολές από και προς μια ολόκληρη σειρά

παλμικών και περιστροφικών ενεργειακών καταστάσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο η ενέργεια της ηλεκτρονικής μεταβολής κατανέμεται σε πλατιές ζώνες, όπως αυτή που δείχνει το σχήμα 11-27.

Περίληψη.

Το φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου είναι το απλούστερο από όλα τα ατομικά φάσματα. Αυτός είναι ο λόγος που οι πρώτες προσπάθειες για την κατανόηση του ατομικού φάσματος γενικά εξετάσθηκαν στο ατομικό φάσμα του υδρογόνου. Αναφέρθηκε ότι οι γραμμές σε αυτό σχηματίζουν κανονικές διατάξεις ή σειρές, και ότι υπάρχουν αριθμητικές σχέσεις ανάμεσα στις συχνότητες (και κατά συνέπεια στις ενέργειες) των γραμμών στις διαφορετικές σειρές. Είναι δυνατόν να σχηματίσομε μία καθαρή εικόνα για τις σχέσεις αυτές με τη βοήθεια μιας ίσιας κλίμακας με σκαλοπάτια, τα οποία γίνονται μικρότερα, καθώς την ανεβαίνομε. Ο Niels Bohr έκανε ένα τολμηρό βήμα προκειμένου να εξηγήσει γιατί το φάσμα του υδρογόνου είναι αυτό που είναι. Πρότεινε ένα πρότυπο του ατόμου, μέσα στο οποίο το ηλεκτρόνιο θα είχε τη δυνατότητα να βρίσκεται σε μια από τις πολλές κυκλικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα. Μόνο στη μικρότερη από αυτές τις τροχιές το ηλεκτρόνιο είναι σταθερό. Όταν απορροφά ενέργεια, μεταπηδά σε μια από τις εξωτερικές τροχιές, αλλά σύντομα μεταπίπτει σε μία άλλη χαμηλότερη, και τελικά στην πιο χαμηλή. Κάθε πτώση προς μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη συνοδεύται από την εκπομπή ενός φωτονίου. Το πρότυπο αυτό τον βοήθησε να υπολογίσει τις ενέργειες του ηλεκτρονίου σε διαφορετικές τροχιές. Οι διαφορές ενέργειας ανάμεσα στις τροχιές βρέθηκαν ίσες με τις ενέργειες των φασματικών γραμμών που παρατηρήθηκαν.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στο φάσμα εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου και των άλλων ατόμων, και στο φάσμα που εκπέμπει μια πυρακτωμένη ταινία βολφραμίου;
2. Περιγράψτε την εμφάνιση ενός συνόλου γραμμών στο φάσμα εκπομπής του υδρογόνου.
3. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στην ενέργεια ενός ηλεκτρονίου και τον αριθμό της τροχιάς του, σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου;

Περίληψη κεφαλαίου

Το φως αποτελεί μια μορφή ενέργειας. Εμφανίζει χαρακτηριστικά κύματος και σωματιδίων. Η κυματική φύση του διαπιστώνεται από τα φαινόμενα περιθλάσεως και συμβολής, ενώ η σωματιδιακή του φύση εμφανίζεται ιδιαίτερα σαφής στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Εξ αιτίας της κυματικής του μορφής, το φως είναι δυνατόν να περιγραφεί με το μήκος κύματός του, λ, την απόσταση δηλαδή ανάμεσα σε δύο διαδοχικές κορυφές, και με τη συχνότητά του, ν, δηλαδή τον αριθμό των κορυφών που περνούν από κάποιο σημείο ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα του φωτός, c, η οποία είναι ίδια στον αέρα για όλες τις συχνότητες, δίνεται από τη σχέση $c = \lambda \cdot \nu$. Η ενέργεια των σωματιδίων του φωτός, που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα, δίνεται από τη σχέση $E = h \cdot \nu$, όπου h είναι η σταθερά του Planck.

Όταν ενεργοποιούνται τα άτομα από κάποια ηλεκτρική εκκένωση, εκπέμπουν φως. Αυτό το φως, αφού περάσει μέσα από ένα φασματογράφο, εμφανίζεται με τη μορφή στενών γραμμών σε συγκεκριμένες συχνότητες. Κάθε είδος ατόμου (δηλαδή κάθε στοιχείο) έχει το δικό του χαρακτηριστικό γραμμικό φάσμα. Το γραμμικό φάσμα του υδρογόνου είναι σχετικά απλό. Αποτελείται από μερικές ομάδες πυκνών γραμμών που συγκλίνουν, μία στο υπεριώδες, μία στο ορατό και άλλες σε χαμηλότερες συχνότητες. Για να το ερμηνεύσομε αυτό, θα πρέπει να δεχθούμε ότι το άτομο είναι δυνατόν να βρεθεί σε μια ολόκληρη σειρά διαφορετικών ενεργειακών καταστάσεων. Η χαμηλότερη είναι και η μόνη που μπορεί να διατηρηθεί. Έτσι, αφού ένα άτομο ανυψώνεται ενεργειακά, καταλαμβάνει δηλαδή μια από τις υψηλότερες στάθμες, σύντομα ξαναπέφτει σε μια χαμηλότερη, και τελικά στη χαμηλότερη στάθμη ενώ, παράλληλα,

εκπέμπει φως, το οποίο αντιστοιχεί στις ποικίλες ενεργειακές διαφορές που δημιουργούνται κατά την πορεία αυτή.

Ο Niels Bohr προσπάθησε να εξηγήσει με λεπτομέρειες τη φύση των διαφόρων αυτών ενεργειακών καταστάσεων βασιζόμενος στο πρότυπο του ατόμου του Rutherford. Υποστήριξε ότι το ηλεκτρόνιο έχει τη δυνατότητα να παραμείνει επ' αόριστον έξω από τον πυρήνα, χωρίς να πέσει ποτέ σε αυτόν, και ότι θα πρέπει να υπάρχει μια σειρά επακριβώς καθορισμένων ενεργειών, τις οποίες είναι δυνατόν να κατέχει. Οι προτάσεις αυτές, αν και ήταν αντίθετες προς ότι ήταν αποδεκτό από τους φυσικούς της εποχής του, θεωρούνται σήμερα σωστές. Ο Bohr προχώρησε ένα βήμα μπροστά και καθιέρωσε ένα πρότυπο, στο οποίο η κάθε ενεργειακή στάθμη του ηλεκτρονίου συμβολίζεται με μια κυκλική τροχιά γύρω από το πρωτόνιο. Παρ' όλο που το πρότυπο αυτό μπορεί να προβλέπει σωστά την ενέργεια κάθε στάθμης και τη συχνότητα των γραμμών στο φάσμα του υδρογόνου, δεν θεωρείται σήμερα ως η ορθή περιγραφή του ατόμου.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Σχηματίστε ένα απλό διάγραμμα, το οποίο να παριστάνει ένα κύμα με μερικές κορυφές και κοιλάδες. Δείξτε με σαφήνεια τι εννοούμε με τις λέξεις: (α) μήκος κύματος, (β) συχνότητα, (γ) ταχύτητα του κύματος.
2. Σχηματίστε δύο ακόμη διαγράμματα όμοια με αυτό της ερωτήσεως 1, που να παριστάνουν κόκκινο και κυανό φως της ίδιας εντάσεως. Να δικαιολογήσετε την κάθε διαφορά που υπάρχει στα δύο διαγράμματα.
3. Σχηματίστε ένα διάγραμμα ενός φωτεινού κύματος που παράγεται από ένα πολύ έντονο ερυθρό φως. Στη συνέχεια, σχεδιάστε ένα κύμα, το οποίο δημιουργείται από ένα ασθενές ερυθρό φως (η ένταση του φωτεινού κύματος είναι ανάλογη με το ύψος ενός κύματος νερού). Εξηγήστε.
4. Γράψτε μια εξίσωση, η οποία να δείχνει τη σχέση ανάμεσα σε ταχύτητα, μήκος κύματος και συχνότητα μιας δέσμης φωτός. Ποια ποσότητα σε αυτήν την εξίσωση είναι σταθερή; Εξηγήστε γιατί τα μακρά μήκη κύματος έχουν χαμηλότερες συχνότητες από τα βραχέα μήκη κύματος.
5. Εξηγήστε με ακρίβεια τη διαφορά ανάμεσα στην περίθλαση και τη συμβολή του φωτός.
6. Αφού το υπεριώδες και το υπέρυθρο φως δεν φαίνονται με το μάτι, ποια ένδειξη έχομε για την ύπαρξή τους;
7. Με τη βοήθεια της εξισώσεως $E = h \cdot \nu$, εξηγήστε γιατί είναι περισσότερο επικίνδυνο για τα μάτια σας να ατενίζετε ένα υπεριώδες φως από ό,τι ένα συνηθισμένο φως που εκπέμπει ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως.
8. Ποιο είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο; Σε ποιο τμήμα της φωτογραφικής μηχανής χρησιμοποιείται αυτό το φαινόμενο;
9. Ένα κίτρινο φως παράγει κάποιο ρεύμα στο κύκλωμα του σχήματος 11-17, έως ότου εφαρμοσθεί μια αντίθετη τάση, που μειώνει το ρεύμα στο μηδέν. Αν χρειασθεί να αρχίσει πάλι να κυκλοφορεί κάποιο ρεύμα, ενώ εξακολουθεί να υπάρχει η αντίθετη τάση, θα χρησιμοποιήσετε ερυθρό ή κυανό φως; Δικαιο-λογήστε την επιλογή σας.
10. Τι είναι ένα φωτόνιο; Σε τι διαφέρουν τα φωτόνια μεταξύ τους; Σε τι μοιάζουν;
11. Αν κλείσετε τα μάτια σας και πετάξετε ένα μεταλλικό κουτάκι στον αέρα, τι θα σας οδηγήσει να αντιληφθείτε ότι το κουτάκι έπεσε στο χώμα (αν υποθέσομε ότι δεν έπεφτε επάνω σας); Τι είδους κύματα θα δημιουργούσε; Ποιες ελκτικές δυνάμεις θα έπρεπε να υπερνικήσει, για να παραμείνει στον αέρα; Το κουτάκι θα είχε τη μεγαλύτερη ενέργεια στην κορυφή της τροχιάς του ή στο έδαφος;
12. Για να ωθήσει ένας ηλεκτρικός σπινθήρας ή μια φλόγα υψηλής θερμοκρασίας ένα ηλεκτρόνιο από το βασικό ενεργειακό επίπεδο σε κάποιο άλλο, ποια ελκτική δύναμη θα πρέπει να υπερνικηθεί; Τι είναι αυτό που μας δείχνει ότι το ηλεκτρόνιο μετέπεσε πάλι στην αρχική του κατάσταση; Τι είδους κύματα δημιουργούνται; Σε ποιο σημείο το ηλεκτρόνιο διαθέτει τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας;
13. Με τη βοήθεια του διαγράμματος που παριστάνει τις ενεργειακές στάθμες του ατόμου του υδρογόνου (σχ. 11-29) εξηγήστε σε ποιο σημείο του φάσματος θα περιμένατε να βρείτε το φως που εκπέμπεται από τα ηλεκτρόνια, όταν μεταπίπτουν από τις στάθμες 5 και 4 στην 3 και από την 5 στην 4;

14. Με τη βοήθεια της εξισώσεως:

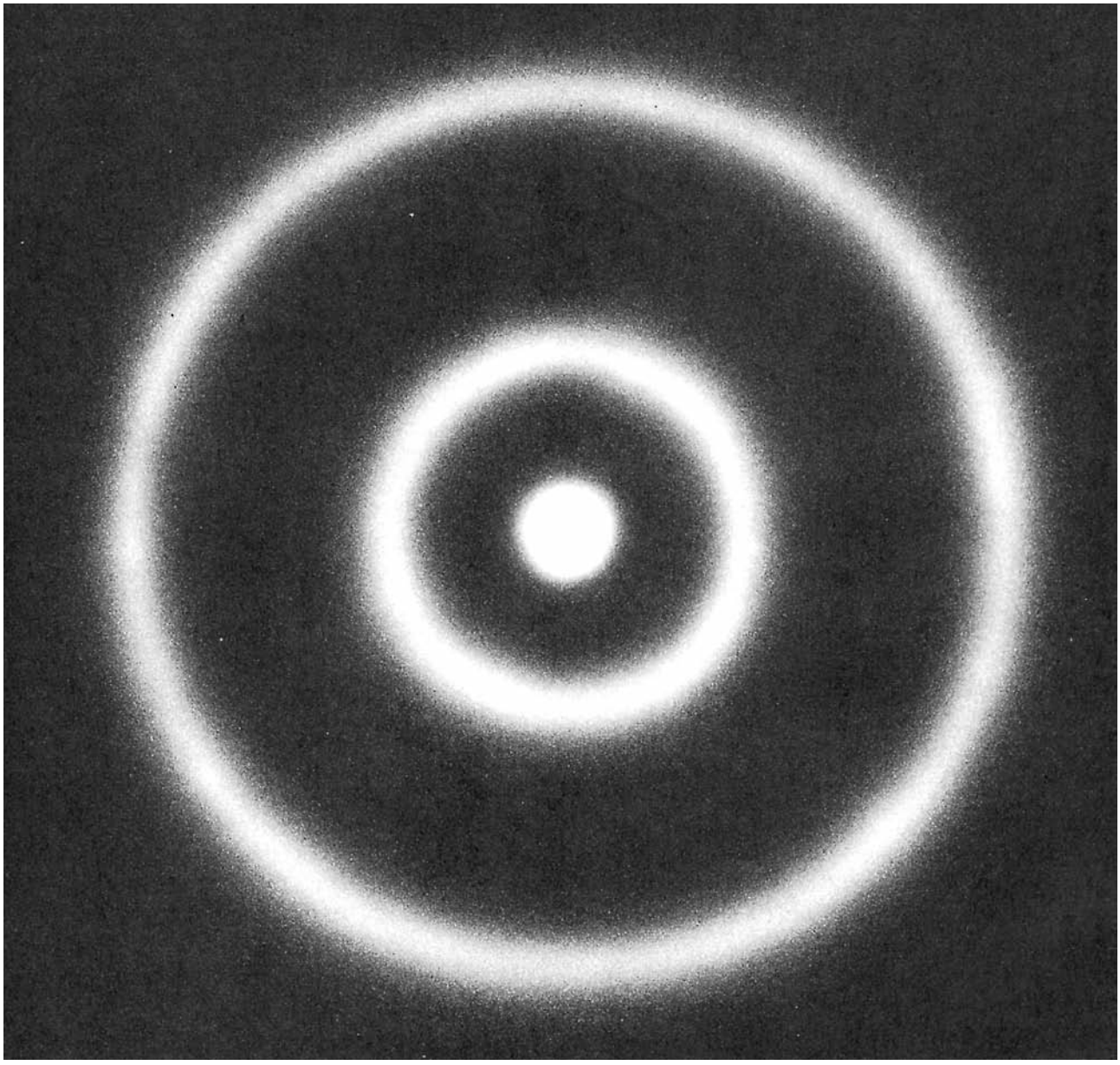
$$E = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_u^2}\right)$$

υπολογίστε την ενέργεια που εκπέμπεται από τα ηλεκτρόνια του ατόμου του υδρογόνου, όταν μεταπίπτουν από την τρίτη ενεργειακή στάθμη στη δεύτερη. Στη συνέχεια, υπολογίστε την ενέργεια προκειμένου για την ίδια πτώση του ηλεκτρονίου, βασιζόμενοι στο σχήμα 11-25. Συγκρίνατε τα αποτελέσματα.

15. Ένα άτομο του στοιχείου ήλιο περιέχει δύο πρωτόνια και δύο ηλεκτρόνια. Ποια σχέση νομίζετε ότι υπάρχει ανάμεσα στην πρώτη ενεργειακή στάθμη των δύο ηλεκτρονίων του ηλίου και την αντίστοιχη του ηλεκτρονίου του υδρογόνου; Εξηγήστε.
16. Η διαφορά ενέργειας ανάμεσα σε δύο ηλεκτρονικές στάθμες είναι 46,12 kcal/mole. Ποια θα είναι η συχνότητα του φωτός, που θα εκπέμψει το ηλεκτρόνιο, όταν πέσει από την υψηλότερη στη χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη; Η σταθερά του Planck είναι $9,52 \times 10^{-14}$ (kcal/sec)/mole.
17. Η συχνότητα μιας κίτρινης γραμμής σε ένα ατομικό φάσμα είναι $5,2 \times 10^{14}$ Hertz. Σε ποια ενέργεια αντιστοιχεί αυτή: (α) ανά mole φωτονίων, (β) ανά φωτόνιο;
18. Οι χημικοί δεσμοί έχουν ενέργειες περίπου ίσες με 100 kcal/mole. Είναι δυνατόν να διασπασθούν από φως ενέργειας ίσης με αυτήν που βρήκαμε στην ερώτηση 17;
19. Ας υποθέσομε ότι σημειώνονται δύο ηλεκτρονικές μεταπτώσεις· η μια αντιστοιχεί σε 100 kcal/mole και η άλλη σε 10 kcal/mole. Ποιες είναι οι αντίστοιχες συχνότητες; Σε ποια περιοχή ή περιοχές φάσματος θα βρίσκονται;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

Το άτομο σύμφωνα με την κβαντομηχανική θεωρία



Οι εντάσεις των κυμάνσεων του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου, όταν κατέχει τη χαμηλότερη δυνατή ενέργεια, στην τρίτη ενεργειακή στάθμη, όπως υπολογίσθηκε με την κβαντομηχανική.

Οι επιστήμονες σήμερα, κάθε φορά που θέλουν να περιγράψουν το άτομο και να εξηγήσουν τη συμπεριφορά του, χρησιμοποιούν τη θεωρία, που ονομάζεται κβαντομηχανική. Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε ειδικά, για να ερμηνεύει τη συμπεριφορά πολύ μικρών σωματιδίων, όπως είναι τα άτομα και τα μόρια ή τα συστατικά τους, δηλαδή τα ηλεκτρόνια και οι πυρήνες. Οι προηγούμενες «μηχανικές» θεωρίες περιέγραψαν επιτυχώς τις δυνάμεις και τις ενέργειες που είχαν σχέση μόνο με τα μακροσκοπικά μεγέθη. Ανάμεσα στα διάφορα αίτια που οδήγησαν στην ανάπτυξη της κβαντομηχανικής ήταν και τα παρακάτω. Κατ' αρχήν, το πρότυπο του ατόμου που προτάθηκε από του Bohr, δεν απεδείχθη αξιόπιστο, παρά μόνο για το άτομο του υδρογόνου. Επί πλέον, τα πειράματα έδειξαν ότι τα ηλεκτρόνια, καθώς και άλλα στοιχειώδη σωματίδια της ύλης, συμπεριφέρονται και ως κύματα.

Με τη βοήθεια της κβαντομηχανικής, που λέγεται επίσης κυματομηχανική, αναπτύχθηκε μια θεωρία για τη δομή του ατόμου η οποία ισχύει για όλα τα άτομα και συμφωνεί με τις κυματικές ιδιότητες των ηλεκτρονίων. Αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του περιοδικού πίνακα των στοιχείων και της φύσεως των χημικών δεσμών των μορίων.

Από το άτομο του Bohr στο άτομο της κβαντομηχανικής

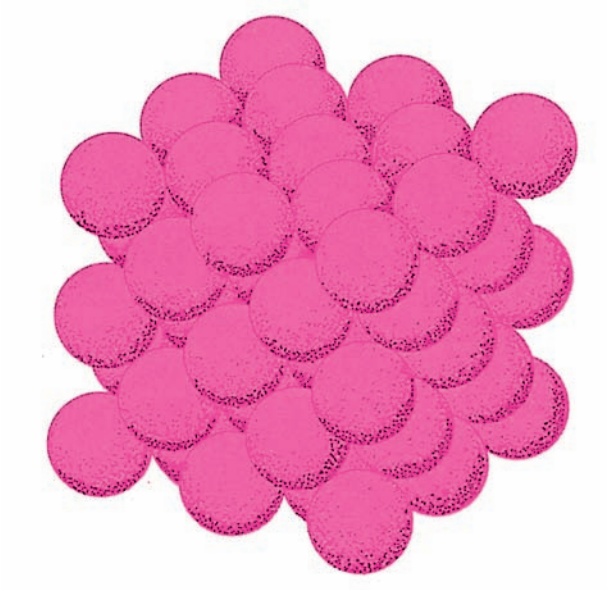
12.1 Το πρότυπο του Bohr αποτυγχάνει να εξηγήσει τα υπόλοιπα άτομα, πλην του υδρογόνου.

Αν και το πρότυπο που πρότεινε ο Bohr για το άτομο του υδρογόνου εξηγούσε με μεγάλη επιτυχία το φάσμα αυτού του ατόμου, σύντομα απεδείχθη ότι δεν είχε τη δυνατότητα να εξηγήσει τα φάσματα των άλλων ατόμων. Δεν ήταν μόνο το πρόβλημα ότι παρείχε λανθασμένες τιμές για τις συχνότητες των φασματικών γραμμών. Προέκυπτε το ακόμη σοβαρότερο πρόβλημα, ότι άλλα άτομα είχαν πολύ πιο πολύπλοκα φάσματα, τα οποία δεν μπορούσε να δικαιολογήσει το πρότυπο αυτό. Φυσικά μετά από τη λαμπρή επιτυχία στο άτομο του υδρογόνου, το πρότυπο δεν εγκαταλείφθηκε αβασάνιστα. Κατεβλήθησαν μεγάλες προσπάθειες, για να τροποποιηθεί ή να επεκταθεί, έτσι ώστε να γίνει γενικά χρήσιμο. Όμως, καμιά από αυτές τις προσπάθειες δεν ήταν επιτυχής και τελικά οι επιστήμονες αναγκάσθηκαν να παραδεχθούν, μετά από πολλούς δισταγμούς, ότι το πρότυπο αυτό περιείχε μόνον ένα μέρος της αλήθειας σχετικά με την ατομική δομή. Του έλειπε κάτι σημαντικό.

12.2 Διαπιστώνεται πως η ύλη έχει και ιδιότητες κύματος.

Αναφέρθηκε ότι οι επιστήμονες δεν ήταν σε θέση να τροποποιήσουν το πρότυπο του ατόμου του Bohr, ώστε να δώσουν με αυτό μια ακριβή και πλήρη ερμηνεία φασμάτων άλλων ατόμων εκτός του υδρογόνου. Όμως, παράλληλα με αυτήν τη δυσκολία είχαν και άλλους λόγους για να αμφιβάλλουν γι' αυτό το πρότυπο. Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr, το ηλεκτρόνιο θεωρούνταν ως ένα απόλυτα συγκεκριμένο μικρό σωματίδιο, το οποίο περιστρεφόταν γύρω από τον πυρήνα σε μια ορισμένη τροχιά από ένα σύνολο διαφορετικών επακριβώς καθορισμένων τροχιών. Με βάση τα αποτελέσματα άλλων πειραμάτων, η άποψη ότι το ηλεκτρόνιο έπρεπε να αντιμετωπισθεί απλά και μόνο ως ένα σωματίδιο, απεδείχθη λανθασμένη. Είναι φυσικό, λοιπόν, ένα πρότυπο ατόμου που βασίζεται σε μια τέτοια άποψη, να αμφισβητηθεί, γι' αυτή και μόνο την αιτία, έστω και αν κατά τα άλλα λειτουργεί πιο ικανοποιητικά.

Θα θυμάστε ότι, όταν προσπαθούσαμε να εξηγήσομε όλους τους διαφορετικούς τρόπους συμπεριφοράς του φωτός, αναγκαστήκαμε να φαντασθούμε ότι διαθέτει κατά κάποιο τρόπο ταυτόχρονα τόσο τις ιδιότητες του σωματιδίου όσο και του κύματος. Το 1924 ένας Γάλλος φυσικός, ο κόμης Louis de Broglie, αναρωτήθηκε μήπως και τα πολύ μικρά σωματίδια, όταν κινούνται με μεγάλη ταχύτητα, εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά κύματος. Κατέληξε σε μια εξίσωση για το «μήκος κύματος» του σωματιδίου, την οποία διετύπωσε με τη βοήθεια της μάζας και της ταχύτητάς του. Απεδείχθη έτσι ότι προκειμένου για μια δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία έχει επιταχυνθεί υπό την



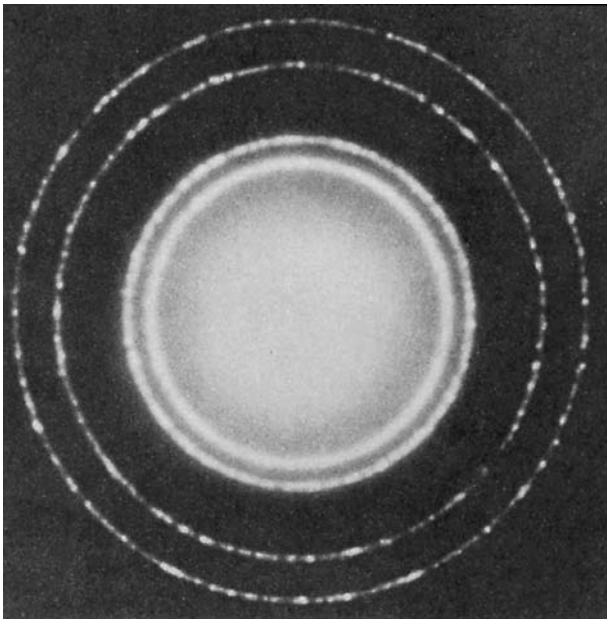
ΣΧΗΜΑ 12-1. *Προοπτικό σχήμα μιας χαρακτηριστικής διατάξεως ατόμων. Δείχνει έναν από τους τρόπους, κατά τους οποίους βρίσκονται διατεταγμένα τα άτομα σε αρκετά μέταλλα, όπως για παράδειγμα στο αλουμίνιο.*

επίδραση μερικών κιλοβόλτ, το μήκος κύματός της θα είναι περίπου 1 Å.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέρθηκαν ενδείξεις για την κυματική φύση του φωτός. Για παράδειγμα, το φως, όταν διέλθει μέσα από οπές ή σχισμές με μέγεθος όμοιο με το μήκος κύματός του, υφίσταται περίθλαση. Το ορατό φως έχει μήκος κύματος της τάξεως των 0,0005 χιλιοστών του μέτρου. Τα φαινόμενα της περιθλάσεως και της συμβολής είναι δυνατόν να δημιουργηθούν, αν χρησιμοποιηθούν σχισμές της τάξεως του 0,1 - 0,01 mm, κάτι που πειραματικά μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα. Πώς είναι δυνατόν, όμως, να κατασκευασθούν οπές ή σχισμές τόσο μικροσκοπικές, όσο είναι δηλαδή το 1 Å (= 10^{-8} cm); Υπάρχουν δυο απαντήσεις: (α) δεν είναι δυνατόν να κατασκευασθούν, (β) δεν χρειάζεται να κατασκευασθούν, γιατί η φύση τις έχει προβλέψει και υπάρχουν ήδη έτοιμες.

Τα άτομα στους κρυστάλλους βρίσκονται διατεταγμένα σε λεπτές ομοιόμορφες σειρές (όπως φαίνεται στο σχήμα 12-1), οι οποίες απέχουν μεταξύ τους κατά δύο περίπου Å (η ακριβής απόσταση ποικίλλει από τη μία ουσία στην άλλη και συνήθως εξαρτάται από το είδος των ατόμων).

΄Ετσι, αν μια ηλεκτρονική δέσμη έχει πράγματι κυματικό χαρακτήρα και μήκος κύματος μερικών

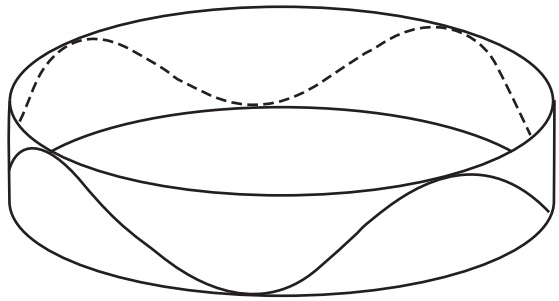


ΣΧΗΜΑ 12-2. *Το είδος αυτό της σκεδάσεως δημιουργείται, όταν μια δέσμη ηλεκτρονίων διέλθει μέσα από ένα φύλλο αλουμινίου.*

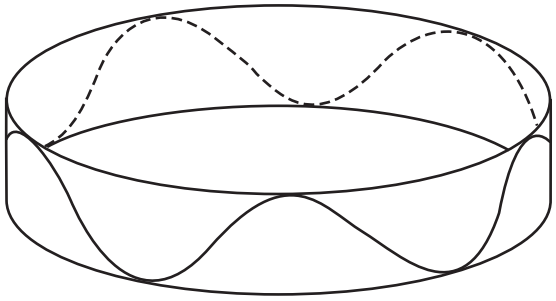
Å, τότε ίσως κάποιος να είχε τη δυνατότητα να παρακολουθήσει φαινόμενα περιθλάσεως και συμβολής, αν την ανάγκαζε να περάσει μέσα από ένα λεπτό φύλλο ενός κρυσταλλικού υλικού. Ακριβώς αυτό το πείραμα πραγματοποιήθηκε το 1926 από τους Davisson και Germer, δύο Αμερικανούς επιστήμονες, στα εργαστήρια της Bell Telephone. Κατάφεραν να περάσει μια δέσμη ηλεκτρονίων μέσα από ένα μεταλλικό λεπτό φύλλο. Στο σχήμα 12-2 φαίνεται ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα που λαμβάνεται με φύλλο αλουμινίου.

Σίγουρα η ιδέα του de Broglie ήταν σωστή. Επί πλέον, η ακριβής απόσταση των δακτυλίων στα σχήματα που δημιουργούνται κατά την περίθλαση δείχνει ότι και η εξίσωσή του για τον υπολογισμό του μήκους κύματος των ηλεκτρονίων ήταν σωστή.

Στη συνέχεια, ο de Broglie, εφαρμόζοντας τη θεωρία του για τον κυματικό χαρακτήρα των ηλεκτρονίων στο άτομο του υδρογόνου, έκανε μια πολύ σημαντική παρατήρηση. Υπολόγισε ότι, όταν ένα ηλεκτρόνιο κινείται με την ταχύτητα που προέβλεπε το πρότυπο του Bohr για την κατώτερη τροχιά, έχει μήκος κύματος ακριβώς ίσο με την περίμετρο αυτής της τροχιάς. Στην περίπτωση της δεύτερης τροχιάς, η περίμετρος ισούται με το διπλάσιο του μήκους κύματος. Γενικά, έχει βρεθεί ότι η περίμετρος τροχιάς «*n*» ισούται με «*n*» φορές το μήκος κύματος. Αυτό ακριβώς δείχνει το



n = 4

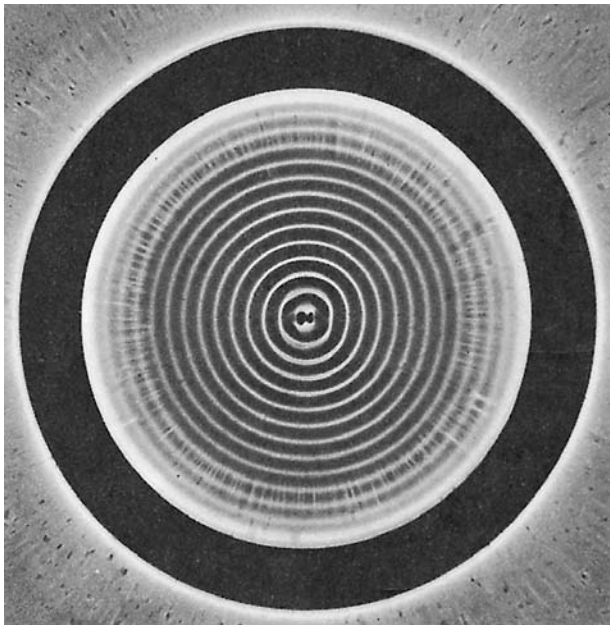


n = 5

ΣΧΗΜΑ 12-3. *Οι τροχιές του Bohr αντικαθίστανται από ηλεκτρονικά κύματα. Η τροχιά, την οποία χαρακτήρισε ο Bohr ως n, ισοδυναμεί, σύμφωνα με τον de Broglie, με ένα κύμα, που δημιουργείται από n μήκη κύματος.*

σχήμα 12-3.

Κατά τον τρόπο αυτό, η σκέψη του de Broglie οδήγησε σε ένα πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου στο οποίο οι τροχιές είχαν αντικατασταθεί από απεικονίσεις κυμάτων που συνέπιπταν απόλυτα με την περίμετρο των κύκλων. Τα κύματα αυτά αυτοεπιταχύνονταν με αποτέλεσμα να δημιουργούν τα «στάσιμα κύματα» (στάσιμα κύματα είναι δυνατόν να παρατηρηθούν σε μακροσκοπική κλίμακα, σε



ΣΧΗΜΑ 12-4. *Χρονική ανάπτυξη στασίμων κυμάτων μέσα σε ένα κυκλικό δακτύλιο. Ολόκληρο το δοχείο ταλαντώνεται, αλλά τα κινούμενα κύματα έξω από το δακτύλιο είναι εξασθενημένα και ασαφή.*

αρκετές περιπτώσεις· ένα παράδειγμα είναι αυτό που δείχνει το σχήμα 12-4).

Η ιδέα του de Broglie για τα στάσιμα κύματα ήταν πολύ ενδιαφέρουσα και η συσχέτιση του μήκους κύματος με τα μεγέθη των τροχιών του Bohr παρείχε μια πολή ισχυρή ένδειξη ότι υπήρχε κάποια σχέση ανάμεσα στην εικόνα του κύματος και του σωματιδίου. Δεν υπήρχε όμως ακόμη μια ολοκληρωμένη θεωρία, η οποία να εξηγούσε τη σχέση ανάμεσα στον τρόπο της κατανομής των ηλεκτρονίων και στις ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου. Οι σκέψεις του Bohr και του de Broglie θύμιζαν τα κομμάτια ενός παζλ. Ενώ έκαναν κάποιους υπαινιγμούς για το πώς έπρεπε να μοιάζει η συνολική εικόνα, δεν έδιναν όμως μια πλήρη περιγραφή της.

Περίληψη.

Το πρότυπο του Bohr για το άτομο υδρογόνου, στο οποίο το ηλεκτρόνιο θεωρούνταν ένα μεμονωμένο μικρό σωματίδιο αρνητικά φορτισμένο που περιφερόταν γύρω από τον πυρήνα επί της μιας ή της άλλης απόλυτα καθορισμένης τροχιάς, δεν ήταν δυνατόν να επεκταθεί, ώστε να ερμηνεύσει τα φάσματα και άλλων ατόμων. Παράλληλα, βρέθηκε ότι το ηλεκτρόνιο, όπως και άλλα μικρά «σωματίδια», παρουσίαζαν επίσης ιδιότητες κύματος.

Οι τροχιές του ατόμου του υδρογόνου που ίσχυαν, σύμφωνα με τη θεωρία του Bohr, παραχώρησαν τη θέση τους σε ισοδύναμους σχηματισμούς στασίμων κυμάτων του ηλεκτρονίου. Το πεδίο ήταν έτοιμο για την ανάπτυξη μιας νέας περισσότερο ολοκληρωμένης θεωρίας για τη δομή του ατόμου.



Louis Victor de Broglie (1892 - 1987)

Από τα μέσα του 1600, πολλά μέλη της οικογένειας de Broglie υπήρξαν πρωτοπόροι στο πολιτιστικό, πολιτικό και επιστημονικό πεδίο, στη Γαλλία. Το 1929, ο Louis de Broglie τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ στη Φυσική για «την ανακάλυψη της κυματικής φύσεως των ηλεκτρονίων».

Από πολλά χρόνια, οι επιστήμονες είχαν προσέξει ότι το φως, κάτω από ορισμένες συνθήκες, συμπεριφερόταν σαν να αποτελούνταν από μια σειρά κυμάτων. Μετρούσαν το μήκος κύματος και τη συχνότητα του φωτός και είχαν τη δυνατότητα να ερμηνεύσουν φαινόμενα, όπως η περίθλαση και η διάθλαση, εφαρμόζοντας κατά τις παρατηρήσεις τους τις αρχές της κυματοειδούς κινήσεως. Πολλές φορές όμως το φως συμπεριφερόταν σαν να αποτελούνταν από πολύ μικροσκοπικά σωματίδια, τα οποία συχνά αποκαλούσαν και «σωματίδια φωτός». Τελικά, η επιστημονική κοινότητα κατέληξε να δεχθεί τη διπλή φύση του φωτός.

Το 1890 ο J.J. Thomson μέτρησε το λόγο του φορτίου προς τη μάζα του ηλεκτρονίου. Όταν ο Millikan, στις αρχές του 1900, προσδιόρισε το φορτίο του ηλεκτρονίου, ήταν πια εύκολο να υπολογισθεί και η μάζα του. Ήταν φανερό πως το ηλεκτρόνιο ήταν ένα σωματίδιο με καθορισμένη μάζα.

Καθώς οι άλλοι επιστήμονες αγωνίζονταν να τροποποιήσουν το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, ώστε να μπορεί να περιγράψει και πιο πολύπλοκα άτομα, γινόταν όλο και πιο δύσκολη η αποδοχή της ιδέας ενός ηλεκτρονίου, το οποίο εμφάνιζε μόνο ιδιότητες σωματιδίου. Ο de Broglie μελέτησε την κβαντική θεωρία του Planck και την ερμηνεία που έδωσε ο Einstein για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Στα μέσα του 1920 διατύπωσε την υπόθεση, σύμφωνα με την οποία ένα ηλεκτρόνιο με συγκεκριμένη μάζα και ταχύτητα θα πρέπει να εμφανίζει μια περιοδική συμπεριφορά, που συχνά έχει σχέση με κύματα. Ενώ δεν είχε κάποιες άμεσες πειραματικές ενδείξεις, ώστε να επιβεβαιώσει αυτήν τη θεωρία του, επεξεργάσθηκε όλες τις μαθηματικές λεπτομέρειες της συμπεριφοράς την οποία υπέθετε.

Η μεγαλοφυΐα του de Broglie απεδείχθη το 1927, όταν οι φυσικοί Clinton J. Danisson και Lester H. Germer ανακάλυψαν ότι τα ηλεκτρόνια είχαν τη δυνατότητα να υποστούν περίθλαση περνώντας μέσα από κρυστάλλους. Κάτι τέτοιο ήταν δυνατόν να συμβεί μόνο αν τα ηλεκτρόνια είχαν πράγματι ιδιότητες κυμάτων. Η ανακάλυψη

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

Ποιοι είναι, κατά τη γνώμη σας, δύο βασικοί λόγοι, για του οποίους έπρεπε να εγκαταλειφθεί το πρότυπο του ατόμου του Bohr;

Περιγράψετε ένα πείραμα, που να δείχνει ότι μια δέσμη ηλεκτρονίων συμπεριφέρεται όπως ένα σύνολο κυμάτων.

Η κβαντομηχανική εξηγεί την ατομική δομή

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

12.3 Η πιθανότητα.

Η έννοια της πιθανότητας επηρεάζει τον καθένα μας κατά διαφορετικό τρόπο. Κάθε παιδί που γεννιέται υπάρχει κάποια πιθανότητα να κολλήσει μια λοιμώδη ασθένεια μέχρι την ηλικία των πέντε ετών. Σε μερικές κοινωνίες η πιθανότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από ό,τι σε άλλες. Ένας απρόσεκτος οδηγός που δεν σταματά στο σήμα «STOP», στηρίζεται στην πιθανότητα ότι δεν θα έρχεται αυτοκίνητο από την αντίθετη κατεύθυνση. Τα ασφάλιστρα ζωής βασίζονται στην πιθανότητα ότι θα ζήσετε μέχρι κάποια προκαθορισμένη ηλικία, με βάση στατιστικά στοιχεία για τη διάρκεια ζωής πολλών χιλιάδων άλλων ανθρώπων. Αυτοί που στοιχηματίζουν στις ιπποδρομίες διαθέτουν πολύ χρόνο μελετώντας τις επιδόσεις των αλόγων σε ένα συγκεκριμένο αγώνισμα, με σκοπό να αυξήσουν την πιθανότητα να κερδίσουν. Οι παίκτες του πόκερ προσπαθούν να προσδιορίσουν κατά προσέγγιση την πιθανότητα να έχουν οι άλλοι παίκτες χαρτί ισχυρότερο από το δικό τους. Η πιθανότητα έχει ιδιαίτερη σημασία επίσης στον τομέα της δομής του ατόμου, όπως περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο. Έχει οριοθεί, ότι μόνο εκτίμηση της πιθανότητας να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε κάποιες θέσεις γύρω από τον πυρήνα σε δεδομένη στιγμή, είναι δυνατό να γίνει. Επειδή είναι αδύνατον να επαναλάβομε τις συνθήκες που επικρατούν μέσα σε ένα άτομο, σε αυτό το πείραμα θα μελετήσομε την πιθανότητα που έχουν κάποια αντικείμενα να ακινητοποιηθούν σε δεδομένα σημεία, των οποίων η απόσταση από κάποιο στόχο είναι επίσης δεδομένη. Έτσι, θα είναι ευκολότερη η κατανόηση της πιθανότητας προσδιορισμού της θέσεως ενός ηλεκτρονίου.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα προσδιορισθεί η πιο πιθανή απόσταση από το κέντρο ενός στόχου σκοποβολής, στην οποία θα σταματήσει ένα κέρμα, όταν το ρίχνομε προς αυτόν το στόχο από ορισμένη θέση.

ΥΛΙΚΑ

Χάρακας - χαρτί σχεδιάσεως.
Διαβήτης κιμωλίας ή κιμωλία και λεπτό σχοινί.
10 (ή περισσότερα) ομοιόμορφα, από πλευράς μεγέθους και βάρους, αντικείμενα (όπως είναι τα κέρματα ή τα ανοξείδωτα περικόχλια).

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Με ένα κομμάτι κιμωλίας σχεδιάστε επάνω στο πάτωμα έναν κύκλο ακτίνας πέντε περίπου εκατοστών. Στη συνέχεια τοποθετήστε ένα κομμάτι κιμωλίας στον κατάλληλο διαβήτη ή δέστε το με ένα λεπτό σχοινί, ώστε να έχετε τη δυνατότητα να σχεδιάσετε επάνω στο πάτωμα μια σειρά από ομόκεντρους κύκλους με ακτίνες 10, 15, 20, 25, 30, 35 και 40 εκατοστών

αντίστοιχα. Μέσα στο μικρότερο κύκλο σημειώστε τον αριθμό «5». Στα διαστήματα ανάμεσα στους κύκλους σημειώστε κατά σειρά τους αριθμούς «10», «15», «20», «25» «30» μέχρι και «40».

2. Στο τετράδιό σας σχεδιάστε έναν πίνακα με οκτώ στήλες αριθμημένες με τους αριθμούς, που σημειώσατε στους προηγούμενους κύκλους.
3. Στη συνέχεια, τραβήξτε μια γραμμή στο πάτωμα, η οποία να απέχει από το κοινό κέντρο των κύκλων περίπου ένα μέτρο. Σταθείτε πίσω από αυτήν τη γραμμή και ρίξτε ένα-ένα τα κέρματα προς το κέντρο των κύκλων. Σημειώστε τον αριθμό που έχει η περιοχή, στην οποία πέφτει κάθε φορά το κέρμα. Για ακρίβεια, στην περίπτωση που το κέρμα πέφτει επάνω στη γραμμή, να σημειώνετε το μικρότερο από τους δύο αριθμούς. Μην λαμβάνετε υπόψη τα κέρματα που βγαίνουν έξω από το στόχο. Εξακολουθήστε να ρίχνετε κέρματα, μέχρι να καταγράψετε τις θέσεις τουλάχιστον εκατό κερμάτων που έπεσαν μέσα στην περιοχή των κύκλων. Συμπληρώστε τους αριθμούς στην κάθε μια από τις οκτώ στήλες.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τα δεδομένα σας, να σχεδιάσετε μια γραφική παράσταση. Στον οριζόντιο άξονα να σημειώσετε σε κανονικά διαστήματα κατά σειρά τους αριθμούς 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 και 40, ώστε να αντιστοιχούν στους αριθμούς των περιοχών που είναι σχεδιασμένες στο πάτωμα. Στον κατακόρυφο άξονα κατασκευάστε μια κλίμακα, ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση του μέγιστου πλήθους των κερμάτων που έπεσαν στην κάθε αριθμημένη περιοχή. Τέλος, χαράξτε τη γραμμή που προκύπτει, όταν ενώσετε τα σημεία που καθορίζονται από τα ζεύγη «πλήθος κερμάτων - αριθμός διαστήματος».

Ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

1. Με βάση τη γραφική σας παράσταση, ποια είναι η πιο πιθανή απόσταση από το κέντρο του κύκλου στην οποία θα σταματήσει ένα κέρμα; Αν ρίξετε ακόμα ένα κέρμα, πού νομίζετε ότι θα πέσει;
2. Συγκρίνατε τη δική σας γραφική παράσταση με αυτήν των συμμαθητών σας. Τι συμπέρασμα βγαίνει απο τη σύγκριση;

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Απαριθμήστε μερικά πράγματα, τα οποία θα μπορούσατε νά κάνετε, για να αυξήσετε τις πιθανότητες που έχει ένα κέρμα να πέσει στο κέντρο του στόχου.
2. Αν ρίχνατε μικρά μεταλλικά περικόχλια σε έναν όμοιο στόχο, ο οποίος όμως να είχε στο κέντρο ένα μαγνήτη, ποιες διαφορές νομίζετε ότι θα υπήρχαν, κατά τη γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων σας; Ποιες ομοιότητες και ποιες διαφορές θα είχε αυτό το παράδειγμα από ένα άτομο, που περιέχει τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια, γύρω από αυτόν;

ΕΠΊ ΠΛΈΟΝ ΔΙΕΡΕΎΝΗΣΗ

Εξακολουθήστε το πείραμα και έξω από τη σχολική αίθουσα. Ρίξτε πεντακόσια με εξακόσια ακόμη κέρματα και σχεδιάστε τη γραφική παράσταση για κάθε εκατοντάδα από αυτά που πέφτουν μέσα στο στόχο. Μήπως διαπιστώνετε ότι σημειώνεται κάποια προοδευτική μεταβολή από τη μια γραφική παράσταση στην άλλη; Μήπως βλέπετε ότι βελτιώνεται η ικανότητά σας; Υπάρχει κάποιο σημείο, στο οποίο δρουν παράγοντες που δεν μπορείτε να ελέγξετε και μοιάζουν να περιορίζουν κάθε βελτίωση; Ποιοι νομίζετε ότι θα μπορούσαν να είναι αυτοί οι παράγοντες;

12.4 Τροχιακά και κύριος κβαντικός αριθμός.

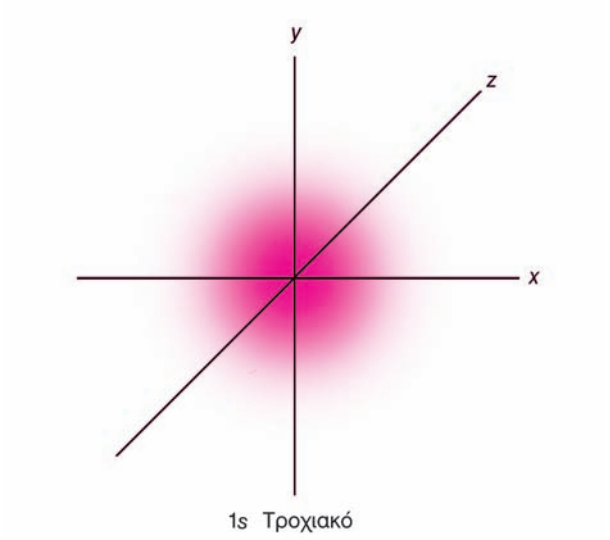
Με τις εργασίες του De Broglie και διαφόρων άλλων που υποστήριζαν την κυματική φύση του ηλεκτρονίου, είχαν τεθεί οι βάσεις για την ανάπτυξη μιας νέας θεωρίας της ύλης. Η θεωρία αυτή ονομάσθηκε ***κβαντομηχανική*** ή μερικές φορές κυματομηχανική. Αναπτύχθηκε μεταξύ των ετών 1925-1930 και σύντομα απεδείχθη ικανή να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του πώς βρίσκονται τοποθετημένα τα ηλεκτρόνια μέσα στα άτομα και ποιες είναι οι δυνατές ενεργειακές τους καταστάσεις.

Σχετικά με τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν στα άτομα, το πιο σημαντικό αποτέλεσμα, που προέκυψε με τη βοήθεια της κβαντομηχανικής, είναι ένα σύστημα ***κβαντικών αριθμών***. Η συμπεριφορά ενός ηλεκτρονίου μέσα σε ένα άτομο είναι δυνατόν να προσδιοριθεί, αν ορισθούν οι κβαντικοί του αριθμοί. Ο πιο σημαντικός κβαντικός αριθμός ονομάζεται ***κύριος κβαντικός αριθμός n***. Αυτός αποδεικνύεται όμοιος με τον αριθμό *n* του προτύπου του Bohr. Το πλεονέκτημα της κβαντομηχανικής είναι ότι μας λέει πώς να υπολογίσομε τις τιμές και άλλων κβαντικών αριθμών, δηλαδή όλων εκείνων που μας χρειάζονται για την πλήρη ερμηνεία των δομών και των ενεργειών ατόμων, τα οποία είναι περισσότερο πολύπλοκα από το άτομο του υδρογόνου.

Στην κβαντομηχανική, το ηλεκτρόνιο δεν θεωρείται πια ως ένα μεμονωμένο σωματίδιο, που βρίσκεται σε μια απόλυτα καθορισμένη τροχιά γύρω από τον πυρήνα. Η λέξη τροχιά, έτσι όπως την περιέγραφε το πρότυπο του Bohr, δεν χρησιμοποιείται πια. Προκειμένου να υπάρξει ένας όρος για τις διάφορες καταστάσεις του ηλεκτρονίου μέσα σε ένα άτομο, χρησιμοποιείται η λέξη «τροχιακό».

Τροχιακό είναι μια περιοχή του χώρου γύρω από τον πυρήνα, στην οποία είναι δυνατόν να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Κάθε τροχιακό προσδιορίζεται από ένα σύνολο κβαντικών αριθμών, εκ των οποίων ο πιο σημαντικός είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός n.

Υπάρχει μια πάρα πολύ σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τροχιές του Bohr και τα τροχιακά της κβαντομηχανικής. Ακόμη και αν γνωρίζομε οτιδήποτε είναι δυνατόν σχετικά με ένα τροχιακό, εξακολουθούμε να μη γνωρίζομε την ακριβή τροχιά του ηλεκτρονίου, αλλά ούτε και την ακριβή θέση, στην οποία θα βρεθεί σε δεδομένη στιγμή.



ΣΧΗΜΑ 12-5. *Το 1s τροχιακό απεικονίζεται με ένα νέφος. Όσο πιο σκοτεινή είναι μια περιοχή του νέφους, τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα υπάρχει να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μέσα σε αυτήν.*

Το μόνο που μπορεί να γίνει είναι να υπολογίσομε τις πιθανότητες να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε κάποιο σημείο του χώρου. Η πιθανότητα αυτή, αν υπολογισθεί για μια χρονική περίοδο, μας δίνει μια εικόνα του τρόπου συμπεριφοράς ενός ηλεκτρονίου. Η περιγραφή αυτής της κινήσεως του ηλεκτρονίου είναι που ονομάζεται τροχιακό.

Το σχήμα 12-5 δίνει τον τρόπο απεικονίσεως των πιο σταθερών τροχιακών του ηλεκτρονίου ενός ατόμου υδρογόνου, σύμφωνα με την κβαντομηχανική. Δεν δείχνει την πραγματική θέση του ηλεκτρονίου σε οποιαδήποτε στιγμή. Δείχνει όμως πού είναι πιθανό να βρίσκεται την κάθε στιγμή. Οι εντονότερα σκιασμένες περιοχές είναι αυτές, στις οποίες είναι πιθανότερο να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Στο τροχιακό του σχήματος αυτού διακρίνετε ότι η περιοχή αυτή είναι γύρω από τον πυρήνα. Η πιθανότητα να βρεθεί μακρύτερα από τον πυρήνα ελαττώνεται σταθερά προς όλες τις διευθύνσεις. Η περιγραφή της κινήσεως ενός ηλεκτρονίου με τροχιακό μας δίνει τις ίδιες πληροφορίες που μας παρέχει η γραφική παράσταση που προέκυψε από το πείραμα με τα κέρματα, ή από τα σημάδια που γίνονται από τα βελάκια όταν πέφτουν επάνω σε μια σανίδα, στην οποία είναι στερεωμένος ο κυκλικός στόχος. Αν αυτή η σανίδα χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, τότε η κατανομή των σημαδιών δείχνει με πόση επιτυχία σημάδεψαν οι προηγούμενοι παίκτες το στόχο. Υπάρχουν πολλά σημάδια κοντά στο

κέντρο του στόχου, ενώ, καθώς απομακρυνόμαστε από αυτό, παρατηρούμε μια βαθμιαία μείωση αυτών ανά τετραγωνικό εκατοστό της σανίδας. Η διάταξη των σημαδιών ***δεν*** προβλέπει πού πρόκειται να καρφωθεί το επόμενο βελάκι. Όμως, για κάθε απόσταση από το κέντρο του στόχου, η «πυκνότητα» των σημαδιών (αριθμός ανά τετραγωνικό εκαστοστό) αποτελεί μια ένδειξη του πόσες πιθανότητες υπάρχουν να καρφωθεί εκεί το επόμενο βελάκι.

Τα σημάδια στη σανίδα του στόχου μας δίνουν ***μόνο*** μία εικόνα για τις πιθανότητες που υπάρχουν να καρφωθεί ένα βελάκι σε μια ορισμένη απόσταση από το κέντρο του στόχου. ***Δεν*** αναφέρεται τίποτα για τη σειρά, με την οποία δημιουργήθηκαν αυτά τα σημάδια. Στην περίπτωση της κατανομής των ηλεκτρονίων, τα τροχιακά μας δίνουν την πιθανότητα που υπάρχει να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε ορισμένη απόσταση από τον πυρήνα, κατά τη διάρκεια ενός πειράματος που διεξάγεται με σκοπό τον εντοπισμό της θέσεώς του. ***Δεν*** αναφέρεται στον τρόπο που κινείται το ηλεκτρόνιο από το ένα σημείο στο άλλο, δηλαδή δεν περιγράφει την τροχιά του.

Υπάρχει ένας ακόμη τρόπος, για να κατανοήσετε τη σημασία ενός τροχιακού. Το ηλεκτρόνιο, καθώς κινείται γύρω από τον πυρήνα, εξ αιτίας της κυματικής φύσεως την οποία εμφανίζει όταν κινείται, θεωρείται μάλλον ότι καταλαμβάνει μια εκτεταμένη περιοχή του χώρου παρά ότι είναι ένα μικρό, μεμονωμένο σωματίδιο. Γι' αυτό η περιγραφή του τι κάνει ακριβώς θα πρέπει να είναι μια θολή εικόνα, ένα «ηλεκτρονικό νέφος».

Όλες οι εξισώσεις, τις οποίες δίνει η κβαντομηχανική για τα τροχιακά, εξαρτώνται από τον κύριο κβαντικό αριθμό. Ως επί το πλείστον, για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό υπάρχουν περισσότερα από ένα τροχιακά. Ο κανόνας είναι ότι για τον κύριο κβαντικό αριθμό n υπάρχουν n^2 τροχιακά.

Για $\boldsymbol{n} = 1$, υπάρχει μόνο ένα τροχιακό. Για $\boldsymbol{n} = 2$ υπάρχουν $\boldsymbol{n}^2 = 2^2 = 4$ τροχιακά και ούτω καθεξής.

Στο άτομο του υδρογόνου, όλα τα τροχιακά ενός κυρίου κβαντικού αριθμού έχουν την ίδια ενέργεια (αν και αυτό δεν ισχύει σε άλλα άτομα). Ακριβώς όπως συνέβαινε και με το πρότυπο του Bohr, αυτή η ενέργεια δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E = -\frac{R}{n^2} = \frac{-313,6}{n^2}\ \text{kcal/mole}$$

12.5 Η αρχή της αβεβαιότητας.

Όπως έχετε μάθει, η ηλεκτρονική δομή ενός ατόμου, σύμφωνα με την περιγραφή που δίνει η κβαντομηχανική, δεν είναι μία απλή, συγκεκριμένη εικόνα. Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατόν, προκειμένου για το άτομο του υδρογόνου, να πούμε ότι το ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε μια ορισμένη θέση κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και κινείται με μια ορισμένη ταχύτητα. Αυτός είναι και ο λόγος που εγκαταλείφθηκε η εικόνα που έδωσε ο Bohr για το άτομο του υδρογόνου. Ο Bohr είχε θεωρήσει ως δεδομένο ότι είναι δυνατόν να γίνουν προβλέψεις αυτού του είδους για τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται μέσα στα άτομα.

Η αιτία για την αναπόφευκτη ασάφεια της περιγραφής του ηλεκτρονίου στο άτομο το υδρογόνου ή των ηλεκτρονίων σε οποιοδήποτε άλλο άτομο ή μόριο διατυπώνεται σε ένα θεμελιώδη νόμο της Φυσικής. Ο νόμος αυτός ονομάζεται ***αρχή της αβεβαιότητας***. Είναι δυνατόν να γραφεί ή να εκφρασθεί μαθηματικά κατά πολλούς τρόπους. Για την περίπτωση που μελετούμε τώρα, η πιο κατάλληλη μορφή είναι:

$$(\Delta x)\,(\Delta v) = h/m$$

Όπου $\boldsymbol{x}$ και $\boldsymbol{v}$ συμβολίζουν αντίστοιχα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου. Το Δ σημαίνει «την αβεβαιότητα» στην ποσότητα που το ακολουθεί. Έτσι Δx είναι η αβεβαιότητα στις μετρήσεις που κάνομε για τον προσδιορισμό της θέσεως, ενώ το Δv υποδηλώνει την αβεβαιότητα στη γνώση της ταχύτητας. Το $\boldsymbol{h}$ είναι η σταθερά του Planck, 6,63 x 10^{-27}g cm^2 sec^{-1}, και $\boldsymbol{m}$ είναι η μάζα του σωματιδίου.

Επειδή το *h* είναι ένας τόσο μικρός αριθμός, λαμβάνεται υπόψη μόνο στα σωματίδια με πολύ μικρή μάζα, στα οποία η αβεβαιότητα είναι σημαντική. Για παράδειγμα υποθέστε ότι θέλετε να πετάξετε μια πέτρα μάζας 50 g. Το γινόμενο των αβεβαιοτήτων της θέσεως και της ταχύτητας θα μπορούσε να υπολογισθεί ως εξής:

$$[\Delta x][\Delta v] = \frac{6,63 \times 10^{-27}\ g \cdot cm^2 \cdot sec^{-1}}{50\ g} =$$

$$= 1,33 \times 10^{-28}\ [cm]\left(\frac{cm}{sec}\right)$$

Το γινόμενο των αβεβαιοτήτων της θέσεως (σε cm) και της ταχύτητας (σε cm/sec) είναι εξαιρετικά μικρό. Σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας, μπορούμε να αντλήσομε

πληροφορίες για τη θέση και την ταχύτητα μακροσκοπικών σωματιδίων, όπως η πέτρα των 50 g, με ακρίβεια πολύ μεγαλύτερη απ' αυτήν που θα επιθυμούσαμε ή θα χρειαζόμασταν ποτέ. Η αρχή της αβεβαιότητας εφαρμόζεται σε μακροσκοπικά αντικείμενα, αλλά οι περιορισμοί, τους οποίους θέτει, την καθιστούν χωρίς πρακτική σημασία.

Όταν πρόκειται, όμως, για πολύ μικροσκοπικά σωματίδια, όπως τα ηλεκτρόνια, οι περιορισμοί στα όσα γνωρίζομε έχουν θεμελιώδη σημασία. Ένα ηλεκτρόνιο έχει μάζα μόνον 9,10 x 10^{-28} g. Έτσι, το γινόμενο των αβεβαιοτήτων διαμορφώνεται ως ακολούθως:

$$(\Delta x)(\Delta u) = \frac{6{,}63 \times 10^{-27}}{9{,}10 \times 10^{-28}}\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{sec} = 7{,}3\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{sec}$$

Ας εξετάσομε τώρα ένα ηλεκτρόνιο, που βρίσκεται μέσα σε ένα άτομο. Η διάμετρος ενός ατόμου είναι περίπου 10^{-8} cm. Αν θέλομε να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μέσα σε μια σφαίρα με την ίδια διάμετρο λέμε ότι γνωρίζομε τη θέση του ηλεκτρονίου με μια αβεβαιότητα, Δx, της τάξεως του 10^{-8} cm. Πόσο γρήγορα κινείται το ηλεκτρόνιο; Αν θέσομε στην εξίσωση της αβεβαιότητας το $\Delta x = 10^{-8}$ cm και λύσομε ως προς Δu λαμβάνομε τα παρακάτω:

Δu = (7 $\mathrm{cm}^2\ \mathrm{sec}^{-1}$)/($10^{-8}$ cm) = περίπου 10^9 cm/sec

Η αβεβαιότητα στην ταχύτητα των ηλεκτρονίων είναι τεράστια, και, πιο συγκεκριμένα, περίπου ένα δισεκατομμύριο cm sec^{-1}. Έτσι αν επιθυμούμε απλά να βρεθεί το ηλεκτρόνιο κάπου μέσα σε μια σφαίρα, η οποία έχει περίπου το μέγεθος ενός ατόμου, θα πρέπει να δεχθούμε μια τεράστια αβεβαιότητα σε σχέση με την ταχύτητά του. Αν επιχειρήσομε να περιορίσομε την αβεβαιότητα στη θέση του ηλεκτρονίου ακόμη περισσότερο, υποχρεώνοντάς το να ακολουθεί μια ορισμένη τροχιακή διαδρομή γύρω από τον πυρήνα, τότε η αβεβαιότητα στην ταχύτητά του θα γίνει ακόμη μεγαλύτερη. Πράγματι, η αβεβαιότητα στην ταχύτητα είναι τόσο μεγάλη, ώστε δεν υπάρχει λόγος να επιμείνομε σ' αυτό το είδος της περιγραφής.

Λόγω της αρχής της αβεβαιότητας είναι απαραίτητο να εγκαταλείψετε κάθε ελπίδα για την περιγραφή της κατανομής των ηλεκτρονίων σε ένα ορισμένο άτομο ή μόριο με τον ίδιο τρόπο που είχατε τη δυνατότητα να περιγράψετε τη θέση και την ταχύτητα μιας πέτρας που πετάξατε. Αυτό, ίσως, να φαίνεται, εκ πρώτης όψεως, ότι διαψεύδει όλες τις ελπίδες μας για κατανόηση των εσωτερικών διεργασιών στα άτομα και στα μόρια. Στην πραγματικότητα, όμως, δεν είναι έτσι. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, έχομε τη δυνατότητα να περιγράψομε ένα άτομο στο οποίο το ηλεκτρόνιο να συμπεριφέρεται σαν ένα νέφος αρνητικού φορτίου, που διαθέτει μια ορισμένη κατανομή γύρω από τον πυρήνα. Η περιγραφή αυτή ίσως μοιάζει, και έτσι είναι πράγματι, πολύ λιγότερο ακριβής απ' ό,τι ένας ακριβής προσδιορισμός της θέσεως και της ταχύτητας του ηλεκτρονίου. Όμως, είναι αρκετή για τον υπολογισμό όλων των ιδιοτήτων ενός ατόμου, τις οποίες μπορούμε πρακτικά να παρατηρήσομε ή να μετρήσομε. Έτσι μας παρέχεται η δυνατότητα να υπολογίσομε την ενέργειά του, τη στροφορμή του, το φορτίο του κάθε ιόντος καθώς και άλλες σημαντικές ποσότητες. Αξίζει να συνειδητοποιήσομε ότι μια θεωρία που μας επιτρέπει να προσδιορίσομε όλες τις χαρακτηριστικές παραμέτρους, τις οποίες, παράλληλα, μπορούμε και να μετρήσομε στην πράξη, είναι μια απόλυτα ικανοποιητική θεωρία. Δεν υπάρχει λόγος να αναζητούμε μια θεωρία που να ασχολείται με πράγματα, τα οποία δεν μπορούμε να παρατηρήσομε. Πράγματα που δεν μπορούμε να τα παρατηρήσομε μπορούμε να τα θεωρήσομε ανύπαρκτα ή πάντως δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Η βάση για την αρχή της αβεβαιότητας είναι στην πραγματικότητα μια μελέτη του τρόπου με τον οποίο γίνονται μετρήσεις. Είναι γνωστό για παράδειγμα ότι μπορούμε να βρούμε τη θέση και να μετρήσομε την ταχύτητα ενός μακροσκοπικού αντικειμένου, όπως είναι μια πέτρα, παρατηρώντας την τροχιά του. Έχομε τη δυνατότητα να διακρίνομε την πέτρα γιατί αντανακλά ορατό φως. Η πέτρα έχει διαστάσεις της τάξεως του εκατοστού, ενώ το μήκος κύματος του φωτός είναι της τάξεως του 10^{-15} cm. Τα φωτεινά κύματα είναι πολύ μικρά σε σχέση με το μέγεθος του μακροσκοπικού αντικειμένου. Πώς μπορείτε, όμως, να παρατηρήσετε ένα ηλεκτρόνιο; Αν μεταχειρισθείτε ορατό φως, δεν θα διακρίνετε τίποτα. Το ηλεκτρόνιο είναι πάρα πολύ μικρό. Έτσι, είναι προφανές ότι θα δοκιμάσετε αυτό που περιγράφεται παρακάτω. Θα μεταχειρισθείτε ακτινοβολία με μήκος κύματος τόσο μικρό όσο, ή και μικρότερο από, το μέγεθος του ηλεκτρονίου. Ίσως, δοκιμάσετε να χρησιμοποιήσετε κάποιες ακτίνες Χ με πολύ

μικρό μήκος κύματος. Τα προβλήματά σας, όμως, θα εξακολουθήσουν. Τα φωτόνια στις ακτινοβολίες τόσο μικρού μήκους κύματος διαθέτουν τόση πολλή ενέργεια, ώστε κάθε φορά, που έστω και ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα ηλεκτρόνιο, του δίνει μια τεράστια ώθηση. Η μεγάλη προσπάθεια μετρήσεως της θέσεως και της ταχύτητας του ηλεκτρονίου θα έχει ως αποτέλεσμα να μεταβληθούν και η θέση αλλά και η ταχύτητα (σχ. 12-6). Αυτό οφείλεται στην αβεβαιότητα που εισάγει στο αποτέλεσμα η προσπάθεια, για να γίνει αυτή η μέτρηση. Η αρχή της αβεβαιότητας αποτελεί μια απλή αναφορά αυτού του γεγονότος.

12.6 Τα σχήματα των s τροχιακών.

Ας θεωρήσομε την κατώτερη ενεργειακή στάθμη ενός ατόμου υδρογόνου, για την οποία $n = 1$. Υπάρχουν n^2 στάθμες με αυτήν την ενέργεια. Επειδή $n = 1$, στο παράδειγμα αυτό υπάρχει μία στάθμη. Αντιστοιχεί σε μια ηλεκτρονική κατανομή η οποία είναι σφαιρικά συμμετρική γύρω από τον πυρήνα, (σχ. 12-5) και ονομάζεται 1*s* τροχιακό. Στο σύμβολο 1*s* ο αριθμός ένα (1) δηλώνει ότι $n = 1$ και το γράμμα *s* ότι το τροχιακό είναι σφαιρικά συμμετρικό. Ένα ηλεκτρόνιο που κινείται μέσα σε ένα *s* τροχιακό ονομάζεται *s* ηλεκτρόνιο.

Επειδή το γράμμα *s* χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σφαιρικά συμμετρικό τροχιακό, ίσως, να σκεφτήκατε, και καλά θα είχατε κάνει, ότι το *s* είναι το αρχικό γράμμα της λέξεως spherical (σφαιρικό). Στην πραγματικότητα, το σύμβολο χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τους πρώτους χειριστές των φασματογράφων, για να περιγράψουν μια «σαφή» αλληλουχία γραμμών σε ένα ορισμένο φάσμα. Κατά ανάλογο τρόπο δημιουργήθηκαν και τα άλλα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό των τροχιακών. Τα σύμβολα *p*, *d* και *f*, τα οποία θα συναντήσετε παρακάτω, προέρχονται στην πραγματικότητα από τις λέξεις «principal» (= βασικό), «diffuse» (= διάχυτο), και «fundamental» (= θεμελιώδες), τις οποίες μεταχειρίζονται οι ενασχολούμενοι με φασματογράφους, προκειμένου να περιγράψουν διάφορες ομάδες φασματικών γραμμών.

Ο όρος «σφαιρικά συμμετρικό», και η μορφή ενός *s* τροχιακού (σχ. 12-5) πρέπει να γίνουν απόλυτα κατανοητά.

Ας υποθέσομε ότι εξετάζετε ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται κάπου επάνω στην επιφάνεια μιας σφαίρας ορισμένης ακτίνας r_1, η οποία έχει στο κέντρο της τον πυρήνα. Η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε ένα σημείο της επιφάνειας της σφαίρας με ακτίνα r_1, είναι η ίδια για όλα τα σημεία αυτής της επιφάνειας. Το ίδιο θα μπορούσε να συμβεί και για την επιφάνεια μια άλλης σφαίρας ακτίνας r_2. Η πιθανότητα, όμως, να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε κάποιο σημείο της επιφάνειας της σφαίρας με ακτίνα r_2, δεν είναι ίδια με την πιθανότητα να βρεθεί σε κάποιο σημείο της επιφάνειας της σφαίρας ακτίνας r_1. Η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε κάποιο σημείο εξαρτάται από την ακτίνα της σφαίρας. Ένα ηλεκτρόνιο 1*s* είναι δυνατόν να βρεθεί οπουδήποτε, από τον πυρήνα μέχρι σε μια μεγάλη απόσταση μακριά από αυτόν, το πιο πιθανό όμως είναι να βρεθεί περίπου σε απόσταση $0,5 \times 10^{-8}$ cm (μισό Ångström) από τον πυρήνα.

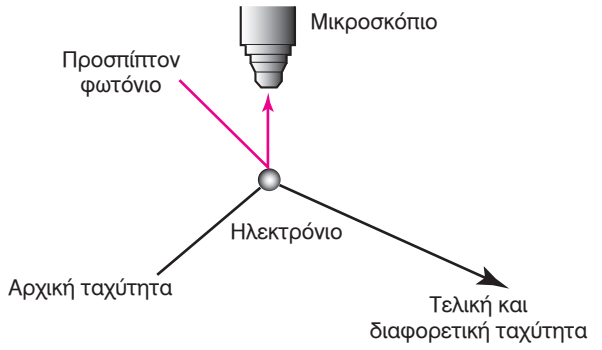
Η επόμενη ενεργειακή στάθμη αντιστοιχεί σε $n = 2$. Σύμφωνα πάλι με τον κανόνα, υπάρχουν $n^2 = 2^2 = 4$ διατάξεις στο χώρο με την ίδια ενέργεια.

$$\frac{-313,6}{4} = -78,4 \text{ kcal / mole}$$

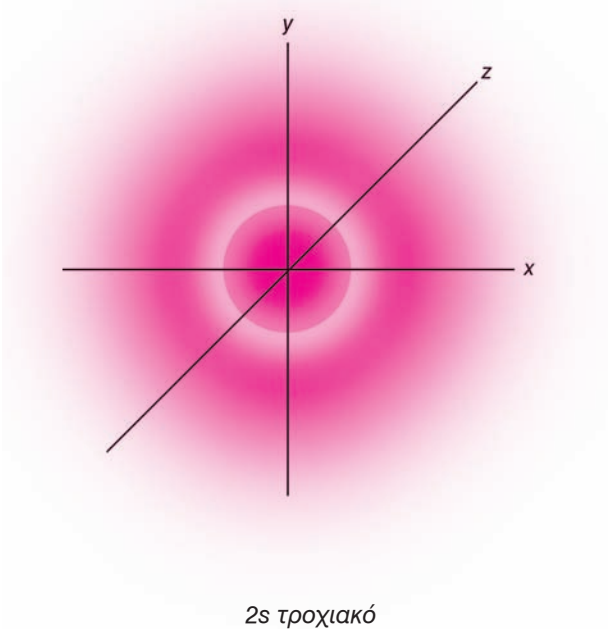
Μια από αυτές είναι πάλι σφαιρικά συμμετρική και ονομάζεται 2*s* τροχιακό. Το σχήμα 12-7 δείχνει το ατομικό 2*s* τροχιακό. Έτσι, καταλήγομε στο δικαιολογημένο συμπέρασμα ότι η μεγαλύτερη ενέργεια του 2*s* τροχιακού επιτρέπει στο ηλεκτρόνιο να βρίσκεται περισσότερη ώρα μακριά από τον πυρήνα.

Για κάθε τιμή n, υπάρχει ένα σφαιρικά συμμετρικό τροχιακό.

Καθώς αυξάνεται το *n*, τα *ns* τροχιακά τοποθετούν κατά μέσο όρο το ηλεκτρόνιο, όλο και πιο μακριά από τον πυρήνα.



ΣΧΗΜΑ 12-6. *Η πρόσπτωση φωτονίων προκειμένου να μελετηθεί ένα ηλεκτρόνιο με μικροσκόπιο, θα οδηγούσε σε αλλαγή της θέσεως και της ταχύτητάς του (δηλ. του ηλεκτρονίου).*



2s τροχιακό

ΣΧΗΜΑ 12-7. *Το 2s τροχιακό απεικονίζεται με σφαιρικό νέφος που έχει δύο πυκνότερες περιοχές, μια κοντά και μιαν άλλη μακρύτερα από τον πυρήνα*

12.7 p τροχιακά.

Στο $n = 1$ αντιστοιχεί ένα μόνο τροχιακό, το 1*s*. Στο $n = 2$, υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές διατάξεις στο χώρο και μία από αυτές, το 2*s* τροχιακό έχει κιόλας περιγραφεί. Οι άλλες τρεις ονομάζονται *2p* τροχιακά. Ένα ηλεκτρόνιο σε ένα *p* τροχιακό συμπεριφέρεται έτσι, ώστε να βρίσκεται κυρίως σε δύο περιοχές του χώρου, εκατέρωθεν του πυρήνα. Η κίνηση ενός *p* ηλεκτρονίου δημιουργεί μια κατανομή ηλεκτρονίων της οποίας το σχήμα μοιάζει λίγο με τους αλτήρες (βάρη γυμναστικής).

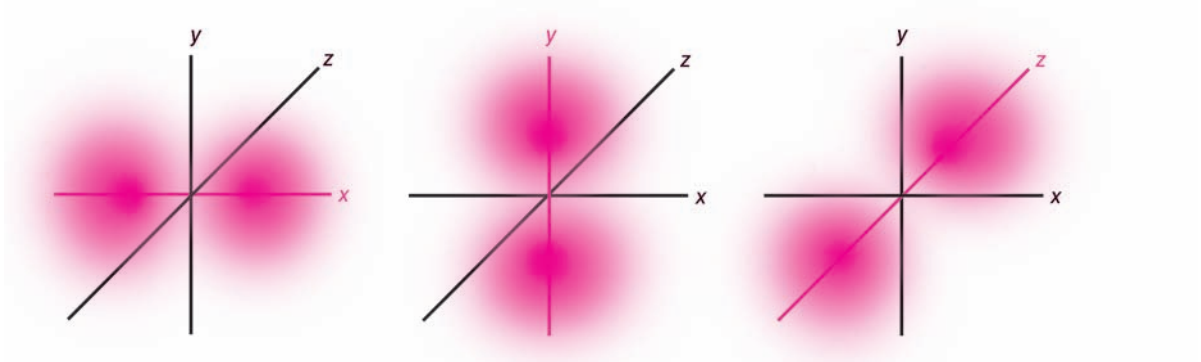
Ο άξονας των αλτήρων μπορεί να θεωρηθεί ότι συμπίπτει με έναν από τους τρεις ισότιμους κάθετους άξονες των καρτεσιανών συντεταγμένων. Ακριβώς, όπως υπάρχουν τρεις ξεχωριστοί ισότιμοι άξονες, υπάρχουν και τρία ξεχωριστά *p* τροχιακά, το καθένα με τον άξονά του κάθετο στους άλλους δύο. Μερικές φορές αναφέρονται ως p_x, p_y, p_z τροχιακά, για να δοθεί έμφαση στον κατευθυντήριο χαρακτήρα τους. Το p_x τροχιακό βρίσκεται συγκεντρωμένο στην κατεύθυνση του άξονα *x*. Ένα p_x ηλεκτρόνιο έχει μεγαλύτερη τάση να βρίσκεται κοντά στο άξονα *x* από οπουδήποτε αλλού. Το p_y τροχιακό, εξάλλου, βρίσκεται συγκεντρωμένο στο άξονα *y*. Αυτά τα χαρακτηριστικά του προσανατολισμού είναι χρήσιμα, προκειμένου να ερμηνευθούν οι γεωμετρικές ιδιότητες των μορίων. Στο σχήμα 12-8 βλέπετε την κατανομή των ηλεκτρονίων στα *2p* τροχιακά. Επειδή τα τρία *p* τροχιακά θα ήταν δυνατόν να θεωρηθούν ότι εκτείνονται κατά μήκος των τριών καθέτων αξόνων (*x*, *y*, και *z*), ίσως το *p* θα μπορούσε να θεωρηθεί το αρχικό γράμμα της λέξεως «perpendicular» (= κάθετος).

Κάθε ενεργειακό επίπεδο με αριθμό n μεγαλύτερο του ενός έχει τρία p τροχιακά.

Όσο αυξάνει ο αριθμός *n*, τα *np* τροχιακά των ηλεκτρονίων βρίσκονται τοποθετημένα, κατά μέσο όρο, όλο και μακρύτερα από τον πυρήνα, αλλά πάντα με αξονικές ιδιότητες προσανατολισμού όπως αυτές που μας δείχνει το σχήμα 12-8.

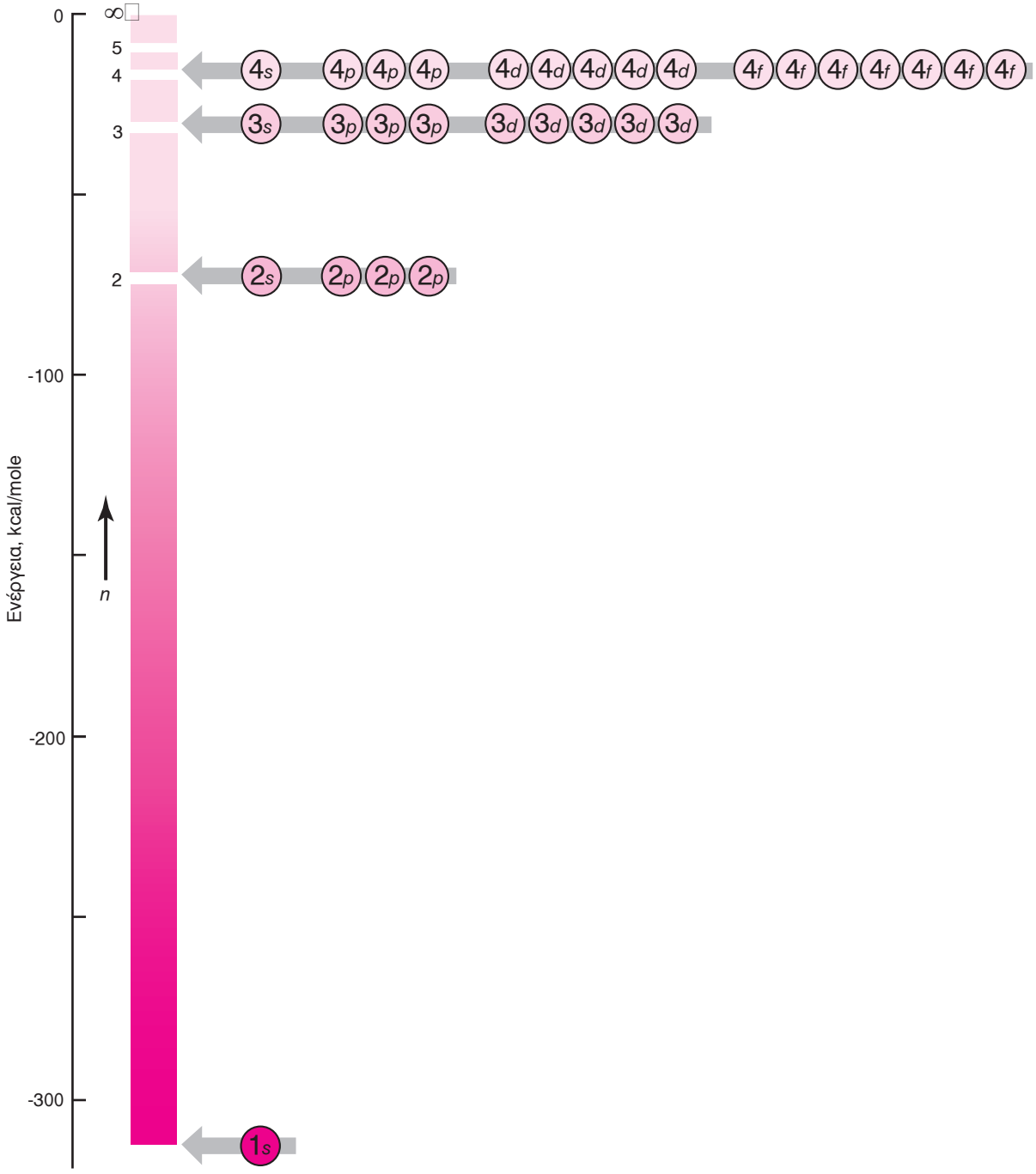
12.8 d και f τροχιακά.

Εδώ ίσως θα έπρεπε να αναθεωρήσετε το



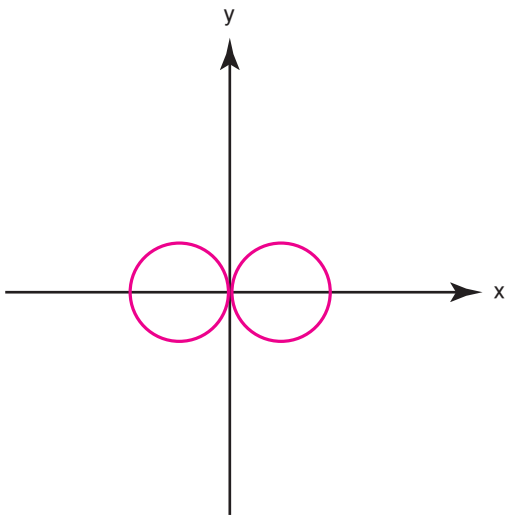
$2p_x$ τροχιακό *$2p_y$ τροχιακό* *$2p_z$ τροχιακό*

ΣΧΗΜΑ 12-8. *Τα p τροχιακά βρίσκονται τοποθετημένα κατά τους γνωστούς άξονες x, y και z των καρτεσιανών συντεταγμένων.*

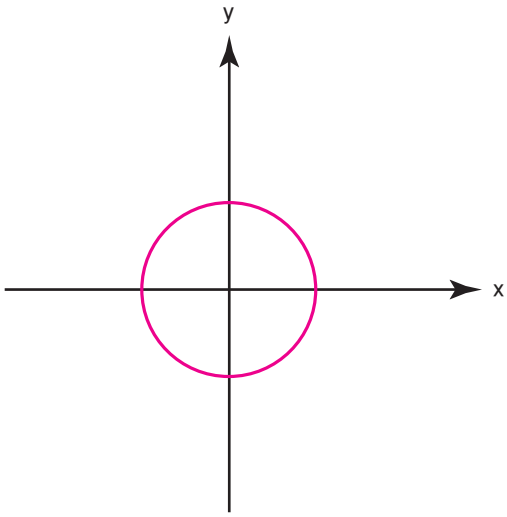


ΣΧΗΜΑ 12-9. *Αυτή η σχηματική παράσταση εικονίζει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο κάθε δυνατό τροχιακό (στο σχήμα παριστάνεται με έναν κύκλο) και στην κλίμακα των κατακορύφων ενεργειακών σταθμών που είναι σχεδιασμένη αριστερά. Επειδή για κάθε συγκεκριμένη τιμή του n, υπάρχουν n^2 τροχιακά, είναι απαραίτητο να καθορίσομε και τροχιακά υψηλότερης στάθμης, τα d και f τροχιακά.*

διάγραμμα για τα ενεργειακά επίπεδα του ατόμου του υδρογόνου, ώστε να δύναται να εκφράζει και όσα μάθατε σχετικά με τα τροχιακά. Για μια ορισμένη τιμή του n, υπάρχουν συνολικά n^2 τροχιακά. Για $n = 3$, τα τροχιακά είναι $3^2 = 9$, δηλαδή πέντε περισσότερα από αυτά που δικαιολογούνται από τα $3s$ και τα $3p$ τροχιακά. Τα πέντε αυτά καινούργια ονομάζονται d τροχιακά και έχουν πολυπλοκότερη κατανομή στο χώρο από αυτήν των p τροχιακών.



ΣΧΗΜΑ 12-10. *Ένα τμήμα ή μια τομή, του $2p_x$ τροχιακού στο επίπεδο xy. Ολόκληρο το τροχιακό είναι δυνατόν να προκύψει με περιστροφή της τομής αυτής γύρω από τον άξονα x.*



ΣΧΗΜΑ 12-11. *Ένα τμήμα ή μία τομή του 1s τροχιακού στο επίπεδο xy. Το τροχιακό είναι δυνατόν να προκύψει από περιστροφή του κύκλου έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια σφαίρα.*

Αν γνωρίζετε τώρα ότι οι αριθμοί των *s*, *p* και *d* τροχιακών είναι αντίστοιχα 1, 3 και 5, πόσα περιμένετε ότι θα είναι τα αμέσως απόμενα (*f*) τροχιακά; Να επαληθεύσετε την απάντησή σας, υπολογίζοντας το n^2 για $n = 4$ και να τη συγκρίνετε με το συνολικό αριθμό των *s*, *p*, *d* και *f* τροχιακών που φαίνονται στη σχηματική παράσταση του σχήματος 12-9.

12.9 Μερικές ακόμα πληροφορίες για το σχήμα των τροχιακών.

Τα σχήματα 12-5, 12-7 και 12-8 έχουν ως στόχο να δείξουν πού είναι πιθανότερο να βρίσκεται, σε σχέση με τον πυρήνα, το ηλεκτρόνιο ενός συγκεκριμένου τροχιακού. Για το σκοπό αυτό, ίσως ο τρόπος παραστάσεως, που παρουσιάσθηκε προηγουμένως, να είναι ο καλύτερος, δεν είναι, όμως, κάτι που σχεδιάζεται εύκολα. Αν επιχειρούσατε εσείς οι ίδιοι να κατασκευάσετε επάνω σε ένα κομμάτι χαρτί πρόχειρα σχήματα τροχιακών, θα διαπιστώνατε ότι είναι δύσκολο και κουραστικό να κατασκευάσετε τέτοια γραμμοσκιασμένα σκίτσα. Οι χημικοί, αρκετά συχνά, όταν μελετούν τους δεσμούς που συγκρατούν τα άτομα μεταξύ τους στα μόρια, αναγκάζονται να ζωγραφίσουν σχήματα τροχιακών (το θέμα αυτό εξετάζεται στα κεφάλαια 14 και 15). Γι' αυτό, λοιπόν, αναπτύχθηκε ένας απλούστερος τρόπος σχεδιασμού τους.

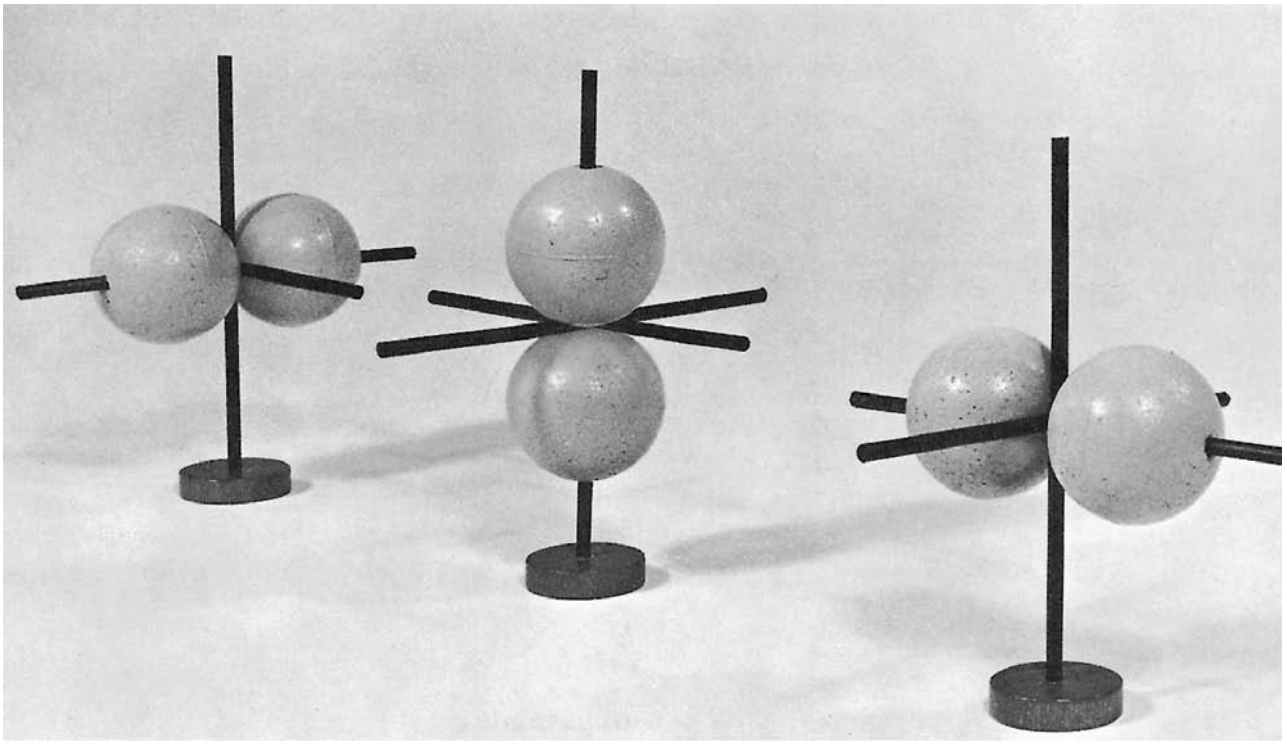
Ας υποθέσομε ότι, αντί να προσπαθούμε να δείξομε με κάθε λεπτομέρεια πώς μεταβάλλεται η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε κάποια θέση του ατόμου, μας αρκεί να δείξομε μόνο το περίγραμμα της περιοχής μέσα στην οποία η πιθανότητα είναι σημαντικά υψηλή. Δηλαδή, ας υποθέσομε ότι θέλομε να γράψομε την περιοχή εκείνη στην οποία περιμένομε να βρίσκεται το ηλεκτρόνιο το 90% του χρόνου. Αυτό εξακολουθεί να εμφανίζει κάποιο πρόβλημα, γιατί η επιφάνεια που θέλομε να περιγράψομε, υπάρχει στον τρισδιάστατο χώρο, όπως η επιφάνεια ενός φουσκωμένου μπαλονιού. Αυτό που μπορεί να γίνει, φαίνεται στο σχήμα 12-10, όπου εικονίζεται το $2p_x$ τροχιακό.

Το περίγραμμα αυτό αποτελεί μια δισδιάστατη τομή της συνολικής επιφάνειας. Προκειμένου να έχομε ολόκληρο το σχήμα του τροχιακού, αρκεί να περιστρέψομε αυτό το περίγραμμα γύρω από τον άξονα *x*. Έτσι, θα οδηγηθούμε στη δημιουργία μιας επιφάνειας που μοιάζει με μπαλόνι, το οποίο στην πραγματικότητα είναι η πιο παραστατική απεικόνιση του τροχιακού. Κατ' αναλογία, το 1*s* τροχιακό παριστάνεται στο σκίτσο του σχήματος 12-11. Και πάλι η πραγματική επιφάνεια, την οποία πρέπει να φανταστούμε είναι αυτή που προέρχεται από την περιστροφή του κύκλου γύρω από τον άξονά του, έτσι ώστε να δημιουργήσει μια σφαίρα.

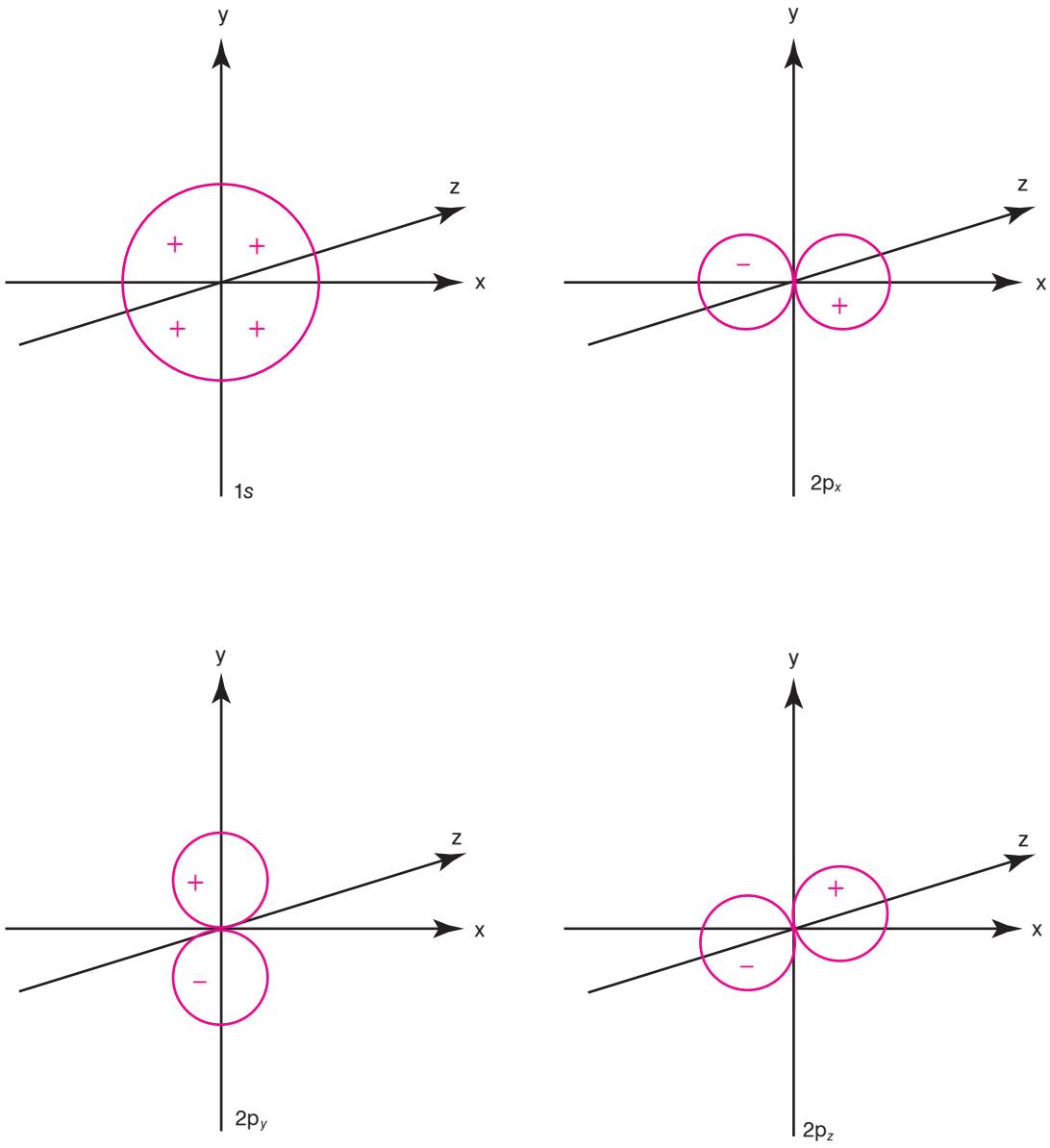
Το πλεονέκτημα αυτών των πολύ απλών γραμμικών σχημάτων είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να σχεδιασθούν επάνω σε ένα κομμάτι χαρτί. Πρέπει, όμως, πάντα να έχομε υπόψη μας τους περιορισμούς που υπάρχουν. Πρώτον, υπαινίσσονται το τρισδιάστατο σχήμα του τροχιακού. Είσθε λοιπόν υποχρεωμένοι να αναπληρώνετε νοερά αυτήν την ατέλεια (τα πρότυπα που δείχνει το σχήμα 12-12 παρέχουν μια καλύτερη αίσθηση της τρισδιάστατης εικόνας). Δεύτερον, οι επιφάνειες, έστω και στις τρεις διαστάσεις, αποτελούν μια υπεραπλούστευση, γιατί υπάρχει και κάποια πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο έξω από αυτήν την επιφάνεια και γιατί η πιθανότητα αυτή δεν είναι ίδια παντού σε όλες τις θέσεις του χώρου, στον οποίο περικλείεται το ηλεκτρόνιο.

Σχετικά με τα τροχιακά, υπάρχει ακόμα ένα σημείο που πρέπει να προσέξετε. Αυτή τη στιγμή δεν σας ενδιαφέρει άμεσα, αλλά θα σας χρειασθεί αργότερα. Τα σχήματα των τροχιακών, όπως είναι όλα αυτά που είδατε μέχρις εδώ, προκύπτουν από λύσεις μερικών εξαιρετικά πολυπλόκων εξισώσεων. Η κβαντομηχανική είναι στην πραγματικότητα η θεωρία του τρόπου καταγραφής και λύσεως των απαραιτήτων εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές, όταν λυθούν δεν δίνουν *αμέσως* τα σχήματα των τροχιακών, αλλά συναρτήσεις, που είναι γνωστές ως ***κυματικές συναρτήσεις***. Η πραγματική πιθανότητα να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε κάποιο σημείο του χώρου, δίνεται από το ***τετράγωνο*** της κυματικής συναρτήσεως. Τα τροχιακά σχήματα που έχουν αναφερθεί για τα *s* και *p* τροχιακά αποτελούν απεικονίσεις των τετραγώνων των κυματικών συναρτήσεων των τροχιακών αυτών.

Αυτές οι ίδιες οι κυματικές συναρτήσεις έχουν τη δυνατότητα να πάρουν αρνητικό ή θετικό σημείο σε διαφορετικές θέσεις. Επειδή το τετράγωνο ενός αριθμού είναι πάντα θετικό, έστω και αν ο αριθμός είναι αρνητικός, η πιθανότητα να βρεθεί ένα ηλεκτρόνιο σε ένα ορισμένο σημείο είναι πάντα θετική (ή μηδέν). Έτσι ακριβώς έπρεπε να συμβαίνει, γιατί η αρνητική πιθανότητα δεν έχει έννοια. Εν τούτοις, σχήματα των κυματικών συναρτήσεων δείχνουν μαζί με τις θετικές και κάποιες αρνητικές περιοχές. Όπως θα μάθετε στο κεφάλαιο 15, μερικές φορές μας χρειάζεται να γνωρίζομε ποιες περιοχές των συναρτήσεων κύματος είναι θετικές και ποιες



ΣΧΗΜΑ 12-12. *Τα πρότυπα αυτά δείχνουν τα πλήρη τρισδιάστατα σχήματα των s και p τροχιακών.*



ΣΧΗΜΑ 12-13. *Παραστάσεις των πραγματικών κυματικών συναρτήσεων για το 1s και το 2p τροχιακό, όπου εικονίζονται και τα αλγεβρικά σημεία των συναρτήσεων.*

αρνητικές.

Το σχήμα 12-13 μας δείχνει την πραγματική κυματική συνάρτηση για το 1*s* και το 2*p* τροχιακό. Η κυματική συνάρτηση *s* είναι παντού θετική. Εξάλλου, κάθε *p* τροχιακό είναι κατά το ήμισυ θετικό και κατά το ήμισυ αρνητικό. Το τετράγωνο είναι βέβαια παντού θετικό. Η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε ένα από τα δύο μισά του *p* τροχιακού είναι η ίδια. Οι κυματικές συναρτήσεις έχουν αντίθετα σημεία στα δύο μισά τους και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά σε μερικές διασυνδέσεις, όπως θα δείτε αργότερα.

Περίληψη.

Σύμφωνα με την κβαντομηχανική, το ηλεκτρόνιο στο άτομο υδρογόνου πρέπει να καταλαμβάνει ένα από τα πολλά τροχιακά. Ένα τροχιακό διαφέρει από την τροχιά που όρισε ο Bohr στο ότι δεν είναι μια συγκεκριμένη διαδρομή, κατά μήκος της οποίας κινείται το ηλεκτρόνιο, αλλά είναι μια περιοχή, μέσα στην οποία είναι πιθανό να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Τα διάφορα τροχιακά καθορίζονται από κβαντικούς αριθμούς, από τους οποίους σημαντικότερος είναι ο κύριος κβαντικός αριθμός, n. Ο αριθμός των τροχιακών με κβαντικό αριθμό n είναι n^2. Γι' αυτό, υπάρχουν 1, 4, 9... τροχιακά με κύριο κβαντικό αριθμό 1, 2, 3..., αντίστοιχα. Για κάθε τιμή του n υπάρχει ένα σφαιρικά συμμετρικό τροχιακό, που ονομάζεται s τροχιακό. Για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό από το 2 και πάνω, υπάρχει επίσης ένα σύνολο από τρία τροχιακά με το όνομα p τροχιακά. Έχουν το σχήμα αλτήρων και το καθένα εκτείνεται κατά μήκος των καρτεσιανών (x, y και z) αξόνων. Ξεκινώντας από τον κύριο κβαντικό αριθμό 3, υπάρχουν σειρές d τροχιακών, ενώ ξεκινώντας από $n = 4$ υπάρχουν σειρές f τροχιακών.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πόσα τροχιακά υπάρχουν με κύριο κβαντικό αριθμό 2; Πώς συμβολίζονται;
2. Ποια διαφορά έχουν τα σχήματα των p τροχιακών από τα σχήματα των s τροχιακών;
3. Σε τι διαφέρουν μεταξύ τους τα τρία p τροχιακά κάποιου κβαντικού αριθμού n;

Περίληψη κεφαλαίου

Η εικόνα που έδωσε ο Bohr για το άτομο του υδρογόνου δεν μπορούσε να επεκταθεί, ώστε να δικαιολογήσει τις ιδιότητες και ιδιαίτερα τα φάσματα, πολυπλοκοτέρων ατόμων. Οι επιστήμονες ήταν υποχρεωμένοι να υποθέσουν ότι τους έλειπε κάποιο βασικό χαρακτηριστικό της πραγματικής εικόνας. Όταν τα πειράματα επιβεβαίωσαν τη σκέψη του De Broglie, ότι το κινούμενο ηλεκτρόνιο εμφανίζει τις ιδιότητες των κυμάτων και δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί απλά ως ένα μικρό σωματίδιο με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο (όπως όριζε το πρότυπο του Bohr), ετέθησαν τα θεμέλια για μια ολοκληρωμένη θεωρία για τη δομή του ατόμου. Τις απαιτήσεις αυτές ικανοποίησε η κβαντομηχανική θεωρία.

Σύμφωνα με αυτήν, ο προσδιορισμός της θέσεως ενός ηλεκτρονίου μέσα σε ένα άτομο γίνεται από ένα τροχιακό. Το τροχιακό δεν μας πληροφορεί για το πού ακριβώς θα βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο σε δεδομένη χρονική στιγμή, ούτε και για τη διαδρομή που θα ακολουθήσει με ακρίβεια, αλλά μας πληροφορεί για το ποιες είναι οι περιοχές εκείνες γύρω από τον πυρήνα, όπου υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο. Τα τροχιακά κατατάσσονται, αρχικά, σύμφωνα με τον κύριο κβαντικό αριθμό τους, n. Για κάθε τιμή του n υπάρχουν n^2 τροχιακά. Για κάθε τιμή του n υπάρχει ένα s τροχιακό με σφαιρικό σχήμα. Για $n = 2$ και πάνω, υπάρχει ένα σύνολο τριών p τροχιακών. Κάθε p τροχιακό έχει το σχήμα ενός αλτήρα και εκτείνεται κατά μήκος ενός από τους τρεις καρτεσιανούς άξονες (x, y και z).

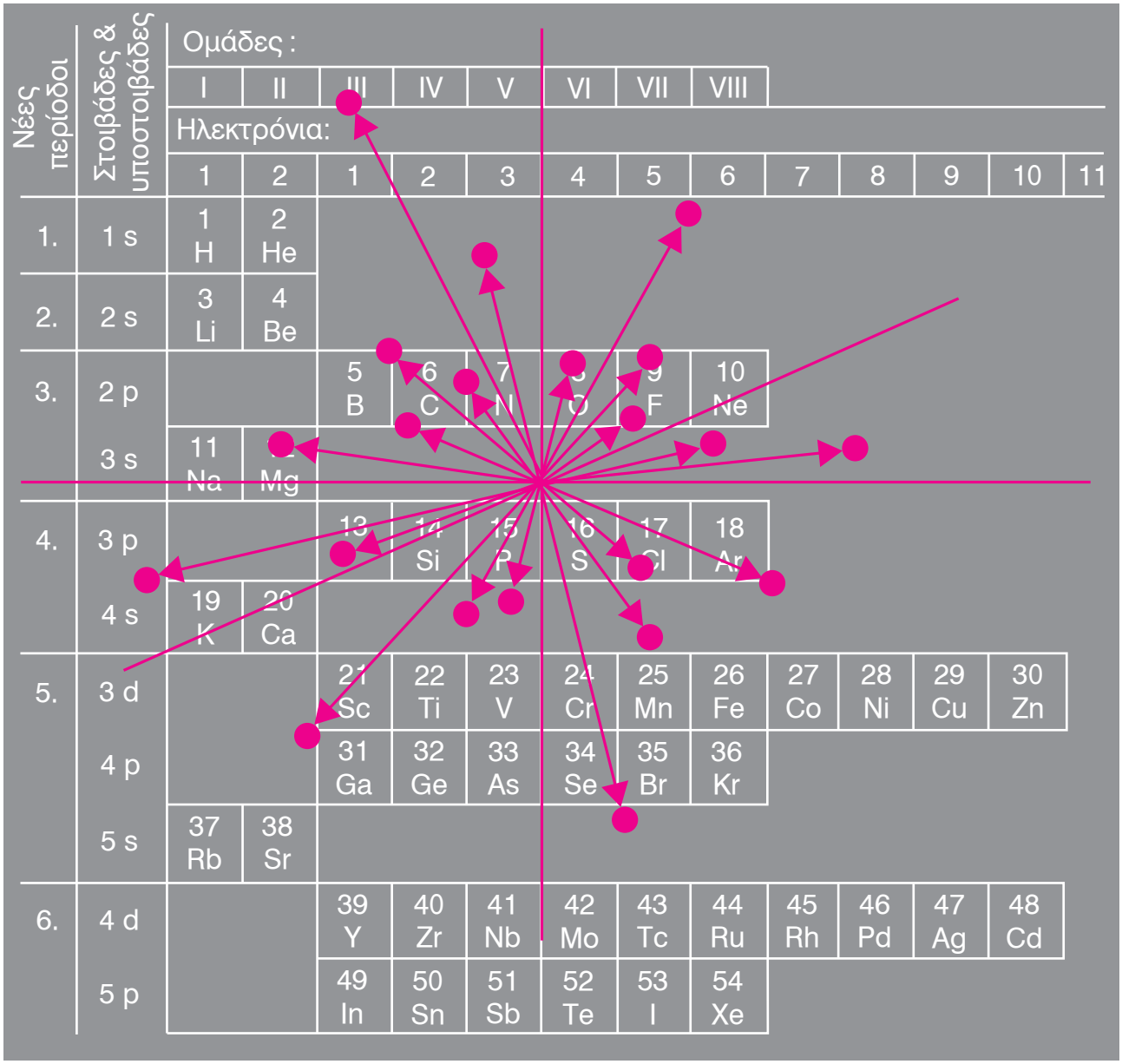
Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Γιατί απορρίφθηκε το ατομικό πρότυπο του Bohr;
2. Τι υπέθετε ο Bohr στο πρότυπό του, σχετικά με τη φύση των ηλεκτρονίων;
3. Σε τι διέφεραν οι ιδέες του de Broglie, σχετικά με το ηλεκτρόνιο, από αυτές του Bohr;
4. Πώς επιβεβαίωσαν οι Davisson και Germer τη θεωρία του de Broglie, σχετικά με τη φύση των ηλεκτρονίων; Ποιες ιδιότητες των ηλεκτρονίων είναι όμοιες με τις ιδιότητες μιας φωτεινής δέσμης;
5. Τι είναι στάσιμο κύμα; Τι συμβαίνει στις κορυφές και στις κοιλάδες ενός στάσιμου κύματος; Πώς βοήθησαν τα στάσιμα κύματα την τροποποίηση του προτύπου του Bohr για το άτομο του υδρογόνου;
6. Γιατί χρησιμοποιούμε τη λέξη ***κβαντομηχανική*** στη μελέτη της δομής των ατόμων; Εξηγήστε τόσο τον όρο ***κβάντουμ*** (quantum), όσο και τον όρο ***μηχανική***.

7. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στον κύριο κβαντικό αριθμό n ενός ατόμου και το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου;
8. Εξηγήστε προσεκτικά τη διαφορά ανάμεσα στους όρους ***τροχιά*** και ***τροχιακό***.
9. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στην πιθανότητα και την έννοια του τροχιακού;
10. Συγκρίνατε την πιθανότητα που έχει ένα ηλεκτρόνιο να βρεθεί σε μια απόσταση ίση με 1 Å από τον πυρήνα ενός ατόμου υδρογόνου με αυτήν του να βρεθεί σε απόσταση 2 Å από τον πυρήνα του ιδίου ατόμου.
11. Ας θεωρήσομε ότι δύο σφαίρες με αντίστοιχες ακτίνες r_1 και r_2 έχουν σχεδιασθεί έτσι, ώστε να έχουν ως κέντρο τους τον πυρήνα ενός ατόμου. Συγκρίνατε την πιθανότητα που έχει ένα ηλεκτρόνιο να βρεθεί στην επιφάνεια της σφαίρας με ακτίνα r_1 με την πιθανότητα που έχει ένα άλλο ηλεκτρόνιο να βρεθεί στην επιφάνεια της ίδιας σφαίρας. Συγκρίνατε επίσης την πιθανότητα που έχει ένα ηλεκτρόνιο να βρεθεί επάνω στην επιφάνεια της σφαίρας ακτίνας r_1 με αυτήν που έχει να βρεθεί επάνω στην επιφάνεια της σφαίρας με ακτίνα r_2.
12. Ποιο είναι το χαρακτηριστικό σχήμα όλων των s τροχιακών; Πόσα s τροχιακά είναι δυνατόν να υπάρχουν για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό;
13. Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός των p τροχιακών που είναι δυνατόν να υπάρχουν για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό; Σχεδιάστε τρεις κάθετους άξονες x, y, και z. Με βάση αυτούς, καταρτίστε ένα πρόχειρο σχέδιο των p τροχιακών που είναι δυνατά για ένα μόνο κύριο κβαντικό αριθμό.
14. Ποια είναι η σχέση ανάμεσα στον κύριο κβαντικό αριθμό και το μέγιστο αριθμό των τροχιακών που είναι δυνατόν να υπάρξουν σε αυτό το ενεργειακό επίπεδο; Πόσα τροχιακά είναι θεωρητικά δυνατόν να υπάρξουν για $n = 7$;
15. Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός πιθανών τροχιακών για κύριο κβαντικό αριθμό $n = 4$; Πόσα s, p d και f τροχιακά θα υπήρχαν σε αυτή την περίπτωση;
16. Προκειμένου για άτομα που βρίσκονται στην κατώτερη ενεργειακή στάθμη τους, η διάταξη των ηλεκτρονίων έχει γίνει σε s, p, d και f τροχιακά μόνο. Αν υπήρχε μια άλλη ομάδα τροχιακών, πιο ψηλά από τα f τροχιακά, πόσα θα ήταν τα τροχιακά που νομίζετε ότι θα την αποτελούσαν;
17. Πώς εξηγείτε το γεγονός ότι τα p τροχιακά βρίσκονται τοποθετημένα συμμετρικά γύρω από τον πυρήνα;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

Η ατομική βάση των περιοδικών ιδιοτήτων



Όπως μάθατε στο κεφάλαιο 8, ο περιοδικός πίνακας δημιουργήθηκε, για να συσχετίσει τις χημικές ιδιότητες των στοιχείων. Βασίσθηκε στην εμπειρία και η ταξινόμηση έγινε έτσι, ώστε να εναρμονίζεται η θεωρία με την πραγματικότητα, αλλά κανείς δεν γνώριζε γιατί αυτή ειδικά η ταξινόμηση συμφωνούσε με τα πραγματικά δεδομένα. Επειδή η χημική συμπεριφορά των ατόμων εξαρτάται από τη δομή τους, είναι ευνόητο ότι μια πλήρης και ορθή θεωρία για τη δομή των ατόμων θα μας βοηθήσει να κατανοήσομε τον περιοδικό πίνακα. Τώρα, έχοντας την εικόνα του ατόμου που μας δίνει η κβαντομηχανική (γνώση των τροχιακών και των κβαντικών αριθμών τους) μπορούμε να επιστρέψομε στον περιοδικό πίνακα ελπίζοντας ότι ίσως ανακαλύψομε γιατί αυτή η ιδιόμορφη ταξινόμηση συσχετίζει με επιτυχία τις ιδιότητες

Η δόμηση των πολυπλόκων ατόμων

13.1 Το άτομο του στοιχείου ήλιο και οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις.

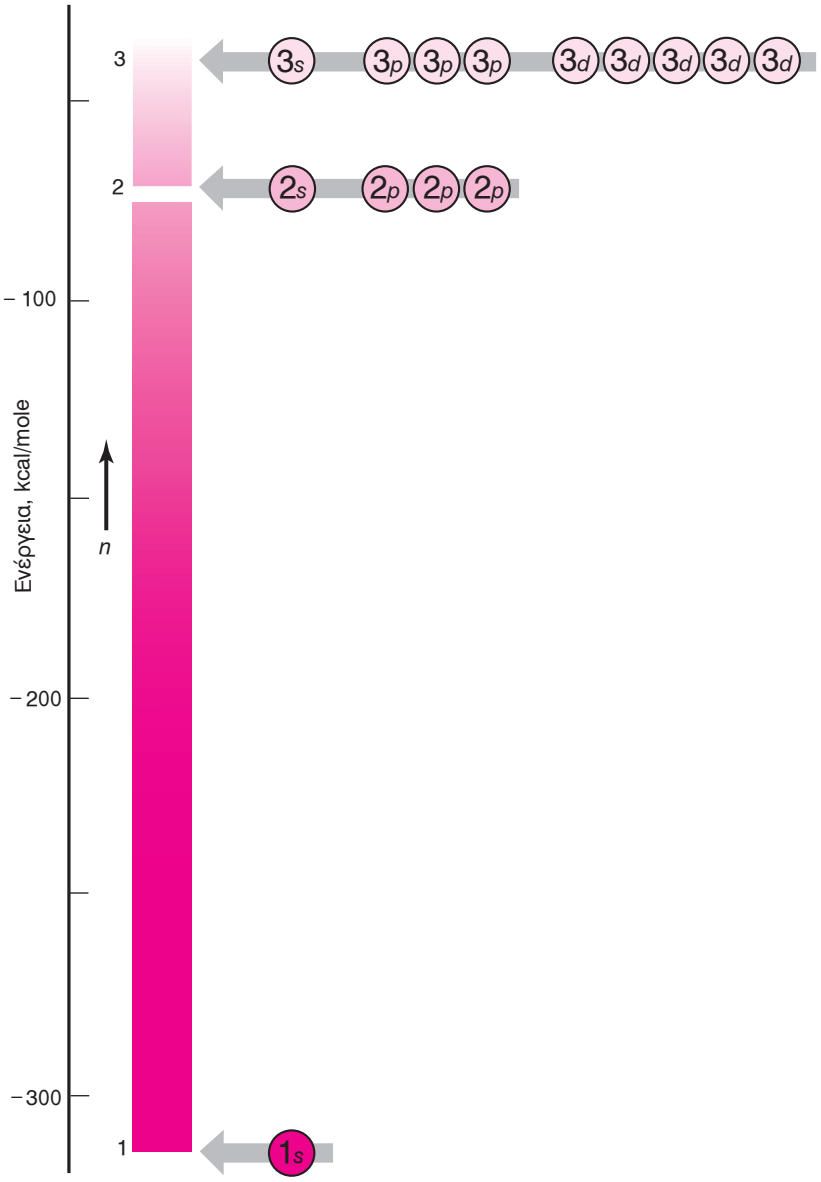
Τι συμβαίνει, όταν υπάρχουν δύο ή τρία ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα; Πώς ταξινομούνται; Ας ξεκινήσομε εξετάζοντας το επόμενο κατά σειρά πολυπλοκότητας άτομο μετά το υδρογόνο, που είναι το άτομο του ηλίου. Το άτομο του ηλίου έχει δύο πρωτόνια στον πυρήνα του και γι' αυτό υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια που πρέπει να κατέχουν τροχιακό γύρω από αυτόν. Η προσέγγιση αυτού του προβλήματος θα βασισθεί στη θέση ότι ένα ηλεκτρόνιο μέσα σε κάθε άτομο έχει στη διάθεσή του μία ομάδα τροχιακών όμοια με αυτές του ατόμου του υδρογόνου. Φυσικά, θα υπάρχουν και κάποιες διαφοροποιήσεις. Όταν υπάρχει μεγαλύτερο θετικό φορτίο στον πυρήνα η έλξη που ασκεί στα ηλεκτρόνια είναι μεγαλύτερη και αυτό έχει ως συνέπεια όλα τα τροχιακά να βρίσκονται σε χαμηλότερα ενεργειακά επίπεδα. Επίσης, όταν υπάρχουν δύο ή περισσότερα ηλεκτρόνια, το καθένα θα επηρεάζεται τόσο από την άπωση του άλλου ή των άλλων ηλεκτρονίων, όσο και από την έλξη του πυρήνα. Αυτό είναι δυνατόν να οδηγήσει σε κάποια τροποποίηση των τροχιακών ή σε μερικές μεταβολές στις σχετικές τους ενέργειες. Οπωσ-δήποτε όμως είναι λογικό να αναμένεται ανάλογη, αν και όχι ίδια, ομάδα τροχιακών σε όλα τα άτομα. Ας δεχθούμε αυτήν την άποψη και ας εξετάσομε πώς εφαρμόζεται. Δεχόμαστε λοιπόν ότι για κάθε άτομο τα πιο σταθερά από τα διαθέσιμα τροχιακά είναι αυτά που έχουν τη διάταξη του σχήματος 13-1.

Στις αμέσως επόμενες παραγράφους θα εξετάσομε τη διαδοχική προσθήκη ηλεκτρονίων στα άτομα. Αυτή η σταδιακή πορεία σχηματισμού των ατόμων δεν είναι δυνατόν βέβαια να γίνει πειραματικά. Είναι όμως πολύ χρήσιμο να γίνει έστω και νοερά. Τα ηλεκτρόνια θα προσδιορισθούν στα τροχιακά, με βάση όσα έχουν γίνει γνωστά από άλλα πειράματα.

Ας ξεκινήσομε με τον πυρήνα του ατόμου του ηλίου. Είναι βεβαίως το ίδιο με ένα σωματίδιο άλφα, που έχει φορτίο +2. Ας υποτεθεί ότι εισάγομε το πρώτο ηλεκτρόνιο και του επιτρέπομε να βρει το πιο σταθερό τροχιακό. Είναι φυσικά το 1*s* τροχιακό, ακριβώς όπως στο άτομο του υδρογόνου. Το γεγονός ότι ο πυρήνας του ατόμου του ηλίου έχει φορτίο +2 αντί για +1, καθιστά το 1*s* τροχιακό, που είναι και το πλησιέστερο προς τον πυρήνα, μια ακόμη περισσότερο σταθερή θέση γι' αυτό το ηλεκτρόνιο. Τώρα έχομε ένα ιόν ηλίου, He^+.

Στη συνέχεια ας υποθέσομε ότι προσθέτομε το δεύτερο ηλεκτρόνιο. Ίσως περιμένετε ότι και αυτό θα κατευθυνθεί στο 1*s* τροχιακό· πράγματι έτσι συμβαίνει. Προκειμένου γι' αυτό το δεύτερο ηλεκτρόνιο, το τροχιακό 1*s* είναι μια θέση λιγότερο ελκυστική από ό,τι ήταν για το πρώτο, επειδή είναι ήδη κατειλημμένη από ένα ηλεκτρόνιο. Τα δύο ηλεκτρόνια έχοντας το ίδιο φορτίο, απωθούνται μεταξύ τους. Οπωσδήποτε η έλξη του φορτίου +2 του πυρήνα είναι η πρωταρχική δύναμη. Έτσι, τα δύο ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν το 1*s* τροχιακό στην πιο σταθερή κατάσταση, τη ***«θεμελιώδη» κατάσταση*** του ατόμου του ηλίου.

Η ταξινόμηση των ηλεκτρονίων σε κάθε άτομο ή ιόν ονομάζεται ***«ηλεκτρονιακή διαμόρφωση»*** ή ***«διάταξη των ηλεκτρονίων»***. Υπάρχει ένας απλός εύχρηστος τρόπος, για να παραστήσομε τη διάταξη των ηλεκτρονίων. Αρχικά, γράφεται το



ΣΧΗΜΑ 13-1. *Οι σχετικές σταθερότητες των ατομικών τροχιακών στο άτομο του υδρογόνου μπορούν να χρησιμεύσουν ως σημείο αναφοράς για τη διάταξη των ηλεκτρονίων στα τροχιακά των άλλων στοιχείων.*

κανονικό σύμβολο για το κάθε κατειλημμένο τροχιακό, για παράδειγμα 1*s*, 3*p*, 3*d*. Αν σε αυτό το τροχιακό ή στην ομάδα των τροχιακών υπάρχουν περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια, το πλήθος τους γράφεται στο επάνω δεξιό μέρος του αριθμού που συμβολίζει το τροχιακό. Έτσι, αν υπάρχουν τέσσερα ηλεκτρόνια στα 3*d* τροχιακά, γράφομε $3d^4$.

Με τη βοήθεια αυτού του συστήματος η διαμόρφωση / διάταξη ηλεκτρονίων για τη θεμελιώδη κατάσταση του ατόμου ηλίου είναι $1s^2$. Η επόμενη πιο σταθερή διάταξη για το άτομο του ηλίου, σύμφωνα με το σχήμα 13-1, θα προέβλεπε ένα από τα ηλεκτρόνια τοποθετημένο στο αμέσως υψηλότερο τροχιακό. Αυτό (σύμφωνα με το όσα έχομε μάθει για το άτομο του υδρογόνου), θα ήταν το 2*s* ή ένα από τα 2*p* τροχιακά. Γι' αυτό λοιπόν οι επόμενες πιο σταθερές διατάξεις ηλεκτρονίων του ατόμου του ηλίου θα ήταν η 1*s*2*s* ή η 1*s*2*p*.

13.2 Το άτομο του λιθίου και η απαγορευτική αρχή.

Μετά το ήλιο, το επόμενο πιο πολύπλοκο

άτομο είναι το λίθιο. Το λίθιο έχει ατομικό αριθμό 3 και γι' αυτό ο πυρήνας του έχει φορτίο +3, ενώ τρία ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα τροχιακά του. Ποια είναι η πιο σταθερή διάταξη (θεμελιώδης κατάσταση) αυτών των ηλεκτρονίων;

Ασφαλώς μπορείτε να υποθέσετε ότι, καθώς προστίθενται ένα-ένα τα ηλεκτρόνια στον ακάλυπτο πυρήνα, το πρώτο, και στη συνέχεια το δεύτερο, θα κατευθυνθούν στο 1*s* τροχιακό, ακριβώς όπως και στην περίπτωση του ατόμου του ηλίου. Έχοντας αυτό το τόσο μεγάλο θετικό φορτίο (+3) στον πυρήνα, το τροχιακό 1*s* του ατόμου του λιθίου αποτελεί μια πολύ σταθερή θέση για το αρνητικό ηλεκτρόνιο. Έστω και αν υπάρχουν ήδη δύο ηλεκτρόνια εκεί, ίσως να σκεφθείτε ότι θα ήταν η θέση, στην οποία θα προτιμούσε να πάει και το τρίτο ηλεκτρόνιο. Στην πραγματικότητα όμως αυτό το τρίτο ηλεκτρόνιο δεν πηγαίνει στο 1*s* τροχιακό, αλλά καταλαμβάνει το 2*s* τροχιακό. Η διαμόρφωση της θεμελιώδους καταστάσεως του ατόμου του λιθίου είναι $1s^2 2s$. Το τρίτο ηλεκτρόνιο, έστω και αν θεωρητικά στο τροχιακό 1*s* θα είχε χαμηλότερη ενέργεια, δεν κατευθύνεται εκεί, αλλά στο αμέσως επόμενο τροχιακό χαμηλότερης ενέργειας. Φαίνεται ότι το τροχιακό 1*s* είναι ***πλήρες***, όταν περιέχει δύο ηλεκτρόνια. Αν συνεχίσομε να εξετάζομε τις διαμορφώσεις των ηλεκτρονίων των ατόμων, θα διαπιστώσομε ότι ο ίδιος νόμος εφαρμόζεται σε όλα τα τροχιακά όλων των ατόμων. Δεν υπάρχουν εξαιρέσεις. Ο γενικός κανόνας είναι:

Δεν είναι δυνατόν ένα ατομικό τροχιακό να περιέχει περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια.

Ο προηγούμενος κανόνας συχνά αναφέρεται ως ***«απαγορευτική αρχή του Pauli»***, προς τιμή του Αυστριακού φυσικού Wolfgang Pauli. Αυτός διαπίστωσε πρώτος ότι αυτός ο κανόνας αποτελεί ένα από τα κλειδιά για την κατανόηση της δομής των ατόμων.

Η απαγορευτική αρχή δεν έχει προέλθει φυσικά από τη κβαντομηχανική. Στην πραγματικότητα, κανείς δεν έχει εξηγήσει ακόμη γιατί θα ***έπρεπε να είναι έτσι***. Είναι γνωστό όμως από πειράματα ότι ***έτσι είναι***.

Μοιάζει λίγο με το φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο τα αντίθετα φορτία έλκονται. Κανείς δεν γνωρίζει γιατί, όλοι όμως ξέρουν ότι έτσι είναι.

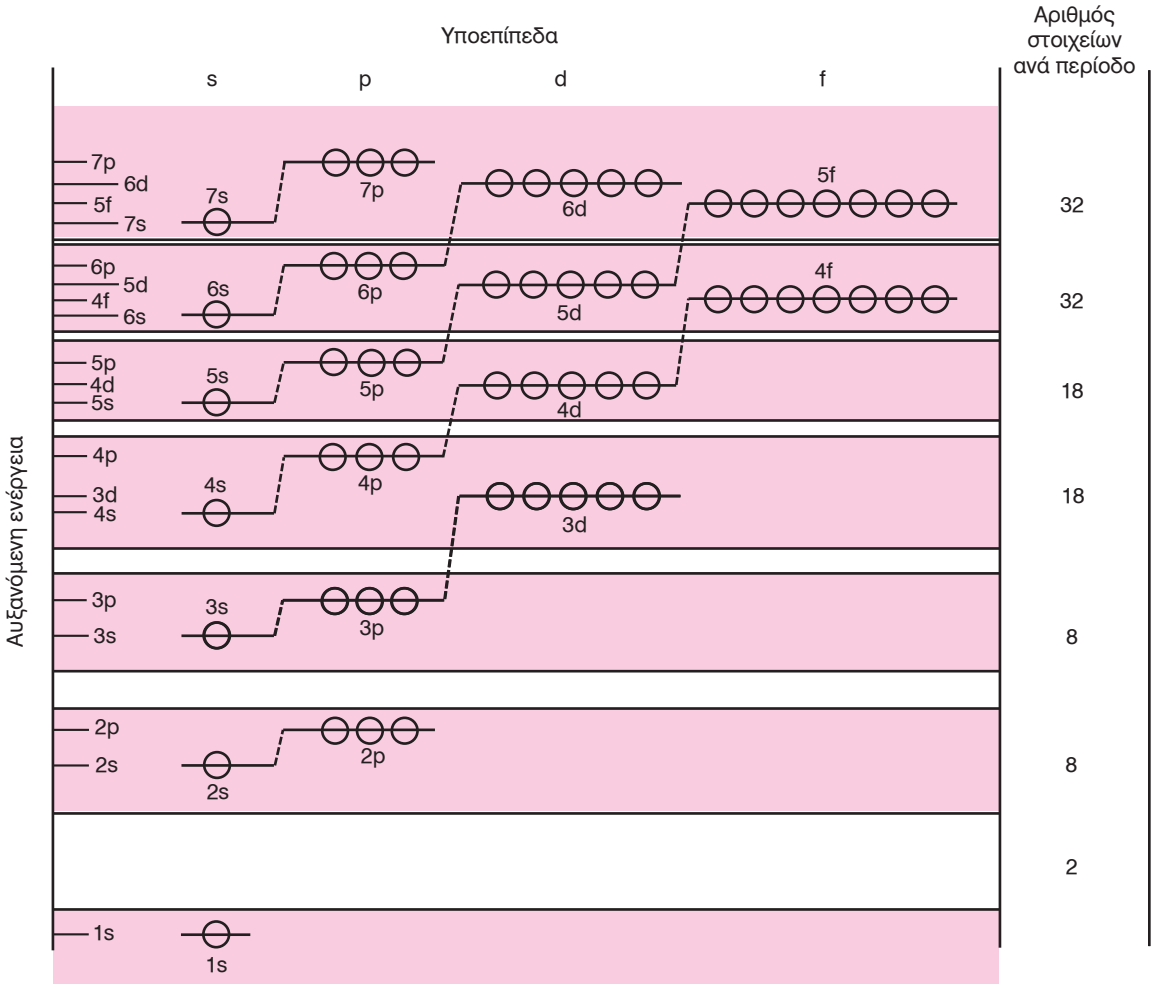
Ίσως να αναρωτηθήκατε γιατί το τρίτο ηλεκτρόνιο κατευθύνεται κατά προτίμηση στο 2*s* τροχιακό και όχι σε ένα από τα 2*p*. Σύμφωνα με το σχήμα 13-1, τα τροχιακά 2*s* και 2*p* φαίνεται να έχουν την ίδια ενέργεια. Στην περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου αυτό ισχύει. Όταν όμως υπάρχουν ήδη ηλεκτρόνια στο 1*s* τροχιακό, παύει να ισχύει. Εξ αιτίας του διαφορετικού τους σχήματος τα 2*s* και 2*p* τροχιακά υφίστανται διαφορετική επίδραση από την παρουσία των ηλεκτρονίων στο 1s τροχιακό. Τα τροχιακά 2*p* γίνονται λιγότερο σταθερά από το 2*s* τροχιακό. Κατ' αναλογία, τα 3*s* και 3*p* καθώς και τα 3*d* τροχιακά, παύουν να έχουν τις ίδιες ενέργειες, αν είναι κατειλημμένα τα χαμηλότερα τροχιακά. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο να κατασκευασθεί ένα νέο διάγραμμα, ώστε να αντικαταστήσει το σχήμα 13-1. Σε αυτό το νέο διάγραμμα (σχ. 13-2) φαίνονται οι σχετικές ενέργειες των τροχιακών, για την περίπτωση ατόμων που έχουν κατειλημμένα τροχιακά.

13.3 Άτομο με ατομικούς αριθμούς από τέσσερα μέχρι δέκα.

Έχετε τώρα τις απαραίτητες γνώσεις και πληροφορίες, για να γράφετε τις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις και σε άτομα ακόμη πιο πολύπλοκα. Ας εξετάσομε στη συνέχεια το στοιχείο με ατομικό αριθμό 4, το βηρύλλιο. Όπως ακριβώς στο He και στο Li, τα δύο πρώτα ηλεκτρόνια θα κατευθυνθούν στο πολύ σταθερό 1*s* τροχιακό. Το επόμενο ηλεκτρόνιο θα κατευθυνθεί στο τροχιακό 2*s*, ενώ το ίδιο θα κάνει και το τέταρτο ηλεκτρόνιο. Έτσι, η διαμόρφωση θα είναι $1s^2 2s^2$.

Τώρα που το τροχιακό 2*s* είναι επίσης πλήρες, τα επί πλέον ηλεκτρόνια πρέπει να κατευθυνθούν στα τροχιακά 2*p*. Γι' αυτό, το στοιχείο με ατομικό αριθμό 5, το βόριο, θα έχει τη διαμόρφωση $1s^2 2s^2 2p$. Υπάρχουν βέβαια τρία διαφορετικά 2*p* τροχιακά, είναι όμως όλα εξίσου σταθερά. Έτσι, το ηλεκτρόνιο 2*p* είναι δυνατόν να βρίσκεται σε οποιοδήποτε από αυτά και στην προκειμένη περίπτωση, δεν έχει σημασία σε ποιο ακριβώς.

Το στοιχείο με ατομικό αριθμό 6 είναι ο άνθρακας. Πρέπει να έχει δύο ηλεκτρόνια στα 2*p* τροχιακά του. Είναι γνωστό από πειράματα ότι αυτά τα δύο ηλεκτρόνια θα καταλάβουν διαφορετικά 2*p* τροχιακά, δεν έχει σημασία όμως ποια είναι αυτά τα δύο. Έτσι, η διαμόρφωση θα μπορούσε να είναι $2p_x\ 2p_y$, $2p_x 2p_z$ ή $2p_y 2p_z$. Αυθαίρετα η διαμόρφωση της θεμελιώδους καταστάσεως θα είναι $1s^2 2s^2 2p_x 2p_y$. Αν γράφαμε $1s^2 2s^2 2p^2$, δεν θα ήταν σαφές ότι τα δύο 2*p* ηλεκτρόνια δεν βρίσκονται στο ίδιο 2*p* τροχιακό.



ΣΧΗΜΑ 13-2. *Οι σχετικές ενέργειες των ατομικών τροχιακών, όπως εμφανίζονται στα άτομα με κατειλημμένα τροχιακά, σε αντιπαράθεση προς το άτομο του υδρογόνου. Οι χρωματιστές ταινίες περιλαμβάνουν ομάδες τροχιακών με παρόμοιες ενέργειες.*

Στο άτομο του αζώτου, με ατομικό αριθμό 7, υπάρχουν τρία 2*p* ηλεκτρόνια και καθένα από αυτά καταλαμβάνει διαφορετικό 2*p* τροχιακό. Η πλήρης ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του ατόμου του αζώτου είναι $1s^2 2s^2 2p_x 2p_y 2p_z$. Συνεχίζοντας με τον ίδιο τρόπο, μπορείτε να καταλήξετε στις παρακάτω διαμορφώσεις για τα τρία επόμενα στοιχεία.

Οξυγόνο	$1s^2$	$2s^2 2p_x^2 2p_y 2p_z$
Φθόριο	$1s^2$	$2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z$
Νέο	$1s^2$	$2s^2 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$

Στο στοιχείο νέο, όλα τα τροχιακά με κύριους κβαντικούς αριθμούς 1 και 2 είναι πλήρως κατειλημμένα. Ο τύπος αυτός της διαμορφώσεως των ηλεκτρονίων αποτελεί μια ***συμπληρωμένη στοιβάδα***. Σε αυτήν την ιδιαίτερη περίπτωση είναι η στοιβάδα του κύριου κβαντικού αριθμού 2 αυτή που μόλις συμπληρώθηκε. Το άτομο του ηλίου έχει επίσης διάταξη συμπληρωμένης στοιβάδας ($1s^2$).

13.4 Άτομα μετά το στοιχείο νέο.

Με τη βοήθεια του σχήματος 13-2 μπορείτε να συνεχίσετε τον προσδιορισμό της ηλεκτρονιακής διαμορφώσεως των ατόμων. Ας εξετάσομε τα άτομα με ατομικούς αριθμούς 11-18. Το στοιχείο με ατομικό αριθμό 11 είναι το νάτριο. Είναι φανερό ότι, αφού καταλάβουν τα 10 πρώτα ηλεκτρόνια τα 1*s*, 2*s* και 2*p* τροχιακά, όπως και στο νέο, το ενδέκατο ηλεκτρόνιο πρέπει να κατευθυνθεί στο 3*s* τροχιακό. Τελικά, το άτομο του νατρίου έχει τη διαμόρφωση $1s^2 2s^2 2p^6 3s$. Από εδώ και πέρα, είναι φανερό ότι ο τρόπος δομήσεως πρέπει να ακολουθεί την ίδια πορεία, σαν να επρόκειτο να συμπληρωθούν τα τροχιακά

2*s* και 2*p*. Οι διαμορφώσεις για τα στοιχεία με ατομικούς αριθμούς 11-18 είναι οι παρακάτω ([Ne] = $1s^2 2s^2 2p^6$):

Na	[Ne]$3s$
Mg	[Ne]$3s^2$
Al	[Ne]$3s^2 3p_x$
Si	[Ne]$3s^2 3p_x 3p_y$
P	[Ne]$3s^2 3p_x 3p_y 3p_z$
S	[Ne]$3s^2 3p_x^2 3p_y 3p_z$
Cl	[Ne]$3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z$
Ar	[Ne]$3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^2$

Και πάλι καταλήξαμε σε μια διαμόρφωση συμπληρωμένης στοιβάδας. Σε αυτήν ειδικά την περίπτωση, πρόκειται για τη διαμόρφωση του ατόμου του στοιχείου αργό. Όλα τα άτομα επάνω από το αργό έχουν αυτήν τη διαμόρφωση και επί πλέον ηλεκτρόνια σε ακόμη υψηλότερα τροχιακά. Από το σχήμα 13-2 μπορείτε να δείτε ότι τα δύο επόμενα στοιχεία μετά το αργό πρέπει να έχουν τις ακόλουθες διαμορφώσεις:

Κάλιο	[Ar]$4s$
Ασβέστιο	[Ar]$4s^2$

Αν όμως συνεχίσετε, θα διαπιστώσετε ότι συμβαίνει κάτι διαφορετικό. Αντί να προχωρήσομε στη διαμόρφωση [Ar]$4s^2 4p_x$ κατ' αναλογία των όσων συνέβησαν δύο φορές προηγουμένως, διαπιστώνομε ότι τώρα έρχονται στο προσκήνιο τα τροχιακά 3*d*. Τα τροχιακά 4*s*, 4*p* και 3*d* επηρεάζονται από την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του Ar έτσι, ώστε η ενέργειά τους να αυξάνεται κατά τη σειρά 4*s*, 3*d* και 4*p*, όπως φαίνεται και στο σχήμα 13-2. Έτσι, μετά το ασβέστιο, το επόμενο ηλεκτρόνιο θα καταλάβει ένα 3*d* τροχιακό. Το στοιχείο σκάνδιο έχει την ακόλουθη διομόρφωση:

Σκάνδιο [Ar]$4s^2 3d$

Μια ομάδα από *d* τροχιακά περιλαμβάνει πέντε τροχιακά εκ των οποίων το καθένα είναι ικανό να συγκρατήσει 2 ηλεκτρόνια. Ως εκ τούτου, ξεκινώντας από το σκάνδιο, προκύπτει μια σειρά 10 στοιχείων με διαμόρφωση ηλεκτρονίων από [Ar]$4s^2 3d$ μέχρι [Ar]$4s^2 3d^{10}$. Αφού συμπληρωθούν τα 3*d* τροχιακά, την επόμενη θέση παίρνουν τα 4*p* τροχιακά, και διά μέσου των επομένων έξι στοιχείων οι διαμορφώσεις προχωρούν από τον ψευδάργυρο, [Ar]$4s^2 3d^{10} 4p$, στο κρυπτό, [Ar]$4s^2 3d^{10} 4p^6$. Η διαμόρφωση συμπληρωμένης στοιβάδας του στοιχείου κρυπτό γράφεται για συντομία [Kr].

Αντιλαμβάνεστε εύκολα ότι μπορούμε να προχωρήσομε και πιο πάνω από το κρυπτό, με τη βοήθεια του σχήματος 13-2, ακριβώς όπως κάναμε μέχρις εδώ, και να οδηγηθούμε στην ηλεκτρονιακή διομόρφωση της θεμελιώδους καταστάσεως περισσοτέρων ατόμων. Δεν θα χάσομε χρόνο όμως γι' αυτό, επειδή προχωρήσαμε ήδη αρκετά μακριά προκειμένου να γίνουν σαφείς οι βασικοί κανόνες του παιχνιδιού. Το επόμενο μέλημά μας είναι να καταλάβομε πώς συνδέονται όλα αυτά με τον περιοδικό πίνακα.

Περίληψη.

Η ομάδα τροχιακών του ατόμου του υδρογόνου είναι και αφετηρία προκειμένου να οδηγηθούμε στην ηλεκτρονιακή διαμόρφωση όλων των άλλων ατόμων. Για την κατανόηση αυτών των σχηματισμών πρέπει να δεχθούμε δύο επί πλέον πράγματα. Το ένα είναι πως, όταν κάποια εσωτερικά τροχιακά είναι ήδη κατειλημμένα, επηρεάζονται οι ενέργειες των τροχιακών που βρίσκονται πολύ έξω από αυτά. Τα τροχιακά *ns*, *np*, *nd* και *nf*, έχουν όλα διαφορετικές ενέργειες από αυτήν των άλλων τροχιακών με τον ίδιο κύριο κβαντικό αριθμό, *n*. Το δεύτερο βασικό πράγμα που πρέπει να δεχθούμε είναι η απαγορευτική αρχή του Pauli, η οποία ορίζει ότι δεν είναι δυνατόν ένα τροχιακό να περιέχει περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Τι σημαίνει διαμόρφωση συμπληρωμένης στοιβάδας;
2. Γράψτε τις πρώτες τρεις διαμορφώσεις συμπληρωμένης στοιβάδας.
3. Γράψτε τις διαμορφώσεις των ατόμων με ατομικούς αριθμούς 28 και 34, χρησιμοποιώντας μόνο το σχήμα 13-2.
4. Ποιος είναι ο ατομικός αριθμός του ατόμου που έχει τη διαμόρφωση [Ne]$3s^2 3p$;

Ο περιοδικός χαρακτήρας των ηλεκτρονιακών διαμορφώσεων

13.5 Η περιοδική εμφάνιση της διαμορφώσεως συμπληρωμένων στοιβάδων.

Προηγουμένως μάθατε πως η διαδικασία της δομήσεως των ατόμων μας οδηγεί κάθε τόσο στην επίτευξη διομορφώσεως συμπληρωμένης στοιβάδας.

Ειδικότερα, αναφέρθηκε ότι αυτό συμβαίνει στις ακόλουθες θέσεις:

Ήλιο	$1s^2$ = He
Νέο	$1s^2 2s^2 2p^6$ = [He]$2s^2 2p^6$ = Ne
Αργό	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ = [Ne]$2s^2 2p^6$ = Ar
Κρυπτό	$1s^2\ 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2\ 3d^{10} 4p^6$ = = [Ar]$4s^2 3d^{10} 4p^6$ = Kr

Αν κοιτάξετε το σχήμα 13-2 βλέπετε καθαρά ότι κάθε μία από αυτές τις διαμορφώσεις συμπληρωμένης στοιβάδας έχει σχέση με τη συμπλήρωση της ομάδας τροχιακών που βρίσκονται μέσα σε μία από τις έγχρωμες ζώνες. Βλέπετε επίσης ότι μέσα στα πλαίσια αυτού του διαγράμματος πρέπει να περιμένετε δύο ακόμη διαμορφώσεις συμπληρωμένης στοιβάδας. Η μια από αυτές είναι το στοιχείο ξένο (ατομικός αριθμός 54) και η άλλη το ραδόνιο (ατομικός αριθμός 86).

Ας υποθέσομε τώρα ότι παίρνομε όλα τα στοιχεία μέχρι το ραδόνιο κατά τη σειρά του ατομικού τους αριθμού και τα τοποθετούμε σε οριζόντιες σειρές. Επίσης, ας υποθέσομε ότι κατατάσσομε τις σειρές αυτές έτσι, ώστε η τελευταία στήλη να περιέχει όλα εκείνα τα στοιχεία που έχουν διαμορφώσεις συμπληρωμένης στοιβάδας. Ο πίνακας που δημιουργείται είναι σαν αυτόν που δείχνει το σχήμα 13-3. Αν και το σχήμα του είναι λίγο ασύμμετρο στην πραγματικότητα έχει πάρα πολλές ομοιότητες με τη σύγχρονη ή «ανεπτυγμένη» μορφή του πίνακα του περιοδικού συστήματος (σχ. 8-8).

Θα ήταν εύκολο να γίνει ακριβώς όμοιο με τη μορφή του περιοδικού πίνακα που είναι σήμερα αποδεκτή, αν μετατοπίζονταν μερικά μόνο στοιχεία σε άλλες στήλες. Η μετατόπιση θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί με βάση την υπόθεση ότι οι ίδιες στήλες περιέχουν τα στοιχεία με τις περισσότερο συγγενικές ιδιότητες. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το λίθιο και το νάτριο κατατάσσονται μαζί με το κάλιο (K), το ρουβίδιο

																H	He
																1	2
										Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
										3	4	5	6	7	8	9	10
										Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
										11	12	13	14	15	16	17	18
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86

[*] = [La 57 – Lu 71]

ΣΧΗΜΑ 13-3. *Πίνακας των στοιχείων, που προέκυψε από την κατάταξή τους κατά σειρά ατομικού αριθμού. Όλα όσα έχουν διαμόρφωση συμπληρωμένης στοιβάδας βρίσκονται στη δεξιά στήλη. Διαπιστώνετε ότι δεν έχουν μείνει κενά.*

H																	He
1																	2
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	4											5	6	7	8	9	10
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
11	12											13	14	15	16	17	18
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86

$[*]=[{}^{La}_{57} - {}^{Lu}_{71}]$

ΣΧΗΜΑ 13-4. *Ένας πίνακας όμοιος με αυτόν του σχήματος 13-3, με τη διαφορά ότι ορισμένα στοιχεία έχουν μετατοπισθεί έτσι, ώστε τα στοιχεία με παρόμοιες ιδιότητες (δηλαδή της ίδιας «οικογένειας» όπως τα αλκάλια) να τοποθετούνται στις ίδιες στήλες, δημιουργώντας έτσι κάποια κενά.*

(Rb), και το καίσιο (Cs). Ανάλογα, το βηρύλλιο και το μαγνήσιο μοιάζουν με το ασβέστιο (Ca), το στρόντιο (Sr) και το βάριο (Ba) περισσότερο από ό,τι ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd) και ο υδράργυρος (Hg). Το υδρογόνο, επειδή είναι το ελαφρύτερο από τα στοιχεία και το μόνο που δεν διαθέτει άλλα ηλεκτρόνια εκτός από αυτό το μοναδικό το οποίο και προσφέρει για το σχηματισμό δεσμών με τα άλλα άτομα, δεν μοιάζει στην πραγματικότητα ***πολύ*** με ***κανένα*** από τα άλλα στοιχεία. Εν τούτοις, για πολλούς λόγους, θα είναι πιο σωστό να καταταγεί μαζί με τα μέταλλα των αλκαλίων (Li-Cs) από ό,τι με τα αλογόνα (F-At) ή με κάποια άλλη οικογένεια. Γι' αυτό τοποθετείται στην πρώτη στήλη. Αφού γίνουν αυτές οι μετατοπίσεις, οι οποίες στην πραγματικότητα δεν μεταβάλλουν τη σειρά της κατατάξεως, καταλήγομε στη διάταξη του σχήματος 13-4. Αυτή η μορφή είναι ακριβώς ίδια με τη σύγχρονη «αναπτυγμένη μορφή» του περιοδικού πίνακα.

Έγινε πια σαφές ότι η περιοδική επανεμφάνιση των συμπληρωμένων στοιβάδων ηλεκτρονίων αποτελεί μια βάση για τη δημιουργία ολόκληρου του περιοδικού πίνακα.

13.6 Οι ιδιότητες μεταβάλλονται περιοδικά ανάλογα με τον ατομικό αριθμό.

Θα θυμάστε από το κεφάλαιο 8 ότι ο Mendeleev κατέληξε στον πραγματικό περιοδικό του πίνακα, κατατάσσοντας τα στοιχεία κατά αύξουσα ατομική μάζα. Επίσης, θα θυμάστε ότι δεν ήταν τότε γνωστή η έννοια του ατομικού αριθμού και ότι η κατάταξη με βάση την ατομική μάζα δημιουργούσε κάποιες δυσκολίες. Κάποια ζεύγη στοιχείων, για παράδειγμα το ιώδιο και το τελλούριο, εμφανίζονταν να έχουν την ανάστροφη σειρά από αυτήν που υπαγόρευαν οι χημικές τους ιδιότητες. Όπως μπορείτε να δείτε και στο σχήμα 13-3, η κατάταξη κατά τη σειρά του ατομικού αριθμού δεν δημιουργεί καμιά απολύτως τέτοια δυσκολία. Κάθε στοιχείο τοποθετείται στη στήλη που ανήκει με βάση τις χημικές και φυσικές του ιδιότητες. Είναι προφανές ότι ο ατομικός αριθμός (όχι η ατομική μάζα) και οι διαμορφώσεις των ηλεκτρονίων είναι αυτά που δημιουργούν τη βάση για τις χημικές ιδιότητες ενός στοιχείου και κατά συνέπεια για τη θέση του στον περιοδικό πίνακα. Αυτό το ανακάλυψε ένας νεαρός Άγγλος επιστήμονας, ο Henry Moseley, λίγο πριν τον πόλεμο του 1914-1918, κατά τη διάρκεια του

οποίου πέθανε.

Γιατί άραγε μια κατάταξη που έχει ως βάση την ατομική μάζα δίνει ένα **σχεδόν** τέλειο περιοδικό πίνακα; Είναι δυνατόν να δοθεί απάντηση αν ληφθούν υπόψη τα ισότοπα των διαφόρων στοιχείων. Τα περισσότερα στοιχεία απαντούν στη φύση ως μίγματα ισοτόπων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ατομική μάζα που έχει βρεθεί γι' αυτά να είναι ο μέσος όρος των ατομικών μαζών των διαφόρων ισοτόπων. Ένα ανάλογο παράδειγμα αποτελεί η κατανομή των μαθητών διαφόρων ηλικιών σε μια τάξη γυμνασίου ενός αμερικανικού σχολείου. Όπως ίσως γνωρίζετε, στην Αμερική τα παιδιά κατατάσσονται στις διάφορες σχολικές τάξεις όχι με βάση την ηλικία, αλλά με βάση τις γνώσεις τους και την ικανότητά τους να μαθαίνουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στην τρίτη τάξη ενός γυμνασίου η κατανομή ηλικιών να είναι αυτή που παρουσιάζει ο σχετικός πίνακας παραπλεύρως. Η μέση ηλικία των μαθητών δεν θα είναι απαραίτητα ακέραιος αριθμός.

Η μέση ηλικία υπολογίζεται έτσι:

$$(0,05)14 + (0,05)15 + (0,60)16 + (0,15)17 + \\ + (0,05)18 + (0,10)19 = 16,4$$

Κατ' αναλογία, το τελλούριο που απαντά στη φύση, αποτελείται από την εκατοστιαία κατανομή ισοτόπων, που αναφέρονται στον πίνακα 13.1.

Αν υπολογισθεί ο μέσος όρος των κλασμάτων της πραγματικής μάζας του κάθε ισοτόπου ως προς την εκατοστιαία του αναλογία, όπως έγινε και στο προηγούμενο παράδειγμα, θα προκύψει ότι η μέση ατομική μάζα είναι 127,6.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η πραγματική μάζα του κάθε ισοτόπου είναι λίγο μικρότερη από το μαζικό αριθμό του. Υπενθυμίζεται εδώ ότι ο μαζικός αριθμός ισούται με το συνολικό αριθμό των νετρονίων και των πρωτονίων του πυρήνα. Οι πραγματικές μάζες αυτών των σωματιδίων είναι ελάχιστα μικρότερες από τη μονάδα ατομικής μάζας. Γι' αυτό και η πραγματική μάζα ενός ισοτόπου είναι ελάχιστα μικρότερη από το μαζικό αριθμό του.

Μαθητές στην τάξη	Ποσοστό στην τάξη
δεκατετράχρονοι	5%
δεκαπεντάχρονοι	5%
δεκαεξάχρονοι	60%
δεκαεπτάχρονοι	15%
δεκαοχτάχρονοι	5%
δεκαεννιάχρονοι	10%

Το στοιχείο ιώδιο είναι ένα από τα λίγα που απαντούν στη φύση αποκλειστικά με τη μορφή ενός ισοτόπου ^{127}I. Γι' αυτό η μέση ατομική μάζα του ισούται ακριβώς με τη μάζα αυτού του ενός ισοτόπου που είναι 126,9.

Από το παράδειγμα αυτό συμπεραίνετε ότι η ακριβής τιμή της μέσης ατομικής μάζας για κάθε στοιχείο δεν έχει άμεση σχέση με τον ατομικό αριθμό του ή τη διαμόρφωση των ηλεκτρονίων του. Η μέση τιμή λοιπόν της ατομικής μάζας δεν είναι κατάλληλη και αξιόπιστη βάση για την περιοδικότητα του στοιχείου. Ήταν τύχη για τον Mendeleev και τους συγχρόνους του το ότι η ατομική μάζα σε γενικές γραμμές βαδίζει παράλληλα με τον ατομικό αριθμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.1.

Τα ισότοπα του στοιχείου τελλούριο που απαντούν στη φύση.

Μαζικός αριθμός Μ, του ισοτόπου	Εκατοστιαία αναλογία ισοτόπων με μαζικό αριθμό Μ	Ατομική μάζα ισοτόπου
120	0,089	119,9
122	2,46	121,9
123	0,87	122,9
124	4,61	123,9
125	6,99	124,9
126	18,71	125,9
128	31,79	127,9
130	34,48	129,9

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

13.7 Η διαλυτότητα των αλάτων: Αναζήτηση κάποιου προτύπου.

Με την ανάπτυξη του περιοδικού πίνακα και την οργάνωση των στοιχείων σε οικογένειες, οι επιστήμονες άρχισαν να μελετούν τις χημικές και τις φυσικές ιδιότητες πολλών χημικών ενώσεων, για να μάθουν αν μεταβάλλονται αυτές οι ιδιότητες κατά κάποιο σχετικό τρόπο. Σε μερικές περιπτώσεις, οι ιδιότητες ενώσεων που προέρχονται από στοιχεία μιας οικογένειας, μεταβάλλονται κατά τρόπο που ήταν δυνατόν να προβλεφθεί πολύ εύκολα. Σε άλλες περιπτώσεις όμως εμφανίζονται μεγάλες διαφορές. Μια εξέταση αυτών των διαφορών εξασφαλίζει μια βαθύτερη κατανόηση της δομής των ενώσεων και της επιδράσεως που πιθανόν να είχαν οι δομές αυτές στη συμπεριφορά τους, κάτω από διάφορες συνθήκες.

Μια ιδιότητα που είναι εύκολα συγκρίσιμη σε πολλές ουσίες είναι η διαλυτότητα στο νερό. Διαλυτότητα είναι η ποσότητα της ουσίας, η οποία θα διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα ενός υγρού (του διαλύτη), σε μια καθορισμένη θερμοκρασία.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα μετρήσετε τη διαλυτότητα σε νερό και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δύο σειρών ενώσεων. Η πρώτη σειρά θα περιλαμβάνει τέσσερα άλατα, που έχουν σχηματισθεί από την αντίδραση νατρίου με καθένα από τα στοιχεία της οικογένειας των αλογόνων (φθόριο, χλώριο, βρώμιο και ιώδιο). Η δεύτερη σειρά θα αποτελείται από τέσσερα άλατα, που σχηματίσθηκαν από την αντίδραση καλίου με τα ίδια στοιχεία της οικογένειας των αλογόνων.

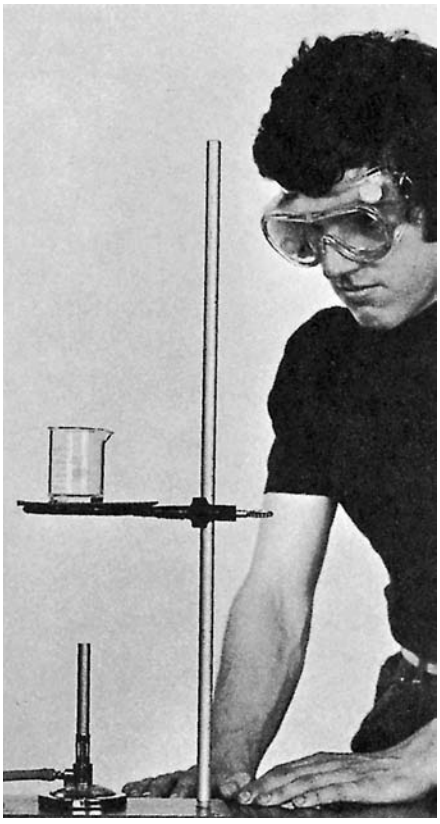
ΥΛΙΚΑ

Ογκομετρικός κύλινδρος των 10 ml
Ποτήρι ζέσεως των 100 ml
Ζυγός
Κομματάκια πορσελάνης
Στήριγμα δακτυλίων, δακτύλιος
10 ml κορεσμένου διαλύματος αλογονούχου νατρίου ή καλίου
Μεταλλικό πλέγμα αμιάντου
Λύχνος
Χαρτί σχεδιάσεως (milimetre)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Θα μετρηθεί η διαλυτότητα καθεμιάς από τις παρακάτω ενώσεις: NaF, NaCl, NaBr, NaI, KF, KCl, KBr, KI. Πριν την έναρξη της εκτελέσεως της εργαστηριακής ασκήσεως ο καθηγητής πρέπει να έχει ετοιμάσει κορεσμένα διαλύματα αυτών των ενώσεων. Μπορείτε να θεωρήσετε ότι, όταν τα χρησιμοποιείτε, βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου. Όταν ολοκληρωθεί η πειραματική εργασία, ο κάθε μαθητής θα αναφέρει τη διαλυτότητα της ενώσεώς του. Στη συνέχεια, θα υπολογισθεί μια μέση τιμή για την κάθε ένωση.

1. Τοποθετήστε ένα κομμάτι πορσελάνης σε ένα καθαρό-ξηρό ποτήρι των 100 ml. Υπολογίστε τη μάζα του ποτηριού και του κομματιού πορσελάνης με ακρίβεια 0,01 g.
2. Με τη βοήθεια ενός ογκομετρικού κυλίνδρου μετρήστε 8-10 ml του διαλύματος που σας αντιστοιχεί και αδειάστε το στο ποτήρι. Σημειώστε τη θερμοκρασία δωματίου και το χημικό τύπο της ενώσεως.
3. Υπολογίστε τη συνολική μάζα του ποτηριού, της πορσελάνης και του διαλύματος.
4. Τοποθετήστε το ποτήρι και το περιεχόμενό του επάνω στο μεταλλικό πλέγμα αμιάντου και αυτό στο δακτύλιο, που είναι επάνω από το λύχνο,



ΣΧΗΜΑ 13-5.

όπως δείχνει το σχήμα 13-5. Θερμάνατε πολύ ελαφρά, ώστε να εξατμισθεί όλος ο διαλύτης χωρίς εκτινάξεις.

5. Όταν σας φανεί ότι είναι στεγνό το ποτήρι, θερμάνατε ισχυρά 2-3 λεπτά, για να βεβαιωθείτε ότι έφυγε όλη η υγρασία.
6. Σβήστε το λύχνο και αφήστε το ποτήρι να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου. Βρείτε τη νέα μάζα του ποτηριού και του περιεχομένου του με ακρίβεια 0,01 g.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πρέπει να ετοιμάσετε έναν πίνακα στο τετράδιό σας, για να καταγράψετε τα αποτελέσματά σας (δείτε την παρακάτω κατάταξη). Ετοιμάστε επίσης έναν πίνακα, για να καταγράψετε τα αποτελέσματα των συμμαθητών σας (δείτε το υπόδειγμα του πίνακα που ακολουθεί).

Θερμοκρασία δωματίου °C
Χημικός τύπος της ουσίας που χρησιμοποιήσατε

Πριν τη θέρμανση.
Μάζα ποτηριού, πορσελάνης και διαλύματος (g).
Μάζα κενού ποτηριού και πορσελάνης (g).
Μάζα αρχικού διαλύματος (g).
Μάζα ξηρού στερεού (g).

Μετά τη θέρμανση.
Μάζα ποτηριού, πορσελάνης και ξηρού στερεού (g).
Μάζα κενού ποτηριού και πορσελάνης (g).

Πίνακας για την καταγραφή των αποτελεσμάτων της τάξεως.

Χημική ένωση	Διάφορες διαλυτότητες (moles/100 g H_2O)	Μέση διαλυτότητα (moles/100 g H_2O)
(1) Naf		

Υπολογισμοί.

Η διαλυτότητα της κάθε ουσίας θα προσδιορισθεί σε moles αυτής διαλυμένα σε 100 γραμμάρια νερού.

1. Για να υπολογίσετε τη μάζα του νερού του διαλύματός σας, αφαιρέστε τη μάζα του ξηρού στερεού που απέμεινε μετά την εξάτμιση, από την αρχική μάζα του διαλύματος.
2. Διαιρέστε τη μάζα του ξηρού στερεού που απέμεινε με τη γραμμομοριακή μάζα της ουσίας που χρησιμοποιήσατε. Αυτό θα σας δώσει τα moles της ουσίας που διαλύθηκαν στο αρχικό διάλυμα.
3. Υπολογίστε τα moles της ενώσεως ανά 100 γραμμάρια νερού, από τα moles της ενώσεως και τη μάζα του νερού που υπήρχαν στο αρχικό δείγμα.
4. Σημειώστε τις διαλυτότητες (στον πίνακα που έχετε ετοιμάσει) που βρήκαν όλοι οι συμμαθητές σας για τις ενώσεις που εξετάσθηκαν. Αν κάποια τιμή σε μια από αυτές τις ομάδες εμφανίζει μεγάλη διαφορά από τις άλλες τιμές της ίδιας ομάδας, θα πρέπει να ρωτήσετε τον καθηγητή σας αν θα πρέπει να τη συμπεριλάβετε κατά τον υπολογισμό της μέσης διαλυτότητας, ή αν θα πρέπει να την αγνοήσετε θεωρώντας το αποτέλεσμα λανθασμένο.
5. Ετοιμάστε μια γραφική παράσταση, που να δείχνει στον κατακόρυφο άξονα (τεταγμένη) τον αριθμό των moles της ουσίας ανά 100 γραμμάρια

νερού και στον οριζόντιο άξονα (τετμημένη) τις γραμμομοριακές μάζες των ενώσεων. Σημειώστε τι ακριβώς απεικονίζει ο κάθε άξονας.
6. Βρείτε το σημείο του διαγράμματος, στο οποίο αντιστοιχεί η μέση διαλυτότητα της κάθε ενώσεως ως προς τη γραμμομοριακή μάζα της. Δίπλα από το κάθε σημείο του διαγράμματος γράψτε το χημικό τύπο της κάθε ενώσεως.
7. Ενώστε τα τέσσερα σημεία που αναφέρονται στις ενώσεις του νατρίου διαδοχικά με ευθείες γραμμές. Επαναλάβατε το ίδιο και για τις ενώσεις του καλίου.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ποιες ομοιομορφίες εμφανίζονται στο διάγραμμά σας;
2. Υπάρχουν κάποιες ανομοιομορφίες στα αποτελέσματά σας;
3. Ποιες ιδιότητες των ενώσεων είναι δυνατόν να επηρεάσουν τον τρόπο με τον οποίο διαλύονται στο νερό;
4. Σε ποια οικογένεια στοιχείων ανήκουν το νάτριο και το κάλιο;
5. Τι δείχνει αυτό το πείραμα σχετικά με την ικανότητά σας να προβλέπετε ιδιότητες ενώσεων, που έχουν σχηματισθεί από στοιχεία μιας ορισμένης οικογένειας;

13.8 Οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις συνδέονται άμεσα με τις ιδιότητες.

Η γνώση της ηλεκτρονιακής διαμορφώσεως των ατόμων των διαφόρων στοιχείων μας βοηθά να κατανοήσομε το λόγο υπάρξεως του περιοδικού πίνακα καθώς και το γιατί υπάρχουν περίοδοι διαφορετικού μήκους. Εκτός αυτών, μας επιτρέπει ακόμη να αντιληφθούμε όχι μόνο γιατί μοιάζουν μεταξύ τους τα στοιχεία κάποιας ομάδας, αλλά και γιατί οι ιδιότητες τις οποίες παρουσιάζουν εμφανίζονται σε αυτήν την ομάδα και όχι σε κάποια άλλη.

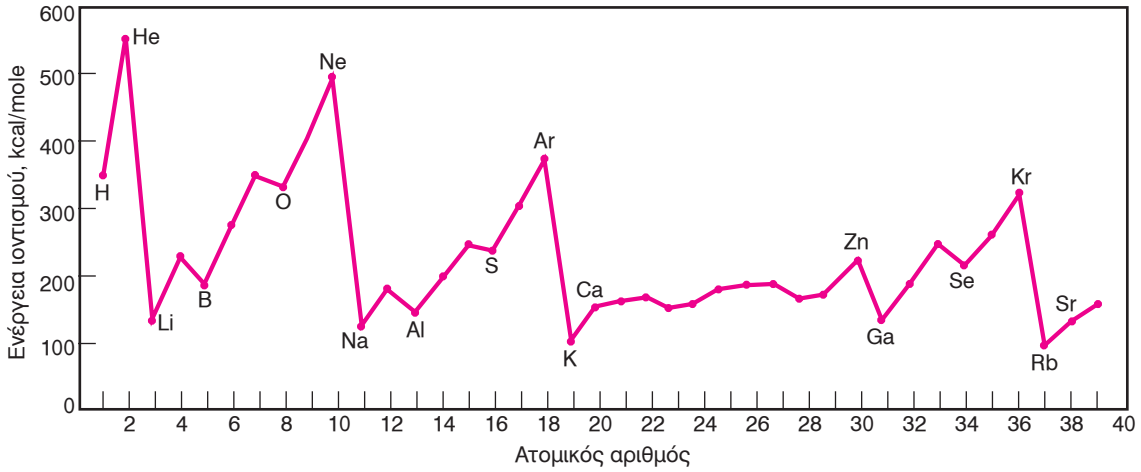
Τα ευγενή αέρια έχουν ως κύρια ιδιότητα την αδράνειά τους, δηλαδή μια πολύ περιορισμένη τάση για σχηματισμό ενώσεων με άλλα στοιχεία. Οι διατάξεις των ηλεκτρονίων τους, όπως θα δείτε σε λίγο, θα σας οδηγούσαν στην πρόβλεψη αυτής της συμπεριφοράς. Εξάλλου, τα μέταλλα των αλκαλίων και τα αλογόνα είναι εξαιρετικά δραστικά. Και εδώ, οι διατάξεις των ηλεκτρονίων τους θα σας βοηθούσαν να το προβλέψετε.

Για να κατανοήσετε το λόγο που αυτές οι ιδιότητες είναι δυνατόν να προβλεφθούν από τις διατάξεις των ηλεκτρονίων, πρέπει πρώτα να ξαναθυμηθούμε την έννοια των ιόντων. Τα ιόντα είναι άτομα που έχουν περισσότερα ή λιγότερα ηλεκτρόνια από αυτά που θα είχαν αν ήταν ουδέτερα. Ένα θετικό ιόν, ή κατιόν, σχηματίζεται με την απομάκρυνση ενός η περισσοτέρων ηλεκτρονίων από ένα ουδέτερο άτομο. Ένα αρνητικό ιόν, ή ανιόν, σχηματίζεται με την προσθήκη ενός ή περισσοτέρων ηλεκτρονίων σε ένα ουδέτερο άτομο. Ας εξετάσομε τη διαδικασία σχηματισμού ενός θετικού ιόντος. Για παράδειγμα τα άτομα του νατρίου σχηματίζουν εύκολα ιόντα σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$Na \rightarrow Na^+ + e^-$$

Για να αποσπασθεί το ηλεκτρόνιο από το άτομο του νατρίου, θα πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια. Η ενέργεια που απαιτείται ονομάζεται «ενέργεια ιονισμού» και συμβολίζεται συνήθως με το σύμβολο *I*.

Αν επανεξετάσετε το σχήμα 11-24α, θα δείτε ότι (καθώς αυξάνονται βαθμιαία οι αριθμοί των επιπέδων) η καμπύλη που σχηματίζεται ενώνοντας τα σημεία τομής της ενέργειας που διαθέτει κάθε γραμμή του φάσματος υδρογόνου με τον αριθμό του αντίστοιχου επιπέδου, τείνει να γίνει οριζόντια και πλησιάζει ασυμπτωτικά την τιμή των 313,6 χιλιοθερμίδων ανά mole. Είναι φανερό ότι η αύξηση του αριθμού των επιπέδων στο άπειρο έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου από το άτομο. Επειδή ως ***ενέργεια ιονισμού*** ορίζεται η ενέργεια που χρειάζεται, για να απομακρυνθεί ένα ηλεκτρόνιο από ένα άτομο, η ενέργεια ιονισμού του υδρογόνου θα είναι 313,6 χιλιοθερμίδες ανά mole. Μετρήσεις των γραμμών του φάσματος καθε στοιχείου είναι δυνατόν να χρησιμεύσουν (κατ' ανάλογο τρόπο) για τον υπολογισμό της ενέργειας ιονισμού του. Έχουν μετρηθεί οι ενέργειες ιονισμού όλων των ατόμων. Αν



ΣΧΗΜΑ 13-6. *Οι ενέργειες ιονισμού των ατόμων ποικίλλουν αισθητά. Έχουν υψηλές τιμές και σχηματίζουν κορυφές στη θέση των ευγενών αερίων και χαμηλότερες τιμές στα μέταλλα των αλκαλίων.*

σημειωθούν οι θέσεις τους ως προς τους ατομικούς αριθμούς των πρώτων 38 στοιχείων, θα προκύψει μια ενδιαφέρουσα γραφική παράσταση (σχ. 13-6). Αν και υπάρχουν αρκετές ανωμαλίες και προεξοχές, η γραφική παράσταση έχει ένα ευδιάκριτο κύριο σχήμα. Έχει κορυφές (μέγιστα) στις θέσεις όλων των ευγενών αερίων και χαμηλά σημεία (ελάχιστα) σε όλα τα μέταλλα των αλκαλίων. Οι ιδιότητες αυτές έχουν σχέση με την ηλεκτρονιακή τους διαμόρφωση.

Ας επιστρέψομε για λίγο στο διάγραμμα της ενέργειας των ηλεκτρονίων του σχήματος 13-2. Παρατηρούμε ότι κάθε ευγενές αέριο διαθέτει μια συμπληρωμένη ομάδα τροχιακών με όμοιες ενέργειες. Δηλαδή όλα τα τροχιακά που βρίσκονται μέσα στην ίδια χρωματιστή ζώνη είναι συμπληρωμένα. Μια ομάδα αυτού του τύπου, με απόλυτα συμπληρωμένα τροχιακά, η οποία χαρακτηρίζεται και ως έχουσα διάταξη συμπληρωμένης στοιβάδας, είναι εξαιρετικά σταθερή. Όπως φαίνεται και από τις υψηλές ενέργειες ιονισμού των ατόμων των ευγενών αερίων, είναι πολύ δύσκολο να μεταβάλομε μια τέτοια ομάδα μετακινώντας από αυτήν ένα ηλεκτρόνιο.

Μετά από κάθε ευγενές αέριο υπάρχει ένα άτομο, που περιέχει ένα επί πλέον ηλεκτρόνιο από τον αριθμό εκείνου που χρειάζεται για να δώσει την πολύ σταθερή συμπληρωμένη ομάδα. Όπως δείχνει και το σχήμα 13-2, αυτό το επί πλέον ηλεκτρόνιο θα πρέπει να τοποθετηθεί αρκετά πιο ψηλά, στην επόμενη ενεργειακή ζώνη. Εκεί συγκρατείται αρκετά χαλαρά και δεν χρειάζεται πολλή ενέργεια προκειμένου να μετακινηθεί. Ένα άτομο με ηλεκτρόνια τοποθετημένα κατ' αυτόν τον τρόπο έχει χαμηλή αρχική ενέργεια ιονισμού. ***Αρχική ενέργεια ιονισμού*** λέγεται η ενέργεια που χρειάζεται, για να μετακινηθεί ένα ηλεκτρόνιο. Όταν μετακινηθεί το πρώτο ηλεκτρόνιο από κάποιο άτομο που στον περιοδικό πίνακα ακολουθεί ένα ευγενές αέριο, δημιουργείται η πολύ σταθερή δομή της συμπληρωμένης στοιβάδας, χαρακτηριστικής των ατόμων ευγενών αερίων.

Εκτός από το γεγονός ότι μια συμπληρωμένη στοιβάδα αποτελεί από μόνη της μια πολύ σταθερή διάταξη και είναι δύσκολο να διασπασθεί, όταν πρόκειται για τη μετατόπιση ενός ακόμη ηλεκτρονίου, αντιμετωπίζομε ένα επί πλέον εμπόδιο. Η απομάκρυνση του πρώτου ηλεκτρονίου άφησε ένα θετικό φορτίο στον ιόν. Αυτό το θετικό φορτίο καθιστά ακόμη δυσκολότερη την απομάκρυνση ενός άλλου αρνητικού ηλεκτρονίου από το ιόν. Από όλα αυτά καταλήγομε στα παρακάτω συμπεράσματα. (1) Είναι εύκολο, σε όλα τα άτομα των μετάλλων των αλκαλίων Li, Na, K, Rb και Cs, να μετακινηθεί ένα ηλεκτρόνιο και να δημιουργηθούν τα θετικά ιόντα Li^+, Na^+, K^+, Rb^+ και Cs^+. (2) Είναι εξαιρετικά δύσκολο να μετακινηθούν και άλλα ηλεκτρόνια. Δύο ατομικούς αριθμούς πάνω από κάθε ευγενές αέριο υπάρχει ένα άτομο που έχει δύο ηλεκτρόνια περισσότερα από τον αριθμό

που χρειάζεται, για να δημιουργηθεί η χαρακτηριστική σταθερή ομάδα του ευγενούς αερίου. Ακριβώς όπως και στην περίπτωση του μοναδικού επί πλέον ηλεκτρονίου, στα άτομα των μετάλλων των αλκαλίων αυτά τα δύο ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τροχιακά της επόμενης ενεργειακής ζώνης. Για να μετακινηθεί κάποιο από αυτά, δεν χρειάζεται πάρα πολλή ενέργεια. Ακόμη και το δεύτερο δεν απομακρύνεται ιδιαίτερα δύσκολα. Απομακρύνεται δυσκολότερα από το πρώτο, εξαιτίας του θετικού φορτίου που έχει ήδη δημιουργηθεί από την απομάκρυνση του πρώτου ηλεκτρονίου. Βέβαια μετά την απομάκρυνση αυτών των δύο ηλεκτρονίων, παραμένει η πολύ σταθερή ομάδα του ευγενούς αερίου, η οποία, διασπάται πολύ δύσκολα. Ύστερα από αυτό είναι απόλυτα λογικό να συμπεράνομε ότι για στοιχεία που είναι τοποθετημένα δύο θέσεις πάνω από κάθε ευγενές αέριο, είναι εύκολη και χαρακτηριστική η ακόλουθη διαδικασία (αυτή αποτελεί και τη βάση της χημικής τους συμπεριφοράς):

$$M \rightarrow M^{2+} + 2e^-$$

Τα εν λόγω στοιχεία είναι αυτά που βρίσκονται στη δεύτερη στήλη του περιοδικού πίνακα: Be, Mg, Ca, Sr, Ba και Ra. Τα στοιχεία αυτής της ομάδας ή οικογένειας λέγονται ***μέταλλα των αλκαλικών γαιών***.

Στο σημείο αυτό, ας σταματήσομε, για να συγκρίνομε όσα μάθαμε σχετικά με τις ιδιότητες που οφείλονται στις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις μερικών ομάδων στοιχείων, με τη χημική συμπεριφορά αυτών των ιδίων ομάδων. Κατ' αρχήν είναι ευνόητη η χημική τους αδράνεια, δηλαδή η πολύ περιορισμένη τάση των ευγενών αερίων να σχηματίζουν ενώσεις ή ιόντα. Διαθέτουν τις πολύ σταθερές διατάξεις συμπληρωμένης στοιβάδας ηλεκτρονίων, που είναι δύσκολο να διασπασθούν. Επίσης, το γεγονός ότι οι κύριες χημικές ιδιότητες των μετάλλων των αλκαλίων και των μετάλλων των αλκαλικών γαιών προέρχονται από τον αντίστοιχο σχηματισμό των ιόντων 1^+ και 2^+, συμφωνεί απόλυτα με όσα είχαν προβλεφθεί από την ηλεκτρονιακή τους διαμόρφωση.

Η ιδιαίτερη σταθερότητα των ομάδων ηλεκτρονίων που απαντούν στα ευγενή αέρια, είναι δυνατόν να μας βοηθήσει να κατανοήσομε τις ιδιότητες των ατόμων των αλογόνων, και γιατί αυτά τα άτομα με αυτές τις ξεχωριστές ιδιότητες θα πρέπει, όλα, να βρίσκονται στην αριστερή στήλη από αυτήν των ευγενών αερίων. Κάθε άτομο αλογόνου διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από το άτομο του ευγενούς αερίου που το ακολουθεί. Επειδή η διάταξη συμπληρωμένης στοιβάδας ηλεκτρονίων που υπάρχει στα άτομα των ευγενών αερίων είναι ιδιαίτερα σταθερή, τα άτομα των αλογόνων έχουν μια χαρακτηριστική τάση να προσλαμβάνουν ένα ηλεκτρόνιο και να συμπληρώνουν έτσι ομάδες όπως αυτές των ευγενών αερίων. Βέβαια, η πρόσληψη ενός ηλεκτρονίου δημιουργεί ένα αρνητικό φορτίο σχηματίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο ένα ανιόν. Η παρακάτω εξίσωση περιγράφει ακριβώς αυτό το φαινόμενο για την περίπτωση του χλωρίου:

$$Cl + e^- \rightarrow Cl^-$$

Οι διατάξεις των ηλεκτρονίων στα άτομα των αλογόνων μας επιτρέπουν να κατανοήσομε γιατί (ο σχηματισμός ενώσεων στις οποίες υπάρχουν τα ανιόντα F^-, Cl^-, Br^- και I^-) είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της οικογένειας των στοιχείων. Κατανοούμε επίσης γιατί μια οικογένεια στοιχείων με αυτήν την ιδιότητα πρέπει να βρίσκεται ακριβώς στην πρώτη θέση αριστερά των ευγενών αερίων στον περιοδικό πίνακα. Η προηγούμενη αναφορά σχετικά με το πώς συνδέονται οι ενέργειες ιονισμού με τις διατάξεις των ηλεκτρονίων είναι δυνατόν να μας βοηθήσει να προβλέψομε μερικούς χημικούς τύπους. Ειδικότερα, μπορούμε να γράψομε τώρα τύπους για πολλές σημαντικές ενώσεις που δημιουργούνται από τα στοιχεία των αλκαλίων, των αλκαλικών γαιών και των αλογόνων. Έτσι είναι πιθανόν να αντιδράσουν τα μέταλλα των αλκαλίων και τα αλογόνα, για να σχηματίσουν ενώσεις, σύμφωνα με εξισώσεις όμοιες με αυτές που ακολουθούν:

$$2Li + Cl_2 \rightarrow 2LiCl$$
$$2K + Br_2 \rightarrow 2KBr$$
$$2Na + F_2 \rightarrow 2NaF$$

Σύμφωνα με όσα διδαχθήκατε στο κεφάλαιο 8, οι προηγούμενες εξισώσεις περιγράφουν κατά τρόπο σωστό τα πειραματικά αποτελέσματα. Είναι δυνατόν επίσης να προβλεφθούν με ακρίβεια και άλλες αντιδράσεις μεταξύ αλκαλίων και αλογόνων. Όλα τα προϊόντα των αντιδράσεων έχουν τύπους που αποτελούνται από ένα κατιόν μετάλλου των αλκαλίων και ένα ανιόν αλογόνου (ένα ιόν αλογονιδίου). Οι τύποι δεν δείχνουν στην πραγματικότητα την ύπαρξη των ιόντων, τα οποία όμως υπάρχουν. Αυτό σημαίνει ότι ο τύπος NaCl θα μπορούσε να γράφει και Na^+Cl^-, αλλά κάτι τέτοιο δεν συνηθίζεται.



Henry G. J. Moseley (1887 - 1915)

Ο Henry Moseley απέκτησε φήμη με δύο μόνο χρόνια έρευνας, η οποία σταμάτησε το 1914, όταν στρατεύθηκε στο βρετανικό στρατό στην αρχή του Α΄ παγκοσμίου πολέμου. Η επιστημονική εργασία του όμως κατά τα δύο αυτά χρόνια, κατέληξε σε πορίσματα, που συνέβαλαν σημαντικά στην κατανόηση της δομής του ατόμου.

Λίγο μετά το 1895, οπότε ο Roentgen ανακάλυψε τις ακτίνες Χ, ο Barkla, που εργαζόταν στο Πανεπιστήμιο του Λονδίνου, ανακάλυψε ότι το μήκος κύματος αυτών των ακτίνων εξαρτώνται από το στοιχείο που χρησιμοποιείται ως θετικά φορτισμένη άνοδος μέσα στο σωλήνα της ακτινοβολίας Χ.

Το 1911, ο Rutherford έδειξε ότι ο πυρήνας ενός ατόμου είναι ένα σωματίδιο με θετικό φορτίο. Σε αυτό βασίσθηκε ένας Γερμανός επιστήμονας, ο Van Dan Broek για να διατυπώσει τη σκέψη ότι το φορτίο του πυρήνα πρέπει να είναι ένα ακέραιο πολλαπλάσιο του φορτίου του πυρήνα υδρογόνου. Ο Rutherford προκειμένου να εξετάσει αυτήν τη θεωρία, ζήτησε από τον Moseley, που ήταν ένας από τους σπουδαστές του, να βρει αν υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στο φορτίο ενός πυρήνα και στο μήκος κύματος των ακτίνων Χ που παράγει το στοιχείο.

Ο Moseley ξεκίνησε τη μελέτη του κατασκευάζοντας δώδεκα σωλήνες ακτίνων Χ, από τους οποίους ο καθένας είχε ως άνοδο ένα διαφορετικό στοιχείο. Αργότερα δοκίμασε τριάντα ακόμη στοιχεία. Οι ακτίνες Χ που εξέπεμπαν τα δείγματα του Moseley υφίσταντο διάθλαση από έναν κρύσταλλο και εστιάζονταν πάνω σε φωτογραφικές πλάκες σύμφωνα με τη διαδικασία που ακολουθείται σε ένα οπτικό φασματογράφο. Διαπίστωσε ότι το φάσμα κάθε στοιχείου αποτελούνταν από δύο κύριες γραμμές. Όταν τοποθέτησε τις εμφανισμένες πλάκες τη μια δίπλα στην άλλη και τις συνέκρινε, ανακάλυψε ότι οι γραμμές της κάθε πλάκας σχημάτιζαν μια σειρά κανονικών διαστημάτων. Μέσα στο ίδιο διάστημα η κάθε γραμμή είχε μετατοπισθεί από την προηγούμενή της κατά την ίδια περίπου απόσταση (σχ. 13-8).

Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του ο Moseley διατύπωσε την άποψη ότι «έχομε εδώ μια απόδειξη της υπάρξεως μια θεμελιώδους ποσότητας (Z), που αυξάνει κατά κανονικά διαστήματα, καθώς πηγαίνομε από το ένα στοιχείο στο επόμενο. Η ποσότητα αυτή (Z) δεν μπορεί παρά να αποτελεί το φορτίο του κεντρικού θετικού πυρήνα για την ύπαρξη του οποίου έχομε κιόλας μια συγκεκριμένη απόδειξη». Συνέχισε και κατέληξε στην άποψη ότι το (Z) είναι ίδιο με τον αριθμό της θέσεως που κατέχει το στοιχείο στο περιοδικό σύστημα. Όταν ανακάλυψε κενά ανάμεσα στα διαστήματα των κανονικών αποστάσεων, που είχαν προκύψει από τα πειράματά του, προέβλεψε ότι τα κενά αυτά ανήκουν σε στοιχεία που δεν είχαν ακόμη ανακαλυφθεί. Σύντομα φάνηκε ότι η ταξινόμηση του περιοδικού συστήματος σύμφωνα με τον ***ατομικό αριθμό*** του Moseley ήταν πιο ικανοποιητική από την αρχική κατάταξη του Mendeleev, που είχε γίνει σύμφωνα με τις ατομικές μάζες.

Μέσα σε λίγα χρόνια ανακαλύφθηκε ότι οι ατομικοί αριθμοί αντιστοιχούν στον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα του κάθε στοιχείου.

Ο Moseley δεν έμαθε ποτέ πόσο σημαντική

Επειδή τα άτομα των μετάλλων των αλκαλικών γαιών χάνουν εύκολα δύο ηλεκτρόνια και σχηματίζουν κατιόντα με δύο θετικά φορτία είναι λογικό να αναμένονται αντιδράσεις και τύποι σαν αυτούς που ακολουθούν:

$$Ca + F_2 \rightarrow CaF_2$$
$$Ba + Cl_2 \rightarrow BaCl_2$$
$$Sr + Br_2 \rightarrow SrBr_2$$

Στην πραγματικότητα, αυτές οι εξισώσεις και άλλες όμοιες με αυτές, περιγράφουν τις αληθινές αντιδράσεις, καθώς και τις ενώσεις που σχηματίζονται. Όλα τα αλογονίδια των αλκαλικών γαιών έχουν τύπους που σχηματίζονται από ένα κατιόν μετάλλου αλκαλικών γαιών και δύο ανιόντα αλογονιδίων.

13.9 Πώς προσδιόρισε ο Moseley τους ατομικούς αριθμούς.

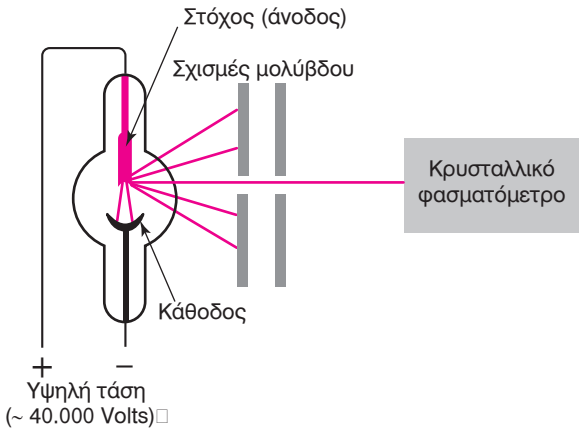
Μάθατε ότι οι ατομικοί αριθμοί αποτελούν την ασφαλή βάση της περιοδικής κατατάξεως των στοιχείων. Ο ατομικός αριθμός συμπίπτει με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ατόμου ή με τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα. Από αυτές τις δύο θέσεις, η δεύτερη είναι πιο βασική, γιατί η ταυτότητα του στοιχείου παραμένει ίδια, όποια και αν είναι η κατάσταση ιονισμού του ή το είδος του χημικού δεσμού που σχηματίζει. Ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα είναι σταθερός, ανεξάρτητα από τη χημική κατάσταση του στοιχείου.

Επειδή το φορτίο του πυρήνα οφείλεται εξ ολοκλήρου στα πρωτόνια, ο ατομικός αριθμός δίνει επίσης το φορτίο του πυρήνα με μονάδα φορτίου το ένα πρωτόνιο.

Αν είναι γνωστός ο ατομικός αριθμός ενός στοιχείου, δεν υπάρχει αμφιβολία για το ποια είναι η θέση του στον περιοδικό πίνακα. Πώς όμως προσδιορίσθηκαν αρχικά οι ατομικοί αριθμοί;

Ένας τρόπος προσδιορισμού ανακαλύφθηκε και χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία για αρκετά στοιχεία από το νεαρό Άγγλο φυσικό H.G.J. Moseley, το 1913. Η μέθοδός του βασίσθηκε στη μέτρηση των φασμάτων των ακτίνων Χ, των στοιχείων.

Πολλές στερεές μορφές της ύλης είναι δυνατόν να διαμορφωθούν έτσι ώστε να δώσουν ακτίνες Χ, αν τοποθετηθούν στην άνοδο ενός σωλήνα ακτίνων Χ. Ο σχεδιασμός αυτού του σωλήνα φαίνεται στο σχήμα 13-7. Μέσα σε έναν κενό σωλήνα υπάρχει μια άνοδος και μια κάθοδος.

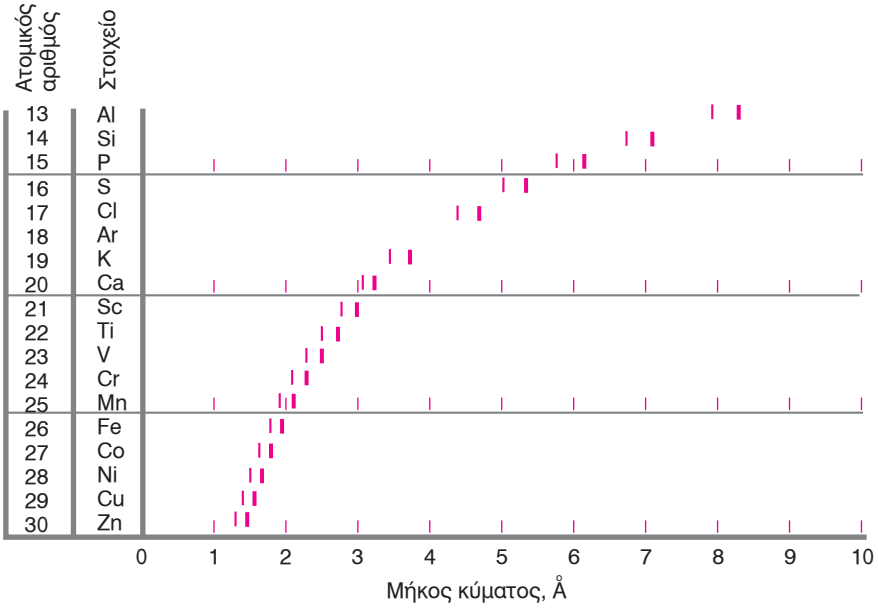


ΣΧΗΜΑ 13-7. *Ακτίνες Χ παράγονται από το σωλήνα που βρίσκεται αριστερά, όταν ηλεκτρόνια από την κάθοδο που διαθέτουν μεγάλη ενέργεια προσκρούουν στη μεταλλική άνοδο. Οι ακτίνες Χ που δημιουργούνται μετατρέπονται από το σύστημα των σχισμών σε μία στενή δέσμη. Στη συνέχεια, η δέσμη των ακτίνων Χ διέρχεται μέσα από τον ανιχνευτή, ένα φασματόμετρο κρυστάλλου, και έτσι είναι δυνατόν να μετρηθεί το μήκος κύματός τους.*

Εφαρμόζεται μια υψηλή τάση, ώστε τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο να αποκτούν, πριν συγκρουσθούν με την άνοδο, μεγάλη κινητική ενέργεια.

Τα ηλεκτρόνια που προσπίπτουν στην άνοδο διαθέτουν τόση ενέργεια ώστε να μπορούν να εκδιώξουν άλλα ηλεκτρόνια από το ενδότερο (1*s*) τροχιακό μερικών ατόμων. Όταν το κενό που δημιουργείται κατ' αυτόν τον τρόπο στο 1*s* τροχιακό καλύπτεται από ηλεκτρόνια τροχιακών υψηλότερης ενέργειας, εκπέμπονται ακτίνες Χ. Μερικές φορές ονομάζονται και «Κ» ακτίνες Χ, επειδή αναφέρονται σε ηλεκτρόνια του «Κ επιπέδου», δηλαδή του κατώτερου ή ενδότερου ενεργειακού επιπέδου. Στη συνέχεια, αυτές οι ακτίνες Χ σχηματίζουν μια λεπτή δέσμη με τη βοήθεια μερικών σχισμών. Η δέσμη αυτή διέρχεται από ένα φασματόμετρο ακτίνων Χ, το οποίο είναι μια συσκευή που έχει τη δυνατότητα να μετρά το μήκος κύματος των ακτίνων Χ. Η αρχή του είναι όμοια με αυτή των φασματομέτρων ορατού φωτός, με μόνη διαφορά ότι διαθέτει έναν κρύσταλλο αντί για ένα πλέγμα περιθλάσεως ή ένα πρίσμα.

Αυτό που ανακάλυψε ο Moseley ήταν ότι το μήκος κύματος των ΚΧ ακτίνων των στοιχείων γίνεται μικρότερο, όταν αυξάνει το φορτίο του πυρήνα. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν δύο ειδών ακτίνες ΚΧ που εκπέμπονται μαζί και



ΣΧΗΜΑ 13-8. *Υπάρχει μια κανονική μεταβολή του μήκους κύματος των γραμμών εκπομπής των ακτίνων Χ από μια σειρά στοιχείων, σύμφωνα με όσα έδειξε πρώτος ο Moseley.*

έχουν ονόματα K_α και K_β. Τα άμεσα πειραματικά αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 13-8. Ο Moseley βρήκε ότι σχεδιάζοντας τις τετραγωνικές ρίζες των αντιστρόφων τιμών του μήκους κύματος ως προς τη σειρά των στοιχείων στον περιοδικό πίνακα σχηματίζονταν απόλυτα ευθείες γραμμές, όπως δείχνει και το σχήμα 13-9. Το είδος αυτό της γραφικής παραστάσεως μας επιτρέπει να τοποθετήσομε τα στοιχεία κατά σειρά αυξανόμενου ατομικού αριθμού. Σε κάθε περίπτωση που οι ατομικές μάζες δύο στοιχείων είναι ανεστραμμένες, οι ατομικοί αριθμοί όπως βρέθηκε από το διάγραμμα του Moseley βρίσκονται στη σωστή σειρά.

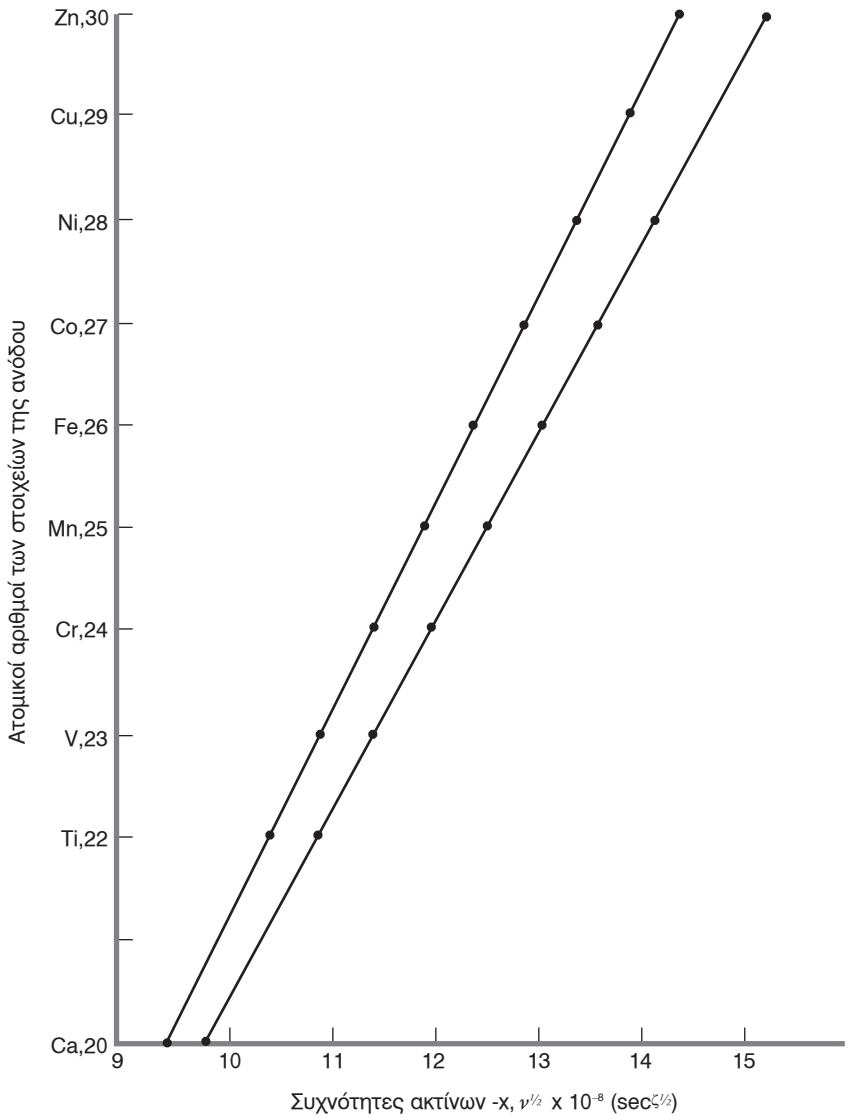
Περίληψη.

Είναι δυνατόν να κατατάξομε τα στοιχεία κατ' αύξοντα ατομικό αριθμό, και στη συνέχεια να τα τοποθετήσομε σε οριζόντιες σειρές διαφορετικού μήκους. Το μήκος των σειρών διαμορφώνεται έτσι, ώστε να βρίσκονται στις ίδιες στήλες τα στοιχεία με όμοιες ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις. Έτσι καταλήγομε σε μια κατάταξη όμοια με αυτή του περιοδικού πίνακα. Αυτό μας δείχνει ότι βάση για την περιοδική μεταβολή των ιδιοτήτων και την ύπαρξη των οικογενειών των στοιχείων είναι ο τρόπος με τον οποίο συμπληρώνονται τα ατομικά τροχιακά. Η αρχική κατάταξη του Mendeleev που έγινε κατά σειρά αυξανόμενης ατομικής μάζας, από την ανάγκη να τοποθετήσει τις ομάδες των συγγενών στοιχείων σε στήλες, εμφανίζει κάποιες ανωμαλίες. Οι ανωμαλίες αυτές ερμηνεύονται από την κατανομή των ισοτόπων. Οι διατάξεις των ηλεκτρονίων βοηθούν επίσης στην κατανόηση του γιατί κάποιες οικογένειες στοιχείων εμφανίζουν χαρακτηριστικές ιδιότητες.

Ενέργεια ιονισμού είναι η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται, για να αποδεσμευθεί το πιο χαλαρά δεσμευμένο ηλεκτρόνιο από ένα άτομο, που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Περιγράψτε τις ομάδες των ηλεκτρονιακών διαμορφώσεων που τοποθετήθηκαν αρχικά σε κατακόρυφες στήλες με σκοπό τη δημιουργία ενός περιοδικού πίνακα βασισμένου σε αυτές τις διαμορφώσεις. Τι ονομάζομε ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις;
2. Ποια οικογένεια στοιχείων έχει αυτές τις διαμορφώσεις;
3. Γιατί οι ενέργειες ιονισμού των ατόμων των μετάλλων των αλκαλίων είναι πολύ μικρότερες από αυτές των ευγενών αερίων;



ΣΧΗΜΑ 13-9. *Το είδος αυτό του διαγράμματος, που μερικές φορές καλείται διάγραμμα του Moseley, δείχνει τη σειρά με την οποία αυξάνονται οι ατομικοί αριθμοί των στοιχείων.*

Περίληψη κεφαλαίου

Οι ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις όλων των ατόμων μπορούν να υπολογισθούν ακολουθώντας τη διάταξη των τροχιακών του ατόμου του υδρογόνου, με μερικές τροποποιήσεις.

Είναι απαραίτητο να ανατρέξομε στην απαγορευτική αρχή του Pauli, σύμφωνα με την οποία δεν είναι δυνατόν ένα τροχιακό να συγκρατήσει περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια. Καθώς προστίθενται ηλεκτρόνια στα εσωτερικά τροχιακά, ξεκινώντας από το 1*s* τροχιακό, μεταβάλλεται κατά τι το σχήμα των εξωτερικών σε σχέση με το σχήμα που έχει βρεθεί στο άτομο του υδρογόνου. Γενικά, τα τροχιακά ενός κύριου κβαντικού αριθμού κατέχουν διαφορετικές ενέργειες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα οι σταθερότητές τους να ελαττώνονται κατά τη σειρά

s, *p*, *d*, *f*. Η διάταξη $1s^2$, καθώς και όλες όσες καταλήγουν σε ns^2np^6 ονομάζονται διατάξεις συμπληρωμένης στοιβάδας. Αν γίνει μια κατάταξη σε σειρές όλων των στοιχείων κατά σειρά αυξανόμενου ατομικού αριθμού, ώστε όλα τα άτομα που έχουν διατάξεις συμπληρωμένης στοιβάδας να συμπέσουν σε μια μόνο στήλη, δημιουργείται ο περιοδικός πίνακας. Η βασική αιτία για την περιοδική τοποθέτηση των στοιχείων πρέπει να αναζητηθεί στις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις των ατόμων.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Να δείξετε τις πλήρεις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις για άτομα που έχουν ατομικούς αριθμούς 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 29, 33, 36 και 37. Για τα πέντε τελευταία στοιχεία δεν χρειάζεται να διακρίνετε τα p_x, p_y και p_z τροχιακά.
2. Να καταρτίσετε έναν πίνακα, στον οποίο θα αναγράφονται έως και τέσσερις κύριοι κβαντικοί αριθμοί, οι τύποι των τροχιακών και ο αριθμός των τροχιακών του κάθε τύπου που είναι πιθανός για κάθε κβαντικό αριθμό. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στον κύριο κβαντικό αριθμό και τον αριθμό των τροχιακών, τα οποία είναι δυνατόν να έχουν σχέση με αυτόν;
3. Τι είναι η απαγορευτική αρχή του Pauli; Να εξηγήσετε τη σημασία της για την κατανόηση της περιοδικότητας των στοιχείων.
4. Ας θεωρήσετε τις παρακάτω ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις:

$$1s^2 \quad 2s^2\ 2p^6 \quad 3s \qquad (1)$$
$$1s^2 \quad 2s^2\ 2p^6 \quad 6s \qquad (2)$$

   Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι λάθος;
   (α) Για να αλλάξει η (1) στη (2) χρειάζεται ενέργεια.
   (β) Η (1) παριστάνει ένα άτομο νατρίου.
   (γ) Η (1) και η (2) παριστάνουν διαφορετικά στοιχεία.
   (δ) Για να μετακινηθεί ένα ηλεκτρόνιο από τη (2) χρειάζεται λιγότερη ενέργεια από ό,τι από την (1).
5. Θεωρήστε ένα ουδέτερο άτομο με την ακόλουθη ηλεκτρονιακή διαμόρφωση:

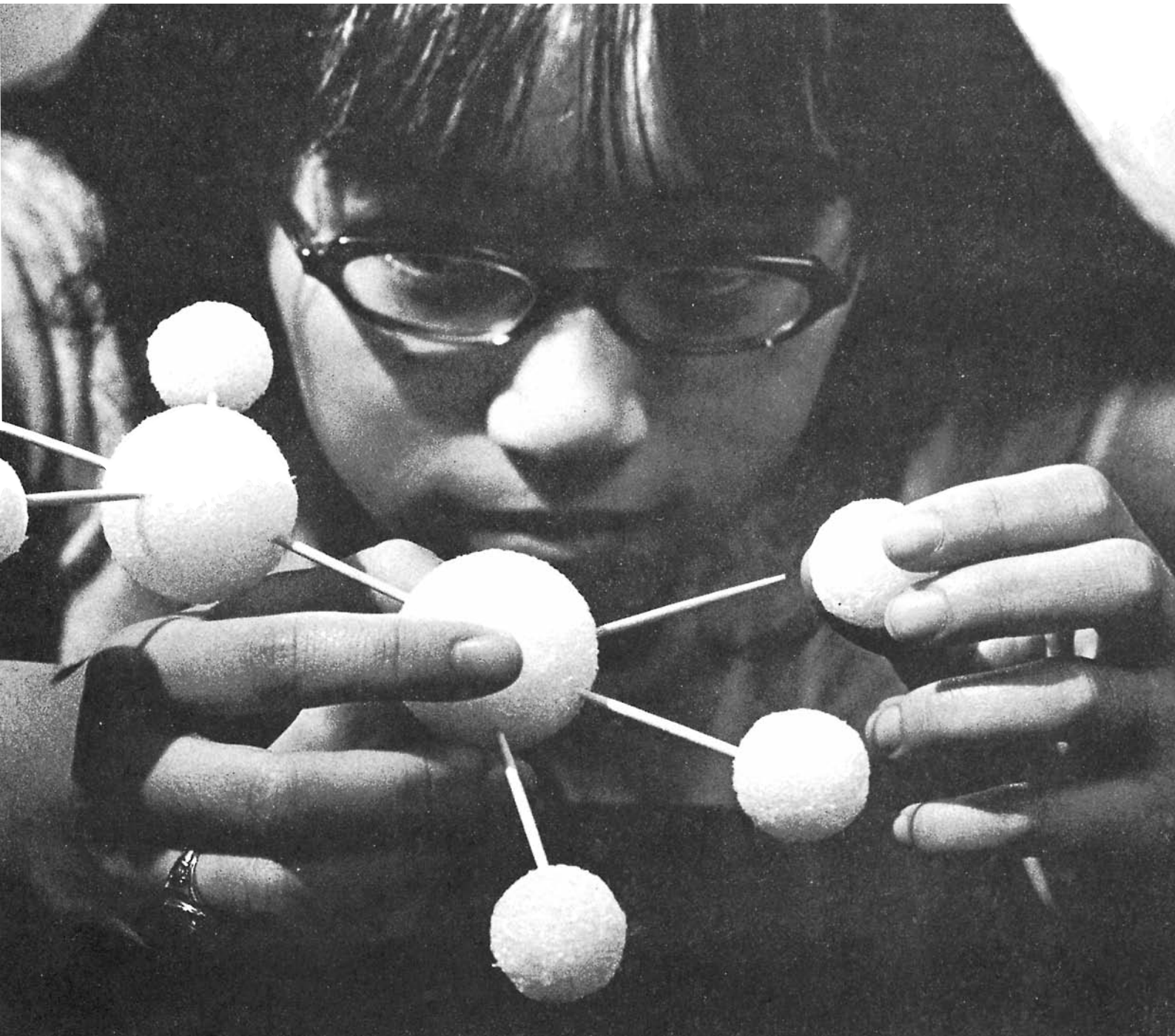
$$1s^2 \quad 2s^2 \quad 2p^5 \quad 3s$$

   Ποια από τις προτάσεις που ακολουθούν είναι λάθος;
   (α) Το άτομο έχει ατομικό αριθμό 10.
   (β) Το άτομο δεν βρίσκεται στην περισσότερο σταθερή διαμόρφωση.
   (γ) Το άτομο, για να μεταβληθεί στην $1s^2\ 2s^2 2p^6$, πρέπει να προσλάβει ενέργεια.
   (δ) Τα τροχιακά 1*s* και 2*s* είναι συμπληρωμένα.
6. Για καθένα από τα παρακάτω στοιχεία που βρίσκονται στην κατώτερη ενεργειακή στάθμη, να γράψετε ποια θα ήταν η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση με την υψηλότερη ενέργεια, όσα ηλεκτρόνια κι αν χρειάζεται. (α) Άτομο καλίου , K. (β) Ιόν καλίου, K^+. (γ) Άτομο φθορίου, F. (δ) Ιόν φθορίου, F^-. (ε) Άτομο ηλίου, He. (στ) ΄Ατομο οξυγόνου, O. (ζ) Ιόν μαγνησίου, Mg^{2+}.
7. Τι πρέπει να συμβεί σε ένα ηλεκτρόνιο 2*s*, για να γίνει 3*s*; Τι συμβαίνει όταν ένα ηλεκτρόνιο 3*s* γίνεται 2*s*;
8. Να προσδιορίσετε, αφού μελετήσετε το σχήμα 13-6, ποια ομάδα στοιχείων έχει τις μεγαλύτερες ενέργειες ιονισμού. Ποια ομάδα έχει αντίστοιχα τη δεύτερη κατά σειρά μεγέθους ενέργεια ιονισμού;
9. Βλέποντας το σχήμα 13-6 εξηγήστε γιατί είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί το καίσιο σε ένα φωτοηλεκτρικό στοιχείο αντί του λιθίου ή του νατρίου.
10. Στις συνήθεις χημικές αντιδράσεις το λίθιο σχηματίζει ένα ιόν χάνοντας ένα ηλεκτρόνιο. Το φθόριο σχηματίζει ιόντα στις χημικές αντιδράσεις προσλαμβάνοντας ένα ηλεκτρόνιο. Να εξηγήσετε γιατί αυτά το δύο στοιχεία συμπεριφέρονται τόσο διαφορετικά κατά το σχηματισμό των ιόντων.
11. Ένα άτομο νατρίου (Na) ή ένα ιόν νατρίου (Na^+) έχει μεγαλύτερη ενέργεια ιονισμού; Εξηγήστε.
12. Η ενέργεια που χρειάζεται για να σχηματισθεί ένα ιόν νατρίου (Na^+) ισούται με 118 kcal, ενώ για να σχηματισθεί ένα ιόν μαγνησίου, (Mg^+) απαιτείται ενέργεια ίση με 175 kcal. Εξηγήστε γιατί χρειάζονται 1091 kcal για τη μετάβαση από Na^+ σε Na^{2+}, ενώ για την αντίστοιχη μετάβαση από Mg^+ σε Mg^{2+} χρειάζονται μόνο 345 kcal.
13. Η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση για το λίθιο είναι $1s^2 2s$ και για το βηρύλλιο $1s^2 2s^2$. Να υπολογίσετε, με τη βοήθεια του σχήματος 13-2, τη σχετική ευκολία απομακρύνσεως αρχικά ενός και στη συνέχεια ενός δεύτερου

ηλεκτρονίου από το κάθε άτομο. Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

14. Οι πρώτες τέσσερις ενέργειες ιονισμού των ατόμων βορίου είναι οι εξής: I_1 = 191 kcal/mole. I_2 = 578 kcal/mole. I_3 = 872 kcal/mole. I_4 = 5962 kcal/mole. Γράψτε την πλήρη ηλεκτρονιακή διαμόρφωση ενός ατόμου βορίου και δείξετε πώς συνδέεται αυτή με τις παραπάνω ενέργειες ιονισμού.

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ



Χημικοί δεσμοί και μοριακή δομή

Επί χιλιάδες χρόνια τους ανθρώπους απασχολούσε το εξής ερώτημα: Τι συγκρατεί τα σωματίδια της ύλης ενωμένα; Ήδη από τον 5ο π.Χ. αιώνα, ο Έλληνας φιλόσοφος Δημόκριτος είχε φαντασθεί τα άτομα ως ελάχιστα σωματίδια, τα οποία συγκρατούνταν ενωμένα με κάποιους βραχίονες, που είχαν τη μορφή αγκίστρων*. Μόνο κατά τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα, άρχισαν οι επιστήμονες να κατανοούν τη φύση του χημικού δεσμού, δηλαδή των δυνάμεων που συγκρατούν τα άτομα ενωμένα.

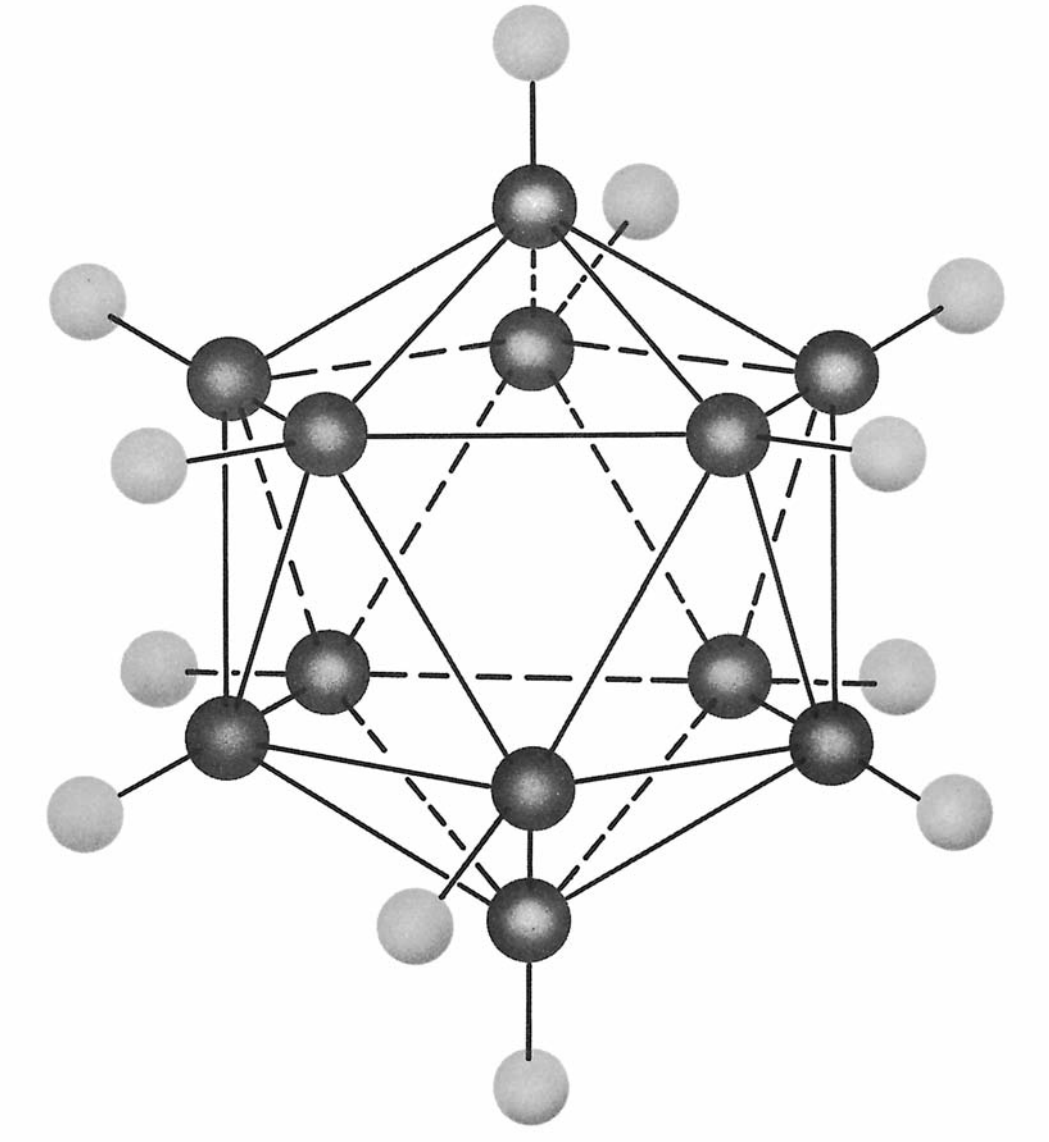
Άτομα ενωμένα μεταξύ τους σε ομάδες, οι οποίες παραμένουν σταθερές και εμφανίζουν ιδιότητες χαρακτηριστικές αυτών των ομάδων, ονομάζονται μόρια. Σε αυτήν την ενότητα θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο συνενώνονται τα άτομα. Στην αρχή, θα εξετασθεί ο χημικός δεσμός, ο οποίος συνδέεται με τη διάταξη των ηλεκτρονίων που δένουν δύο άτομα μαζί. Στη συνέχεια, θα μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι δεσμοί επιτρέπουν στις ομάδες των ατόμων να σχηματίσουν μόρια, με πολύ καθορισμένες γεωμετρικές δομές. Τέλος, θα εξετασθεί με ποιον τρόπο σχηματίζονται, από άτομα και μόρια, τα στερεά, τα υγρά και τα διαλύματα.

---

* *Σ.τ.Μ. Ο Δημόκριτος ήταν ένας από τους πιο βαθυστόχαστους διανοητές που υπήρξαν ποτέ. Η θεωρία του για τα άτομα ήταν ένα τεράστιο διανοητικό άλμα για την εποχή του· χρειάσθηκε να περάσουν περισσότεροι από 20 αιώνες για να ξαναανακαλύψει η σύγχρονη επιστήμη το άτομο. Οι απόψεις του για τη σύνδεση των ατόμων προς μεγαλύτερα συγκροτήματα δεν είναι τόσο απλοϊκές όσο αφήνουν να εννοηθεί οι Αμερικανοί συγγραφείς αυτού του βιβλίου.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Χημικοί δεσμοί



Μοριακές δομές, όπως αυτή που εικονίζεται εδώ, μπορεί να ερμηνευθούν, αν κατανοηθούν οι χημικοί δεσμοί.

Στα προηγούμενα διδαχτήκατε ότι η γνώση των ηλεκτρονιακών διαμορφώσεων μέσα στα άτομα μας βοηθά να κατανοήσομε γιατί ο περιοδικός πίνακας έχει αυτήν τη μορφή. Ο περιοδικός πίνακας αναπτύχθηκε αρχικά πάνω στη βάση της πειραματικής γνώσεως. Δηλαδή βασίσθηκε στον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν τα διάφορα στοιχεία μεταξύ τους και στο είδος των ενώσεων που σχηματίζουν. Αν συνδυασθούν αυτές οι δύο έννοιες μαζί, ίσως να καταλήξετε στο συμπέρασμα ότι ξεκινώντας από τις ηλεκτρονιακές διατάξεις στα άτομα, θα ήταν δυνατόν να εξηγήσετε τη φύση των δυνάμεων που συγκρατούν τα άτομα μαζί σε ένα μόριο. Με άλλα λόγια, θα ήταν δυνατόν από τις ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις να κατανοήσετε τη φύση των χημικών δεσμών. Αυτό ακριβώς θα είναι και το αντικείμενο το κεφαλαίου αυτού.

Ηλεκτρικές δυνάμεις συγκρατούν τα άτομα μεταξύ τους

14.1 Το μόριο του υδρογόνου.

Σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως το υδρογόνο είναι αέριο. Στις κανονικές συνθήκες η μετρούμενη πυκνότητά του είναι 0,0898 γραμμάρια ανά λίτρο. Αν εφαρμοσθεί η υπόθεση του Avogadro, είναι δυνατόν να υπολογισθεί από την πυκνότητα του ότι ένα mole υδρογόνου, το οποίο σε Κ.Σ. καταλαμβάνει 22,4 λίτρα, έχει μάζα 2,016 γραμμαρίων. Επειδή η μάζα ενός mole ατόμων υδρογόνου είναι 1,008 g/mole, μπορείτε να συμπεράνετε ότι σε κανονικές συνθήκες το αέριο υδρογόνο υπάρχει με τη μορφή διατομικών μορίων. Βέβαια, σε προηγούμενο κεφάλαιο είχαμε συμπεράνει, βασιζόμενοι σε άλλες ενδείξεις, ότι συνέβαινε κάτι τέτοιο. Τώρα, θα εξετάσομε γιατί το υδρογόνο εμφανίζεται σταθερότερο με τη μορφή των διατομικών μορίων και όχι με τη μορφή των ατόμων. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά μερικές χιλιάδες βαθμούς, το μόριο του υδρογόνου διασπάται ως εξής:

$$H_2(a) \rightarrow H(a) + H(a)^*$$

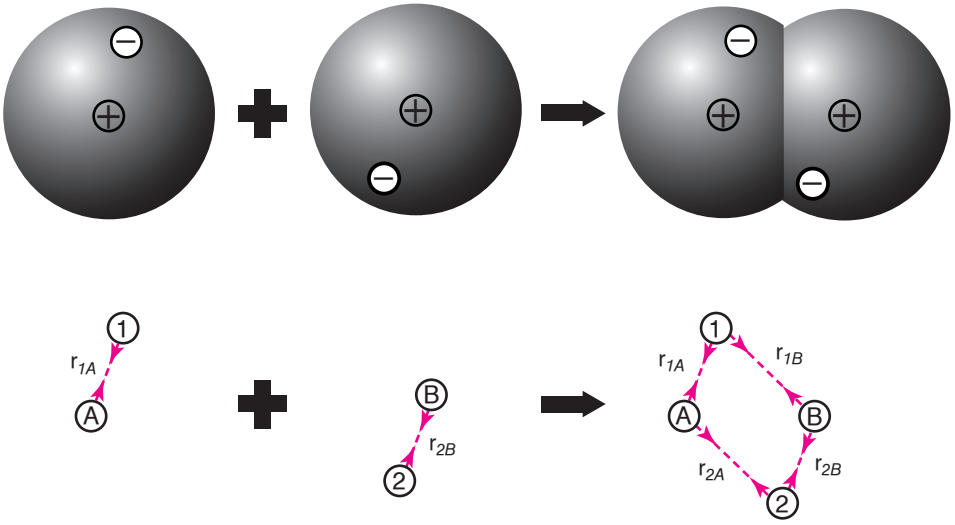
Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω αντίδραση, θα πρέπει να καταναλωθεί ενέργεια. Το μόριο λοιπόν του υδρογόνου αποτελείται από δύο άτομα ενωμένα (H_2), γιατί το σύστημα αυτό (H_2) περιέχει μικρότερη ενέργεια από το σύστημα δύο ατόμων υδρογόνου ξεχωριστών (H + H).

Αυτός ο χημικός δεσμός (όπως κάθε χημικός δεσμός) σχηματίζεται, γιατί η ενέργεια είναι μικρότερη, όταν η απόσταση ανάμεσα στα άτομα είναι μικρή.

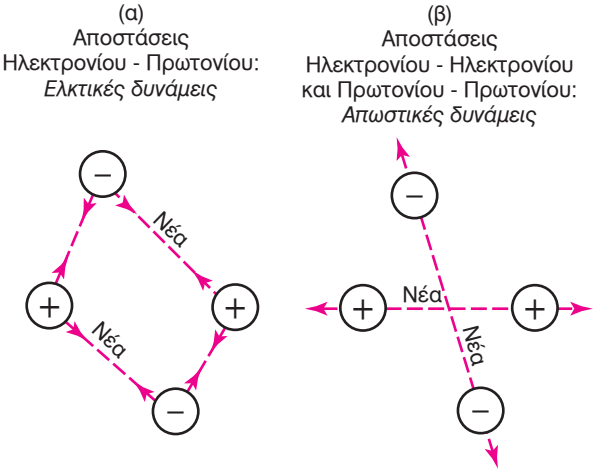
Προκειμένου να εξετάσομε γιατί η ενέργεια είναι μικρότερη όταν τα άτομα βρίσκονται κοντά, ας εξετάσομε τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτία των ατόμων. Το σχήμα 14-1 παριστάνει το σχηματισμό του μορίου. Σύμφωνα με την κβαντομηχανική το 1*s* τροχιακό για κάθε άτομο υδρογόνου έχει σφαιρική συμμετρία πριν από την αντίδραση. Αυτό ακριβώς περιγράφει η φωτοσκίαση του σχήματος 14-1. Επίσης, σε κάθε χρονική στιγμή είναι δυνατόν να εικονισθεί το ηλεκτρόνιο σε κάποιο ιδιαίτερο σημείο, όπως δείχνει το αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου 1, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση r_{1A} από τον πυρήνα *A*. Η ενέργεια του ατόμου του υδρογόνου *A* είναι δυνατόν να εκφρασθεί ως η μέση τιμή της έλξεως ανάμεσα στο ηλεκτρόνιο 1 και στον πυρήνα *A*. Η τιμή αυτή προκαθορίζεται από τη μέση απόσταση ανάμεσα στα δύο, δηλαδή την r_{1A}. Το ηλεκτρόνιο 2 και ο πυρήνας *B* έλκονται κατά ανάλογο τρόπο μεταξύ τους.

Ας εξετάσομε τώρα τις νέες ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες αναπτύσσονται, όταν πλησιάσουν τα δύο άτομα μεταξύ τους. Το ηλεκτρόνιο 1 έλκεται τώρα από δύο πρωτόνια. Το ηλεκτρόνιο 2 έλκεται επίσης από δύο πρωτόνια. Αυτό ακριβώς αποτελεί το «συνδετικό κρίκο», που συγκρατεί ενωμένα τα δύο άτομα. Ο χημικός δεσμός στο μόριο του H_2 σχηματίζεται, επειδή τα δύο ηλεκτρόνια έλκονται ταυτόχρονα από τα δύο πρωτόνια. Η διάταξη αυτή είναι από ενεργειακής

* *Σ.τ.Μ. Το (a) συμβολίζει την αέριο κατάσταση.*



ΣΧΗΜΑ 14-1. *Τα άτομα του υδρογόνου σχηματίζουν το μόριό του, επειδή τα κινούμενα ηλεκτρόνια έλκονται ταυτόχρονα και από τους δύο πυρήνες. Αυτό οδηγεί σε μια κατάσταση χαμηλότερης ενέργειας και κατά συνέπεια μεγαλύτερης σταθερότητας.*



ΣΧΗΜΑ 14-2. *Η ανάλυση των ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα ηλεκτρόνια και τους πυρήνες του υδρογόνου (α) δείχνει ότι αυτές είναι μεγαλύτερες από τις αρνητικές- αρνητικές και θετικές-θετικές απώσεις*

απόψεως πιο σταθερή από ό,τι τα μεμονωμένα άτομα Η, μέσα στα οποία το κάθε ηλεκτρόνιο έλκεται μόνο από ένα πρωτόνιο.

Το σχήμα 14-2α δείχνει μια πιθανή διαμόρφωση των αποστάσεων ηλεκτρονίου - πρωτονίου, πράγμα που θα μπορούσαμε να το δούμε, αν ήταν δυνατόν να βγάλομε μία στιγμιαία φωτογραφία. Αυτή η διαμόρφωση ενισχύει τις έλξεις, που οδηγούν στο σχηματισμό του χημικού δεσμού. Πρέπει όμως να θυμάστε ότι υπάρχουν και απώσεις, που δημιουργούνται από την προσέγγιση των δύο ατόμων, όπως δείχνει και το σχήμα 14-2β. Τα δύο ηλεκτρόνια απωθούνται ακριβώς όπως και τα δύο πρωτόνια. Αυτές οι απώσεις τείνουν να απομακρύνουν τα δύο άτομα. Ποιες είναι άραγε πιο σημαντικές; Οι δύο νέες ελκτικές σχέσεις ή οι δύο νέες απωστικές σχέσεις; Τα πειράματα δείχνουν ότι πρέπει να υπερέχουν οι δύο νέες ελκτικές σχέσεις, επειδή οδηγούν στο σχηματισμό σταθερού χημικού δεσμού. Αυτό βέβαια, δεν σημαίνει ότι παύουν να υπάρχουν οι απωστικές δυνάμεις. Ακριβώς αυτές, δηλαδή οι απωστικές δυνάμεις πρωτονίου-πρωτονίου, εμποδίζουν τα δύο άτομα υδρογόνου να πλησιάσουν ακόμη περισσότερο. Το σταθερό μήκος του δεσμού μέσα στο μόριο του υδρογόνου καθορίζεται από μία ισορροπία ανάμεσα στις δυνάμεις έλξεως (σχ. 14-2α) και τις απωστικές δυνάμεις (σχ. 14-2β).

Ο λόγος που κάνει την έλξη να υπερισχύει της απώσεως, όταν δύο άτομα υδρογόνου πλησιάζουν, γίνεται κατανοητός αν λάβομε υπόψη ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται συνεχώς. Δεν βρίσκονται δηλαδή σε ορισμένες θέσεις, αλλά κινούνται γύρω από τους πυρήνες, μέσα στο μόριο. Καταλαμβάνουν θέσεις όμοιες με αυτές που δείχνει το σχήμα 14-1, όπου το κάθε ηλεκτρόνιο βρίσκεται πλησιέστερα προς τους δύο πυρήνες από ό,τι στο άλλο ηλεκτρόνιο. Κατά προτίμηση, τα δύο ηλεκτρόνια απομακρύνονται

από θέσεις στις οποίες θα ήταν δυνατόν να βρεθούν το ένα κοντά στο άλλο. Λέγεται ότι «ρυθμίζουν» την κίνησή τους κατά τρόπο ώστε να παραμένουν μακριά, μειώνοντας έτσι την άπωση ηλεκτρονίου από ηλεκτρόνιο.

14.2 Ο χημικός δεσμός ως επικάλυψη των ημισυμπληρωμένων τροχιακών.

Με τη βοήθεια του σχήματος 14-3, είναι δυνατόν να απλοποιηθεί η ερμηνεία του χημικού δεσμού του μορίου του υδρογόνου. Το σχήμα 14-3α δείχνει την ηλεκτρονιακή κατανομή σε κάθετη τομή. Η κατανομή των ηλεκτρονίων εκτείνεται προς τα έξω, μακριά από τον πυρήνα, ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Όμως η κατανομή συγκεντρώνεται γύρω από τον πυρήνα, γι' αυτό θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε αυτήν την περιοχή του 1*s* τροχιακού. Κατά συνέπεια, στο 1*s* τροχιακό δίνεται η μορφή ενός κύκλου με ακτίνα αρκετά μεγάλη, ώστε να υπάρχει περίπου 90 τοις εκατό πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο μέσα σε αυτόν, οποιαδήποτε στιγμή.

Όπως διδάχθηκατε στο κεφάλαιο 13, ένα τροχιακό είναι δυνατόν να περιλαμβάνει ένα ή δύο ηλεκτρόνια, όχι όμως παραπάνω. Το σχήμα 14-3β δείχνει τους τρόπους, με τους οποίους παριστάνεται ένα κενό 1*s* τροχιακό, 1*s* τροχιακό που περιέχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο και ένα 1*s* τροχιακό που περιέχει δύο ηλεκτρόνια.

Στο σχήμα 14-3γ φαίνεται η αλληλεπίδραση δύο ατόμων υδρογόνου. Το κάθε άτομο έχει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο σε ένα τροχιακό 1*s*. Καθώς πλησιάζουν μεταξύ τους τα δύο άτομα υδρογόνου, οι κύκλοι επικαλύπτονται μερικώς. Στην περιοχή αυτή της επικαλύψεως τα δύο ηλεκτρόνια επηρεάζονται και από τα δύο πρωτόνια (όπως δείχνει και η εντονότερη απόχρωση στην κοινή περιοχή ανάμεσα στους δύο κύκλους).

Όπως και προηγουμένως είναι απαραίτητο τα δύο ηλεκτρόνια να έλκονται ταυτόχρονα και σχεδόν εξίσου και από τους δύο πυρήνες ώστε οι ελκτικές δυνάμεις να είναι ισχυρότερες από τις απωστικές. Το μοίρασμα των ηλεκτρονίων, τα οποία καταλαμβάνουν την περιοχή της επικαλύψεως ανάμεσα στα δύο τροχιακά, στοχεύει στην πραγματοποίηση αυτής ακριβώς της καταστάσεως. Γι' αυτό, ένας χρήσιμος τρόπος για να φαντασθεί κάποιος ένα δεσμό, είναι να σκεφθεί αυτήν ακριβώς την επικάλυψη των δύο τροχιακών. Στην περιοχή της επικαλύψεως, τα ηλεκτρόνια βρίσκονται τουλάχιστον κατά ένα μέρος, μοιρασμένα ανάμεσα στους δύο πυρήνες. Όμως μόνο η πιθανότητα της επικαλύψεως των τροχιακών δεν εξασφαλίζει τη δημιουργία ενός χημικού δεσμού. Είναι επίσης απαραίτητο να υπάρχει ακριβώς ο σωστός αριθμός ηλεκτρονίων.

Στο μόριο του υδρογόνου υπάρχουν ακριβώς δύο ηλεκτρόνια. Το κάθε άτομο αρχίζει τη διαδικασία συνάψεως ενός δεσμού προσφέροντας ένα τροχιακό που περιέχει ένα ηλεκτρόνιο. Στη συνέχεια, δημιουργείται ο δεσμός με τη συμμετοχή δύο ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δύο άτομα. Η περιοχή εκείνη, στην οποία τα ηλεκτρόνια βρίσκονται υπό την κοινή κατοχή των δύο ατόμων είναι ακριβώς η περιοχή της τροχιακής επικαλύψεως.

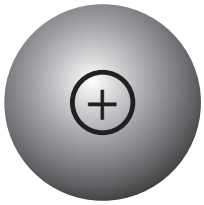
Ο πιο συνηθισμένος τρόπος, με τον οποίο σχηματίζεται ένας χημικός δεσμός συνοψίζεται στα εξής: Δύο άτομα, το καθένα με ημισυμπληρωμένα τροχιακά, πλησιάζουν μεταξύ τους, μέχρι να επικαλυφθούν τα τροχιακά τους. Στη συνέχεια διαμοιράζονται στην περιοχή της επικαλύψεως τα δύο ηλεκτρόνια.

Ένας δεσμός που σχηματίσθηκε από τη συνεισφορά ηλεκτρονίων, όμοιος με αυτόν που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι γνωστός ως ***ομοιοπολικός δεσμός***.

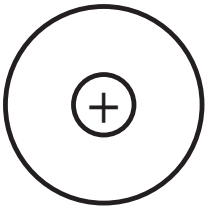
Μία απορία που είναι δυνατόν να δημιουργηθεί είναι η εξής: Τι συμβαίνει, αν τα τροχιακά επικαλύπτονται, αλλά περιέχουν ένα συνολικό αριθμό ηλεκτρονίων διαφορετικό από δύο; Ακόμη και αν υπάρχει ένα μόνο ηλεκτρόνιο, πάλι δημιουργείται δεσμός. Συνήθως είναι τόσο ασθενής και το μόριο που προκύπτει είναι τόσο δραστικό, ώστε είναι άνευ πρακτικής σημασίας τουλάχιστον σε αυτήν τη φάση μελέτης της Χημείας. Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο υδρογόνου ενωθεί με ένα ιόν υδρογόνου, σχηματίζεται ένα μοριακό ιόν υδρογόνου, H_2^+. Στην αέρια φάση, σε υψηλή θερμοκρασία, το H_2^+ είναι σχετικά σταθερό, σε σχέση με το $H + H^+$, αλλά δεν είναι δυνατόν να απομονωθούν ενώσεις που το περιέχουν. Δεν είναι αρκετά σταθερό, ώστε να αντισταθεί στην αντίδραση με άλλα άτομα και μόρια. Κατ' αναλογία, υπάρχουν και δεσμοί, στους οποίους συμμετέχουν τρία ηλεκτρόνια. Γενικά και αυτοί δεν είναι αρκετά σταθεροί, ώστε να έχουν πρακτικό ενδιαφέρον.

Όταν το κάθε άτομο που συμμετέχει διαθέτει ένα πλήρες τροχιακό, ώστε τέσσερα ηλεκτρόνια

(α) Απλοποιημένη απεικόνιση του 1$_s$ τροχιακού:

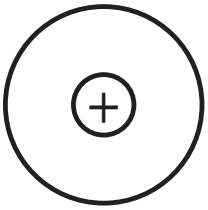


θα παριστάνεται ως

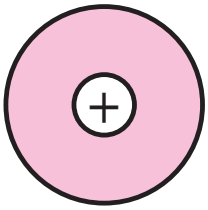


με την προσθήκη
σκιάς ενδεικτικής
της πληρότητας

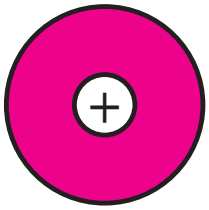
(β) Απλοποιημένη απεικόνιση της πληρότητας του τροχιακού:



1$_s$ τροχιακό
κενό

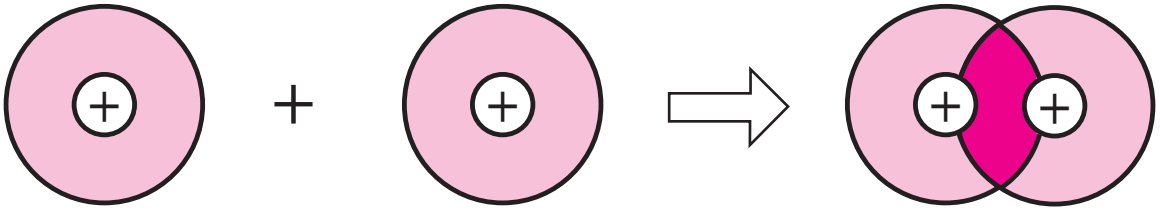


1$_s$ τροχιακό
"ημισυμπληρωμένο"
που περιέχει δηλαδή
ένα ηλεκτρόνιο



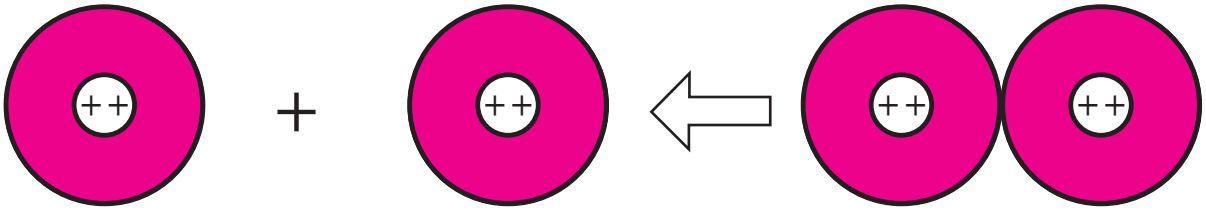
1$_s$ τροχιακό
"πλήρες"
που περιέχει δηλαδή
δύο ηλεκτρόνια

(γ) Επικάλυψη και δημιουργία δεσμού στο μόριο του υδρογόνου



H + H → H_2

(δ) Απουσία επικαλύψεως στην περίπτωση δύο ατόμων του στοιχείου ήλιο:



He + He ← 2He

ΣΧΗΜΑ 14-3. *Οι πληροφορίες σχετικά με την πληρότητα του τροχιακού και τις επικαλύψεις ανάμεσα σε άτομα είναι δυνατόν να εκφρασθούν με τη βοήθεια διαγραμμάτων, όπως τα παραπάνω. Με αυτά απεικονίζεται ο ομοιοπολικός δεσμός στο μόριο του υδρογόνου (γ) και η απουσία δεσμού ανάμεσα στα άτομα του ηλίου (δ).*

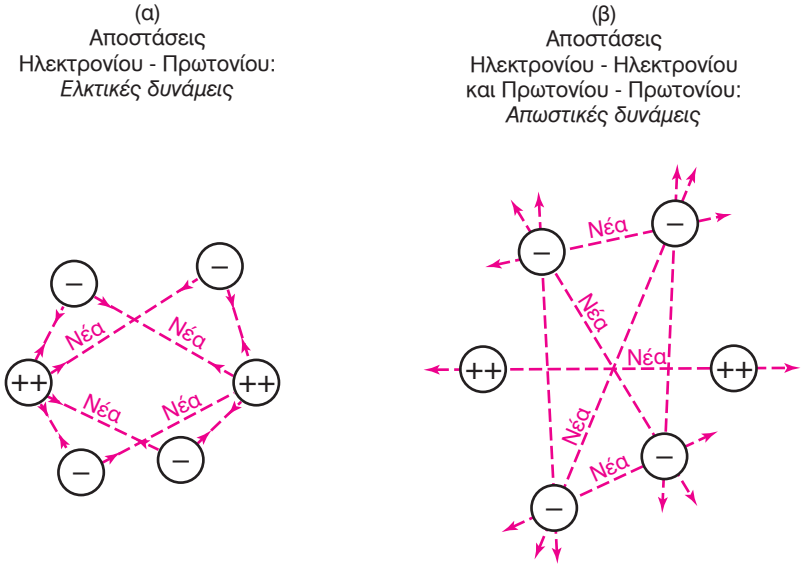
να καταλαμβάνουν την οποιαδήποτε περιοχή επικαλύψεως, δημιουργείται μια κατάσταση, η οποία χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Η δυνατότητα αυτή θα εξετασθεί στην επόμενη παράγραφο.

14.3 Αλληλεπίδραση ανάμεσα στα άτομα του ηλίου.

Η μέτρηση της πυκνότητας του ηλίου δείχνει ότι το ήλιο είναι μονοατομικό αέριο. Δεν σχηματίζονται μόρια του He. Ποια διαφορά ανάμεσα στα άτομα του υδρογόνου και τα άτομα του ηλίου είναι η αιτία για την απουσία δεσμού στο ήλιο; Η απάντηση σε αυτήν την ερώτηση θα πρέπει να βρίσκεται στις ελκτικές και απωστικές ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα δύο άτομα ηλίου, όταν πλησιάσει το ένα με το άλλο. Θα υπάρχουν βέβαια τέσσερα ηλεκτρόνια, εκ των οποίων το καθένα θα έλκεται από τον κάθε πυρήνα. Το σχήμα 14-4α δείχνει τις ελκτικές δυνάμεις σε ένα από τα υποθετικά στιγμιότυπα. Το σχήμα 14-4β δείχνει τις απωστικές δυνάμεις. Αν προσπαθήσετε να τις υπολογίσετε, θα βρείτε στο σχήμα 14-4α, οκτώ ελκτικές αλληλεπιδράσεις, τέσσερις περισσότερες από ό,τι στα άτομα. Ακόμη, υπάρχουν επτά απωστικές αλληλεπιδράσεις, πέντε περισσότερες από ό,τι στα μεμονωμένα άτομα. Εμπειρικά, οι χημικοί γνωρίζουν ότι οι τέσσερις νέες ελκτικές δυνάμεις δεν επαρκούν, για να υπερνικήσουν τις πέντε νέες απωστικές. Γι' αυτό δεν σχηματίζεται χημικός δεσμός.

Η εξήγηση λοιπόν της υπάρξεως δεσμού στο H_2 και της απουσίας δεσμού στα δύο άτομα του He, βρίσκεται στα σχετικά μεγέθη των ελκτικών και των απωστικών δυνάμεων. Χρησιμοποιώντας την κβαντομηχανική και με τη βοήθεια ανωτέρων μαθηματικών, είναι δυνατόν να υπολογίσομε αυτά τα μεγέθη. Δυστυχώς η δυσκολία των ανωτέρων μαθηματικών θέτει τέτοιους περιορισμούς, ώστε μόνο μερικά από το πιο απλά μόρια έχουν υπολογισθεί με μεγάλη ακρίβεια. Βέβαια, οι χημικοί εδώ και πολύ καιρό είναι σε θέση να προβλέπουν κατά πόσο είναι δυνατόν να σχηματισθεί ένας δεσμός, χωρίς να καταφεύγουν στη βοήθεια ενός υπολογιστή.

Το σχήμα 14-3δ δείχνει την απλοποιημένη παράσταση των αλληλεπιδράσεων δύο ατόμων ηλίου. Το κάθε άτομο ηλίου είναι τελείως σκιασμένο (= πλήρες) πριν να πλησιάσει το ένα με το άλλο. Αυτό έγινε, για να φανεί ότι υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια σε κάθε ένα από τα 1*s* τροχιακά. Ως αποτέλεσμα τα δύο επικαλυπτόμενα τροχιακά θα είχαν την πλήρη διάταξη των τεσσάρων ηλεκτρονίων (δύο για κάθε τροχιακό, σύμφωνα με τη αρχή του Pauli). Είναι όμως γεγονός, που έχει αποδειχθεί πειραματικά, ότι δύο πλήρη τροχιακά δεν αυξάνουν τη σταθερότητα τους, όταν επικαλυφθούν. Δεν σχηματίζονται δεσμοί.


(α)
Αποστάσεις
Ηλεκτρονίου - Πρωτονίου:
Ελκτικές δυνάμεις
(β)
Αποστάσεις
Ηλεκτρονίου - Ηλεκτρονίου
και Πρωτονίου - Πρωτονίου:
Απωστικές δυνάμεις
Νέα
Νέα
Νέα

Η έλλειψη δεσμών ανάμεσα στα δύο άτομα του ηλίου είναι ένα καλό παράδειγμα για την ερμηνεία του ακόλουθου γενικού κανόνα:

Όταν δύο άτομα διαθέτουν μόνο πλήρως συμπληρωμένα τροχιακά, η άπωση ηλεκτρονίου από ηλεκτρόνιο εμποδίζει την επικάλυψη και δεν σχηματίζεται δεσμός ανάμεσά τους.

14.4 Απεικόνιση του χημικού δεσμού.

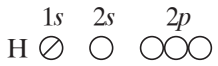
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, χημικοί δεσμοί είναι δυνατόν να σχηματισθούν, όταν δύο άτομα μοιρασθούν ηλεκτρόνια χρησιμοποιώντας τα ημισυμπληρωμένα τροχιακά. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι συμβολισμού, με σκοπό να βοηθήσουν στην εφαρμογή αυτού του κανόνα. Όλοι παρέχουν τη δυνατότητα γραφικής απεικονίσεως του δεσμού.

Ένας τρόπος παραστάσεως του ομοιοπολικού δεσμού προβλέπει τη χρήση διαγραμμάτων, στα οποία απεικονίζεται συμβολικά η πληρότητα των τροχιακών. Πρώτα, τα διαθέσιμα τροχιακά απεικονίζονται με κύκλους, ακρίβως όπως στο διάγραμμα της ενεργειακής στάθμης στο σχήμα 13–1. Μόνο που, για εξοικονόμηση χώρου, τα τροχιακά σχεδιάζονται οριζόντια με βάση την ενέργεια, η οποία αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά, όπως στο παρακάτω παράδειγμα:

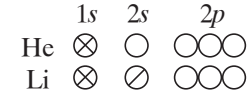


Τα διαστήματα ανάμεσα στους κύκλους παριστάνουν τις διάφορες ενέργειες.

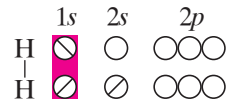
Κάθε ένα ηλεκτρόνιο συμβολίζεται με μια γραμμή, που σχεδιάζεται μέσα στον κύκλο του αντίστοιχου τροχιακού. Το άτομο του υδρογόνου, στην πιο σταθερή του κατάσταση, παριστάνεται ως εξής:



Ακολουθούν επίσης τα παραδείγματα σχεδιασμού των ατόμων ηλίου και λιθίου.



Απεικόνιση του χημικού δεσμού με τη βοήθεια των τροχιακών. Ο γενικός κανόνας για το σχηματισμό ομοιοπολικού δεσμού εφαρμόζεται πολύ εύκολα, με τη βοήθεια της απεικονίσεως των τροχιακών.



Σχηματισμός δεσμού



Δεν είναι δυνατός
ο σχηματισμός δεσμού

Στην προηγούμενη απεικόνιση δεν χρειάσθηκε να ασχοληθούμε με την ομάδα της αμέσως επόμενης ενεργειακής στάθμης, δηλαδή με τα τροχιακά 2*s* και 2*p*. Προκειμένου για το υδρογόνο και το ήλιο, τα 2*s* και 2*p* τροχιακά τους βρίσκονται σε πολύ υψηλότερη ενέργεια, όπως δείχνει και το διάγραμμα, γι' αυτό και οδηγούν σε πολύ ασθενείς έλξεις.

Απεικόνιση του χημικού δεσμού με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων. Αν χρησιμοποιήσομε για την παράσταση των ηλεκτρονίων τελείες, τότε η αμοιβαία συνεισφορά των ηλεκτρονίων ανάμεσα στα άτομα παριστάνεται με τις τελείες αυτές τοποθετημένες ανάμεσα στα άτομα. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο ο σχηματισμός του υδρογόνου συμβολίζεται ως εξής:

$$\mathrm{H\cdot} + \mathrm{H\cdot} \longrightarrow \mathrm{H{:}H}$$

Απεικόνιση του χημικού δεσμού με γραμμές. Όπως μάθατε στην παράγραφο 7.13 οι χημικοί συχνά παριστάνουν ένα δεσμό ανάμεσα σε άτομα με τη βοήθεια μιας ή περισσοτέρων γραμμών. Αυτό είχαν αρχίσει να το εφαρμόζουν πολύ πριν κατανοήσουν το ρόλο που παίζουν τα ηλεκτρόνια στο χημικό δεσμό. Το σύστημα των γραμμών συμφωνεί και με τις σύγχρονες θεωρίες των δεσμών και γι' αυτό εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα. Μια απλή γραμμή ισοδυναμεί με ένα διαμοιραζόμενο ανάμεσα σε δύο άτομα ζεύγος ηλεκτρονίων.

Όλες οι παραπάνω απεικονίσεις θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενες αναφορές σχετικά με τους δεσμούς.

14.5 Ο δεσμός του φθορίου.

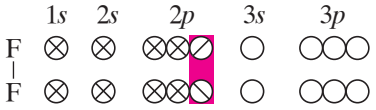
Η ερμηνεία των χημικών δεσμών αποκτά κάποια αξία μόνο όταν έχει γενική εφαρμογή. Προκειμένου να εξετασθεί η χρησιμότητα της απεικονίσεως των δεσμών, ας παρατηρήσομε τις ενώσεις των στοιχείων της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα, ξεκινώντας από το φθόριο.

Κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως, το φθόριο είναι αέριο. Από πειράματα που έγιναν με βάση την πυκνότητά του, προέκυψε ότι ένα μόριο φθορίου περιέχει δύο άτομα. Υπάρχει λοιπόν κάποιος χημικός δεσμός ανάμεσα στα δύο άτομα του φθορίου. Συμφωνούν όμως οι κανόνες που αναφέρονται στους δεσμούς με αυτά τα πειραματικά δεδομένα;

Απεικόνιση του δεσμού του φθορίου με τη βοήθεια των τροχιακών. Ένα άτομο φθορίου έχει εννέα ηλεκτρόνια. Επτά από αυτά τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν μια μερικώς συμπληρωμένη συστάδα διαφορετικών ενεργειακών επιπέδων, όπως εξάλλου φαίνεται και από το επόμενο διάγραμμα:

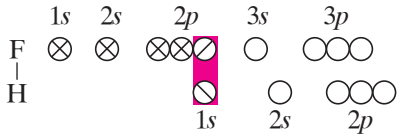


Η συστάδα αυτή περιέχει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από ό,τι επιτρέπει η χωρητικότητά της. Έτσι, το φθόριο θα έχει τη δυνατότητα να μοιρασθεί ένα ηλεκτρόνιο με κάποιο άλλο άτομο, που θα διαθέτει επίσης αυτήν τη δυνατότητα. Αν, για παράδειγμα, πλησιάσει ένα άλλο άτομο φθορίου, τότε τα δύο άτομα ίσως να μοιρασθούν ένα ζεύγος ηλεκτρονίων και να σχηματίσουν έναν ομοιοπολικό δεσμό, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί:



Όταν πλησιάσει το δεύτερο άτομο φθορίου και μοιρασθεί το ηλεκτρόνιό του, τα τροχιακά και των δύο ατόμων γίνονται «πλήρη» και δεν υπάρχει πια καμιά δυνατότητα σχηματισμού άλλου δεσμού. Έτσι, στο F_2 δεν μπορεί να προστεθεί τρίτο ή τέταρτο άτομο για να σχηματισθεί F_3, F_4 κλπ.

Ας μελετήσομε τώρα κατά πόσο υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας δεσμού, όταν ένα άτομο φθορίου συναντά ένα άτομο υδρογόνου. Πάλι το φθόριο έχει μια ευκαιρία να μοιρασθεί ηλεκτρόνια με ένα δεύτερο άτομο που διαθέτει ημισυμπληρωμένο τροχιακό. Το αποτέλεσμα φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα:



Το φθόριο, αφού μοιρασθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίων με το υδρογόνο, αποκτά πάλι συμπληρωμένα, «πλήρη», τροχιακά. Δεν έχει άλλη δυνατότητα σχηματισμού δεσμού. Το ίδιο ισχύει και για το άτομο του υδρογόνου, αν και γι' αυτό το άτομο δεν υπάρχει διαθέσιμο παρά μόνο ένα τροχιακό, το 1*s*. Επειδή δεν απομένουν ημισυμπληρωμένα τροχιακά σε κανένα άτομο, δεν υπάρχει πια τάση για δημιουργία άλλου δεσμού και έτσι σχηματίζεται μια σταθερή ένωση, το HF.

Στο καθένα από αυτά τα μόρια, F_2 και HF, το άτομο του φθορίου σχηματίζει ένα δεσμό. Στο F_2, ο δεσμός είναι με ένα δεύτερο άτομο φθορίου και στο HF με ένα άτομο του υδρογόνου. Αυτή η ικανότητα δημιουργίας ενός μόνο δεσμού οφείλεται στο ότι το φθόριο είναι ***μονοσθενές***.

Μόλις λίγο πιο πριν είδαμε ότι το άτομο του φθορίου σχηματίζει δεσμούς με τη βοήθεια ενός τροχιακού, που βρίσκεται στη δεύτερη ενεργειακή συστάδα. Το 1*s* τροχιακό του δεν χρησιμοποιείται στη σύναψη του δεσμού, γιατί είναι ήδη συμπληρωμένο. Δηλαδή δεν έχει τη δυνατότητα να επικαλύψει ή να μοιρασθεί ένα ηλεκτρόνιο με κάποιο άλλο άτομο. Κατ' αναλογία, τα άλλα τροχιακά, εκτός από την ομάδα των 2*s*2*p*, είναι απολύτως κενά και δεν μπορούν με κανένα τρόπο να συμβάλουν στη δημιουργία δεσμών. Έτσι, προκειμένου να εξετάσομε με ποιο τρόπο ένα άτομο φθορίου είναι δυνατόν να σχηματίσει δεσμούς, πρέπει να επικεντρώσομε την προσοχή μας αποκλειστικά στην ενεργειακή συστάδα με τα ημισυμπληρωμένα τροχιακά. Τα τροχιακά που βρίσκονται σε αυτήν την ομάδα θα αναφέρονται ως ***τροχιακά σθένους***. Με τον όρο «σθένος» χαρακτηρίζεται η ικανότητα για σύζευξη. Τα τροχιακά του σθένους είναι αυτά που ευθύνονται για τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια που κατέχουν τα τροχιακά του σθένους θα αποκαλούνται ***ηλεκτρόνια σθένους.***

Απεικόνιση των δεσμών του φθορίου με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων. Όταν οι χημικοί δεσμοί παριστάνονται με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων, είναι πιο χρήσιμο να απεικονίζονται μόνο τα ηλεκτρόνια σθένους. Στο φθόριο υπάρχουν επτά, γιατί το ζεύγος των ηλεκτρονίων που βρίσκεται στο 1*s* τροχιακό είναι

τόσο σφικτά συνδεδεμένο, ώστε παίζει ασήμαντο ρόλο στη χημεία του φθορίου. Τελικά, με τη χρήση αυτής της απεικονίσεως η αντίδραση ανάμεσα σε δύο άτομα φθορίου συμβολίζεται ως ακολούθως:

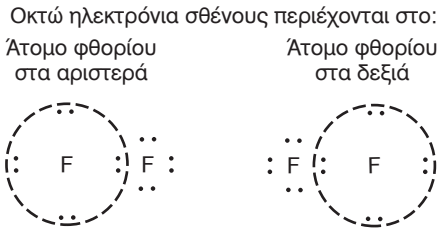
$$:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}\cdot + \cdot\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}: \longrightarrow :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}:$$

Από τα προηγούμενα, μπορεί κάποιος να συμπεράνει ότι είναι δυνατόν να σχηματισθεί ένας ομοιοπολικός δεσμός ανάμεσα στα δύο άτομα του φθορίου. Μια απογραφή των ηλεκτρονίων που κατέχονται ή μοιράζονται από το κάθε άτομο του φθορίου κάνει φανερό ότι τα τροχιακά σθένους είναι πλήρη. Για παράδειγμα, προκειμένου για το άτομο του φθορίου στα αριστερά, υπάρχουν ηλεκτρικές έλξεις που αφορούν οκτώ ηλεκτρόνια σθένους. Έξι από αυτά τα ηλεκτρόνια ανήκουν αποκλειστικά στο ίδιο το άτομο, ενώ τα άλλα δύο διαμοιράζονται με το άτομο του φθορίου, που βρίσκεται στα δεξιά, όπως φαίνεται και στο σχήμα 14-5. Επειδή οκτώ ηλεκτρόνια είναι ακριβώς η χωρητικότητα των 2*s* και 2*p* τροχιακών σθένους, το κάθε άτομο φθορίου έχει κατά προσέγγιση, την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση του στοιχείου νέο. Προηγουμένως είδαμε ότι η ηλεκτρονιακή διάταξη του κάθε ευγενούς αερίου θα πρέπει να είναι από ενεργειακής απόψεως σταθερή, γιατί αυτά τα αέρια στερούνται δραστικότητας.

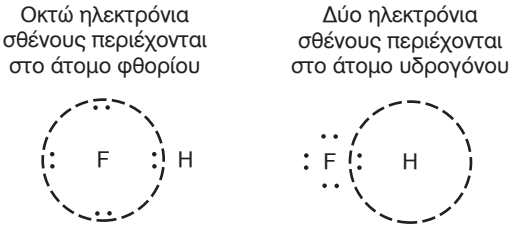
Ο σχηματισμός του υδροφθορίου παριστάνεται με τον ακόλουθο ηλεκτρονιακό τύπο:

$$:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}\cdot + \cdot\mathrm{H} \longrightarrow :\ddot{\underset{\cdot\cdot}{\mathrm{F}}}:\mathrm{H}$$

Μια καταμέτρηση των ηλεκτρονίων γύρω από κάθε άτομο (σχ. 14-6) δείχει πάλι ότι πρόκειται για σταθερή διάταξη. Πράγματι, το άτομο υδρογόνου έχει στη διάθεσή του μόνο δύο ηλεκτρόνια, ενώ το φθόριο έχει οκτώ. Βέβαια, αυτό είναι από ενεργειακής απόψεως το επιθυμητό, γιατί το υδρογόνο διαθέτει μόνο ένα τροχιακό σθένους, το 1*s* τροχιακό. Αρκούν λοιπόν δύο ηλεκτρόνια, για να πληρωθεί αυτό το τροχιακό.



ΣΧΗΜΑ 14-5. *Στο μόριο του φθορίου το κάθε άτομο αποκτά τη σταθερή διαμόρφωση ευγενούς αερίου.*



ΣΧΗΜΑ 14-6. *Στο μόριο του υδροφθορίου, τόσο το υδρογόνο όσο και το φθόριο έχουν αποκτήσει τη διαμόρφωση ευγενούς αερίου.*

Ο δεσμός ενός ατόμου φθορίου με ένα ακόμη άτομο φθορίου ή με ένα άτομο υδρογόνου, είναι δυνατόν να ερμηνευθεί με τη βοήθεια της συνεισφοράς ηλεκτρονίων, τα οποία και συμπληρώνουν τα ημισυμπληρωμένα τροχιακά σθένους. Η συνεισφορά αυτή καθιστά τα μόρια F_2 ή HF πιο σταθερά από ενεργειακής απόψεως, από ό,τι τα μεμονωμένα άτομα. Η ενεργειακή σταθερότητα δημιουργείται εξαιτίας της ταυτόχρονης έλξεως των ηλεκτρονίων που συμμετέχουν και από τους δύο θετικούς πυρήνες. Κάτι τέτοιο οδηγεί όμως στη δημιουργία χημικού δεσμού.

Περίληψη.

Ένα μόριο αποτελείται από μία ομάδα ατόμων, η οποία εμφανίζει χαρακτηριστικές ιδιότητες. Τα άτομα των ευγενών αερίων έχουν πολύ σταθερή ηλεκτρονιακή διαμόρφωση και γι' αυτό δεν σχηματίζουν εύκολα μόρια.

Στοιχεία διαφορετικά από τα ευγενή αέρια έχουν άτομα με ηλεκτρονιακές διαμορφώσεις τέτοιες που τα καθιστούν λιγότερο σταθερά. Έτσι, τα άτομα αυτά εμφανίζουν, διαφορετική χημική δραστικότητα. Πολλά άτομα για να αποκτήσουν τη σταθερή ηλεκτρονιακή διαμόρφωση των ατόμων των ευγενών αερίων, «συνεργάζονται» με άλλα άτομα του ιδίου ή και διαφορετικών στοιχείων. Η συνηθέστερη μορφή αυτής της «συνεργασίας» είναι η συνεισφορά ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα άτομα. Η συνεισφορά αυτή δημιουργεί έναν κοινό δεσμό, που τείνει να συγκρατήσει τα άτομα κοντά, σχηματίζοντας έτσι ένα μόριο. Ο δεσμός που δημιουργείται με συνεισφορά ηλεκτρονίων ονομάζεται ομοιοπολικός δεσμός.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γιατί, όταν τα άτομα βρίσκονται πλησιέστερα μεταξύ τους, η συνολική ενέργεια είναι μικρότερη από ό,τι όταν είναι απομακρυσμένα;
2. Για ποιο λόγο οι απωστικές δυνάμεις ανάμεσα στα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια δύο διαφορετικών ατόμων δεν εμποδίζουν το σχηματισμό μορίων;

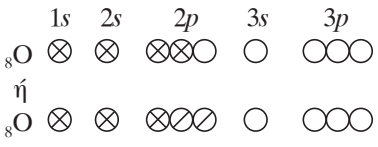
Πώς δημιουργούνται οι δεσμοί των στοιχείων της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα

14.6 Η ικανότητα των ατόμων του οξυγόνου να σχηματίζουν δεσμούς.

Η δεύτερη σειρά του περιοδικού πίνακα αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

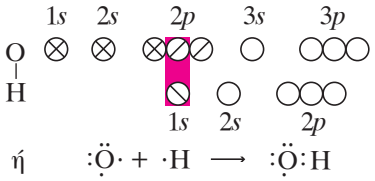
Li Be B C N O F Ne

Προηγουμένως μάθαμε για ποιο λόγο το φθόριο μπορεί να σχηματίσει μόνο ένα δεσμό και γιατί το νέο δεν μπορεί να σχηματίσει τέτοιο δεσμό. Οι ικανότητες των άλλων στοιχείων αυτής της σειράς να σχηματίζουν δεσμούς ποικίλλουν σημαντικά, είναι όμως εμφανείς και κάποιες τάσεις. Με τη βοήθεια της γενικής έννοιας για τους χημικούς δεσμούς, η οποία αναπτύχθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, είναι δυνατόν να ερμηνευθούν αυτές οι τάσεις. Το ουδέτερο άτομο του οξυγόνου έχει οκτώ ηλεκτρόνια. Έξι από αυτά καταλαμβάνουν μερικώς τα τροχιακά 2*s* και 2*p*. Δύο βρίσκονται στο συμπληρωμένο 1*s* τροχιακό. Γι' αυτό, το οξυγόνο διαθέτει έξι ηλεκτρόνια σθένους. Τα τροχιακά 2*s* και 2*p* είναι τα τροχιακά σθένους. Τα ηλεκτρόνια σθένους διατάσσονται στα τροχιακά αυτά κατά τους δύο ακόλουθους τρόπους:

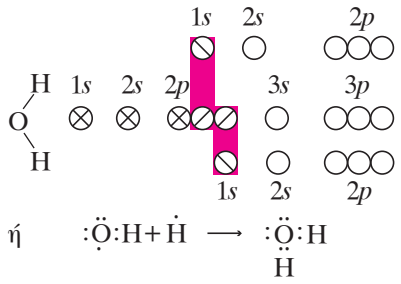


Για να κατανοήσετε ποια από τις δύο διατάξεις θα ήταν σωστότερη, πρέπει να θυμηθείτε την τοποθέτηση των *p* τροχιακών στο χώρο. Το κάθε τροχιακό εκτείνεται κατά μήκος του ενός από τους τρεις καρτεσιανούς άξονες (όπως αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο 12). Αν τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν τα τροχιακά κατά τρόπο όμοιο με αυτόν που δείχνει το πρώτο σχήμα, τότε δύο ηλεκτρόνια θα κατείχαν το *p* τροχιακό, το οποίο εκτείνεται κατά μήκος του άξονα των *x* (p_x), δύο ηλεκτρόνια θα βρίσκονταν στο *p* τροχιακό, που εκτείνεται κατά μήκος του άξονα των *y* (p_y), ενώ το p_z τροχιακό θα περέμενε κενό. Σύμφωνα με το δεύτερο σχήμα, θα υπάρχουν δύο ηλεκτρόνια στο p_x, ένα στο p_y και ένα στο p_z. Επειδή τα ηλεκτρόνια απωθούνται μεταξύ τους, είναι πιθανό να σκεφθείτε ότι η δεύτερη διάταξη, στη οποία τα ηλεκτρόνια είναι πιο απομακρυσμένα, θα έχει και τη μικρότερη ενέργεια. Τα πειράματα δείχνουν ότι πράγματι συμβαίνει αυτό, γι' αυτό και οι συζητήσεις, σχετικά με το δεσμό του οξυγόνου, θα βασισθούν στην ηλεκτρονιακή διαμόρφωση μέσα στα τροχιακά, η οποία συμφωνεί με το δεύτερο σχήμα.

Ας υποθετεί ότι ένα άτομο υδρογόνου πλησιάζει ένα άτομο οξυγόνου, που βρίσκεται στην πιο σταθερή του κατάσταση. Κάθε άτομο έχει μερικώς συμπληρωμένα τροχιακά σθένους. Αν τα ηλεκτρόνια βρεθούν ταυτόχρονα κοντά στους δύο πυρήνες, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό ενός σταθερού δεσμού, όπως φαίνεται και από τις επόμενες απεικονίσεις:

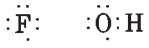


Και οι δύο απεικονίσεις δείχνουν ότι στον τύπο του OH έχει απομείνει ένα μέρος της δυνατότητας σχηματισμού και άλλου δεσμού. Το επάνω σχήμα δείχνει ότι στο τρίτο 2*p* τροχιακό υπάρχει μια θέση για ένα ακόμη ηλεκτρόνιο. Δηλαδή είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένας ακόμη δεσμός. Στον ηλεκτρονιακό τύπο εμφανίζονται γύρω από το άτομο του οξυγόνου επτά ηλεκτρόνια. Το άτομο αυτό θα μπορούσε να γίνει σταθερότερο, αν είχε τη δυνατότητα να αποκτήσει ένα επί πλέον ηλεκτρόνιο. Και οι δύο απεικονίσεις δείχνουν ότι το OH είναι σε θέση να αντιδράσει με ένα ακόμη άτομο υδρογόνου, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:

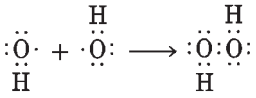


Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η ένωση H_2O. Η κάθε απεικόνιση δείχνει ότι η ικανότητα σχηματισμού δεσμού για το οξυγόνο εξαντλείται, όταν σχηματισθούν δύο δεσμοί. Σε αυτό ακριβώς οφείλεται και ο χαρακτηρισμός του οξυγόνου ως ***δισθενούς***. Η ένωση H_2O είναι εξαιρετικά σταθερή. Κάθε ένα από τα άτομα στο H_2O έχει συμπληρώσει τα τροχιακά σθένους του με συνεισφορά ηλεκτρονίων.

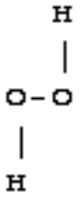
Αντίδραση ανάμεσα σε δύο μόρια OH. Το OH, αν και είναι δραστικό, αποτελείται από μια ομάδα ατόμων αρκετά σταθερή και θα ήταν δυνατόν να θεωρηθεί, κατά κάποιον τρόπο, ως μόριο. Για παράδειγμα, απαντά σε αρκετές φλόγες υψηλής θερμοκρασίας. Θα έπρεπε, ίσως, να περιμένει κάποιος ότι η χημεία του θα ήταν όμοια με αυτήν των ατόμων του φθορίου. Ας συγκρίνομε τους ηλεκτρονιακούς τύπους του φθορίου και του υδροξυλίου:



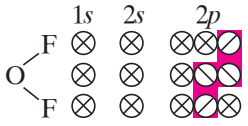
Αφού δύο άτομα φθορίου αντιδρούν και σχηματίζουν έναν ομοιοπολικό δεσμό, θα πρέπει να συμβαίνει το ίδιο και με τα δύο μόρια του OH.



Η προηγούμενη αντίδραση οδηγεί στο σχηματισμό της ενώσεως H_2O_2. Ο τύπος αυτός συμβολίζει τη γνωστή ένωση υπεροξείδιο του υδρογόνου. Η δομή του H_2O_2 μπορεί, για μεγαλύτερη ευκολία, να γραφεί και με τον ακόλουθο τρόπο:



Ενώσεις οξυγόνου - φθορίου. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, εύκολα προβλέπεται ότι το οξυγόνο θα σχηματίζει με δύο άτομα του φθορίου μια σταθερή ένωση, την OF_2. Τα τροχιακά της ενώσεως αυτής γράφονται με τον παρακάτω τρόπο (στην παράσταση αυτή, όπως και στις επόμενες, τα κενά τροχιακά, τα οποία βρίσκονται πολύ υψηλότερα από τα τροχιακά σθένους, παραλείπονται για ευκολία:



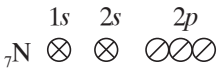
Η ίδια παράσταση με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων γίνεται:



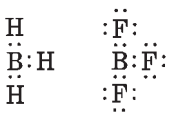
Αξίζει να σημειωθεί ότι και εδώ το οξυγόνο είναι δισθενές.

14.7 Η ικανότητα των ατόμων του αζώτου να σχηματίζουν δεσμούς.

Το ελεύθερο άτομο του αζώτου είναι περισσότερο σταθερό, όταν διαθέτει το μέγιστο δυνατό αριθμό ημισυμπληρωμένων τροχιακών σθένους. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα ηλεκτρόνια διατηρούνται όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένα, όπως συνέβαινε και με την πιο σταθερή διάταξη του ατομού του οξυγόνου. Η σταθερότερη αυτή κατάσταση του ατόμου του αζώτου παριστάνεται ως εξής:



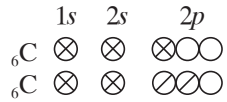
Τα διαγράμματα οδηγούν στην πρόβλεψη ότι το άζωτο είναι τρισθενές. Υπάρχει πληθώρα ενδείξεων, οι οποίες ενισχύουν αυτήν την πρόβλεψη. Για παράδειγμα, το άζωτο αντιδρά με υδρογόνο και σχηματίζει την αέρια αμμωνία. Η αμμωνία είναι μια σταθερή ένωση με τύπο NH_3. Το άζωτο αντιδρά επίσης με φθόριο και σχηματίζει κάποιο άλλο αέριο, το NF_3. Ακολουθούν οι ηλεκτρονιακοί τύποι των προηγουμένων ενώσεων:



αμμωνία τριφθοριούχο άζωτο

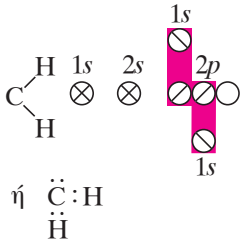
14.8 Η ικανότητα των ατόμων του άνθρακα να σχηματίζουν δεσμούς.

Για τη μελέτη του ατόμου του άνθρακα, υπάρχουν πολλές διατάξεις τροχιακών, οι οποίες πρέπει να εξετασθούν. Δύο πιθανές διατάξεις είναι και αυτές που ακολουθούν:



Με βάση τη γενικά αποδεκτή διαπίστωση ότι τα ηλεκτρόνια αλληλοαπωθούνται, η δεύτερη διάταξη πρέπει να είναι πιο σταθερή από την πρώτη. Σύμφωνα με αυτήν τη δεύτερη διάταξη, υπάρχει από ένα ηλεκτρόνιο τοποθετημένο στο καθένα από τα p_x και p_y τροχιακά, ενώ στην πρώτη τα δύο ηλεκτρόνια πρακτικά βρίσκονται στο ίδιο τροχιακό, στο p_x. Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι πράγματι η δεύτερη διάταξη είναι πιο σταθερή από την πρώτη.

Με βάση αυτήν ακριβώς τη διάταξη, είναι δυνατόν να προβλεφθεί τώρα η χημεία του ατόμου του άνθρακα. Πρέπει να είναι ***δισθενές*** και να σχηματίζει ενώσεις, όπως CH_2 και CF_2. Ας μελετήσομε μία από αυτές, την CH_2:



Εδώ διαμορφώνεται μια κατάσταση, που δεν την έχομε συναντήσει προηγουμένως. Αφού χρησιμοποιηθούν το δύο διαθέσιμα, μερικώς συμπληρωμένα τροχιακά για το σχηματισμό των ομοιοπολικών δεσμών με τα άτομα του υδρογόνου, το άτομο του άνθρακα εξακολουθεί να έχει ένα κενό τροχιακό σθένους. Από τον ηλεκτρονιακό τύπο φαίνεται ότι το άτομο του άνθρακα βρίσκεται κοντά σε έξι μόνο ηλεκτρόνια στο CH_2. Τα τροχιακά σθένους όμως έχουν τη δυνατότητα να δεχθούν οκτώ ηλεκτρόνια. ***Επειδή το ένα τροχιακό σθένους είναι εντελώς κενό, είναι φυσικό να αναμένει κάποιος πως το CH_2 χαρακτηρίζεται από μεγάλη δραστικότητα.***

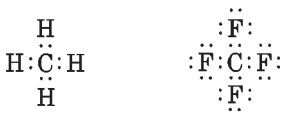
Πράγματι, το μόριο του CH_2 είναι εξαιρετικά δραστικό. Θεωρείται σταθερό, γιατί δεν διασπάται αυτόματα σε μικρότερα κλάσματα. Όμως, όπως και το μοριακό ιόν H_2^+, το οποίο αναφέρθηκε προηγουμένως, αντιδρά πολύ εύκολα με άλλα χημικά είδη, για να σχηματίσει νέες χημικές ενώσεις, που θα έχουν πολύ μικρότερη ενέργεια από αυτήν του CH_2.

Τόσο το CH_2, όσο και η ανάλογη ένωση CF_2 υφίστανται, αλλά και τα δύο είναι πολύ δραστικά για να μπορέσουν να παρασκευασθούν σε καθαρή μορφή, δηλαδή να «απομονωθούν». Η πολύ μεγάλη δραστικότητά τους υποδηλώνει ότι είναι πιθανόν ο άνθρακας να δημιουργήσει πιο σταθερές ενώσεις, αν χρησιμοποιήσει και τα τέσσερα τροχιακά σθένους του για το σχηματισμό δεσμών. Αυτό μας αναγκάζει να δεχθούμε και έναν τρίτο τρόπο πληρώσεως των τροχιακών:



Με αυτόν τον τρόπο διατάξεως των ηλεκτρονίων μέσα στα τροχιακά, ένα άτομο άνθρακα διαθέτει τέσσερα ημισυμπληρωμένα τροχιακά σθένους. Είναι κατά κάποιο τρόπο λιγότερο σταθερό από το άτομο, στο οποίο τα ηλεκτρόνια σθένους έχουν τη διαμόρφωση $2s^2\ 2p_x\ 2p_y$. Αιτία γι' αυτό το γεγονός είναι ότι για να ανυψωθεί ή να «προωθηθεί» ένα ηλεκτρόνιο από το $2s$ στο σχετικά μεγαλύτερης ενέργειας $2p_z$ τροχιακό, χρειάζεται ενέργεια. Βέβαια η ενέργεια γι' αυτήν την προώθηση δεν είναι αρκετά μεγάλη, ενώ, ως αντάλλαγμα αυτής, το άτομο αποκτά την ικανότητα σχηματισμού τεσσάρων ομοιοπολικών δεσμών. Ο κάθε ομοιοπολικός δεσμός αυξάνει τη σταθερότητα περισσότερο από όσο χρειάζεται, προκειμένου να αναπληρωθεί η κατανάλωση ενέργειας που πραγματοποιήθηκε, για την προώθηση ενός ηλεκτρονίου $2s$. Μ' αυτόν τον τρόπο πληρώσεως των τροχιακών είναι δυνατόν ο άνθρακας να μοιρασθεί, για παράδειγμα, ηλεκτρόνια με τέσσερα άτομα υδρογόνου ή φθορίου. Όταν συμβεί κάτι τέτοιο, σχηματίζονται οι σταθερές ενώσεις μεθάνιο και τετραφθοριούχος άνθρακας.

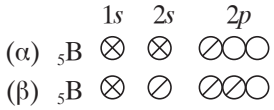
Σε αυτές, όπως και στις περισσότερες από τις σταθερές ενώσεις του, ο άνθρακας εμφανίζεται ***τετρασθενής***:



μεθάνιο — τετραφθοριούχος άνθρακας

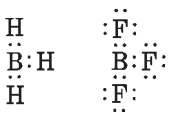
14.9 Η ικανότητα των ατόμων του βορίου να σχηματίζουν δεσμούς.

Το άτομο του βορίου, όπως δείχνουν και τα δύο διαγράμματα που ακολουθούν, κατά την πλήρωση των τροχιακών του, εμφανίζει την ίδια ευχέρεια επιλογής με το άτομο του άνθρακα:

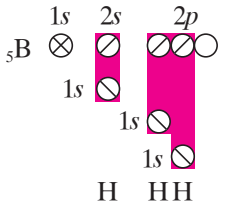


Η ηλεκτρονιακή διάταξη (β), από ενεργειακής απόψεως, βρίσκεται λίγο ψηλότερα από την (α). Προκειμένου να σχηματισθεί η (β) διάταξη είναι απαραίτητο να προωθηθεί ένα 2*s* ηλεκτρόνιο στην κατάσταση 2*p*. Σε αντάλλαγμα αυτής της μετατοπίσεως, το άτομο του βορίου αποκτά την ικανότητα σχηματισμού περισσοτέρων δεσμών. Ενώ σύμφωνα με τη διάταξη (α) το άτομο του βορίου έχει τη δυνατότητα σχηματισμού μόνο ενός ομοιοπολικού δεσμού, σύμφωνα με τη (β) διάταξη μπορεί να σχηματίσει τρεις. Επειδή ο σχηματισμός του κάθε δεσμού μειώνει τη συνολική ενέργεια, στη χημεία του βορίου προτιμάται η ηλεκτρονιακή διάταξη (β).

Με βάση αυτές τις πληροφορίες, πρέπει κάποιος να περιμένει ότι το άτομο του βορίου θα είναι τρισθενές. Επίσης, θα πρέπει να προβλέπεται η ύπαρξη μορίων, όπως είναι το BH_3 και το BF_3:



Αξίζει να σημειωθεί όμως ότι στη κάθε μία από αυτές τις ενώσεις παραμένει ένα εντελώς κενό τροχιακό σθένους. Για παράδειγμα, η απεικόνιση των τροχιακών για το BH_3 θα είχε την παρακάτω μορφή:

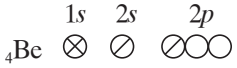


Το κενό 2p τροχιακό είναι ανάλογο με εκείνο που υπάρχει στο CH_2. Επειδή το CH_2 είναι πολύ δραστικό, θα πρέπει να υποθέσομε το ίδιο και για το BH_3. Πράγματι, αυτό συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Η παρουσία του BH_3 αποδεικνύεται μόνο εμμέσως. Αντίθετα, το βόριο σχηματίζει μια σειρά από ασυνήθεις ενώσεις με υδρογόνο, από τις οποίες πιο απλή είναι το διβοράνιο, B_2H_6. Η δομή του B_2H_6 καθώς και των άλλων λιγότερο απλών ενώσεων βορίου - υδρογόνου, είναι πολύπλοκη και ο τρόπος με τον οποίο σχηματίζονται οι δεσμοί στα μόρια αυτά προϋποθέτει γνώσεις, που ξεπερνούν τους στόχους αυτού του κεφαλαίου. Τα μόρια αυτά εξακολουθούν να αποτελούν αντικείμενο έντονης ερευνητικής δραστηριότητας ερευνητών χημικών.

Παρ' όλο που το κενό τροχιακό σθένους, το οποίο υπάρχει στο BH_3, το καθιστά πολύ δραστική ένωση, η ανάλογη ένωση BF_3 είναι σταθερή. Το τριφθοριούχο βόριο είναι αέριο, το οποίο παρασκευάζεται εύκολα σε καθαρή μορφή. Η ερμηνεία του τρόπου με τον οποίο είναι δυνατόν τα άτομα του βορίου να ικανοποιούν εν μέρει την ικανότητα σχηματισμού δεσμού του κενού 2*p* τροχιακού (κάτι που δεν είναι δυνατόν για τα άτομα υδρογόνου), καθώς και τα αποτελέσματα της μελέτης των ενώσεων βορίου - υδρογόνου γενικά, δεν μπορούν να παρουσιασθούν εδώ. Αρκεί όμως επί του παρόντος να παρατηρήσομε ότι το BF_3 είναι η πιο σταθερή ένωση βορίου - φθορίου και ότι το βόριο σε αυτήν εμφανίζεται τρισθενές.

14.10 Η ικανότητα των ατόμων του βηρυλλίου να σχηματίζουν δεσμούς.

Το άτομο του βηρυλλίου, όπως του βορίου και του άνθρακα έχει τη δυνατότητα να προωθήσει ένα ηλεκτρόνιο, ώστε να σχηματίσει περισσότερους χημικούς δεσμούς. Η εικόνα που ακολουθεί δείχνει την τελική ηλεκτρονιακή διαμόρφωση:



ΠΙΝΑΚΑΣ 14.1.
Τα φθορίδια των στοιχείων της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα.

Στοιχεία της δεύτερης σειράς	Τύπος φθοριδίου	Σημείο τήξεως (K)	Σημείο βρασμού (K)
Li	LiF	1115	1949
Be	BeF_2	1073*	1073*
B	BF_3	146	172
C	CF_4	89	145
N	NF_3	66	144
O	OF_2	49	128
F	F_2	50	85

* *Σε ατμοσφαιρική πίεση 1073 K μεταβάλλεται κατευθείαν από στερεό σε ατμό.*

Θα περίμενε κάποιος να βρει, στην αέρια φάση, μόρια του τύπου BeH_2 και BeF_2. Πράγματι, έχουν ανιχνευθεί τέτοια μόρια. Η ιδιομορφία όμως του βορίου απαντά και στο βηρύλλιο, αλλά σε διπλάσιο βαθμό. Διαθέτει ***δύο*** κενά τροχιακά σθένους. Ως αποτέλεσμα αυτών, τα καθαρά μόρια BeH_2 και BeF_2 λαμβάνονται μόνο σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 1000 K). Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η παρουσία των κενών τροχιακών σθένους οδηγεί στο σχηματισμό στερεών με πολύπλοκη δομή. Στα στερεά αυτά το άτομο του βηρυλλίου χρησιμοποιεί όλα τα τροχιακά σθένους του.

14.11 Η ικανότητα των ατόμων του λιθίου να σχηματίζουν δεσμούς.

Είναι σχετικά λίγα τα νεότερα στοιχεία που θα ήταν δυνατόν να αναφερθούν γύρω από την ικανότητα ενός ατόμου λιθίου να σχηματίζει δεσμούς. Καθώς διαθέτει μόνο ένα ηλεκτρόνιο σθένους, θα έπρεπε να σχηματίζει αέρια μόρια του τύπου LiH και LiF. Εξαιτίας των κενών τροχιακών σθένους, ο σχηματισμός αυτών των ουσιών θα ήταν δυνατός μόνο σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες. Από τα προηγούμενα κεφάλαια θα θυμάστε ότι το άτομο του λιθίου μπορεί να χάσει εύκολα το μοναδικό ηλεκτρόνιο σθένους του και να μετατραπεί στο ιόν Li^+. Το ιόν αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του λιθίου. Τα απλά ομοιοπολικά μόρια, όπως το LiF και LiH, είναι γνωστά μόνο σε αέρια κατάσταση, ενώ ακόμη και σε αυτά τα μόρια οι ιοντικές δυνάμεις παίζουν πρωτεύοντα ρόλο, όπως αναφέρεται επεξηγηματικά στην παράγραφο 14.13.

Ο πίνακας 14.1 περιέχει τους τύπους και τα σημεία τήξεως και βρασμού των σταθερών φθοριδίων των στοιχείων της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα. Στην κάθε περίπτωση, ο τύπος που αναφέρεται στον πίνακα αντιστοιχεί στον πραγματικό μοριακό τύπο του κάθε είδους, όταν βρίσκεται στην αέριο φάση.

14.12 Διευκρίνιση σχετικά με τη χρήση του όρου «σθένος».

Πολύ συχνά, όταν ομιλούμε περί χημικών δεσμών αναφέρεται ο όρος «σθένος». Δυστυχώς, ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε, για να δηλώσει ένα πλήθος διαφορετικών εννοιών. Σθένος ονομάζεται και το φορτίο ενός ιόντος, αλλά και ο συνολικός αριθμός των ατόμων με τα οποία κάποιο συγκεκριμένο άτομο μπορεί να σχηματίσει δεσμούς. Η περισσότερο αποδεκτή σήμερα σημασία αυτού του όρου ίσως να είναι η εξής: ο όρος «σθένος» δηλώνει τον αριθμό των μονοσθενών ατόμων (όπως το H ή το F), με τα οποία συνενώνεται ένα άτομο κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως. Είναι φανερό ότι ένας όρος με τόσο πολλές έννοιες μπορεί να προκαλέσει σύγχυση, κατά τη μελέτη των χημικών δεσμών. Όταν όμως η βασική έννοια του χημικού δεσμού γίνει σαφώς κατανοητή, τότε είναι χρήσιμο να ομιλούμε περί σθένους ενός στοιχείου (ή τουλάχιστον για το σύνηθες σθένος) κατά την επίλυση καθημερινών πρακτικών προβλημάτων, όπου απαιτείται η γραφή τύπων και

εξισώσεων. Στο κεφάλαιο 19, όπου θα εξετασθούν λεπτομερειακά τόσο ο τρόπος γραφής των χημικών τύπων όσο και η εύρεση των συντελεστών των χημικών εξισώσεων, θα φανεί χρήσιμος ο όρος «σθένος».

Περίληψη.

Η ικανότητα του κάθε ατόμου της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα να σχηματίζει δεσμούς με ζεύγη ηλεκτρονίων σχετίζεται με την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση αυτού. Τα άτομα του Li, N, O και του F σχηματίζουν τόσους δεσμούς, όσα είναι τα ημισυμπληρωμένα τροχιακά στην περισσότερο σταθερή διάταξη των ατόμων τους. Τα Be, B και C σχηματίζουν περισσότερους δεσμούς από αυτό τον αριθμό (δηλ. των ημισυμπληρωμένων τροχιακών), γιατί μερικά από τα ηλεκτρόνια, που κανονικά βρίσκονται τοποθετημένα κατά δυάδες στο κάθε τροχιακό, έχουν τη δυνατότητα να προωθηθούν εύκολα σε κενά τροχιακά σθένους. Έτσι, το Be, το οποίο έχει ως περισσότερο σταθερή διάταξη την $2s^2$, είναι δυνατόν να την αλλάξει στην $2s2p$. Σύμφωνα με αυτήν την τελευταία διάταξη, διαθέτει δύο ημισυμπληρωμένα τροχιακά και μπορεί να σχηματίσει δύο δεσμούς. Κατ' αναλογία, το βόριο είναι δυνατόν να μεταπέσει από τη διάταξη $2s^22p$ στη διάταξη $2s2p_x2p_y$ και να σχηματίσει τρεις δεσμούς, ενώ ο άνθρακας μεταπίπτει από τη διάταξη $2s^22p_x2p_y$ στην $2s2p_x2p_y2p_z$ και σχηματίζει τέσσερις δεσμούς.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Το μόριο NH_2 έχει ακόμη δυνατότητα δημιουργίας δεσμών και γι' αυτό εμφανίζεται εξαιρετικά δραστικό. Το μόριο N_2H_4 (υδραζίνη) είναι πολύ πιο σταθερό. Να σχεδιάσετε, με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων, τους δεσμούς της υδραζίνης. Επίσης, να γράψετε το συντακτικό της τύπο.
2. Να σχεδιάσετε με τη βοήθεια των τροχιακών και των ηλεκτρονιακών τύπων το καθένα από τα παρακάτω μόρια: OF, O_2F_2, HOF, HFO_2. Ποιο από αυτά πρέπει να είναι πιο δραστικό;
3. Να σχεδιάσετε τους ηλεκτρονιακούς τύπους των μορίων CH_3, CF_3, CHF_3, CH_2F_2, CH_3F. Ποιο θα είναι εξαιρετικά δραστικό;
4. Να σχεδιάσετε τον ηλεκτρονιακό και το συντακτικό τύπο του μορίου C_2H_6 (αιθάνιο), το οποίο σχηματίζεται, αν ενωθούν δύο μόρια CH_3. Να εξηγήσετε γιατί το C_2H_6 είναι πολύ λιγότερο δραστικό από το CH_3.

Κάποιοι δεσμοί έχουν ιοντικό χαρακτήρα

14.13 Το είδος του δεσμού στο αέριο φθοριούχο λίθιο.

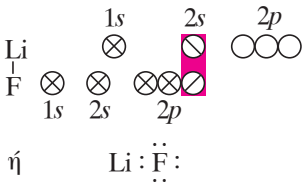
Ο χημικός δεσμός στο μόριο του υδρογόνου, H_2 ονομάσθηκε ομοιοπολικός. Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια διαμοιράζονται έτσι, ώστε να βρίσκονται ταυτόχρονα και κατά κάποιο τρόπο εξίσου κοντά στους δύο πυρήνες. Τα δύο άτομα υδρογόνου γίνονται με αυτόν τον τρόπο πιο σταθερά, ενώ αυτό δικαιολογεί και τη δημιουργία ενός χημικού δεσμού.

Όλοι οι χημικοί δεσμοί δημιουργούνται, επειδή είναι δυνατόν να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόνια ταυτόχρονα κοντά σε δύο πυρήνες. Όμως, συμβαίνει συχνά τα διαμοιραζόμενα ηλεκτρόνια, να μην είναι εξίσου μοιρασμένα. Μερικές φορές τα ηλεκτρόνια, αν και βρίσκονται κοντά και στους δύο πυρήνες, τείνουν να πλησιάσουν περισσότερο τον ένα πυρήνα. Το γιατί μπορεί κάποιος να το καταλάβει, αν συγκρίνει τους δεσμούς του αερίου φθορίου, F_2, και του αερίου φθοριούχου λιθίου, LiF.

Ο δεσμός στο μόριο του F_2 αναφέρθηκε προηγουμένως. Επειδή κανένα από τα άτομα του φθορίου δεν μπορεί να έλξει ένα ηλεκτρόνιο και να το αποσπάσει από το άλλο, «συμβιβάζονται» και μοιράζονται ένα ζεύγος ηλεκτρονίων. Τι γίνεται όμως με το χημικό δεσμό του μορίου του φθοριούχου λιθίου;

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως

το λίθιο έχει ένα ηλεκτρόνιο σθένους. Μπορεί να μοιρασθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίων με ένα άτομο φθορίου, όπως δείχνουν και οι επόμενες απεικονίσεις:



ή

Αναμένεται να προκύψει ένα σταθερό μόριο, το LiF. Ο όρος «σταθερό» σημαίνει και πάλι ότι προκειμένου να διασπασθεί το μόριο απαιτείται ενέργεια. Η ενεργεια των μορίων είναι χαμηλότερη από αυτήν των ατόμων που αντέδρασαν, γιατί το ζεύγος ηλεκτρονίων το οποίο σχημάτισε το δεσμό δέχεται ταυτόχρονα τις έλξεις και των δύο πυρήνων, τόσο του λιθίου όσο και του φθορίου. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια μοιράζονται εξίσου. Σε τελευταία ανάλυση, τα άτομα του λιθίου και του φθορίου έλκουν τα ηλεκτρόνια με διαφορετική ένταση. Αυτό φαίνεται και από τις ενέργειες ιοντισμού (I) των δύο αυτών ατόμων:

$$(\alpha)\ \mathrm{F} \rightarrow (\alpha)\ \mathrm{F}^+ + (\alpha)e^- \qquad I = 401{,}5\ \text{kcal/mole}$$

$$(\alpha)\ \mathrm{Li} \rightarrow (\alpha)\ \mathrm{Li}^+ + (\alpha)\ e^- \qquad I = 124{,}3\ \text{kcal/mole}$$

Είναι σαφές ότι το άτομο του φθορίου συγκρατεί τα ηλεκτρόνιά του πολύ πιο έντονα από ό,τι το άτομο του λίθιου. Ως αποτέλεσμα, το ηλεκτρονιακό ζεύγος στο δεσμό του φθοριούχου λιθίου έλκεται επίσης πιο έντονα προς το άτομο του φθορίου από ό,τι προς αυτό του λιθίου. Η ενέργεια είναι χαμηλότερη, αν τα ηλεκτρόνια βρίσκονται πιο κοντά στο άτομο του φθορίου. Όταν τα ηλεκτρόνια του δεσμού κινούνται πλησιάζοντας το ένα από τα δύο άτομα, λέμε ότι ο δεσμός έχει ιοντικό χαρακτήρα.

Στην πιο ακραία περίπτωση τα ηλεκτρόνια του δεσμού έρχονται τόσο πολύ κοντά στο ένα από τα άτομα, ώστε το άτομο αυτό έχει ουσιαστικά την κατανομή ηλεκτρονίων του αρνητικού ιόντος. Αυτό συμβαίνει και στην περίπτωση του αερίου LiF, και περιγράφεται ως εξής:

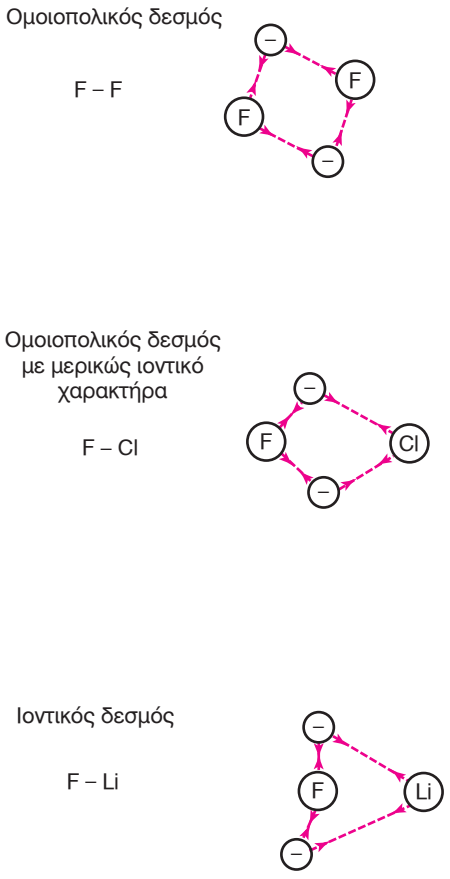


Όταν τύποι αυτού του είδους αποτελούν μια χρήσιμη βάση για τη μελέτη των ιδιοτήτων ενός μορίου, τότε ο δεσμός μέσα σε αυτό το μόριο λέγεται ότι είναι ιοντικός δεσμός.

Σύγκριση του ομοιοπολικού και του ιοντικού δεσμού. Το μόριο του φθορίου αποτελείται από δύο άτομα, τα οποία συγκρατούνται ενωμένα εξαιτίας της επί πλέον ενέργειας, την οποία αποκτά το μόριο αυτό, όταν το ζεύγος των ηλεκτρονίων του δεσμού τους βρεθεί ταυτόχρονα κοντά σε δύο πυρήνες φθορίου. Τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τα άτομα αλλά μέσα στο μόριο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κατά μέσο όρο να βρίσκονται συμμετρικά κατανεμημένα ανάμεσα και γύρω από τους δύο όμοιους πυρήνες φθορίου. Η συμμετρική αυτή κατανομή είναι η φυσική συνέπεια της ίσης έλξεως που ασκούν οι δύο πυρήνες του φθορίου στα ηλεκτρόνια του δεσμού. Το μόριο του φθοριούχου λιθίου συγκρατείται επίσης από την αυξημένη ενέργεια που συνεπάγεται η τοποθέτηση ενός συνδετικού ζεύγους ηλεκτρονίων ταυτόχρονα κοντά στα άτομα λιθίου και φθορίου. Σε αυτήν όμως την περίπτωση, τα ηλεκτρόνια κινούνται έτσι, ώστε να παραμένουν πλησιέστερα στο άτομο του φθορίου από ό,τι στο άτομο του λιθίου. Το φθόριο έλκει τα ηλεκτρόνια πολύ ισχυρότερα από ό,τι το λίθιο.

Είναι πια φανερό ότι δεν υπάρχει παρά μόνο μία αρχή, η οποία διέπει το σχηματισμό ενός χημικού δεσμού ανάμεσα σε δύο άτομα. ***Οι δεσμοί σχηματίζονται επειδή τα ηλεκτρόνια τοποθετούνται ταυτόχρονα κοντά σε δύο θετικούς πυρήνες***. Με τον όρο ***ομοιοπολικός δεσμός*** υποδηλώνεται ότι η πιο σταθερή κατανομή ηλεκτρονίων (όσον αφορά στην ενέργεια που περιέχουν) είναι συμμετρική ανάμεσα στα δύο άτομα. Όταν τα ηλεκτρόνια του δεσμού βρίσκονται λίγο πιο κοντά στο ένα από τα δύο άτομα, λέγεται ότι ο δεσμός έχει ιοντικό χαρακτήρα. Ο όρος ***ιοντικός δεσμός*** χρησιμοποιείται, όταν τα ηλεκτρόνια βρίσκονται τόσο πολύ μετατοπισμένα προς το ένα άτομο, ώστε θα ήταν δυνατόν κατά προσέγγιση να παρασταθούν τα συνδεόμενα άτομα ως ένα ζεύγος ιόντων πολύ κοντά το ένα με το άλλο. Στο σχήμα 14-7 δίνεται σχηματικά ο τρόπος της κατανομής των ηλεκτρονίων στον ομοιοπολικό, στο μερικώς ιοντικό και στον ιοντικό δεσμό. Το σχήμα δείχνει πώς θα έμοιαζαν τα ηλεκτρόνια σε κάποιο στιγμιότυπο. Στο κάθε είδος δεσμού, οι έλξεις ανάμεσα σε ηλεκτρόνια και τον πυρήνα είναι αυτές που δημιουργούν την ενέργεια σταθεροποιήσεως του μορίου.

Το ηλεκτρικό δίπολο του ιοντικού δεσμού. Σε έναν ιοντικό δεσμό, η μετατόπιση του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου προς την πλευρά του ενός



ΣΧΗΜΑ 14-7. *Ο ομοιοπολικός δεσμός (πάνω) εμφανίζει ουδέτερο συνολικό φορτίο ανάμεσα στα σωματίδια που προσεγγίζουν το ένα το άλλο. Το κεντρικό μόριο έχει μερικώς ιοντικό χαρακτήρα και το κάτω μόριο είναι ιοντικό.*

ατόμου δημιουργεί διαχωρισμό του φορτίου. Αυτό θα μπορούσε να παρασταθεί αυθαίρετα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 14-7. Το μόριο είναι ηλεκτρικά θετικό στη μεριά του λιθίου και ηλεκτρικά αρνητικό στη μεριά του φθορίου.

Έτσι, σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό δίπολο. Κάθε μόριο αυτού του είδους, το οποίο κατέχει δύο διαφορετικά κέντρα (ή πόλους) ηλεκτρικού φορτίου, είναι γνωστό ως πολικό μόριο. Κάθε πολικό μόριο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο επειδή τα κέντρα των φορτίων του ή οι πόλοι είναι ίσα σε μέγεθος, αλλά έχουν αντίθετο πρόσημο.

Τα πολικά μόρια έχουν κάποιες σημαντικές ιδιότητες, οι οποίες διαφέρουν από εκείνες που εμφανίζουν τα μη πολικά μόρια. Για παράδειγμα, οι δυνάμεις που ασκούν μεταξύ τους τα πολικά μόρια είναι πολύ ισχυρότερες από εκείνες, οι οποίες ασκούνται από μη πολικά μόρια. Πιθανότατα, μπορείτε να μαντέψετε γιατί συμβαίνει αυτό. Διαφορετικά, θα το μάθετε στο κεφάλαιο 17.

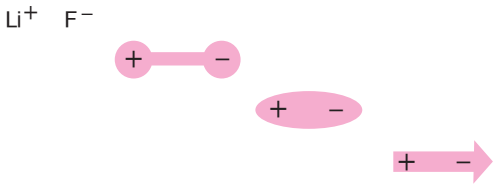
Υπάρχουν μερικοί απλοί τρόποι, για να παρασταθεί ένα πολικό μόριο. Κάποιοι από αυτούς αναφέρονται στο σχήμα 14-8. Η παράσταση με τη χρήση βέλους είναι αυτή που χρησιμοποιείται ευρύτερα. Συνηθίζεται η κεφαλή του βέλους να παριστάνει το αρνητικό άκρο του μορίου. Ο προσανατολισμός (= κατεύθυνση) του βέλους υποδηλώνει ότι η δύναμη που αυτό το μόριο ασκεί πάνω σε ένα άλλο μόριο εξαρτάται από τον προσανατολισμό του δευτέρου μορίου.

14.14 Ο ιοντικός χαρακτήρας των δεσμών του φθορίου.

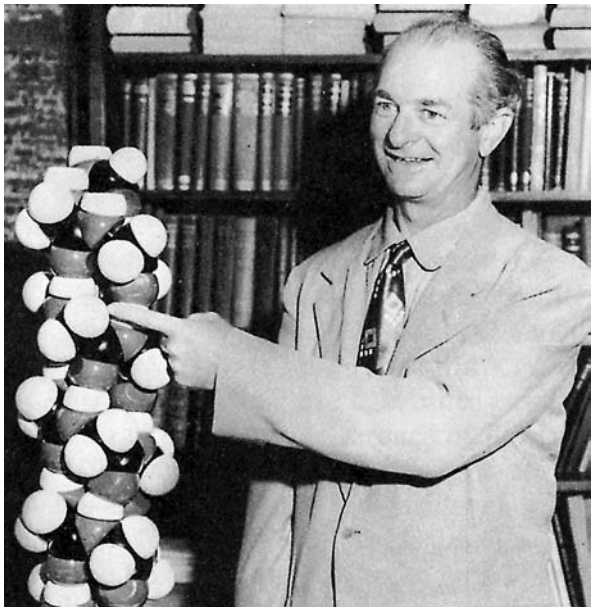
Τα συμπεράσματα που μόλις αναφέρθηκαν επαληθεύονται στην περίπτωση δεσμών, τους οποίους σχηματίζει το φθόριο με άλλα στοιχεία. Οι ενέργειες ιοντισμού των στοιχείων δίνουν μια κατά προσέγγιση ένδειξη του μεγέθους των έλξεων ηλεκτρονίου - πυρήνα. Στον πίνακα 14.2 συγκρίνονται οι ενέργειες ιοντισμού του φθορίου και άλλων στοιχείων της δεύτερης σειράς του περιοδικού πίνακα. Στην τελευταία στήλη του πίνακα 14.2 περιγράφεται το είδος του χημικού δεσμού, ο οποίος σχηματίζεται στην κάθε περίπτωση. Η τάση από τον ομοιοπολικό στον ιοντικό δεσμό (και αντίστροφα) οφείλεται στη μείωση (ή αύξηση) των ενεργειών ιοντισμού των στοιχείων που συνδέονται με το F. Η τάση στον τύπο του δεσμού επηρεάζει σημαντικά την τάση των χημικών ιδιοτήτων αυτών των ενώσεων.

14.15 Ο ιοντικός χαρακτήρας των δεσμών υδρογόνου.

Μόνο του το στοιχείο υδρογόνο θα μπορούσε να χαρακτηρισθεί ως ολόκληρη οικογένεια.



ΣΧΗΜΑ 14-8. *Ο ιοντικός δεσμός του φθοριούχου λιθίου δημιουργεί ένα δίπολο με θετικό φορτίο στον πυρήνα του λιθίου και αρνητικό φορτίο σε εκείνον του φθορίου. Συχνά, το δίπολο συμβολίζεται με ένα βέλος.*



Linus C. Pauling
(1901 - 1994)

Η φήμη του Linus Pauling απλώθηκε πέρα από τους τοίχους του εργαστηρίου του. Ο Pauling και η Marie Curie είναι οι μόνοι άνθρωποι που τιμήθηκαν με δύο βραβεία Νόμπελ. Το 1954 έλαβε το Νόμπελ Χημείας «για την έρευνά του γύρω από τη φύση του χημικού δεσμού», και το 1962 το βραβείο Νόμπελ Ειρήνης «για την αντίθεσή του σε όλες τις συρράξεις για την επίλυση των διεθνών διαφορών».

Στην αρχή της σταδιοδρομίας του στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνιας, όπου και διεξήγαγε το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής εργασίας του, αξιοποίησε την περίθλαση των ακτίνων-Χ (η οποία περιγράφεται στο κεφάλαιο 15), για να μετρήσει την απόσταση των ατόμων μέσα σε μόρια και σε κρυστάλλους. Αυτό τον οδήγησε σε εντατική μελέτη της δομής αυτών των ενώσεων και των δυνάμεων που τις συγκρατούν. Το 1939 δημοσίευσε την εργασία η ***«Φύση του Χημικού Δεσμού»***. Αυτή η εργασία του επηρέασε σημαντικά την έρευνα σε όλους τους τομείς της χημείας. Στο βιβλίο αυτό περιέγραψε τη φύση των ομοιοπολικών και των ιοντικών δεσμών, εξέτασε το ρόλο που παίζουν τα υβριδοποιημένα τροχιακά στους δεσμούς και διετύπωσε τη θεωρία του συντονισμού για να εξηγήσει κάποιες από τις ιδιαιτερότητες στη συμπεριφορά του βενζολίου και άλλων μορίων (τα υβριδοποιημένα τροχιακά και ο συντονισμός εξετάζονται στο κεφάλαιο 15).

Κατά τη διάρκεια της θητείας του στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνιας συνέβαλε τα μέγιστα ώστε να γίνει αυτό το ίδρυμα ένα από τα μεγαλύτερα ερευνητικά βιοχημικά κέντρα του κόσμου. Εφήρμοσε τις τεχνικές της φυσικοχημείας για την επίλυση πολλών ιατρικών προβλημάτων. Μελέτησε τη δομή των πρωτεϊνών, ανάμεσα στις οποίες και τα κύτταρα των ερυθρών αιμοσφαιρίων, και πρότεινε τον όρο «μοριακή ασθένεια» για ορισμένους τύπους διανοητικών παθήσεων.

Ενώ εργαζόταν πάνω στα προβλήματα που αφορούσαν την κληρονομικότητα, άρχισε να ενδιαφέρεται όλο και περισσότερο για τα προβλήματα που συνεπάγεται πιθανός πυρηνικός πόλεμος και για την απειλή των σοβαρών γενετικών καταστροφών, οι οποίες προκαλούνται από τα ραδιενεργά κατάλοιπα των δοκιμών των πυρηνικών όπλων, που διεξάγονται στην ατμόσφαιρα. Στις αρχές του 1958 υπέβαλε στα Ηνωμένα Έθνη μια αίτηση, που έφερε τις υπογραφές 9235 επιστημόνων και με τη οποία ζητούσε από τον οργανισμό αυτόν να καταδικάσει τη διεξαγωγή και άλλων ατμοσφαιρικών δοκιμών με πυρηνικά όπλα. Οι προσπάθειές του οδήγησαν σχεδόν αμέσως σε κοινή αναστολή των ατμοσφαιρικών πυρηνικών δοκιμών· επί πλέον υπεγράφη μια καταδικαστική απόφαση των δοκιμών από περισσότερα από 100

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.2.
Τύποι δεσμών σε μερικές ενώσεις του φθορίου.

Ένωση	Δεσμός	Ενέργειες ιοντισμού (Kcal/mole) Στοιχείο συνδεόμενο με F		Φθόριο	Τύπος δεσμού
FF	F–F	F	401,5	401,5	Ομοιοπολικός
OF_2	O–F	O	313,8	401,5	ελαφρά ιοντικός
NF_3	N–F	N	335	401,5	αυξανόμενος ιοντικός χαρακτήρας
CF_4	C–F	C	259,5	401,5	
BF_3	B–F	B	191,2	401,5	αυξανόμενος ομοιοπολικός χαρακτήρας
BeF_2	Be–F	Be	214,9	401,5	
LiF	Li–F	Li	124,3	401,5	ελαφρά ομοιοπολικός ιοντικός

Συχνά λόγω της χημικής συμπεριφοράς του διακρίνεται από τα υπόλοιπα στοιχεία του περιοδικού πίνακα. Αυτό συμβαίνει και στην περίπτωση που επιχειρείται η πρόβλεψη του ιοντικού χαρακτήρα των δεσμών του υδρογόνου.

Η ενέργεια ιοντισμού του ατόμου του υδρογόνου 313,6 Kcal/mole, βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτήν του φθορίου. Κατά συνέπεια, στο HF θα πρέπει να αναμένεται ένας ομοιοπολικός δεσμός ανάμεσα σε αυτά τα δύο άτομα. Στην πραγματικότητα όμως οι ιδιότητες του HF δείχνουν ότι το μόριο διαθέτει σημαντική διπολική ροπή, ενδεικτική του ιοντικού χαρακτήρα του δεσμού. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση των δεσμών O-H του νερού και, σε μικρότερη κλίμακα, στην περίπτωση των δεσμών N-H της αμμωνίας. ***Δεν είναι δυνατόν να προβλέψομε τον ιοντικό χαρακτήρα των δεσμών με υδρογόνο μετρώντας τις ενέργειες ιοντισμού τους.***

Έχουν εξετασθεί οι ιδιότητες πολλών ενώσεων, που περιέχουν υδρογόνο. Με βάση αυτές τις ιδιότητες, έχει γίνει εκτίμηση του ιοντικού χαρακτήρα των δεσμών υδρογόνου. Πρακτικά, εμφανίζουν ό,τι θα περίμενε κάποιος από δεσμούς με ένα στοιχείο, που έχει ενέργεια ιοντισμού περίπου 200 kcal/mole. Έτσι, ο δεσμός υδρογόνου - φθορίου στο HF είναι ιοντικός. Τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς το άτομο του φθορίου και αφήνουν το άτομο του υδρογόνου με κάποιο θετικό φορτίο. Το υδρογόνο δρα ως στοιχείο με μικρότερη ενέργεια ιοντισμού από αυτήν του φθορίου. Το ίδιο, αν και σε μικρότερη έκταση, ισχύει για το υδρόγονο, το οποίο συνδέεται με οξυγόνο και άζωτο. Ο δεσμός άνθρακα - υδρογόνου εμφανίζει μόνο ελαφρά ιοντικό χαρακτήρα. Στην άλλη άκρη του περιοδικού πίνακα, το αέριο υδρίδιο του λιθίου είναι γνωστό ότι διαθέτει σημαντική διπολική ροπή, αλλά αντίστροφη. Στο LiH τα ηλεκτρόνια κατευθύνονται προς το άτομο του υδρογόνου και αφήνουν το άτομο του λιθίου με κάποιο θετικό φορτίο. Αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τη χαμηλή ενέργεια ιοντισμού του λιθίου, 124,3 kcal/mole, αρκετά πιο κάτω από την τιμή των 200 kcal/mole που αντιστοιχούν στο υδρογόνο. Για τους δικούς σας σκοπούς, αρκεί να εξετάσετε την ικανότητα του υδρογόνου να σχηματίζει δεσμούς με βάση μια *φαινόμενη ενέργεια ιονισμού κοντά στα 200 Kcal/mole.*

14.16 Ομοιοπολικές και ιοντικές χημικές ενώσεις.

Κατά τη διάρκεια ενός προηγουμένου πειράματος (κεφάλαιο 9, παράγρ. 9.10) διαβιβάσατε ηλεκτρικό ρεύμα διά μέσου ενός διαλύματος, που περιείχε ιόντα. Όταν δεν υπήρχαν ιόντα, δεν περνούσε ρεύμα από το κύκλωμα.

Στο κεφάλαιο αυτό μάθατε ότι ομοιοπολικοί δεσμοί σχηματίζονται, όταν δύο άτομα συνεισφέρουν αμοιβαία ηλεκτρόνια. Είναι δυνατόν τα ηλεκτρόνια να τα μοιράζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κατά μέσο όρο να βρίσκονται εξίσου κοντά και στους δύο πυρήνες των ατόμων. Μάθατε επίσης ότι οι δεσμοί αποκτούν ιοντικό χαρακτήρα, όταν τα ηλεκτρόνιά τους βρίσκονται τοποθετημένα πολύ πιο κοντά στο ένα άτομο από ό,τι στο άλλο.

Είναι ευνόητο να αναρωτιέται κάποιος αν τα ηλεκτρόνια στον ιοντικό δεσμό μπορούν να βρεθούν τόσο κοντά στον ένα πυρήνα και τόσο μακριά από τον άλλο, ώστε όταν η ουσία τηχθεί, να εμφανισθούν ιόντα. Αν πράγματι συμβαίνει αυτό, το υγρό θα πρέπει να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και εσείς θα είστε σε θέση να επιβεβαιώσετε ότι οι δεσμοί που συνδέουν τα άτομα έχουν ιοντικό χαρακτήρα. Αντίθετα, αν το υγρό δεν άγει κάποια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, θα μπορέσετε να συμπεράνετε ότι δεν υπήρχαν ιόντα και ότι οι δεσμοί πρέπει να ήταν κυρίως ομοιοπολικοί.

Όταν έχετε προσδιορίσει τη φύση των δεσμών κάποιας ουσίας, θα είναι ενδιαφέρον να μάθετε αν υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στο χαρακτήρα των δεσμών και τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η ουσία, όταν βρίσκεται διαλυμένη σε νερό.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί ο καθηγητής σας θα μετρήσει την αγωγιμότητα δύο ομάδων αναλόγων υλικών. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει το χλωριούχο νάτριο, NaCl, τον τετραχλωράνθρακα, CCl_4, και το υδροχλώριο, HCl. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει το καυστικό νάτριο, NaOH, και τη μεθανόλη, CH_3OH.

Όταν τα μέλη της πρώτης ομάδας θα έχουν προστεθεί στο νερό, θα ανιχνευθεί η παρουσία χλωριούχων ιόντων μέσα στα διαλύματα με την προσθήκη αραιού διαλύματος νιτρικού αργύρου. Τα διαλύματα του νιτρικού αργύρου περιέχουν ιόντα αργύρου, τα οποία συνδέονται με τα χλωριούχα ιόντα και σχηματίζουν ένα λευκό ίζημα. Η παρουσία των υδροξυλιόντων της δεύτερης ομάδας θα ανιχνευθεί με την προσθήκη αραιού διαλύματος χλωριούχου σιδήρου (III), το οποίο περιέχει ιόντα σιδήρου (III). Τα ιόντα του τρισθενούς σιδήρου, παρουσία υδροξυλιόντων, δημιουργούν ένα χαρακτηριστικό ίζημα.

ΥΛΙΚΑ

Ορθοστάτης και δακτύλιος
Λύχνος
Συρμάτινο τρίγωνο πυρακτώσεως
2 χωνευτήρια πορσελάνης
5 δοκιμαστικοί σωλήνες, 18 x 150 mm
1 g κρυσταλλικού χλωριούχου νατρίου
1 g φυλλίδια ή δισκία καυστικού νατρίου
5 ml τετραχλωράνθρακα
5 ml μεθανόλης
2 κομμάτια χάλκινου σύρματος #16, μήκους 10 cm
Λαβίδα
3 μονωμένα καλώδια, με ακροδέκτες κροκοδειλάκια
Συσσωρευτές 6 volt ή πηγή παροχής συνεχούς ρεύματος
Αμπερόμετρο ή φωτιστική λυχνία των 6 volt με κατάλληλη συνδεσμολογία
5 ml διαλύματος HCl σε τολουόλιο
1 ml διαλύματος νιτρικού αργύρου

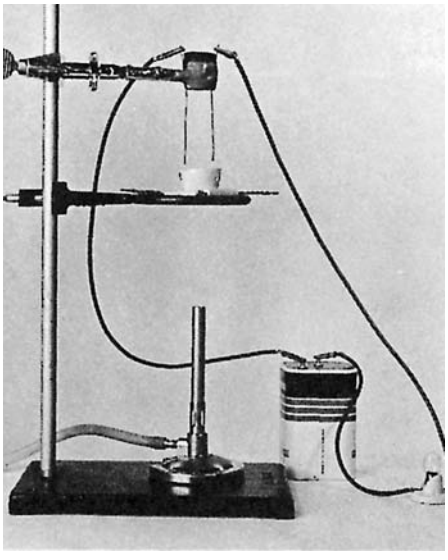
1 ml διαλύματος χλωριούχου σιδήρου (III)
2 ελαστικά πώματα
Απεσταγμένο νερό
Μονωτική ταινία
Συρμάτινο πλέγμα με αμίαντο



ΣΧΗΜΑ 14-9.

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

1. Στερεώστε δύο κομμάτια χάλκινου σύρματος #16, μήκους το καθένα περίπου 10 cm, στις απέναντι πλευρές ενός ελαστικού πώματος τύπου #4 ή #5. Στερεώστε τα με τη βοήθεια ενός κομματιού μονωτικής ταινίας, την οποία θα περιτυλίξετε μερικές φορές γύρω από το πώμα. Αφήστε να εξέχει περίπου 1 cm σύρματος πάνω από το πώμα στην κάθε πλευρά προκειμένου να γίνουν οι συνδέσεις, όπως δείχει το σχήμα 14-9. Με τη βοήθεια μιας λαβίδας στερεώστε το πώμα με τα ηλεκτρόδιά του στην κορυφή ενός ορθοστάτη.
2. Με τη βοήθεια ενός μονωμένου σύρματος που έχει στα άκρα του κροκοδειλάκια συνδέστε ένα χάλκινο ηλεκτρόδιο στον ακροδέκτη ενός αμπερομέτρου ή σε μια φωτιστική λυχνία των 6 volt. Συνδέστε τον άλλο ακροδέκτη του αμπερομέτρου ή της λυχνίας σε ένα συσσωρευτή 6 volt ή σε ένα τροφοδοτικό. Συνδέστε τον άλλο ακροδέκτη της ηλεκτρικής πηγής στο άλλο ηλεκτρόδιο του χαλκού (σχ. 14-10). Ελέγξτε τη συσκευή πιέζοντας ελαφρά τα κάτω άκρα των χαλκίνων ηλεκτροδίων, ώστε να έρθουν σε επαφή. Αν ανάψει το λαμπάκι ή μετακινηθεί η βελόνα του αμπερομέτρου, σημαίνει ότι η συσκευή λειτουργεί καλά.
3. Με τη βοήθεια ενός μεταλλικού δακτυλίου στερεώστε ένα χωνευτήριο πορσελάνης επάνω σε ένα τρίγωνο πυρακτώσεως και αυτό πάνω από ένα λύχνο, όπως δείχνει το σχήμα 14-10.
4. Γεμίσετε το χωνευτήριο μέχρι το ύψος των 0,5 cm περίπου με κρυσταλλικό χλωριούχο νάτριο, NaCl. ***Βεβαιωθείτε ότι κατά τη διάρκεια των σταδίων 5-8 φοράτε τα προστατευτικά γυαλιά.***
5. Θερμάνατε το χωνευτήριο και το περιεχόμενο του πολύ, μέχρι να λιώσει το χλωριούχο νάτριο.
6. Απομακρύνατε το λύχνο και χαμηλώστε γρήγορα τα ηλεκτρόδια, ώστε να εισέλθουν στο λιωμένο αλάτι. Προσέξτε αν η ουσία αφήνει να περάσει ηλεκτρικό ρεύμα.
7. Όταν το χωνευτήριο κρυώσει αρκετά, ώστε να στερεοποιηθεί το αλάτι, χρησιμοποιήστε μία λαβίδα χωνευτηρίων, για να σηκώσετε το θερμό χωνευτήριο από το τρίγωνο. Αφήστε το δίπλα, πάνω σε ένα πλέγμα αμιάντου, για να κρυώσει. Πλύνατε τα ηλεκτρόδια του χαλκού με νερό και στεγνώστε τα.
8. Τοποθετήστε ένα άλλο χωνευτήριο πάνω στο τρίγωνο. Προσθέστε 4 ή 5 φυλλίδια καυστικού νατρίου, NaOH. Λιώστε τα προσεκτικά με το λύχνο. Ελέγξατε την αγωγιμότητα της ουσίας που έχει λιώσει, όπως και προηγουμένως. Τραβήξτε στην άκρη το χωνευτήριο να κρυώσει, για να το χρησιμοποιήσετε στο στάδιο 15.
9. Προσθέστε περίπου 5 ml απεσταγμένου νερού στο χωνευτήριο, το οποίο περιέχει το χλωριούχο νάτριο που έχει κρυώσει. Θερμάνατε ελαφρά, για να διαλυθεί το NaCl.
10. Αδειάστε το αλατόνερο μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέστε 2-3 σταγόνες αραιού διαλύματος νιτρικού αργύρου, για να ανιχνεύσετε την παρουσία χλωριόντων. Παρατηρήστε τα αποτελέσματα.
11. Καθαρίστε προσεκτικά όλο το αλάτι από το χωνευτήριο. Στεγνώστε το και



ΣΧΗΜΑ 14-10.

προσθέστε περίπου 5 ml τετραχλωράνθρακα, CCl_4. Ελέγξτε την αγωγιμότητα του υγρού.

12. Αδειάστε τον CCl_4 μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέστε 4-5 ml απεσταγμένου νερού και 2-3 σταγόνες διαλύματος νιτρικού αργύρου. Κλείστε με ένα καθαρό ελαστικό πώμα το δοκιμαστικό σας σωλήνα και αναταράξτε το μίγμα. Καταγράψτε τα αποτελέσματά σας. Αδειάστε το μίγμα στην αποχέτευση και πλύνατε καλά με νερό το δοκιμαστικό σωλήνα.
13. Καθαρίστε και στεγνώστε το χωνευτήριο. Προσθέστε 5 ml διαλύματος υδροχλωρίου, HCl, διαλυμένου σε τολουόλιο. Ελέγξτε την αγωγιμότητά του.
14. Αδειάστε το μίγμα μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέστε 4-5 ml απεσταγμένου νερού και 2-3 σταγόνες διαλύματος νιτρικού αργύρου. Αναδεύσατε προσεκτικά. Καταγράψτε τα αποτελέσματα. Αδειάστε το διάλυμα στην αποχέτευση.
15. Προσθέστε 5 ml απεσταγμένου νερού στο χωνευτήριο του NaOH του σταδίου 8. Θερμάνατε ελαφρά, για να διαλυθεί ένα μέρος από το NaOH. Αδειάστε το διάλυμα μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέστε μερικές σταγόνες διαλύματος χλωριούχου σιδήρου, $FeCl_3$, για να ελέγξετε την παρουσία υδροξυλιόντων. Αναδεύσατε και παρατηρήστε τα αποτελέσματα.
16. Προσθέστε 5 ml μεθανόλης, CH_3OH, μέσα σε ένα καθαρό χωνευτήριο. Ελέγξτε την αγωγιμότητά του.
17. Αδειάστε τη μεθανόλη, μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέστε μερικές σταγόνες διαλύματος χλωριούχου σιδήρου και παρατηρήστε τα αποτελέσματα.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ποια από τις ενώσεις μοιάζει να συγκρατείται από ομοιοπολικούς δεσμούς και ποια από ιοντικούς δεσμούς;
2. Έστω ότι έχετε δύο ζεύγη των ενώσεων: NaCl - CCl_4 και NaOH - CH_3OH. Μήπως φαίνεται να υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στη φύση των δεσμών που συγκρατούν αυτές τις ενώσεις και την απόσταση ανάμεσα στις θέσεις, τις οποίες κατέχουν στον περιοδικό πίνακα τα στοιχεία που συνδέονται; Στο δεύτερο ζεύγος να εξετάσετε τους δεσμούς ανάμεσα σε Na και σε O, και ανάμεσα σε C και σε O.
3. Να εξετάσετε τις σχετικές θέσεις H και Cl στον περιοδικό πίνακα. Μήπως το είδος του δεσμού που διαπιστώσατε ότι υπάρχει στο HCl μοιάζει με το είδος των δεσμών που βρήκατε ότι υπάρχουν στις άλλες δύο ενώσεις του Cl;
4. Να συγκρίνετε τις ηλεκτρονικές δομές των ατόμων Na και H. Σε ποιο βαθμό ευθύνονται τα μεγέθη αυτών των δύο ατόμων για τη διαφορά που διαπιστώσατε στους δεσμούς τους οποίους σχηματίζουν με το Cl;
5. Ποια από τις ενώσεις που ελέγξατε έδειχνε να σχηματίζει ιόντα κατά την ανάμιξη με το νερό;
6. Με βάση τα περιορισμένα στοιχεία τα οποία συλλέξατε, ποια είναι τα αρχικά συμπεράσματα που εξάγονται σχετικά με τη συμπεριφορά των ιοντικών και των ομοιοπολικών ενώσεων, όταν αυτές αναμιγνύονται με νερό;

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Με ποιο τρόπο είναι δυνατόν μια ένωση που συγκρατείται με ομοιοπολικούς δεσμούς να σχηματίσει ιόντα, όταν διαλυθεί σε νερό;

ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Η σύγχρονη βιομηχανική κοινωνία, παράλληλα με τα αγαθά και τις υπηρεσίες που μας προσφέρει, μας επιβαρύνει και με ανεπιθύμητα απόβλητα, επικίνδυνα παραπροϊόντα και διάφορα υπολείμματα. Μέχρι πρόσφατα, η γενική τάση όσον αφορά στα απόβλητα, στα παραπροϊόντα και στα υπολείμματα ήταν να τα απορρίπτομε, να τα αγνοούμε, να υποθέτομε ότι κατά κάποιο μαγικό τρόπο η φύση θα είχε τη δυνατότητα να τα απορροφά χωρίς συνέπειες. Δεν υπάρχει όμως τέτοια μαγική δυνατότητα. Αν εξακολουθήσομε να επιβαρύνομε με σκουπίδια και δηλητήρια το περιβάλλον μας, σύντομα τα περιβαλλοντικά προβλήματα θα είναι τεράστια.

Στο κείμενο που ακολουθεί θα εξετασθούν μερικά από τα κύρια σημεία του «προβλήματος των αποβλήτων». Σε επόμενα σημεία του βιβλίου θα εξετασθούν λεπτομερειακά μερικά από τα περισσότερο σημαντικά ειδικά προβλήματα.

Δυνατότητα αποικοδομήσεως. Μια πολύ σημαντική έννοια για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο υλικά κατασκευασμένα από τον άνθρωπο επηρεάζουν το περιβάλλον μας είναι η αποικοδόμησή τους. Μια ουσία λέγεται ότι δύναται να αποικοδομηθεί αν διάφοροι παράγοντες που φυσιολογικά υπάρχουν στο περιβάλλον, όπως για παράδειγμα τα βακτήρια, οι μύκητες, η υγρασία, η θερμότητα, το ψύχος, το ηλιακό φως και το οξυγόνο του αέρα, την αποσυνθέτουν σε απλούστερες ουσίες, οι οποίες απορροφώνται με ασφάλεια από το περιβάλλον.

Οι πιο σημαντικοί τρόποι αποσυνθέσεως των φυσικών αποβλήτων είναι οι βιολογικές διεργασίες, η δράση των μικροοργανισμών και των μυκήτων. Τα υλικά τα οποία επιδέχονται αυτού του είδους την αποσύνθεση αποκαλούνται ***βιοαποικοδομούμενα***. Υλικά τα οποία παράγονται από φυσικές διεργασίες ή από τον άνθρωπο κατευθείαν από φυσικές πηγές, είναι σχεδόν πάντα βιοαποικοδομούμενα. Πολλές από τις ουσίες τις οποίες παράγει χημικώς ο άνθρωπος δεν είναι βιοαποικοδομούμενες ή τουλάχιστον αποικοδομούνται με πολύ αργό ρυθμό.

Για να γίνει αντιληπτή η δυνατότητα αποικοδομήσεως ή μη, ας εξετάσομε τι γίνεται με το ξύλο και τα πλαστικά. Το ξύλο κατά κύριο λόγο, αποτελείται από κυτταρίνη. Όταν το ξύλο πέφτει στο έδαφος, αρχίζει σχεδόν αμέσως να αποσυντίθεται, βάσει μιας σειράς πολυπλόκων βιολογικών διεργασιών. Από το ξύλο, όταν αποσυντίθεται, προκύπτουν άχρηστα αλλά και χρήσιμα υλικά. Τα προϊόντα αποικοδομήσεως του ξύλου, των φύλλων και των άλλων υλικών, που έχουν ως βάση την κυτταρίνη, μετατρέπονται σε μαυρόχωμα, δηλαδή το μη ορυκτής προελεύσεως τμήμα του εδάφους. Το μαυρόχωμα είναι απαραίτητο στο καλό έδαφος και το εμπλουτίζει.

Όταν ένα κομμάτι πλαστικού -και σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και οι συνθετικές ίνες- απορριφθεί, δεν σημειώνεται παρομοίου είδους φυσική διεργασία από την οποία θα προέκυπταν χρήσιμα υλικά. Όλες οι πλαστικές και οι συνθετικές ίνες αποτελούνται από «μη φυσικά μόρια», τα οποία έχουν κατασκευαστεί από τον άνθρωπο. Το περιβάλλον δεν μπορεί να τα αποικοδομήσει και δεν μπορεί να τα χρησιμοποιήσει. Πρόκειται για απορρίμματα με όλη τη σημασία της λέξεως. Βέβαια, έχουν τη δυνατότητα να καούν και πράγματι καθημερινά καίγονται τόνοι. Αυτό όμως συμβάλλει στη ρύπανση του αέρα, γιατί, όταν αποτεφρώνονται τα πλαστικά, σχηματίζονται πολλά τοξικά αέρια.

Στερεά απόβλητα. Τα απορριπτόμενα στερεά αντικείμενα αποτελούν μια διαρκώς αυξανόμενη μορφή ρυπάνσεως. Το 1920 η κατά κεφαλή παραγωγή στερεών αποβλήτων στις ΗΠΑ ήταν περίπου 1 κιλό την ημέρα. Το 1970 έφτασε τα 2,5 κιλά την ημέρα. Αν πολλαπλασιασθούν τα 2,5 κιλά την ημέρα επί τον πληθυσμό (215 εκατομμύρια) και το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού επί 365 ημέρες, προκύπτουν περίπου 200 εκατομμύρια τόνοι το χρόνο. Και σε αυτόν τον υπολογισμό έχουν ληφθεί υπόψη μόνο απόβλητα, όπως είναι το χαρτί, τα μεταλλικά κουτιά κονσερβών, οι φιάλες, τα ελαστικά των αυτοκινήτων, τα άχρηστα αυτοκίνητα και τα πλαστικά αντικείμενα. Τα βιομηχανικά στερεά απόβλητα εγγίζουν σχεδόν την ίδια ποσότητα.

Υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους δεν επιτρέπεται να εξακολουθήσομε να απορρίπτομε όλα αυτά τα αντικείμενα κατ' αυτόν τον τρόπο. Ο ένας είναι ότι διαρκώς χρησιμοποιούμε μη ανανεώσιμους φυσικούς πόρους, όπως είναι τα ορυκτά του σιδήρου και το πετρέλαιο, για να κατασκευάσομε νέα αντικείμενα, τα οποία θα αντικαταστήσουν αυτά που αχρηστεύθηκαν. Ο δεύτερος είναι ότι κυριολεκτικά εξαντλούμε τις επιτρεπόμενες περιοχές απορρίψεως των απορριμάτων μας.



Το κομμάτι από συμπιεσμένο χαρτί (hardboard) που κρατάει ο επιστήμονας στα αριστερά έχει κατασκευασθεί από αποκόμματα εφημερίδων (όμοια με αυτά που υπάρχουν μέσα στο δοχείο που κρατάει ο επιστήμονας στα δεξιά) και από κομμάτια πλαστικού. Το κιβώτιο που βρίσκεται ακριβώς μπροστά τους, καθώς και το μερικώς ανοικτό καπάκι του έχουν κατασκευασθεί από αυτού του είδους το

Ποιες είναι πρακτικά οι εναλλακτικές λύσεις, τις οποίες διαθέτομε: Βασικά δύο: (1) Η παραγωγή μικρότερης ποσότητας σκουπιδιών. (2) Η αναμόρφωση και ανακύκλωση οποιουδήποτε υλικού, όπου βεβαίως είναι εφικτό αυτό. Φαίνεται βέβαιο ότι οικονομικοί λόγοι μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα θα μας εξαναγκάσουν να εφαρμόσομε και τις δύο αυτές λύσεις, αν και η παρούσα οικονομική φιλοσοφία μοιάζει να ενθαρρύνει την ισχύουσα κατάσταση παραγωγής και απορρίψεως σκουπιδιών. Ακριβώς τώρα φαίνεται να είναι η ώρα, για να ξεκινήσει η επιστημονική τεχνολογική έρευνα, η οποία απαιτείται για την εύρεση νέων μεθόδων μειώσεως της παραγωγής σκουπιδιών και νέων μεθόδων ανακυκλώσεως και αναμορφώσεως του μεγαλυτέρου μέρους των κατ' ανάγκη παραγομένων σκουπιδιών σε μια βιομηχανική κοινωνία.

Ανακύκλωση. Αυτό σημαίνει την ανάκτηση υλικού, όπως το μέταλλο, το λάστιχο και το χαρτί, από απορριφθέντα αντικείμενα και την κατεργασία του, με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που καθιστούν επιβεβλημένη την ανακύκλωση. Βοηθά στη διατήρηση των φυσικών πόρων. Περιορίζει τη ρύπανση. Βοηθά στην αντιμετώπιση του προβλήματος διαθέσεως των στερεών αποβλήτων. Σήμερα οι διαδικασίες ανακυκλώσεως δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί ικανοποιητικά και γι' αυτό δεν εφαρμόζονται σε ευρεία κλίμακα. Η ανακύκλωση των αποβλήτων από χαρτί φαίνεται ότι έχει εξελιχθεί περισσότερο από ό,τι των άλλων υλικών. Η ανακύκλωση του χαρτιού εξετάζεται με περισσότερες λεπτομέρειες στο κείμενο το σχετικό με το περιβάλλον, στο κεφάλαιο 18.

Σε όλες τις διαδικασίες ανακυκλώσεως, μέγιστο πρόβλημα αποτελεί ο διαχωρισμός των διαφόρων ειδών των αποβλήτων. Κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τα σκουπίδια αποτελούνται από χαρτί, πλαστικό, λάστιχο, γυαλί, αλουμίνιο, σίδηρο, χαλκό, και ίσως από άλλα υλικά όλα μαζί ανακατεμένα. Έχουν προταθεί διάφορες έξυπνες ιδέες για την επίτευξη του διαχωρισμού. Σύμφωνα με μια εκτεταμένη μελέτη, η μάζα των αποβλήτων αρχικά τεμαχίζεται και μετατρέπεται σε μικρά κομμάτια. Στη συνέχεια, μέσα σε ένα θάλαμο στροβιλιζόμενου αέρα, ο οποίος ονομάζεται «διαχωριστήρας αέρα», τα πυκνότερα υλικά, κυρίως μέταλλα και γυαλί, διαχωρίζονται από τα λιγότερο πυκνά, κυρίως χαρτί και πλαστικά. Στη συνέχεια, τα πιο πυκνά υλικά διαχωρίζονται ακόμη περισσότερο, γιατί τα μέταλλα είναι πολύ πιο πυκνά από το γυαλί. Τα σωματίδια του σιδήρου έχουν τη δυνατότητα να διαχωρισθούν από τα μέταλλα με τη βοήθεια του μαγνητισμού.

Η ανακύκλωση των μετάλλων δεν απαιτεί κάποια ριζικώς νέα τεχνολογία, αλλά υπάρχουν βέβαια ανάγκες βελτιώσεως της ισχύουσας διαδικασίας. Μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα δυνατότητα, η οποία τώρα μελετάται από τους μηχανικούς, είναι η καύση των απορριμάτων (αυτών που μπορούν να καούν) για την παραγωγή ενέργειας. Δεν πρόκειται για μια απλή καύση αυτών. Η ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα στη θέση του κάρβουνου, του πετρελαίου ή του φυσικού αερίου.

Ρύπανση των υδάτων και χημικά δηλητήρια. Ο άνθρωπος κατά παράδοση αντιμετώπιζε τους πλησιέστερους υδάτινους χώρους, όπως είναι μια λίμνη, ένα ποτάμι, ή μια θάλασσα, ως θέσεις κατάλληλες για να απορρίπτει τα αστικά λύματα και ποικίλα άλλα υγρά απόβλητα. Σε μικρές και βιομηχανικά πρωτόγονες κοινωνίες είναι μια ανεκτή μέθοδος. Όμως, σε βιομηχανικά προηγμένες κοινωνίες όπως τη δική μας αυτό είναι δυνατόν να οδηγήσει σε συμφορά.

Ένα ειδικό πρόβλημα που έχει εμφανισθεί πρόσφατα είναι η αυξανόμενη συγκέντρωση στο περιβάλλον διαφόρων δηλητηρίων, όπως π.χ. τα φυτοφάρμακα και τα εντομοκτόνα. Σε ένα κείμενο που θα συναντήσετε πιο κάτω (κεφάλαιο 16), το πρόβλημα αυτό θα εξετασθεί με περισσότερες λεπτομέρειες.

Ένα άλλο ειδικό πρόβλημα έχει δημιουργηθεί από την απόρριψη υδραργύρου από τις βιομηχανίες σε ποτάμια, λίμνες ή στη θάλασσα, όπου μετατρέπεται από τα βακτήρια σε τοξικές ενώσεις.

ΕΠΙ ΠΛΕΟΝ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ

Αν ο χρόνος το επιτρέπει, να προδιορίσετε την αγωγιμότητα διαφόρων άλλων υλικών που είναι διαθέσιμα. Πριν από τη διεξαγωγή των ελέγχων σας, να προσπαθήσετε να προβλέψετε εκ των προτέρων ποια θα είναι τα αποτελέσματά σας. Να βασίσετε τις προβλέψεις σας κυρίως στη θέση, την οποία έχουν τα συνδεόμενα στοιχεία στον περιοδικό πίνακα.

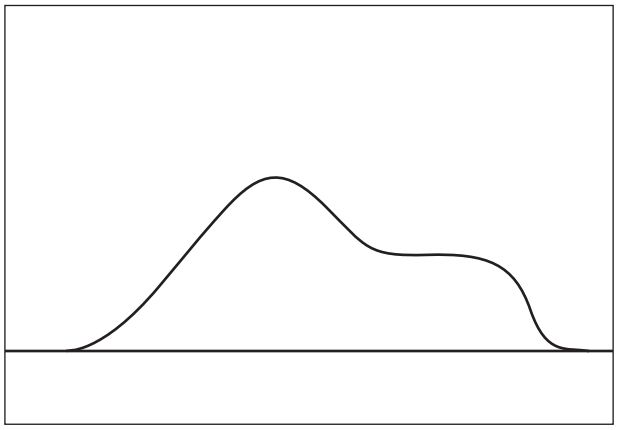
14.17 Χάρτες ηλεκτρονιακής πυκνότητας.

Προηγουμένως κατά τη διάρκεια της μελέτης των χημικών δεσμών, τονίσθηκε ότι η δημιουργία του δεσμού οφείλεται βασικά στην παρουσία ηλεκτρονίων ανάμεσα στους πυρήνες που συνδέονται. Αυτά τα ηλεκτρόνια έλκονται ταυτόχρονα από τους δύο πυρήνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας της ομάδας των ατόμων σε σχέση με την ενέργεια των μεμονομένων ατόμων, στα οποία το κάθε ηλεκτρόνιο έλκεται μόνο προς τον έναν πυρήνα. Στην παράγραφο αυτή θα μάθετε με ποιο τρόπο είναι δυνατόν να παρασταθεί επακριβώς, με τη βοήθεια εικόνων, η παρουσία ηλεκτρονίων ανάμεσα στους πυρήνες. Οι εικόνες αυτές παράγονται από υπολογιστές, οι οποίοι επιλύουν πολύ πολύπλοκες κβαντομηχανικές εξισώσεις. Ως γνωστόν, δεν είναι δυνατόν να προσδιορίσομε με ακρίβεια τις θέσεις των διαφόρων ηλεκτρονίων μέσα σε ένα μόριο. Γι' αυτό, οι εικόνες θα είναι ***χάρτες ηλεκτρονιακής πυκνότητας***. Θα υποδηλώνουν δηλαδή τις θέσεις, στις οποίες είναι πιθανότερο να βρίσκονται τα ηλεκτρόνια.

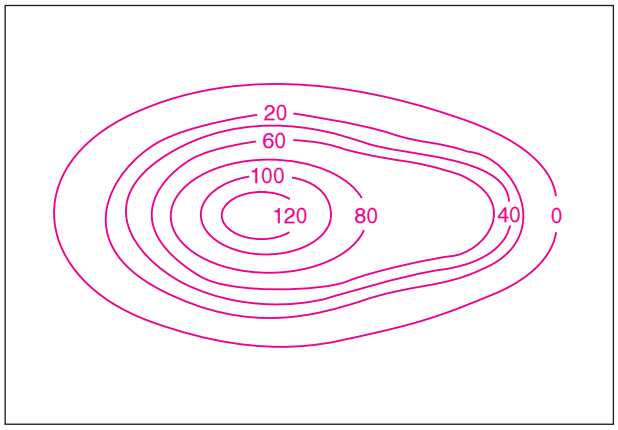
Πριν προχωρήσομε στους χάρτες της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, ας εξετάσομε την αρχή, στην οποία βασίζεται ένας χάρτης αυτού του είδους, για να εξοικειωθούμε μαζί της. Ένας χάρτης, στον οποίο απεικονίζεται ηλεκτρονιακή πυκνότητα μοιάζει πολύ με έναν υψομετρικό χάρτη, στον οποίο απεικονίζεται μια γήινη επιφάνεια. Ο υψομετρικός χάρτης δείχνει τη διακύμανση του ύψους διαφόρων περιοχών της γης, από σημείο σε σημείο.

Ως παράδειγμα, ας θεωρήσομε το λόφο του σχήματος 14-11α. Ο λόφος αυτός παριστάνεται πάνω στο χάρτη (σχ. 14-11β) από τις ***υψομετρικές καμπύλες***. Προκειμένου να αντιληφθείτε τι συμβολίζουν αυτές οι υψομετρικές γραμμές, φαντασθείτε ότι μπορείτε να κόψετε το λόφο σε οριζόντιες φέτες αρχίζοντας από το κάτω μέρος του και κόβοντας μια φέτα κάθε 6,5 μέτρα περίπου. Στο σχήμα 14-11γ φαίνεται πώς θα μοιάζουν αυτές οι φέτες. Διαπιστώνετε ότι στον υψομετρικό χάρτη οι καμπύλες ισοδυναμούν με γραμμές, οι οποίες συνδέουν όλα τα σημεία τα οποία έχουν το ίδιο ύψος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, όπου οι υψομετρικές καμπύλες στο χάρτη είναι πυκνές (η μια πολύ κοντά στην άλλη) το έδαφος ανυψώνεται απότομα. Επίσης, η υψομετρική καμπύλη με τη μικρότερη περιφέρεια βρίσκεται πλησιέστερα προς την κορυφή του λόφου. Όσο οι περιφέρειες των υψομετρικών καμπύλων γίνονται μεγαλύτερες, αντιστοιχούν όλο και σε χαμηλότερα εδάφη.

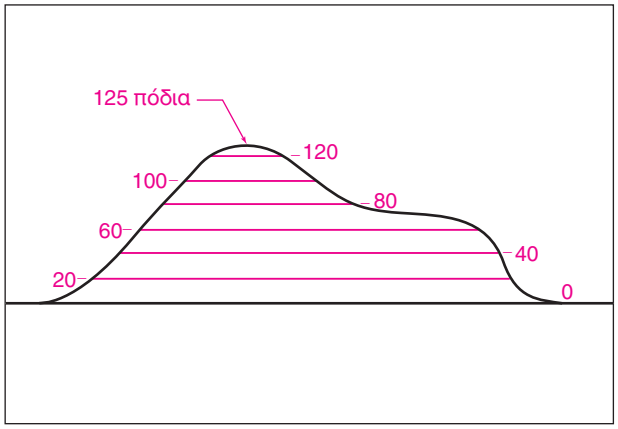
Η ίδια περιμετρική αρχή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, για να παραστήσει με ακρίβεια την κατανομή της ηλεκτρονιακής πυκνότητας μέσα στα μόρια. Ένα απλό παράδειγμα είναι το άτομο του υδρογόνου. Όπως



(α)



(β)

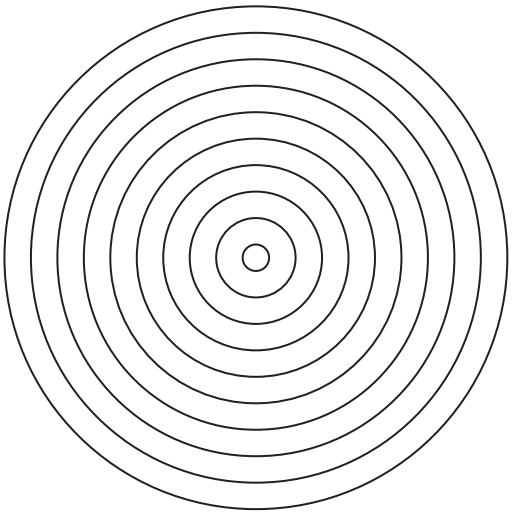


(γ)

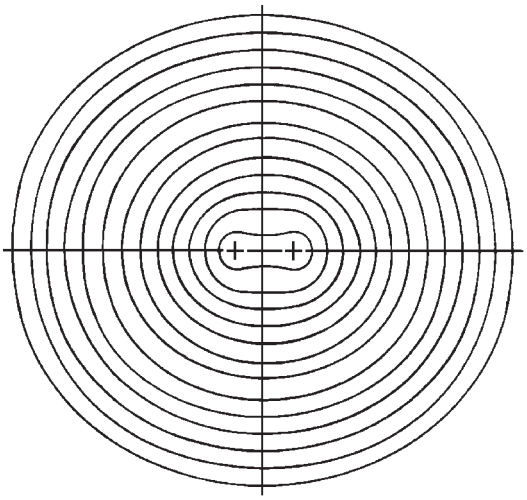
ΣΧΗΜΑ 14-11. *Ένας λόφος παριστάνεται πάνω σε ένα χάρτη με υψομετρικές καμπύλες. Δίνεται η πλάγια όψη αυτού (α), όπως και η παράσταση αυτού με τις υψομετρικές καμπύλες (β). Αυτές οι υψομετρικές καμπύλες «κόβουν» το λόφο σε οριζόντιες φέτες (γ).*

έχομε μάθει, η ηλεκτρονιακή πυκνότητα μέσα στο 1*s* τροχιακό είναι μεγαλύτερη κοντά στον πυρήνα, ενώ ελαττώνεται σταθερά, όσο αυξάνεται η απόσταση από τον πυρήνα. Αυτό θα μπορούσε να παρασταθεί με το χάρτη των ισοϋψών καμπύλων του σχήματος 14-12. Εδώ, οι ισοϋψείς καμπύλες σχεδιάζονται λίγο διαφορετικά από εκείνες του χάρτη, τον οποίο μόλις εξετάσαμε. Αντί να παριστάνει η κάθε καμπύλη μια ίση μείωση του μεγέθους της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, είναι σχεδιασμένη κατά τρόπο, ώστε να αντιστοιχεί σε ένα μέγεθος ίσο με το μισό της αμέσως προηγούμενης πυκνότητας.

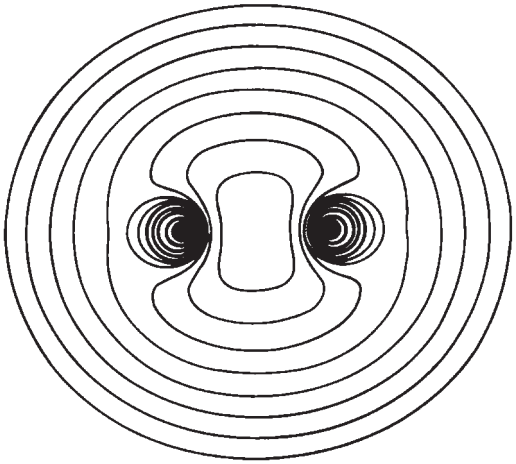
Η πιο απλή μοριακή απεικόνιση ενός χάρτη ηλεκτρονιακής πυκνότητας είναι η περίπτωση του μορίου του υδρογόνου, H_2. Οι ισοϋψείς καμπύλες της ηλεκτρονιακής πυκνότητας φαίνονται στο σχήμα 14-13. Όπως και στο χάρτη του ατόμου του υδρογόνου, η κεντρική καμπύλη αντιστοιχεί στο υψηλότερο επίπεδο ηλεκτρονιακής πυκνότητας. Η επόμενη καμπύλη σχεδιάζεται έτσι, ώστε να αντιστοιχεί σε μια ηλεκτρονιακή πυκνότητα ίση με



ΣΧΗΜΑ 14-12. *Το σύνολο αυτό με τις ισοϋψείς καμπύλες δίνει την ηλεκτρονιακή πυκνότητα που υπάρχει στο 1s τροχιακό. Η κάθε γραμμή παριστάνει μια πυκνότητα ίση με το μισό αυτής που περιγράφεται από την αμέσως πλησιέστερη προς το κέντρο γραμμή.*



ΣΧΗΜΑ 14-13. *Το σύνολο με τις ισοϋψείς καμπύλες που παριστάνουν την ηλεκτρονιακή πυκνότητα μέσα στο μόριο του υδρογόνου. Αξίζει να σημειωθεί ότι όπου υπάρχει μεγαλύτερη ηλεκτρονιακή πυκνότητα, οι καμπύλες σχεδιάζονται πυκνότερες. Είναι φανερό ότι η μεγαλύτερη ηλεκτρονιακή πυκνότητα έχει συγκεντρωθεί γύρω από τους πυρήνες.*



ΣΧΗΜΑ 14-14. *Ισοϋψείς καμπύλες ηλεκτρονιακής πυκνότητας του μορίου του Li_2. Οι πολύ σκοτεινές περιοχές γύρω από τον πυρήνα παριστάνουν τα ηλεκτρόνια 1s, τα οποία παραμένουν το καθένα γύρω από το δικό του πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια 2s είναι αυτά τα οποία μοιράζονται και σχηματίζουν το δεσμό.*

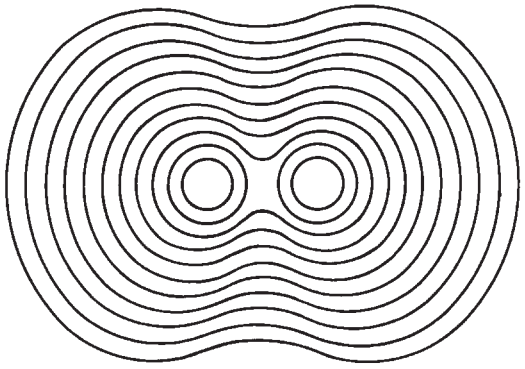
τη μισή της κεντρικής, ενώ κάθε επόμενη καμπύλη αντιστοιχεί σε μια πυκνότητα ίση με τη μισή τιμή της προηγουμένης της. Γι' αυτό, η όγδοη από το κέντρο καμπύλη δείχνει την περιοχή όπου η ηλεκτρονιακή πυκνότητα έχει μειωθεί κατά

$$\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}=\left(\frac{1}{2}\right)^{7}=\frac{1}{128}$$

σε σχέση με αυτή που υπήρχε στην κεντρική καμπύλη. Ακόμη και στην τέταρτη καμπύλη, η πυκνότητα είναι μόνο το ένα όγδοο της πυκνότητας της κεντρικής καμπύλης. Έτσι διαπιστώνετε ότι η ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι έντονα συγκεντρωμένη κοντά στον πυρήνα. Είναι ιδιαίτερα υψηλή ανάμεσα στους πυρήνες, όπως δείχνουν και οι πολύ πυκνές εσωτερικές ισοϋψείς καμπύλες.

Μια πλήρης τρισδιάστατη εικόνα της κατανομής της ηλεκτρονιακής πυκνότητας μέσα σε αυτό το μόριο λαμβάνεται, αν περιστραφεί το σύνολο των ισοϋψών καμπύλων περί τον άξονα, ο οποίος διέρχεται από τη μέση των δύο πυρήνων. Με άλλα λόγια, ο «δεσμός» είναι συμμετρικός ως προς τους άξονές του.

Ως ένα επί πλέον παράδειγμα της χρήσεως του χάρτη με τις ισοϋψείς καμπύλες για την παράσταση της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, ας εξετάσομε το μόριο του λιθίου, Li_2. Το μόριο αυτό σχηματίζεται κυρίως από επικάλυψη των 2*s* τροχιακών. Το ζεύγος των 2*s* ηλεκτρονίων μοιράζεται ανάμεσα στα δύο άτομα. Το ζεύγος 1*s* ηλεκτρονίων δεν παίζει στην πράξη κάποιο ρόλο στο σχηματισμό του δεσμού. Στο σχήμα 14-14 φαίνεται η κατανομή των δύο ηλεκτρονίων, τα οποία υπήρχαν στα 2*s* τροχιακά των δύο ανεξαρτήτων ατόμων λιθίου. Όπως διακρίνετε, μερικές από τις ισοϋψείς καμπύλες που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες πυκνότητες



ΣΧΗΜΑ 14-15. *Χάρτης ηλεκτρονιακής πυκνότητας των δύο ατόμων του ηλίου, τα οποία βρίσκονται κοντά. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι καμπύλες της μεγίστης πυκνότητας εξακολουθούν να περιβάλλουν τους δύο πυρήνες. Αυτό δεν επιτρέπει τη συνεισφορά των ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια το σχηματισμό δεσμού.*

βρίσκονται στην περιοχή ανάμεσα στους δύο πυρήνες. Αυτό σημαίνει ότι η ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι συγκεντρωμένη σε αυτήν την περιοχή, οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό δεσμού.

Τέλος, ενδιαφέρουσα είναι επίσης η μελέτη των όσων συμβαίνουν όταν δύο άτομα ηλίου πλησιάζουν μεταξύ τους. Ως γνωστόν δεν σχηματίζεται δεσμός, επειδή το 1*s* τροχιακό του κάθε ατόμου ηλίου είναι ήδη πλήρες. Όπως δείχνει το σχήμα 14-15 όταν οι πυρήνες του ηλίου απέχουν μεταξύ τους όσο και οι πυρήνες του μορίου H_2, οι ισοϋψείς καμπύλες της μεγίστης ηλεκτρονιακής πυκνότητας εξακολουθούν να περιβάλλουν τον καθένα πυρήνα χωριστά. Αυτό σημαίνει ότι η ηλεκτρονιακή πυκνότητα έχει την τάση να παραμένει γύρω από το κάθε ξεχωριστό άτομο και όχι να συγκεντρώνεται στη μεταξύ τους περιοχή. Κάτι τέτοιο συμφωνεί με το γεγονός ότι τα δύο άτομα του ηλίου δεν σχηματίζουν δεσμό.

Περίληψη.

Όταν δύο η περισσότερα άτομα συνδυάζονται, για να σχηματίσουν ένα σχετικά σταθερό μόριο, οι δεσμοί που συγκρατούν αυτά τα άτομα, έτσι, ώστε να σχηματισθεί μόριο, δημιουργούνται από την αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων ανάμεσα σε αυτά τα άτομα. Η συνεισφορά αυτή οδηγεί στο σχηματισμό ηλεκτρονιακών διαμορφώσεων ομοίων με αυτές των πολύ σταθερών ευγενών αερίων.

Όταν η ενέργεια ιοντισμού ενός ατόμου είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτήν ενός άλλου, το άτομο με τη μεγαλύτερη ενέργεια ασκεί πολύ ισχυρή έλξη επάνω στα κοινά ηλεκτρόνια. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα ηλεκτρόνια αιχμαλωτίζονται από το άτομο με τη μεγαλύτερη ενέργεια ιοντισμού και σχηματίζουν δύο αντίθετα φορτισμένα ιόντα. Το αντίθετο φορτίο των δύο ιόντων δημιουργεί μια ισχυρή έλξη ανάμεσά τους. Το σχηματιζόμενο μόριο διαθέτει έναν ιοντικό δεσμό.

Υπάρχουν πολλές ενδιάμεσες περιπτώσεις, στις οποίες τα ηλεκτρόνια των δεσμών κατανέμονται άνισα, αλλά όχι σε βαθμό που να δημιουργείται ένας ιοντικός δεσμός. Σε αυτές τις περιπτώσεις λέγεται ότι ο ομοιοπολικός δεσμός έχει ιοντικό χαρακτήρα. Όλοι οι ιοντικοί δεσμοί ή αυτοί που έχουν ιοντικό χαρακτήρα είναι πολικοί. Σχηματίζουν ηλεκτρικά δίπολα, τα οποία έχουν περίσσεια αρνητικού φορτίου στο ένα άκρο του δεσμού και περίσσεια θετικού φορτίου στο άλλο.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Σε τι διαφέρουν οι ομοιοπολικοί από τους ιοντικούς δεσμούς; Σε τι μοιάζουν;
2. Γιατί τα διατομικά μόρια που σχηματίζονται από διαφορετικά άτομα είναι, κατά κανόνα, πολικά;

Περίληψη κεφαλαίου

Ανάμεσα στα άτομα σχηματίζονται χημικοί δεσμοί, επειδή μοιράζονται ηλεκτρόνια. Αυτή η συνεισφορά, κατά την οποία δύο ηλεκτρόνια έλκονται ταυτόχρονα και από τα δύο άτομα, έχει ως αποτέλεσμα να είναι η ενέργεια μικρότερη, όταν τα άτομα βρίσκονται κοντά, παρά όταν είναι απομακρυσμένα. Γενικά, η επικάλυψη δύο ημισυμπληρωμένων τροχιακών η οποία συνεπάγεται ένα κοινό ζεύγος ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δύο άτομα, οδηγεί στο σχηματισμό ενός δεσμού. Άτομα, όπως το ήλιο ή το νέο, στα οποία όλα τα τροχιακά ή είναι εντελώς συμπληρωμένα ή εντελώς κενά, δεν μπορούν κανονικά να σχηματίσουν δεσμούς. Η ικανότητα σχηματισμού δεσμών από τα στοιχεία της δεύτερης σειράς, από το Li μέχρι και το Ne, γίνεται κατανοητή, αν εξετασθεί ο αριθμός των τροχιακών σθένους και συγκεκριμένα των 2*s* και των 2*p* τροχιακών. Αν τα ηλεκτρόνια ενός δεσμού μοιράζονται εξίσου ανάμεσα σε δύο άτομα, όπως στο Li_2 ή στο F_2, ο δεσμός είναι καθαρά ομοιοπολικός. Αν το ζεύγος των ηλεκτρονίων πρόσκειται αποκλειστικά στο ένα από τα δύο άτομα, όπως στο Li^+F^-, ο δεσμός λέγεται ιοντικός. Αν το ηλεκτρονιακό ζεύγος μοιράζεται άνισα, ο δεσμός είναι ομοιοπολικός με ιοντικό χαρακτήρα. Δεσμοί ανάμεσα σε ανόμοια άτομα έχουν σχεδόν πάντα κάποιο ιοντικό χαρακτήρα, γιατί τα δύο άτομα σπάνια έλκουν, με την ίδια ακριβώς ένταση, το ζεύγος ηλεκτρονίων που μοιράζεται.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Πώς θα επηρεαζόταν η ύλη, αν οι απωστικές δυνάμεις ανάμεσα στα άτομα ήταν μεγαλύτερες από τις δυνάμεις έλξεως;
2. Αν είχατε ένα κομμάτι ατσάλι κολημμένο πάνω σε έναν ισχυρό μαγνήτη, τι θα έπρεπε να κάνετε, για να το αποκολλήσετε από το μαγνήτη; Ποια διάταξη θα περιείχε περισσότερη ενέργεια: Το ατσάλινο κομμάτι κολλημένο στο μαγνήτη ή το ατσάλινο κομμάτι που απέχει δύο εκατοστά από το μαγνήτη; Ποια διάταξη είναι πιο σταθερή; Εξηγήστε.
3. Να συγκρίνετε ένα μόριο υδρογόνου H_2, με ένα κομμάτι ατσάλι που είναι κολλημένο πάνω σε ένα μαγνήτη. Να εξηγήσετε γιατί δύο άτομα υδρογόνου έχουν περισσότερη ενέργεια από ένα μόριο υδρογόνου.
4. Ποια από τις διατυπώσεις που ακολουθούν είναι λάθος σε σχέση με την επόμενη εξίσωση;

$$H_2(\alpha) + \text{ενέργεια} = 2H(\alpha)$$

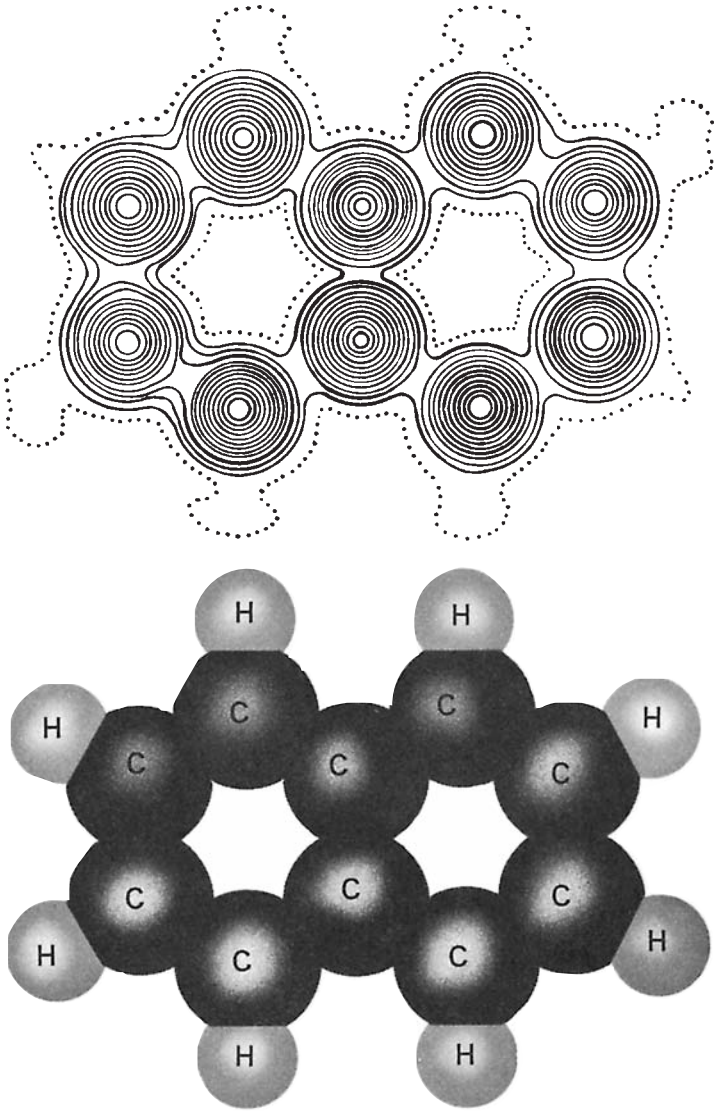
   (α) Άτομα υδρογόνου ελευθερώνουν ενέργεια, όταν συνδέονται για να σχηματίσουν μόρια υδρογόνου.
   (β) Δύο γραμμάρια $H(\alpha)$ περιέχουν περισσότερη ενέργεια από δύο γραμμάρια $H_2(\alpha)$.
   (γ) Ανά μονάδα μάζας, το $H(\alpha)$ θα είναι καλύτερο καύσιμο από το $H_2(\alpha)$.
   (δ) Το φωτεινό γραμμικό φάσμα του $H_2(\alpha)$ είναι ίδιο με το φωτεινό γραμμικό φάσμα του $H(\alpha)$.
5. Ποιο θα είναι πιο σταθερό: Ένα δοχείο γεμάτο με άτομα υδρογόνου ή ένα δοχείο γεμάτο με άτομα ηλίου, στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως; Εξηγήστε.
6. Γιατί το υδρογόνο σχηματίζει μόρια H_2, ενώ τα άτομα του ηλίου δεν συνδέονται μεταξύ τους; Να το εξηγήσετε με βάση τις ελκτικές ή απωστικές δυνάμεις και με βάση τα πλήρη ή ελλιπή τροχιακά.
7. Ποιες ενεργειακές συνθήκες πρέπει να επικρατούν, αν πρόκειται να σχηματισθεί δεσμός ανάμεσα σε δύο γειτονικά άτομα;
8. Ποιες συνθήκες τροχιακών και ηλεκτρονίων πρέπει να υπάρχουν, για να σχηματισθεί δεσμός ανάμεσα σε δύο γειτονικά άτομα;
9. Ποια είναι τα μοριακά είδη που υπάρχουν στα άερια νέο, αργό, κρυπτό και ξένο;
10. Να προσδιορίσετε το πλήθος των ελκτικών και των απωστικών δυνάμεων στον LiH.
11. Να παραστήσετε τους ηλεκτρονιακούς τύπους για τα πρώτα 20 στοιχεία του περιοδικού πίνακα.
12. Να γράψετε τους ηλεκτρονιακούς τύπους των ενώσεων, οι οποίες θα ήταν δυνατόν να σχηματισθούν από την ένωση του Li με καθένα από τα επόμενα στοιχεία: Cl, S, και P. Να επαναλάβετε το ίδιο για το Ca και το Al.
13. Να περιγράψετε τους δεσμούς στα μόρια Cl_2, HCl, ClO_2, με τη βοήθεια των ηλεκτρονιακών τύπων και των τροχιακών.
14. Να περιγράψετε με τη βοήθεια ηλεκτρονιακών τύπων μια ουδέτερη, μια αρνητικά φορτισμένη και μια θετικά φορτισμένη ομάδα OH.
15. Να γράψετε τον ηλεκτρονιακό τύπο της ενώσεως υδραζίνη, N_2H_4.
16. Να γράψετε τη διάταξη των τροχιακών του φθοριούχου νατρίου, NaF, και του φθοριούχου βηρυλλίου, BeF_2.
17. Σε γενικές γραμμές, ποιες συνθήκες αναγκάζουν δύο άτομα να ενωθούν, προκειμένου να σχηματίσουν (α) ένα δεσμό κυρίως ομοιοπολικό, (β) ένα δεσμό κυρίως ιοντικό, (γ) ένα πολικό μόριο;
18. Για κάθε ένα από τα μέταλλα των αλκαλίων να σχεδιάσετε τα τροχιακά των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στο υψηλότερο ενεργειακό επίπεδο. Να γράψετε τους ηλεκτρονιακούς τύπους του καθενός από αυτά τα στοιχεία. Με τη βοήθεια αυτών των πληροφοριών, να δικαιολογήσετε γιατί αυτά τα στοιχεία είναι τόσο δραστικά από χημικής απόψεως.
19. Να επαναλάβετε την άσκηση 18 για την περίπτωση των αλογόνων.
20. Με βάση την απάντηση που δώσατε στην άσκηση 18, να εξηγήσετε ποιο μέλος της οικογενείας των αλκαλίων θα έπρεπε να έχει τη μικρότερη ενέργεια ιοντισμού. Ποιο από αυτά τα στοιχεία θα ήταν δραστικότερο;
21. Ποιο στοιχείο της οικογενείας των αλογόνων νομίζετε ότι θα ήταν πιο δραστικό; Γιατί;
22. Ποια ένωση νομίζετε ότι θα είχε περισσότερο ιοντικό χαρακτήρα: το LiF ή το NaF; Εξηγήστε.
23. Γνωρίζετε τα τροχιακά που χρησιμοποιεί ο άνθρακας για το σχηματισμό δεσμών. Με τη βοήθεια του περιοδικού πίνακα, να προβλέψετε τον τύπο του χλωριδίου του πυριτίου. Ποια τροχιακά χρησιμοποιεί το

πυρίτιο για το σχηματισμό δεσμών; Να σχεδιάσετε τον ηλεκτρονιακό τύπο του χλωριούχου πυριτίου.

24. Τι είδος δεσμών νομίζετε ότι θα συνατήσετε στο MgO; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
25. Με τη βοήθεια του πίνακα 14-2, να εξηγήσετε ποιες γενικές τάσεις φαίνεται να επικρατούν στην ενέργεια ιοντισμού, καθώς αυξάνεται ο ατομικός αριθμός των στοιχείων της δεύτερης οριζόντιας σειράς (δεύτερης περιόδου) του περιοδικού πίνακα. Θα αναμένατε σε γενικές γραμμές, στοιχεία τα οποία βρίσκονται σε γειτονικές θέσεις στον περιοδικό πίνακα, να σχηματίζουν ενώσεις περισσότερο ή λιγότερο ιοντικές από τις ενώσεις που σχηματίζουν στοιχεία απέχοντα αρκετά μεταξύ τους; Πώς θα δικαιολογούνταν κάτι τέτοιο;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Τα σχήματα των μορίων



Χάρτης ηλεκτρονιακής πυκνότητας της ναφθαλίνης, ο οποίος έχει ληφθεί με περίθλαση ακτίνων Χ (άνω), και το αντίστοιχο μοριακό πρότυπο (κάτω).

Στο κεφάλαιο 7, εξετάσαμε συνοπτικά τα πρότυπα μερικών σημαντικών μορίων, όπως το O_2, N_2, CO_2, NH_3, και το H_2O. Τα μόρια έχουν χαρακτηριστικά σχήματα. Το σχήμα των μορίων συχνά μας βοηθά να αντιληφθούμε τις ιδιότητές του. Η θεωρία των δεσμών, την οποία αναπτύξαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι δυνατόν να επεκταθεί, ώστε να μας βοηθήσει να κατανοήσομε τα σχήματα ή τις δομές των μορίων. Επί πλέον, μας παρέχει τη δυνατότητα να προβλέψομε ποιο σχήμα ή ποια δομή μπορεί να έχει ένα μόριο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθούν μερικές από τις βασικές σχέσεις ανάμεσα στους δεσμούς και τη μοριακή δομή.

Ζεύγη ηλεκτρονίων σχηματίζουν δεσμούς σε προκαθορισμένες κατευθύνσεις

15.1 Τα πειράματα μας πληροφορούν για τη μοριακή αρχιτεκτονική.

Δομή ενός μορίου ονομάζομε τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους τα άτομα που το αποτελούν, καθώς και το σχήμα της τελικής τους διατάξεως. Προτού εξετάσομε το συσχετισμό της αρχιτεκτονικής του μορίου και του δεσμού, θα πρέπει να μελετήσομε το ενδιαφέρον ερώτημα πώς οι επιστήμονες διαμόρφωσαν τις απόψεις τους για την αρχιτεκτονική των μορίων. Τα μόρια είναι βεβαίως πολύ μικρά, για να τα δούμε. Τότε, πώς γνωρίζουν οι χημικοί αν το μόριο του H_2O είναι ευθύγραμμο ή τεθλασμένο (στην πραγματικότητα είναι τεθλασμένο), ή αν το μόριο του CO_2 είναι ευθύγραμμο ή τεθλασμένο (είναι τεθλασμένο); Επί πλέον, ακόμη και αν οι χημικοί γνωρίζουν ότι ένα μόριο είναι τεθλασμένο, πώς υπολογίζουν το ακριβές μέγεθος της γωνίας;

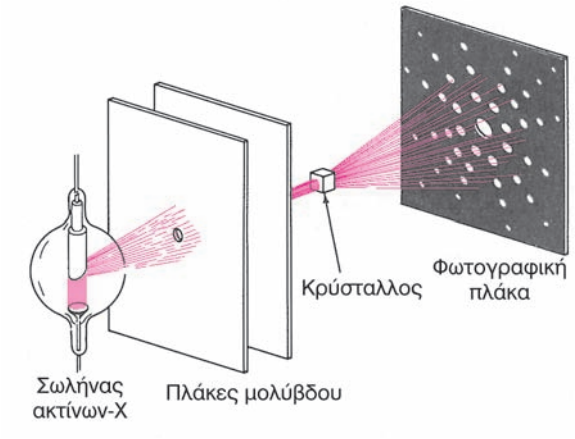
Οι πειραματικές μέθοδοι, από τις οποίες αποκτώνται τέτοιες πληροφορίες, θεωρούνται πράγματι σημαντικά επιτεύγματα της σύγχρονης επιστήμης. Οι περισσότερες από αυτές προϋποθέτουν για την πλήρη κατανόησή τους αρκετά εξειδικευμένες γνώσεις φυσικής. Γι' αυτό θα περιγραφεί σύντομα εδώ μόνο μία από τις πιο σημαντικές.

Περίθλαση ακτίνων Χ από κρυστάλλους. Μια από τις πιο σημαντικές τεχνικές είναι ο προσδιορισμός της κρυσταλλικής δομής με τη βοήθεια των ακτίνων Χ. Βασίζεται στο γεγονός ότι σχεδόν κάθε ουσία σχηματίζει κρυστάλλους, αν όχι σε θερμοκρασία δωματίου, τουλάχιστον σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, το νερό είναι υγρό σε θερμοκρασία δωματίου, αλλά σχηματίζει ένα κρυσταλλικό στερεό, τον πάγο, στους 0°C. Το διοξείδιο το άνθρακα είναι αέριο στους 25°C, αλλά στους -70°C συμπυκνώνεται σε στερεό, τον «ξηρό πάγο». Το σημαντικό για τους κρυστάλλους είναι ότι περιέχουν μόρια, τα οποία βρίσκονται διατεταγμένα το ένα μετά το άλλο κατά έναν προκαθορισμένο τρόπο. Αυτή η καθορισμένη διάταξη συχνά είναι εμφανής σε μακροσκοπικό επίπεδο. Συγκρίνατε τον κρύσταλλο του χλωριούχου νατρίου και το αντίστοιχο πρότυπο στα σχήματα 17-2 και 17-3.

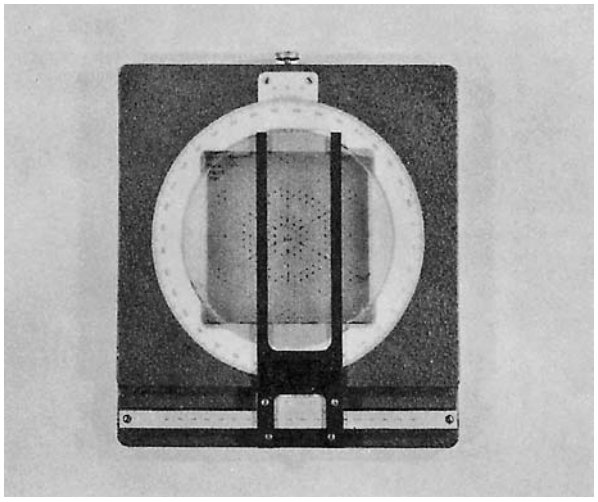
Όταν μια δέσμη ακτίνων Χ προσπίπτει σε έναν κρύσταλλο, οι ακτίνες Χ σκεδάζονται κατά μια καθορισμένη διάταξη. Το σχήμα 15-1 απεικονίζει αυτήν ακριβώς την διαδικασία.

Μπορούμε να διαπιστώσομε ότι αυτή η παράσταση έχει δύο χαρακτηριστικά:

1. Οι κηλίδες είναι διατεταγμένες κατά ορισμένο τρόπο.



ΣΧΗΜΑ 15-1. *Μια λεπτή δέσμη ακτίνων Χ προσκρούει στον κρύσταλλο και περιθλάται προς ορισμένες διευθύνσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τη διάταξη των ατόμων μέσα στον κρύσταλλο.*



ΣΧΗΜΑ 15-2. *Μια χαρακτηριστική φωτογραφία της περιθλάσεως των ακτίνων Χ, η οποία ελήφθη με φωτογραφική μηχανή ακριβείας. Η φωτογραφία είναι προσαρμοσμένη επάνω σε ένα ειδικό όργανο μετρήσεως των φιλμ.*

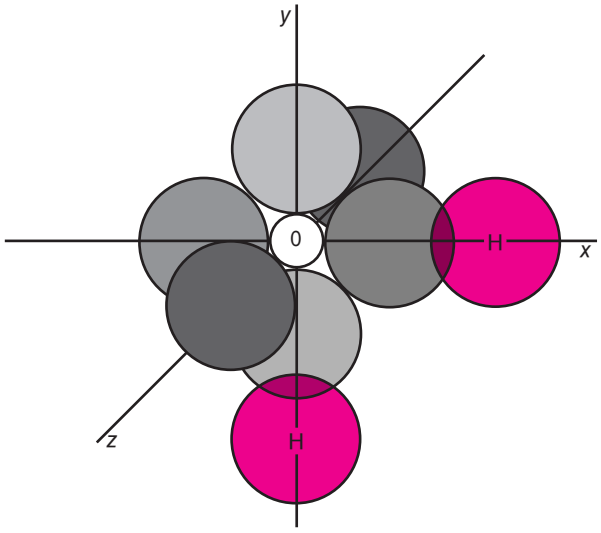
2. Οι κηλίδες έχουν διαφορετικές εντάσεις. Από τις αποστάσεις των σειρών και των στηλών των κηλίδων, είναι δυνατόν να φαντασθεί κάποιος το σχήμα των μορίων, των ατόμων ή των ιόντων μέσα στον κρύσταλλο.

Το σχήμα στο οποίο καταλήγομε με την περίθλαση των ακτίνων Χ, φαίνεται στο σχήμα 15-2. Από τις εντάσεις που έχουν καταγραφεί, μπορεί κάποιος να συμπεράνει πώς βρίσκονται διατεταγμένα τα άτομα μέσα στο κάθε μόριο. Στη σχηματική παράσταση, στην αρχή αυτού του κεφαλαίου, δίνεται ένα παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο η χαρτογραφική απεικόνιση της δομής του μορίου που έχει ληφθεί με βάση τη διάταξη των σκεδασμών του, καθιστά εφικτή τη δημιουργία του προτύπου της δομής του.

Είναι φανερό ότι από τη στιγμή που είναι γνωστό πώς είναι τοποθετημένο το ένα άτομο ως προς τα άλλα μέσα σε ένα μόριο, είναι εύκολο να υπολογισθούν τόσο τα μήκη των δεσμών όσο και όλες οι μεταξύ των δεσμών γωνίες.

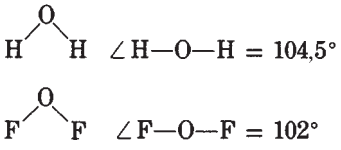
15.2 Το σχήμα ορισμένων μορίων που αποτελούνται από οξυγόνο και άζωτο.

Οι αναπαραστάσεις των τροχιακών των δεσμών που υπάρχουν στο H_2O και στο OF_2 δείχνουν ότι στο δεσμό του οξυγόνου συμμετέχουν τα δύο *p* τροχιακά του οξυγόνου. Το σχήμα 15-3 δείχνει τη διάταξη των *p* τροχιακών



ΣΧΗΜΑ 15-3. *Η διάταξη στο χώρο των p τροχιακών του ατόμου οξυγόνου με τα άτομα του υδρογόνου, που είναι συνδεδεμένα ομοιοπολικά με δύο από αυτά τα τροχιακά του οξυγόνου, είναι υπεύθυνα για το σχήμα του μορίου του νερού.*

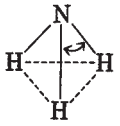
στο χώρο (αν υποτεθεί ότι μοιάζουν με τα τροχιακά του ατόμου του υδρογόνου). Αν αυτή η τοποθέτηση στο χώρο παρέμενε και μετά τη δημιουργία των δεσμών, το σχήμα του μορίου θα ήταν σταθερό, όπως φαίνεται και σχηματικά. Το μόριο θα ήταν τεθλασμένο, κατά μία γωνία περίπου 90°. Το ίδιο θα ίσχυε και για το OF_2. Οι γωνίες των δεσμών είχαν βρεθεί πειραματικά ως οι κατωτέρω:



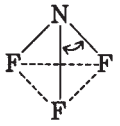
Έτσι, η σκέψη ότι χρησιμοποιούνται τα *p* τροχιακά για το σχηματισμό δεσμών, οδηγεί στην ακριβή πρόβλεψη ότι τα μόρια του H_2O και του OF_2 είναι μάλλον τεθλασμένα, και όχι ευθύγραμμα. Αυτό που δεν προβλέπεται όμως με μεγάλη ακρίβεια, είναι οι γωνίες των δεσμών.

Ανάλογοι συλλογισμοί είναι δυνατόν να επεκταθούν και σε μερικά μόρια, τα οποία σχηματίζονται από άζωτο, όπως είναι η NH_3 και το NF_3. Στο κεφάλαιο 7 (παράγρ. 14.7), υποθέσαμε ότι το άζωτο θα χρησιμοποιούσε ένα από τα *p* τροχιακά του, προκειμένου να

σχηματίσει καθέναν από τους τρεις δεσμούς. Από το σχήμα 15-4 φαίνεται ότι αυτό θα οδηγούσε τα μόρια της NH_3 και του NF_3 στο να έχουν σχήμα πυραμίδας (και όχι επίπεδο). Οι γωνίες του HNH και του FNF θα πρέπει να ήταν σχεδόν 90°. Στην πραγματικότητα, η NH_3 και το NF_3 έχουν σχήμα πυραμίδας. Οι μετρηθείσες γωνίες μεταξύ των δεσμών έχουν τις ακόλουθες τιμές:



$\angle H—N—H = 107°$



$\angle F—N—F = 103°$

Και πάλι οι προσεγγίσεις μας έδωσαν το σωστό σχήμα, αν και η πρόβλεψη των γωνιών των δεσμών είναι λιγότερο ακριβής από ό,τι ίσως θα αναμενόταν.

Ο τρόπος εργασίας τον οποίο ακολουθήσαμε λειτουργεί αρκετά καλά προκειμένου για ενώσεις του δισθενούς οξυγόνου και του τρισθενούς αζώτου. Ακόμη καλύτερα όμως λειτουργεί για τα βαρύτερα στοιχεία, τα οποία βρίσκονται στις ίδιες ομάδες του περιοδικού πίνακα με το οξυγόνο και το άζωτο. Για παράδειγμα, το θείο, το οποίο βρίσκεται κάτω από το οξυγόνο, έχει την ακόλουθη διαμόρφωση.

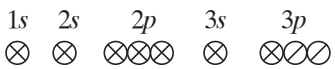


Έτσι, περιμένομε ότι το H_2S θα έχει τον ακόλουθο ηλεκτρονιακό τύπο:

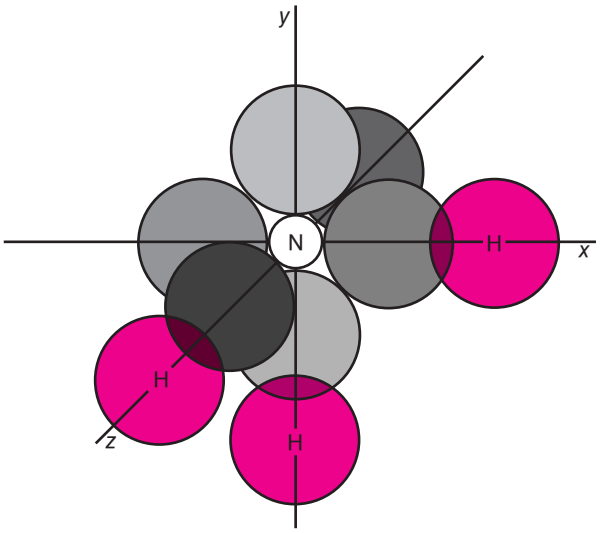


και μία προβλεπόμενη γωνία δεσμού, πάλι, ίση περίπου με 90°. Στην πραγματικότητα η γωνία του H_2S είναι πολύ κοντά σε αυτήν την τιμή, 93°.

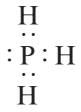
Ο φωσφόρος έχει την ακόλουθη διαμόρφωση:



Επομένως, θα πρέπει να περιμένομε τον παρακάτω ηλεκτρονιακό τύπο:



ΣΧΗΜΑ 15-4. *Η διάταξη στο χώρο των p τροχιακών του ατόμου αζώτου και η ομοιοπολική σύνδεση και των τριών με τα άτομα του υδρογόνου, είναι υπεύθυνες για το σχήμα του μορίου της αμμωνίας*



Η παρατηρούμενη γωνία δεσμού είναι 93°, αρκετά κοντά στην αναμενόμενη τιμή των 90°.

Μόλις τώρα είδαμε ότι για τα στοιχεία των ομάδων οξυγόνου και αζώτου, τα σχήματα των μορίων, όπως είναι του H_2O, του H_2S, της NH_3, του NF_3 και του PH_3, είναι δυνατόν να προβλεφθούν, αν υποτεθεί ότι τα κεντρικά άτομα χρησιμοποιούν για το σχηματισμό των δεσμών καθαρά *p* τροχιακά. Όπως έχει υπογραμμισθεί, με αυτήν την προσέγγιση δεν προβλέπομε πάντα με ακρίβεια τις πραγματικές γωνίες των δεσμών. Ένα άλλο πρόβλημα που δημιουργεί αυτή η προσέγγιση είναι ότι δεν μπορεί να επεκταθεί εύκολα προκειμένου να καλύψει και άλλες περιπτώσεις. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να εισαχθούν και άλλοι τρόποι εξετάσεως των ιδίων μορίων. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ένα σημαντικό πλεονέκτημα: Μας δίνεται έτσι η δυνατότητα να είμαστε πιο ακριβείς σε πολλές άλλες περιπτώσεις.

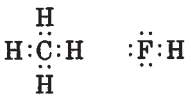
15.3 Η τάση των ηλεκτρονίων να σχηματίζουν ζεύγη.

Ας ρίξομε πάλι μια ματιά στους

ηλεκτρονιακούς τύπους ορισμένων μορίων που έχομε ήδη εξετάσει:



Σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχουν τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων γύρω από το κεντρικό άτομο. Το ίδιο συμβαίνει και σε ενώσεις του άνθρακα και του φθορίου, όπως οι παρακάτω:



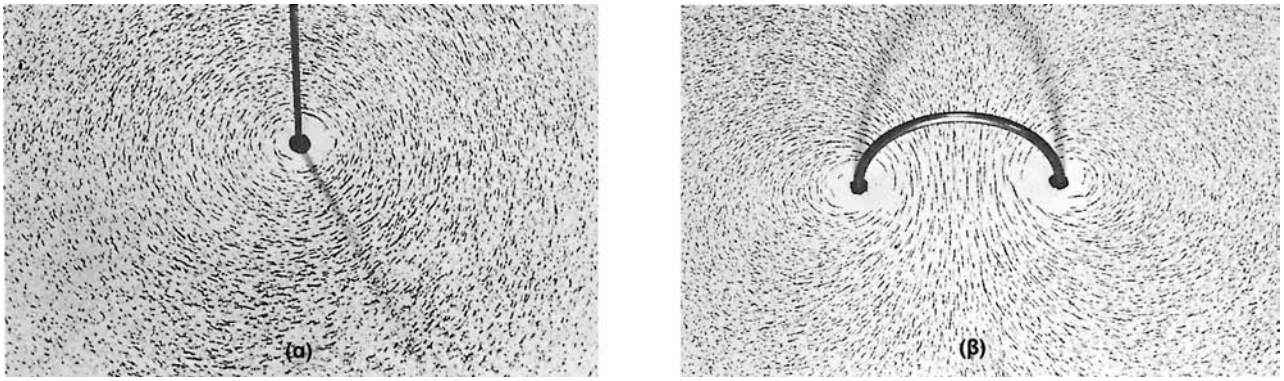
Στα πιο απλά μόρια που εξετάσαμε μέχρι τώρα, βλέπομε ότι τα τροχιακά γενικά καταλαμβάνονται από ζεύγη ηλεκτρονίων. Βέβαια, σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, ***δεν είναι δυνατόν*** να υπάρχουν σε ένα τροχιακό περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια. Υπάρχει όμως μια αξιοσημείωτη τάση του κάθε τροχιακού να περιέχει δύο και όχι ένα ηλεκτρόνια. Ένας λόγος είναι ότι τα δύο ηλεκτρόνια, όταν βρίσκονται στο ίδιο τροχιακό, αλληλεπιδρούν. Αυτό γίνεται, επειδή έχουν την ιδιότητα, που ονομάζεται ***στροφορμή*** (spin).

Αφού δεν μπορούμε να δούμε τα ηλεκτρόνια, δεν μπορούμε να τα δούμε και να περιστρέφονται. Οι επιστήμονες γνωρίζουν κατά έναν έμμεσο τρόπο ότι τα ηλεκτρόνια χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα που ονομάζεται στροφορμή. Είναι δυνατόν να δείξομε άμεσα, με πείραμα, ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται ως μικροσκοπικοί μαγνήτες. Αυτό γίνεται κατανοητό με τη βοήθεια της έννοιας της στροφορμής.

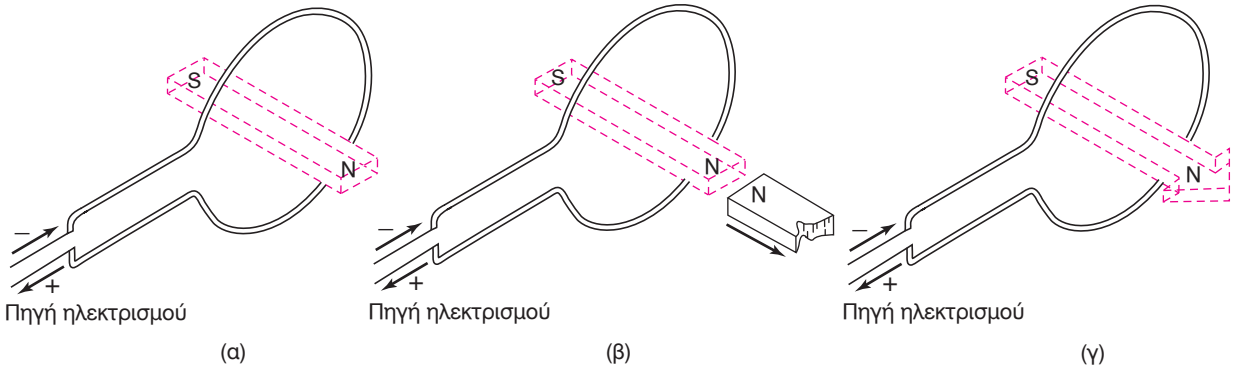
Είναι γνωστό ότι το ηλεκτρόνιο διαθέτει μια ορισμένη ποσότητα αρνητικού φορτίου. Το φορτίο μόνο του δεν έχει σχέση με το μαγνητισμό, ενώ το ***κινούμενο*** φορτίο έχει. Το σχήμα 15-5α δείχνει το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται γύρω από έναν ευθύγραμμο αγωγό, όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα. Ένα πιο πολύπλοκο σχήμα μαγνητικών δυνάμεων δημιουργείται, όταν ο αγωγός έχει μορφή καμπύλης (σχ. 15-5β). Όμως, η μορφή του μαγνητικού πεδίου επιδρά κατά τρόπο που προβλέπεται εύκολα πάνω σε ουσίες που επηρεάζονται από μαγνητικές δυνάμεις. Η επίδραση αυτή είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη που θα προέκυπτε από μια μικροσκοπική μαγνητική ράβδο, τοποθετημένη στο κέντρο της καμπύλης. Το σχήμα 15-6α απεικονίζει μια φανταστική μαγνητική ράβδο μέσα σε ένα συρμάτινο δακτύλιο, με σκοπό να παραστήσει αυτό ακριβώς το φαινόμενο.

Ας υποθέσομε τώρα ότι θέλαμε να κινήσομε μία πραγματική (όχι φανταστική) μαγνητική ράβδο κοντά σε ένα διαρρεόμενο από ρεύμα συρμάτινο δακτύλιο. Θα ήταν εύκολο να προβλέψομε την επίδραση του πεδίου πάνω σε έναν τέτοιο μαγνήτη. Θα έπρεπε μόνο να εξετάσομε ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα του υποθετικού μαγνήτη. Επειδή οι ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται και οι ετερώνυμοι έλκονται, ο βόρειος πόλος του πραγματικού μαγνήτη θα απωθούνταν προς την κατεύθυνση που δείχνει το βέλος του σχήματος 15-6β.

Επειδή το τόξο του σχεδιαγράμματος δείχνει



ΣΧΗΜΑ 15-5. *Στη φωτογραφία αυτή, τα ρινίσματα σιδήρου διατάσσονται σύμφωνα με το μαγνητικό πεδίο, και αναπαριστούν το σχήμα του πεδίου. Αυτά που φαίνονται είναι τα μαγνητικά πεδία γύρω από ένα ευθύγραμμο αγωγό διαρρεόμενο από ρεύμα (α), και γύρω από έναν κυκλικό αγωγό διαρρεόμενο από ρεύμα (β).*



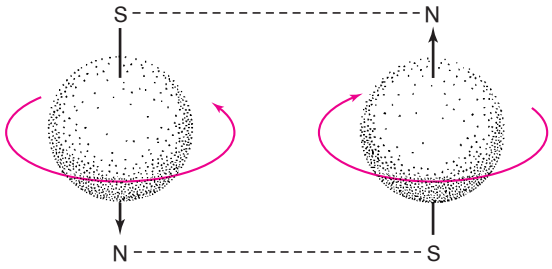
ΣΧΗΜΑ 15-6. *Ηλεκτρικό ρεύμα κυκλοφορεί μέσα από έναν κυκλικό αγωγό και δημιουργεί μαγνητικό πεδίο όμοιο με αυτό που οφείλεται σε μια μαγνητική ράβδο (α). Το πεδίο αυτό θα απωθεί μια πραγματική μαγνητική ράβδο (β) και είναι δυνατόν να παρασταθεί με ένα βέλος, το οποίο καλείται διάνυσμα (γ).*

πώς θα επιδρούσε το πεδίο πάνω σε ένα βόρειο πόλο που βρίσκεται κοντά του, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσομε απλά ένα βέλος (σύμφωνα με το σχήμα 15-6γ), για να δηλώσομε την κατεύθυνση της δυνάμεως που ασκείται από το πεδίο. Κάτι τέτοιο θα ήταν πολύ πιο εύκολο από το να σχεδιάσομε τις γραμμές των δυνάμεων, που δείχνουν τα ρινίσματα του σιδήρου στο σχήμα 15-5β, και θα περιόριζε επίσης την ανάγκη σχεδιασμού μιας φανταστικής μαγνητικής ράβδου. Οι επιστήμονες συνήθως χρησιμοποιούν τέτοια βέλη, όταν απλά θέλουν να δείξουν την κατεύθυνση και, συχνά, το μέγεθος μιας δυνάμεως. Ένα τέτοιο σύμβολο έχει ένα όνομα, το οποίο ίσως έχετε ξανακούσει. Είναι γνωστό ως *διάνυσμα*.

Αντιλαμβάνεστε ότι γύρω από ένα ηλεκτρόνιο θα υπάρχει ένα μαγνητικό πεδίο, αρκεί να υποτεθεί ότι το νέφος του αρνητικού φορτίου περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, ο οποίος διέρχεται διά του κέντρου του. Σε αυτήν την περίπτωση, τα εξώτερα μέρη του φορτισμένου νέφους κινούνται κυκλικά, ακριβώς όπως έκανε το ρεύμα στον κυκλικό αγωγό. Ως εκ τούτου, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρονίου είναι δυνατόν να παρασταθεί επίσης με ένα διάνυσμα.

Υπάρχουν δύο δυνατότητες περιστροφής του ηλεκτρονίου: Δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Τα δημιουργούμενα μαγνητικά πεδία μπορούν να παρασταθούν με διανύσματα, που να δείχνουν πάνω ή κάτω, όπως στο σχήμα 15-7. Ένας άλλος τρόπος για να διατυπωθεί η απαγορευτική αρχή του Pauli είναι να λεχθεί ότι, όταν δύο ηλεκτρόνια κατέχουν το ίδιο τροχιακό, τότε έχουν αντίθετη στροφορμή. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, τα μαγνητικά τους πεδία διατάσσονται όπως δείχνει το σχήμα 15-7, με τους γειτονικούς πόλους αντίθετους. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία μιας ελκτικής δυνάμεως ανάμεσά τους, η οποία βοηθά στον αποτελεσματικό σχηματισμό ηλεκτρονικού ζεύγους.

Προτού πάμε στην επόμενη παράγραφο, ας δούμε πρώτα σύντομα μερικές πειραματικές ενδείξεις, που οδηγούν στην κατανόηση της στροφορμής του ηλεκτρονίου. Από τότε που ο Pieter Zeeman (στην Ολλανδία, το 1898) εξέτασε το φάσμα των ατόμων, τα οποία είχαν διεγερθεί από ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο, άρχισαν οι επιστήμονες να υποπτεύονται για πρώτη φορά μερικές πολύπλοκες κινήσεις των σωματιδίων μέσα στο άτομο. Ο Zeeman, αντί να βρει στο φάσμα μεμονωμένες γραμμές, βρήκε μερικές γραμμές, οι οποίες χωρίζονταν σε ζευγάρια. Ο Johannes Stark, στη Γερμανία, δεκαεπτά χρόνια αργότερα κατέγραψε κάποια ανάλογα αποτελέσματα. Διαπίστωσε ότι ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο χωρίζει επίσης τις φασματικές γραμμές σε ζεύγη. Το 1921, ο Otto Stern και ο Walter Gerlach, επίσης στη Γερμανία, εκτόξευσαν εξαερωμένα άτομα μέσα σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Βρήκαν ότι τα άτομα των στοιχείων, όπως το υδρογόνο, το λίθιο, ο άργυρος, ο χαλκός, και ο χρυσός, που όλα έχουν μονήρη ηλεκτρόνια στα υψηλότερα ενεργειακά τους επίπεδα, όταν περνούσαν μέσα από το μαγνητικό πεδίο, χωρίζονταν σε δύο χωριστές δέσμες. Αντίθετα, άτομα όπως του ψευδαργύρου, του καδμίου, και του υδραργύρου, που έχουν δύο ηλεκτρόνια στις στοιβάδες με την υψηλότερη ενέργεια, δεν σχημάτιζαν χωριστές δέσμες. Ο Stern και ο Gerlach συμπέραναν ότι τα μονήρη



ΣΧΗΜΑ 15-7. *Ηλεκτρόνια με αντίθετη στροφορμή έχουν τους μαγνητικούς τους πόλους σε τέτοια διάταξη, ώστε να έλκονται.*

ηλεκτρόνια θα πρέπει σε μερικά άτομα να περιστρέφονται κατά τη μία διεύθυνση και σε μερικά άλλα κατά την αντίθετη. Αυτό τα αναγκάζει να κινούνται προς αντίθετες διευθύνσεις μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο. Αν τα δύο ηλεκτρόνια με τη μεγαλύτερη ενέργεια, που βρίσκονται σε κάποια άτομα, περιστρέφονταν προς αντίθετες διευθύνσεις μέσα στο ίδιο άτομο, τα αποτελέσματα των αντιθέτων περιστροφών θα εξουδετερώνονταν μέσα στο μαγνητικό πεδίο και δεν θα σχηματίζονται ξεχωριστές δέσμες.

15.4 Η θεωρία απωθήσεως των ζευγών ηλεκτρονίων στους μοριακούς σχηματισμούς.

Όταν σχηματισθεί ένα σύνολο ζευγών στα τροχιακά κάποιου ατόμου, το κάθε ζεύγος ηλεκτρονίων τείνει να συμπεριφερθεί ως μια μονάδα, παραμένοντας στενά συνδεδεμένο και καταλαμβάνοντας την ίδια περιοχή του χώρου. Άλλα ζεύγη ηλεκτρονίων αποκλείονται από αυτήν την περιοχή εξ αιτίας της ηλεκτροστατικής απώσεως ανάμεσα στα δύο αρνητικά (–2) φορτία, τα οποία φέρει το κάθε ζεύγος. Γι' αυτό τα ζεύγη των ηλεκτρονίων τείνουν να κατανεμηθούν μεταξύ τους κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρείται η μέση απόσταση ανάμεσα στα ζεύγη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Ταυτόχρονα, δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν από τον πυρήνα, επειδή έλκονται από το θετικό φορτίο του.

Ας υποθέσομε ότι τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων προσπαθούν να απομακρυνθούν όσο το δυνατόν περισσότερο μεταξύ τους, ενώ ταυτόχρονα το κάθε ένα προσπαθεί να παραμείνει στην ίδια απόσταση από τον πυρήνα. Ποια θα είναι η διάταξή τους στο χώρο; Όπως δείχνει το σχήμα 15-8, αν και τα τέσσερα ζεύγη ήσαν τοποθετημένα σε ένα επίπεδο, η καλύτερη διάταξη θα ήταν ένα τετράγωνο. Όμως, αν υπάρχει διαθέσιμος τρισδιάστατος χώρος, είναι δυνατόν να βρεθούν ακόμη μακρύτερα από ό,τι στο τετράγωνο. Αν μετακινήσομε προς τα πάνω αυτά που ανήκουν στη μια ομάδα των αντιθέτων ζευγών και προς τα κάτω αυτά που ανήκουν στη άλλη ομάδα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 15-8, θα αυξηθούν οι μέσες αποστάσεις ανάμεσα στα ζεύγη. Η καλύτερη δυνατή τοποθέτηση θα επιτευχθεί, όταν αυτή η διαδικασία συνεχιστεί, έως ότου και οι έξι αποστάσεις ανάμεσα στα ζεύγη θα εξισωθούν. Αν σε αυτό το σημείο ενώσομε με γραμμές όλα τα ζεύγη ηλεκτρονίων, δημιουργείται η εικόνα ενός στερεού σώματος που ονομάζεται τετράεδρο (σχ. 15-9). Η διάταξη αυτή των τεσσάρων ζευγών ηλεκτρονίων ονομάζεται ***τετραεδρική*** δομική διάταξη. Είναι η διάταξη που ελαχιστοποιεί τη συνολική άπωση ανάμεσα στα ζεύγη ηλεκτρονίων.

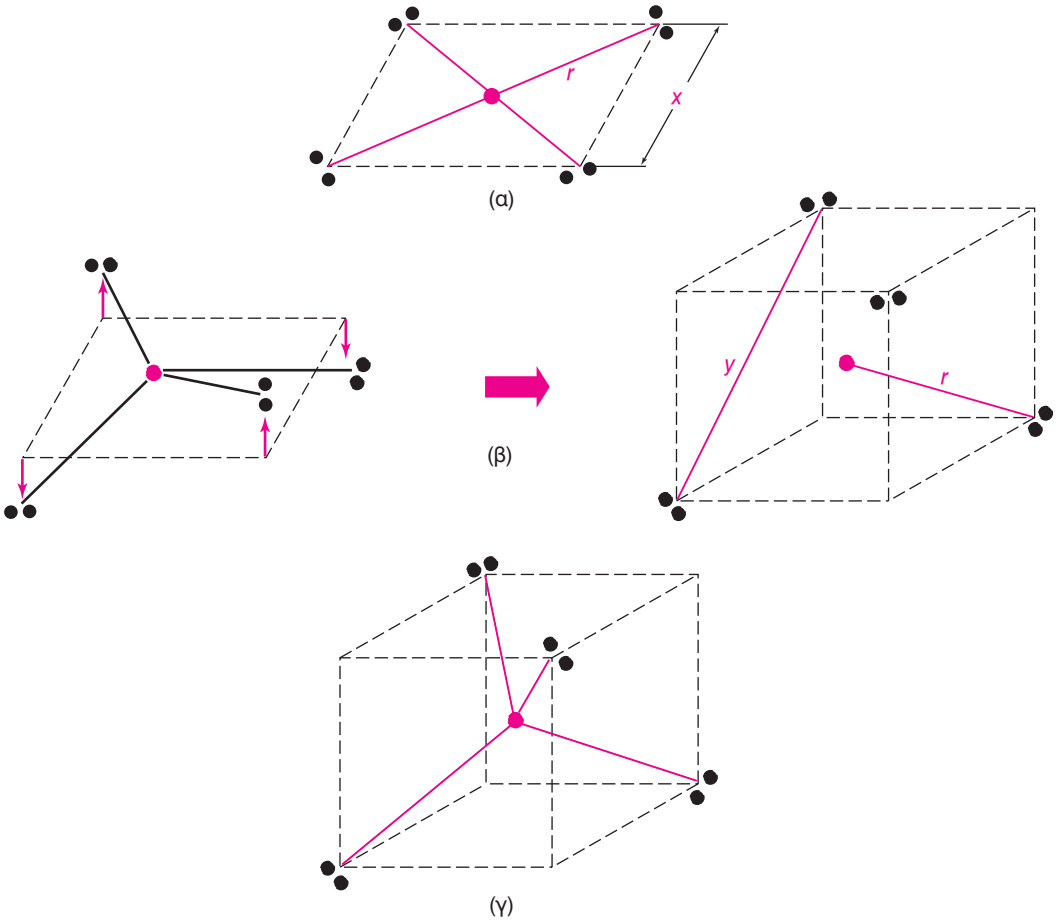
Παρακάτω αναφέρεται ένας απλός κανόνας, που είναι δυνατόν, να προταθεί στο σημείο αυτό, προκειμένου να ερμηνευθούν τα σχήματα των μορίων.

Τα ζεύγη ηλεκτρονίων που βρίσκονται στα τροχιακά σθένους ενός ατόμου, τείνουν να τοποθετηθούν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι μεταξύ των ηλεκτρονίων απώσεις.

Όταν υπάρχουν τέσσερα τέτοια ζεύγη ηλεκτρονίων, η διάταξη την οποία αποκτούν είναι η τετραεδρική. Στα περισσότερα μόρια υπάρχουν τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων, γι' αυτό η τετραεδρική διάταξη είναι η πιο σημαντική. Αργότερα, θα εξετασθούν μερικές διαφορετικές περιπτώσεις.

Σε ένα απόλυτα κανονικό τετράεδρο, η γωνία που σχηματίζεται από τις δύο κορυφές και το κέντρο είναι 109° 28′, όπως φαίνεται και στο σχήμα 15-9. Για ευκολία μπορούμε να το στρογγυλέψομε στις 109°.

Έχομε τώρα την δυνατότητα να προβλέπομε τα σχήματα των μορίων, στα οποία το κεντρικό άτομο έχει τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων. Τρεις από αυτές τις προβλέψεις φαίνονται στο σχήμα 15-10. Ακριβώς όπως και προηγουμένως, προβλέπεται ότι μόρια όπως του H_2O και της NH_3, θα είναι τεθλασμένα και με σχήμα πυραμίδας αντίστοιχα. Μπορούμε να προβλέψομε τώρα, τουλάχιστον ως αφετηρία, ότι οι γωνίες θα είναι 109°. Για το H_2O και την NH_3, η τιμή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά

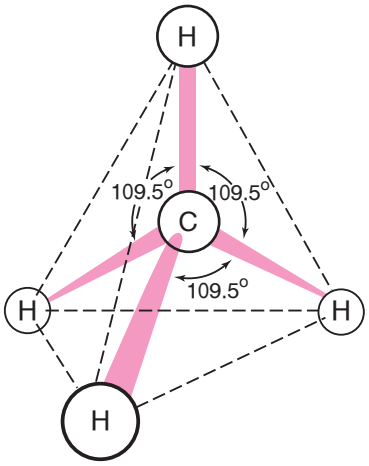


ΣΧΗΜΑ 15-8. *Τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων όταν περιβάλλουν έναν πυρήνα σχηματίζοντας ένα τετράγωνο (α), απέχουν μεταξύ τους κατά μία απόσταση χ. Αν κινηθούν όπως φαίνεται στο σχήμα (β) και σχηματίσουν μια τετραεδρική διάταξη (γ), είναι δυνατόν να διατηρήσουν την ίδια απόσταση r από τον πυρήνα, αλλά να βρεθούν σε μεγαλύτερη απόσταση y μεταξύ τους.*

στις πραγματικές τιμές, οι οποίες είναι αντίστοιχα 105° και 107°.

Επίσης, μπορούμε να προβλέψομε το σχήμα του μορίου του μεθανίου, CH_4, και άλλων παρομοίων μορίων που σχηματίζονται από τον άνθρακα. Τα μόρια αυτά πρέπει να έχουν το σχήμα του τετραέδρου. Τα πειράματα δείχνουν ότι πράγματι το έχουν. Στην περίπτωση αυτή, η πρόβλεψη των γωνιών των δεσμών δεν είναι μόνο κατά προσέγγιση αλλά επακριβώς ορθή.

Το πρότυπο της απώσεως των ζευγών ηλεκτρονίων διαθέτει αρκετή ευελιξία, ώστε να δικαιολογήσει μερικά από τα πιο λεπτά χαρακτηριστικά των μοριακών δομών. Για παράδειγμα, μπορεί να δικαιολογήσει το γεγονός ότι σε όλα τα τεθλασμένα μόρια και τα μόρια με διάταξη πυραμίδας που σχηματίζονται από στοιχεία των ομάδων του οξυγόνου και του αζώτου, οι γωνίες είναι μικρότερες από την τιμή της τετραεδρικής γωνίας των 109°. Για να γίνει κατανοητό πώς συμβαίνει κάτι τέτοιο, θα πρέπει αρχικά να θυμηθούμε ότι τα ηλεκτρόνια στα άτομα δεν μοιάζουν με μικροσκοπικά στίγματα αρνητικού φορτίου, αλλά δρουν μάλλον ως μικρά νέφη αρνητικού ηλεκτρισμού. Φυσικά, τα ζεύγη ηλεκτρονίων είναι ηλεκτρονιακά νέφη μεγαλυτέρου μεγέθους. Βεβαίως, το μέγεθος αυτών των νεφών ποικίλλει κατά κάποιο τρόπο. Όταν ένα ζεύγος ηλεκτρονίων ενός δεσμού μοιράζεται ανάμεσα σε δύο πυρήνες, το αντίστοιχο ηλεκτρονιακό νέφος είναι λιγότερο διάχυτο από εκείνο το οποίο αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος ηλεκτρονίων που δεν συμμετέχει σε δεσμό. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δύο πυρήνες που μοιράζονται το ζεύγος ηλεκτρονίων σπρώχνουν το αρνητικό φορτίο αρκετά πιο



ΣΧΗΜΑ 15-9. *Σε ένα απόλυτα κανονικό τετράεδρο, η γωνία ανάμεσα σε δύο κορυφές και το κέντρο είναι 109˚28΄.*

ισχυρά στη μεταξύ των πυρήνων περιοχή, ενώ ένα μη διαμοιραζόμενο ζεύγος έλκεται μόνο από το κεντρικό άτομο. Η διαφορά αυτή γίνεται αντιληπτή με τη βοήθεια του σχήματος 15-11.

Ένα μεγαλύτερο νέφος τείνει κανονικά να καταλάβει μεγαλύτερο μέρος του χώρου που περιβάλλει το κεντρικό άτομο. Κανόνας:

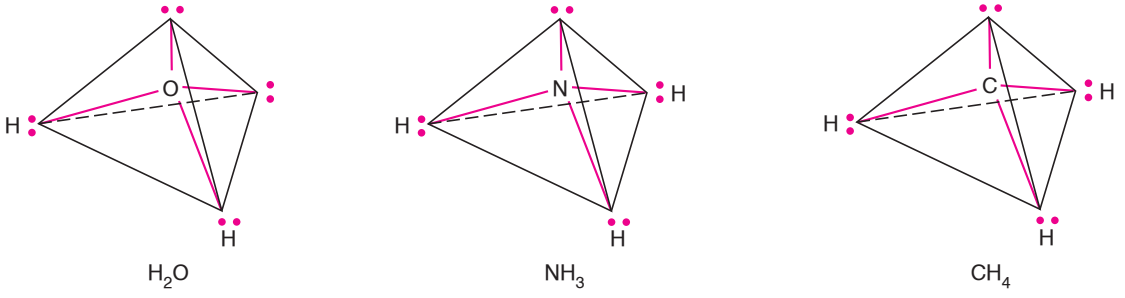
Ζεύγη ηλεκτρονίων τα οποία δεν μοιράζονται ανάμεσα σε δύο πυρήνες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο από ό,τι τα διαμοιραζόμενα ζεύγη ηλεκτρονίων.

Ως συνέπεια αυτού του κανόνα προκύπτει ότι οι γωνίες που σχηματίζονται από τα μη διαμοιραζόμενα ζεύγη με τον πυρήνα, θα είναι μεγαλύτερες από 109˚. Ενώ αυτές που σχηματίζονται από διαμοιραζόμενα ζεύγη, για τους ίδιους λόγους, θα είναι μικρότερες από την τιμή της ιδανικής γωνίας του τετραέδρου, που είναι 109˚. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να προβλέψομε ότι οι γωνίες των δεσμών σε όλα τα μόρια, όπως είναι το H_2S, το H_2O, η NH_3, και το PH_3, πρέπει να είναι μικρότερες από 109˚, όπως πράγματι συμβαίνει.

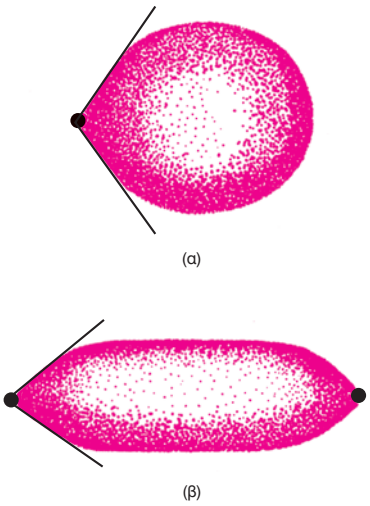
Θα πρέπει επίσης να αναμένομε ότι σε ένα μόριο που σχηματίζεται από άνθρακα, στο οποίο τα τέσσερα περιβάλλοντα άτομα δεν είναι όμοια, οι έξι γωνίες δεν θα είναι ακριβώς οι ίδιες. Για παράδειγμα, στο μόριο του CH_3F το μέγεθος του ηλεκτρονιακού νέφους που οφείλεται στα ηλεκτρόνια των δεσμών C - H θα πρέπει να διαφέρει από αυτό του ηλεκτρονιακού νέφους του δεσμού C - F. Για το λόγο αυτό, οι γωνίες H - C - H θα πρέπει να διαφέρουν λίγο· πράγματι, τα πειράματα δείχνουν ότι υπάρχει διαφορά.

Το πρότυπο της απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων μας βοηθά επίσης να κατανοήσομε τις δομές των μορίων, στα οποία το κεντρικό άτομο διαθέτει μόνο τρία ή δύο ζεύγη ηλεκτρονίων. Υπενθυμίζεται ότι το άτομο του βορίου, ακόμη και όταν ένα 2*s* ηλεκτρόνιό του προωθείται σε ένα 2*p* τροχιακό, διαθέτει μόνο τρία μη διαμοιραζόμενα ηλεκτρόνια σθένους για το σχηματισμό δεσμών. Όταν έχουν σχηματισθεί τρεις δεσμοί, το άτομο του βορίου περιβάλλεται από τρία ηλεκτρονιακά ζεύγη. Ποια είναι η διάταξη αυτών των ζευγαριών που θα μεγιστοποιήσει τη μεταξύ τους μέση απόσταση; Είναι η διάταξη εκείνη, κατά την οποία βρίσκονται τοποθετημένα στις κορυφές ενός ισοπλεύρου τριγώνου. Έτσι, όπως δείχνει το σχήμα 15-12, ένα μόριο όπως το BF_3, θα πρέπει να έχει το σχήμα ενός επιπέδου ισοπλεύρου τριγώνου. Αυτό το σχήμα πιστοποιήθηκε για την ένωση αυτή και πειραματικά.

Θα ανέμενε κάποιος ότι και το BH_3 θα είχε το



ΣΧΗΜΑ 15-10. *Προβλεπόμενα σχήματα για τα μόρια του H_2O, της NH_3, και του CH_4, αν υποτεθεί ότι τα τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων βρίσκονται στην κάθε περίπτωση τοποθετημένα στις κορυφές ενός τετραέδρου.*



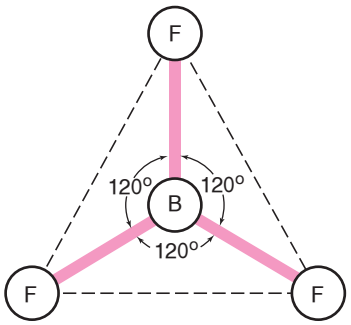
ΣΧΗΜΑ 15-11. *Το ηλεκτρονιακό νέφος ενός ζεύγους ηλεκτρονίων το οποίο δεν διαμοιράζεται (α), καταλαμβάνει περισσότερο από το χώρο που περιβάλλει ένα άτομο σε σχέση με αυτόν που καταλαμβάνει ένα διαμοιραζόμενο ζεύγος (β).*

ίδιο σχήμα, αλλά εδώ τα πράγματα γίνονται λίγο πολυπλοκότερα. Το μόριο του BH_3 είναι τόσο ασταθές, ώστε υφίσταται μόνο για ένα κλάσμα του δευτερολέπτου. Γι' αυτό είναι πολύ δύσκολο να μελετήσει κάποιος το σχήμα του. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το σχήμα του είναι επίπεδο ισόπλευρο τρίγωνο. Αυτό που συμβαίνει στα μόρια του BH_3 είναι ότι δύο BH_3 συνενώνονται, για να σχηματίσουν μόρια B_2H_6.

Το στοιχείο βηρύλλιο έχει μόνο δύο ηλεκτρόνια σθένους και για το λόγο αυτό εμφανίζονται μόνο δύο ζεύγη ηλεκτρονίων, όταν σχηματισθούν δύο δεσμοί. Είναι μάλλον προφανές ότι ο μόνος τρόπος να βρεθούν αυτά τα δύο ζεύγη ηλεκτρονίων στη μεγαλύτερη δυνατή μεταξύ τους απόσταση είναι να τοποθετηθούν σε αντίθετες θέσεις ως προς το άτομο του Be. Έτσι, είναι αναμενόμενο *το βηρύλλιο να σχηματίζει γραμμικά* μόρια, όπως το $BeCl_2$ στο σχήμα 15-13.

15.5 Υβριδοποιημένα τροχιακά.

Υπάρχει ένας ακόμη τρόπος, για να προβλέπομε και να κατανοούμε τη γεωμετρία της μοριακής δομής. Μεταχειριζόμαστε και πάλι την έννοια των καθορισμένων τροχιακών του κεντρικού ατόμου που συγκρατεί τα ζεύγη ηλεκτρονίων, αλλά θα πρέπει να προχωρήσομε



ΣΧΗΜΑ 15-12. *Το μόριο του BF_3 σχηματίζει ένα ισόπλευρο τρίγωνο, το οποίο φαίνεται να εκτείνεται πάνω στο επίπεδο της σελίδας.*

και λίγο πιο πέρα από την απλή παραδοχή ότι τα τροχιακά είναι κατ' ανάγκη καθαρά *s* ή *p* τροχιακά. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιήσομε νέους συνδυασμούς, αυτών των τροχιακών. Οι συνδυασμοί αυτοί, βάσει των οποίων αναμιγνύονται τα *s* και *p* τροχιακά, ονομάζονται ***υβριδοποιημένα*** τροχιακά. Ο ευκολότερος ίσως τρόπος να παραστήσομε το σχηματισμό των υβριδοποιημένων τροχιακών είναι να επανεξετάσομε το σχηματισμό των γραμμικών μορίων του βηρυλλίου.

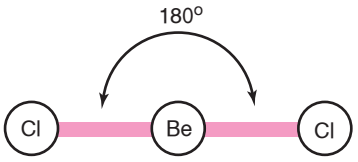
Η απεικόνιση της βασικής ενεργειακής καταστάσεως του ατόμου του βηρυλλίου είναι $1s^2$. Γενικά, προκειμένου το άτομο να σχηματίσει δεσμούς, ένα από αυτά τα ηλεκτρόνια πρέπει να προωθηθεί σε ένα *p* τροχιακό. Ας υποθέσομε ότι είναι το p_x τροχιακό. Θα ήταν δυνατόν δύο μονοσθενή άτομα, για παράδειγμα άτομα υδρογόνου, να πλησιάσουν το άτομο του βηρυλλίου και να σχηματίσουν δεσμούς με επικάλυψη των τροχιακών τους με τα 2*s* και $2p_x$ τροχιακά του ατόμου του βηρυλλίου. Όμως αυτό δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Η αιτία είναι ότι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη επικάλυψη των τροχιακών, αν προηγουμένως τα 2*s* και $2p_x$ τροχιακά αναμιχθούν προς δύο όμοια αλλά αντίθετης κατευθύνσεως υβριδοποιημένα τροχιακά, όπως φαίνεται στο σχήμα 15-14. Η μεγαλύτερη τροχιακή επικάλυψη επιτρέπει τον πληρέστερο καταμερισμό των ηλεκτρονίων και αυτό οδηγεί σε ισχυρότερους δεσμούς. Προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο αναμιγνύονται τα καθαρά τροχιακά και τα σχήματα των υβριδοποιημένων τροχιακών που προκύπτουν, θα πρέπει να θυμηθείτε ότι οι δύο λοβοί των *p* τροχιακών έχουν αντίθετα αλγεβρικά πρόσημα. Γι' αυτό, όταν προστίθεται απλά ένα *s*

τροχιακό σε ένα *p* τροχιακό, λαμβάνεται ένα υβριδοποιημένο τροχιακό, το οποίο είναι πολύ μικρό και αδύνατο κατά μήκος του αρνητικού άξονα *x*, αλλά πολύ ισχυρό και συμπυκνωμένο κατά μήκος του θετικού άξονα *x*. Η ενίσχυση κατά τη μία κατεύθυνση εις βάρος της άλλης, σημαίνει ότι σε αυτήν την κατεύθυνση είναι δυνατόν να σχηματισθεί ένας πολύ ισχυρότερος δεσμός από αυτόν που θα μπορούσε να σχηματίσει ένα καθαρό *s* ή *p* τροχιακό, προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Εάν τώρα αντιστρέψομε το σημείο του *p* τροχιακού και στη συνέχεια το προσθέσομε στο *s* τροχιακό, λαμβάνομε ένα υβριδοποιημένο, το οποίο είναι έντονα συγκεντρωμένο προς την κατεύθυνση του αρνητικού άξονα *x*. Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί ένα τροχιακό, το οποίο είναι εξαιρετικά κατάλληλο για να σχηματίσει ένα δεσμό σε κατεύθυνση αντίθετη προς την προηγούμενη. Τι έχει επιτύχει ο υβριδισμός; Η συνολική ικανότητα για σχηματισμό χημικών δεσμών των ατομικών τροχιακών, όταν αυτά είναι χωριστά, η οποία είναι ανάλογη προς την ικανότητά τους να επικαλύπτονται με τα τροχιακά των άλλων ατόμων, είναι συγκεντρωμένη τώρα σε ορισμένες κατευθύνσεις αντί να είναι διασκορπισμένη σε μια ευρύτερη περιοχή του χώρου. Αυτός είναι ο λόγος που ευνοείται ο σχηματισμός υβριδοποιημένων τροχιακών, διαδικασία που ονομάζεται ***υβριδοποίηση*** ή ***υβριδισμός***. Ισχυρότεροι δεσμοί είναι δυνατόν να σχηματισθούν σε ορισμένες κατευθύνσεις από υβριδοποιημένα τροχιακά, σε σχέση με τα ανεξάρτητα ατομικά τροχιακά από τα οποία προέρχονται.

Το ζεύγος των υβριδοποιημένων τροχιακών που σχηματίζονται στο βηρύλλιο από ένα *s* και ένα *p* τροχιακό, είναι γνωστά ως *sp* υβρίδια. Αν κοιτάξετε προς τις κατευθύνσεις που είναι συγκεντρωμένα αυτά τα δύο υβριδοποιημένα τροχιακά, θα διαπιστώσετε ότι σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 180°. Αυτά τα ιδιαίτερα τροχιακά δίνουν τη δυνατότητα στο βηρύλλιο να σχηματίζει δύο ισχυρούς δεσμούς· το μόριο που προκύπτει είναι γραμμικό. Πρόκειται για την ίδια γεωμετρία την οποία προέβλεψε το πρότυπο της απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων.

Το πρότυπο του υβριδισμού είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί επίσης στην περίπτωση εκείνη όπου υπάρχουν τρία ηλεκτρόνια σθένους. Το βόριο έχει τρία ηλεκτρόνια σθένους στη δεύτερη ενεργειακή

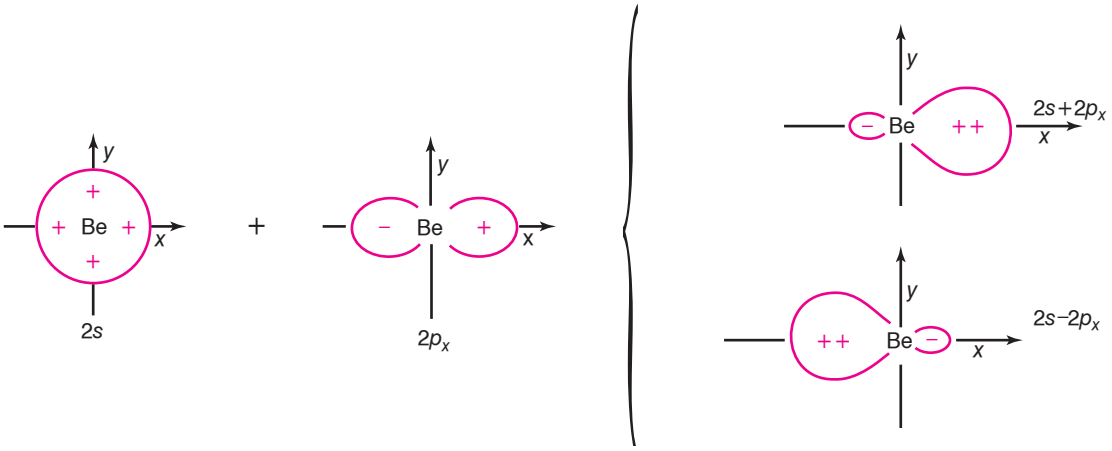


ΣΧΗΜΑ 15-13. *Το χλωρίδιο του βηρυλλίου, $BeCl_2$, σχηματίζει ένα τελείως συμμετρικό γραμμικό μόριο.*

του στοιβάδα, με την κατανομή s^2p. Ένα από τα *s* ηλεκτρόνια μπορεί να προωθηθεί εύκολα προς ένα κενό 2*p* τροχιακό, δίνοντας τη διάταξη $sp_x\,p_y$. Τα καθαρά τροχιακά σθένους όμως δεν εξασφαλίζουν τον αποτελεσματικό σχηματισμό δεσμών, σε καθορισμένες κατευθύνσεις. Για να γίνει αυτό, πρέπει να υβριδοποιηθούν. Το σχήμα 15-15 δείχνει πώς συμβαίνει αυτό. Μπορείτε να δείτε ότι τα τρία υβριδοποιημένα τροχιακά, που ονομάζονται sp^2 υβρίδια, κατευθύνονται προς τις κορυφές ενός ισοπλεύρου τριγώνου, το οποίο βρίσκεται στο επίπεδο *xy*. Έτσι, ένα μόριο, όπως το BF_3, αναμένεται να είναι επίπεδο. Και πάλι η πρόβλεψη αυτή συμφωνεί με εκείνη την οποία δίνει το πρότυπο της απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων, αλλά και με τα πειραματικά δεδομένα.

Τέλος, εξετάζομε τις περιπτώσεις εκείνες, όπου υπάρχουν τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους σε ενώσεις του άνθρακα, όπως το μεθάνιο, CH_4. Η διάταξη κατά την οποία και τα τέσσερα αυτά ηλεκτρόνια βρίσκονται σε ξεχωριστά τροχιακά θα πρέπει να είναι $sp_xp_yp_z$. Θα πρέπει λοιπόν να βρούμε μια ομάδα τεσσάρων, υβριδοποιημένων τροχιακών, sp^3 υβριδίων, τα οποία να δίνουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε ορισμένες κατευθύνσεις. Για να γίνει κάτι τέτοιο, πρέπει να κάνομε υπολογισμούς σε τρεις διαστάσεις, δηλαδή προϋποτίθενται γνώσεις άλγεβρας υψηλού επιπέδου. Το αποτέλεσμα όμως, αφού έγινε αντικείμενο επεξεργασίας για πολλά χρόνια, παίρνει μια πολύ απλή μορφή. Εξάγεται ότι τα τέσσερα υβριδοποιημένα τροχιακά, όπως δείχνει και το σχήμα 15-16, κατευθύνονται προς τις κορυφές ενός τετραέδρου. Και πάλι, το πρότυπο αυτό οδηγεί σε μια απάντηση σύμφωνη με εκείνη, η οποία προήλθε από το πρότυπο της απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων. Το μεθάνιο, CH_4, και άλλα μόρια, όπως το CF_4, θα έχουν το σχήμα του τετραέδρου.

Σε μόρια όπως η αμμωνία, NH_3, και το νερό, H_2O, τα τροχιακά σθένους του κεντρικού ατόμου καταλήγουν σε τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων. Το

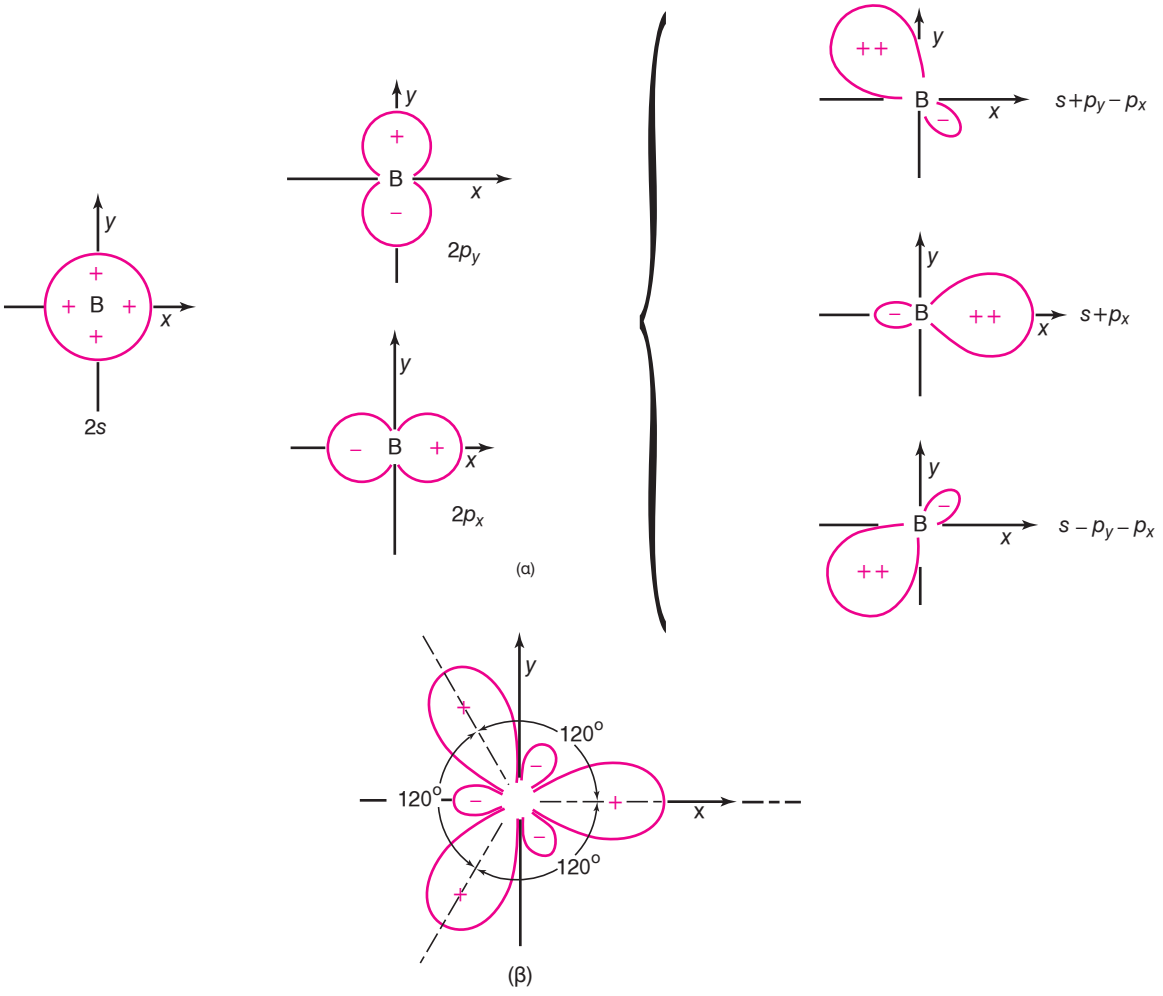


ΣΧΗΜΑ 15-14. *Ένα 2s και ένα $2p_x$ τροχιακό είναι δυνατόν να συνενωθούν, για να σχηματίσουν δύο αντίθετης κατευθύνσεως sp υβριδοποιημένα τροχιακά, όπως φαίνεται εδώ για το άτομο του βηρυλλίου.*

αποτέλεσμα αυτό είναι όμοιο με εκείνο που βρέθηκε για το μεθάνιο, με τη διαφορά ότι ένα ή δύο ζεύγη ηλεκτρονίων δε χρησιμοποιούνται στο σχηματισμό των δεσμών. Μπορούμε να υποθέσομε ότι σχηματίζονται sp^3 υβρίδια, αλλά ότι μόνο δύο ή τρία από αυτά χρησιμοποιούνται στην πραγματικότητα, για να δημιουργηθούν δεσμοί. Η χρήση έστω και λίγων υβριδίων για το σχηματισμό δεσμών οδηγεί σε ένα σταθερό μόριο, γιατί τα υβριδοποιημένα τροχιακά συγκεντρώνονται σε ορισμένες κατευθύνσεις. Έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν ισχυρότερους δεσμούς σε αυτές τις κατευθύνσεις από ό,τι κάθε καθαρό, μη υβριδοποιημένο τροχιακό. Εύκολα αντιλαμβανόμαστε τώρα γιατί η πρώτη μας προσπάθεια να εξηγήσομε τα σχήματα των μορίων του H_2O και της NH_3, όπου είχαμε δεχθεί ότι χρησιμοποιούνταν καθαρά *p* τροχιακά, δεν πέτυχε κατά τρόπο απόλυτα ικανοποιητικό. Στο κεντρικό άτομο O ή N, αντί να χρησιμοποιηθούν τα καθαρά *p* τροχιακά, αναμιγνύονται με το 2*s* τροχιακό και δίνουν υβριδοποιημένα τροχιακά, τα οποία σχηματίζουν ισχυρότερους δεσμούς. Οι γωνίες δεσμών στο H_2O και στην NH_3 δεν έχουν ακριβώς την τιμή των 109°, όπως αναφέραμε. Αυτό είναι δυνατόν να αποδοθεί στο γεγονός ότι κάτω από αυτές τις ιδιαίτερες συνθήκες και τα τέσσερα sp^3 υβριδοποιημένα τροχιακά δεν είναι στην πραγματικότητα απαραίτητο να σχηματίσουν δεσμούς. Στους δύο ή τρεις δεσμούς που σχηματίζονται είναι δυνατόν να ληφθούν τα καλύτερα αποτελέσματα, αν κατά τον υβριδισμό χρησιμοποιηθούν κατά τι διαφορετικές αναλογίες των *s* και *p* τροχιακών. Αυτό σημαίνει ότι οι κατευθύνσεις των δεσμών δεν είναι ακριβώς ίδιες με εκείνες του τετραέδρου.

Περίληψη.

Υπάρχουν πολλά είδη πειραμάτων, ειδικά η περίθλαση των ακτίνων X μέσα από κρυστάλλους, που μας δείχνουν ότι τα μόρια έχουν καθορισμένες δομές. Μπορούμε να κατανοήσομε γιατί τα πιο απλά μόρια έχουν όποια σχήματα έχουν, αν λάβομε υπόψη μας τις ιδιότητες των ηλεκτρονίων και των τροχιακών. Προκειμένου για μόρια όπως το H_2O και η NH_3, περιμένομε οι δεσμοί να σχηματίζονται με τα *p* τροχιακά των ατόμων του O και του N. Αυτό φυσικά μας επιτρέπει επίσης να συμπεραίνομε ότι τα μόρια αυτά θα είναι αντίστοιχα τεθλασμένα και πυραμιδοειδή. Όμως, ένας πιο γενικός τρόπος προβλέψεως των μοριακών σχημάτων είναι να αναγνωρίσομε ότι τα ζεύγη των ηλεκτρονίων τείνουν να τοποθετηθούν έτσι, ώστε να απέχουν όσο το δυνατόν περισσότερο, κατά μέσο όρο, μεταξύ τους. Μία από τις σημαντικότερες περιπτώσεις είναι αυτή των τεσσάρων ζευγών ηλεκτρονίων τα οποία τείνουν να καταλάβουν τις γωνίες ενός τετραέδρου. Ένα άλλο πρότυπο της κατανομής του ηλεκτρονίου στα μόρια βασίζεται στην ιδέα ότι τα διάφορα *s* και *p* τροχιακά έχουν την τάση να αναμιχθούν ή να υβριδοποιηθούν, ώστε να δώσουν νέα τροχιακά. Αυτά τα νέα τροχιακά είναι έντονα συγκεντρωμένα στις κατευθύνσεις εκείνες, στις οποίες πρόκειται να σχηματισθούν δεσμοί. Το πρότυπο αυτό οδηγεί επίσης στην πρόβλεψη των τετραεδρικών δομών,

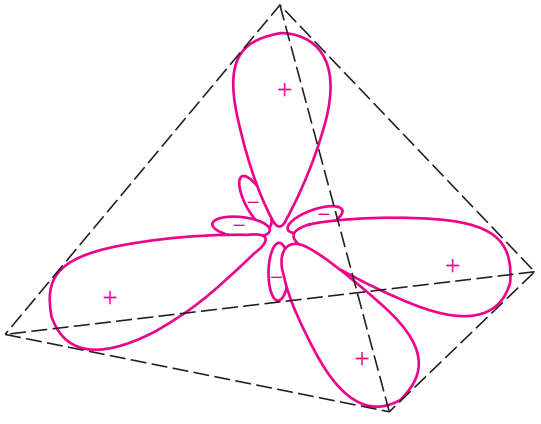


ΣΧΗΜΑ 15-15. *Όταν ένα s τροχιακό και δύο p τροχιακά συνδέονται προς ισοδύναμα υβριδοποιημένα τροχιακά (sp^2 υβρίδια), δημιουργούνται τρία τροχιακά, τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους γωνίες 120°.*

όπου πρόκειται να σχηματισθούν τέσσερις δεσμοί, και γενικά δίνει προβλέψεις κατά πολύ όμοιες με αυτές του προτύπου απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πώς με το πρότυπο της απώσεως του ζεύγους ηλεκτρονίων εξηγείται το γεγονός ότι το BF_3 είναι επίπεδο, ενώ το NF_3 είναι πυραμιδοειδές;
2. Πώς θα περιγράφατε τις κατευθύνσεις επί των οποίων βρίσκονται συγκεντρωμένα τα υβριδοποιημένα τροχιακά του τύπου *sp*, sp^2, και sp^3;
3. Πόσες πλευρές και πόσες ακμές έχει ένα τετράεδρο; Ποιο είναι το σχήμα της κάθε πλευράς;



ΣΧΗΜΑ 15-16. *Τα sp^3 υβριδοποιημένα τροχιακά.*

Διπλοί και τριπλοί δεσμοί

15.6 Διπλοί δεσμοί.

Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάσαμε μέχρι τώρα, όλα τα ζεύγη ατόμων συγκρατούνταν ενωμένα μεταξύ τους με καταμερισμό ***ενός*** ζεύγους ηλεκτρονίων. Ένας τέτοιος δεσμός ονομάζεται απλός δεσμός. Είναι δυνατόν όμως να μοιρασθούν ***δύο*** ζεύγη ηλεκτρονίων ανάμεσα σε δύο άτομα. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό ενός ισχυροτέρου τύπου δεσμού, ο οποίος ονομάζεται ***διπλός δεσμός***.

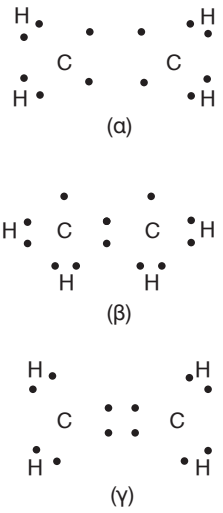
Για να δούμε πώς δημιουργείται, ας υποθέσομε ότι το κάθε ένα από τα άτομα του άνθρακα έχει σχηματίσει δεσμό με δύο άτομα υδρογόνου. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό δύο ομάδων CH_2 (σχ. 15-17α). Το κάθε ένα από τα άτομα του άνθρακα εξακολουθεί να έχει τη δυνατότητα να σχηματίσει ακόμη δύο δεσμούς με ζεύγη ηλεκτρονίων. Ας υποθέσομε ακόμη ότι αυτές οι δύο ομάδες CH_2, πλησιάζουν η μια την άλλη. Ένα ηλεκτρόνιο από κάθε άτομο άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να σχηματίσει έναν απλό δεσμό ανάμεσα σε αυτά τα δύο άτομα, όπως δείχνει το σχήμα 15-17β. Όμως, κάθε άτομο του άνθρακα διαθέτει ακόμη ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο δεν έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κάποιου δεσμού. Αυτά τα δύο εναπομείναντα ηλεκτρόνια μπορούν επίσης να μοιρασθούν ανάμεσα στα δύο άτομα άνθρακα. Η προκύπτουσα διάταξη είναι δυνατόν να παρασταθεί με τον ηλεκτρονιακό τύπο του σχήματος 15-17γ, όπου τα ηλεκτρόνια απεικονίζονται με μία τελεία.

Τώρα που έχομε τον ηλεκτρονιακό τύπο, επόμενο βήμα είναι να ανακαλύψομε ποιο θα είναι το σχήμα του μορίου. Αυτό το ιδιαίτερο μόριο, με τον τύπο C_2H_4, ονομάζεται ***αιθυλένιο***. Δεν είναι πολύ δύσκολο να προβλέψομε το σχήμα του. Το μόνο που χρειάζεται είναι η επέκταση της θεωρίας που έχομε ήδη αναπτύξει για τα μόρια που έχουν μόνο απλούς δεσμούς.

Η βασική έννοια που θα μεταχειριστούμε είναι η ακόλουθη:

Οποτεδήποτε υπάρχουν τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων στα τροχιακά σθένους ενός ατόμου, περιμένομε ότι θα δημιουργηθεί ή θα υπάρξει τάση να δημιουργηθεί μια τετραεδρική διάταξη γύρω από αυτό το άτομο.

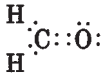
Αν το κάθε άτομο άνθρακα του αιθυλενίου πρέπει να έχει τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων γύρω

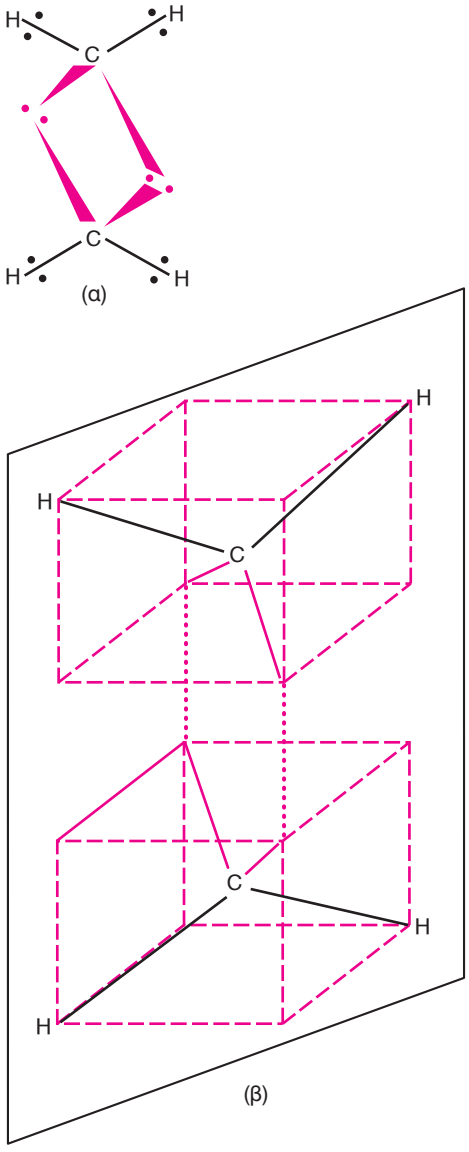


ΣΧΗΜΑ 15-17. *Δύο ομάδες - CH_2: η κάθε μία περιέχει δύο ηλεκτρόνια, που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στο σχηματισμό δεσμού (α). Οι δύο ομάδες - CH_2 έχουν συνδεθεί για το σχηματισμό ενός απλού δεσμού ανάμεσα στα δύο άτομα του άνθρακα (β). Τα δύο εναπομείναντα ηλεκτρόνια τώρα έχουν επίσης διαμοιρασθεί ανάμεσα στα δύο άτομα άνθρακα, και έτσι σχηματίζεται ένας διπλός δεσμός (γ).*

του, σε μια τετραεδρική διάταξη, και αν επίσης δύο ζεύγη ηλεκτρονίων πρέπει να ανήκουν σε δύο άτομα άνθρακα συγχρόνως, η συνολική διάταξη θα είναι αυτή που δείχνει το σχήμα 15-18. Το σχηματιζόμενο μόριο έχει και τα έξι άτομα σε ένα επίπεδο. Οι γωνίες του HCH είναι περίπου 109° και όπως μπορείτε να αποδείξετε έχοντας κάποιες γνώσεις γεωμετρίας, οι γωνίες CCH είναι περίπου 125°. Η πρόβλεψη αυτή είναι ακριβής και όπως δείχνουν τα πειράματα, το μόριο του αιθυλενίου πράγματι είναι απολύτως επίπεδο. Όπως συμβαίνει συνήθως με τα απλά μας πρότυπα, οι γωνίες που προβλέπονται αποκλίνουν, αν και όχι πολύ. Οι πραγματικές γωνίες του CCH και του HCH στο αιθυλένιο είναι και οι δύο περίπου 120°.

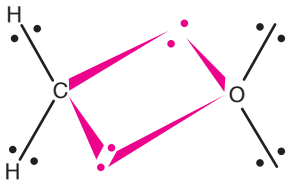
Ως άλλο παράδειγμα διπλού δεσμού ας εξετάσομε τι συμβαίνει, αν ένα άτομο οξυγόνου πρόκειται να συνδεθεί με μια ομάδα CH_2. Παρακάτω ακολουθεί ο ηλεκτρονιακός τύπος που προκύπτει, αν χρησιμοποιηθούν από το άτομο του C και του O όλα τα ηλεκτρόνια σθένους τους:



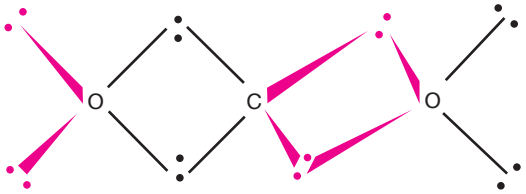


ΣΧΗΜΑ 15-18. *Όταν συνδυάζονται δύο τετραεδρικά σύνολα των τροχιακών του άνθρακα, όπως κατά το σχηματισμό του αιθυλενίου, όλα τα άτομα (2 άτομα C, 4 άτομα H) βρίσκονται σε ένα επίπεδο, και σχηματίζεται ένας διπλός δεσμός. Μια συνηθισμένη σύντομη παράσταση του αιθυλενίου δίνεται στο σχήμα (α). Η πραγματική γεωμετρία του απεικονίζεται στο σχήμα (β).*

Αν τώρα σκεφθούμε ότι το κάθε ένα από αυτά τα άτομα πρέπει να περιβάλλεται από ένα τετραεδρικό σύνολο τεσσάρων ζευγών ηλεκτρονίων, θα οδηγηθούμε στη σύνθεση ενός μορίου ομοίου με αυτό του σχήματος 15-19. Και πάλι σχηματίσαμε ένα μόριο, που είναι επίπεδο. Πειράματα δείχνουν ότι η ***φορμαλδεΰδη***, CH_2O, αποτελείται πράγματι από επίπεδα μόρια. Οι



ΣΧΗΜΑ 15-19. *Η κατανομή στο χώρο των ατόμων και των ηλεκτρονίων στο μόριο της φορμαλδεΰδης.*



ΣΧΗΜΑ 15-20 *Η κατανομή στο χώρο των ατόμων και των ηλεκτρονίων στο μόριο του διοξειδίου του άνθρακα.*

προβλέψεις μας για τις γωνίες δεν είναι απολύτως σωστές, αλλά απέχουν 5 με 10 μοίρες από τις πραγματικές τιμές.

Τέλος, ας δούμε το γνωστό μόριο του διοξειδίου του άνθρακα, CO_2. Το άτομο του άνθρακα μπορεί να μοιρασθεί δύο από τα ηλεκτρόνιά του με το κάθε άτομο του οξυγόνου. Έτσι, οδηγούμαστε στο σχηματισμό ενός μορίου με δύο διπλούς δεσμούς, που παριστάνεται με τον ακόλουθο ηλεκτρονιακό τύπο:

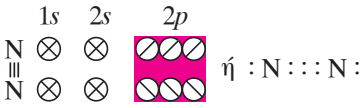
$$:\ddot{O}::C::\ddot{O}:$$

Είναι δυνατόν να προβλεφθεί το σχήμα αυτού του μορίου, αν λάβομε υπόψη μας και πάλι ότι τα τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων που περιβάλλουν το κάθε άτομο τείνουν να βρεθούν όσο το δυνατόν πιο κοντά, στις κορυφές ενός τετραέδρου. Έτσι, σχηματίζεται η διάταξη του σχήματος 15-20 η οποία, όπως φαίνεται, είναι γραμμική. Το μόριο του CO_2 είναι πράγματι γνωστό από πειράματα ότι είναι γραμμικό.

15.7 Τριπλοί δεσμοί.

Υπάρχουν μόρια, στα οποία ***τρία*** ζεύγη ηλεκτρονίων μοιράζονται ανάμεσα σε δύο άτομα. Αυτού του είδους η διάταξη ονομάζεται ***τριπλός***

δεσμός. Ένα από τα πιο απλά και πιο σημαντικά παραδείγματα είναι αυτό με το μόριο του αζώτου, N_2. Έχετε μάθει ότι το άζωτο είναι ικανό να σχηματίσει 3 δεσμούς, γιατί η ηλεκτρονιακή του διαμόρφωση είναι $1s^2 2s^2 2p_x 2p_y 2p_z$. Έτσι, ένα άτομο αζώτου συνδέεται με τρία άλλα μονοσθενή άτομα, όπως το H ή το F, και σχηματίζει μόρια, όπως την NH_3 ή το NF_3. Όταν δύο άτομα αζώτου συνδέονται μεταξύ τους, η δημιουργία του δεσμού εκφράζεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:



ή : N : : : N :

Μία από τις αιτίες που το στοιχείο άζωτο, το οποίο αποτελεί περίπου τα τέσσερα πέμπτα της ατμόσφαιράς μας, εμφανίζεται τόσο αδρανές, είναι η παρουσία αυτού του τριπλού δεσμού.

Για ένα συγκεκριμένο ζεύγος ατόμων, ένας διπλός δεσμός είναι ισχυρότερος από έναν απλό και ένας τριπλός δεσμός είναι ακόμη πιο ισχυρός από το διπλό. Αυτό φαίνεται και από τις ενέργειες των δεσμών αζώτου - αζώτου:

N : N	38 χιλιοθερμίδες/mole N_2.
N : : N	100 χιλιοθερμίδες/mole N_2.
N : : : N	226 χιλιοθερμίδες/mole N_2.

Επειδή ο απλός, ο διπλός και ο τριπλός δεσμός είναι διαδοχικά ισχυρότεροι, δεν μας εκπλήσσει το γεγονός ότι γίνονται αντίστοιχα και βραχύτεροι. Δύο ζεύγη ηλεκτρονίων έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν ένα ορισμένο ζεύγος ατόμων πλησιέστερα το ένα προς το άλλο από ό,τι ένα ζεύγος ηλεκτρονίων. Τρία ζεύγη ηλεκτρονίων μπορούν να τα φέρουν ακόμη πιο κοντά. Το γεγονός αυτό φαίνεται από τις ακόλουθες αποστάσεις N προς N προκειμένου για απλό, διπλό και τριπλό δεσμό ανάμεσα στα άτομα του αζώτου:

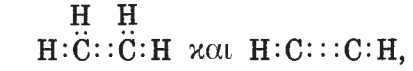
N : N 1,40 Å N : : N 1,20 Å N : : : N 1,09 Å

Για να δούμε ποια επίδραση έχει ένας τριπλός δεσμός στο σχήμα ενός μορίου, ας εξετάσομε ένα μόριο της ουσίας ακετυλένιο. Ακολουθεί ο ηλεκτρονιακός τύπος:

H : C : : : C : H

Αν τα τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων γύρω από το κάθε άτομο βρίσκονται τοποθετημένα στις κορυφές ενός τετραέδρου, το μόριο θα πρέπει να έχει το σχήμα του σχήματος 15-21. Είναι εμφανές ότι το μόριο του ακετυλενίου θα είναι γραμμικό. Πειράματα δείχνουν ότι έτσι είναι πράγματι.

Αν και τόσο οι διπλοί όσο και οι τριπλοί δεσμοί είναι πολύ ισχυροί, δεν πρέπει να συμπεράνετε ότι είναι αδρανείς. Για παράδειγμα:



Οι παραπάνω πολλαπλοί δεσμοί είναι πολύ δραστικοί. Οι εξισώσεις οι οποίες ακολουθούν εκφράζουν αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται γρήγορα, όταν στα μόρια που έχουν αυτούς τους δεσμούς επιδράσει βρώμιο, Br_2:

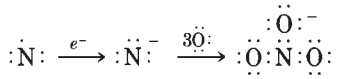
$$\underset{\text{αιθυλένιο}}{H_2C : : CH_2} + Br_2 \rightarrow \underset{\text{διβρωμοαιθάνιο}}{BrH_2C : CH_2Br}$$

$$\underset{\text{ακετυλένιο}}{HC : : : CH} + 2Br_2 \rightarrow \underset{\text{τετραβρωμοαιθάνιο}}{Br_2HC : CHBr_2}$$

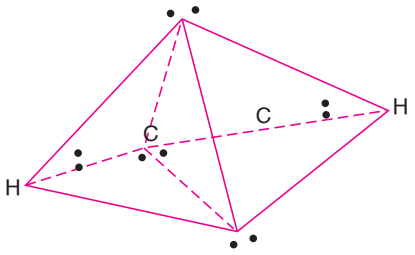
Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 14 (παράγρ. 14.4), οι χημικοί συχνά για ευκολία παριστάνουν ένα δεσμό ζεύγους ηλεκτρονίων ως μια απλή γραμμή. Κατ' αναλογία, οι διπλοί και τριπλοί δεσμοί συχνά παριστάνονται με δύο ή τρεις γραμμές αντίστοιχα. Ο πίνακας 15-1 δείχνει ακριβώς αυτήν την εφαρμογή.

15.8 Συντονισμός.

Υπάρχει ακόμη ένα σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να εξετασθεί και που αφορά στο σχήμα των μορίων. Μπορούμε να το αντιληφθούμε με τη βοήθεια ενός σημαντικού ιόντος, του ***νιτρικού***, NO_3^-. Κατ' αρχήν, ας δούμε τον ηλεκτρονιακό του τύπο. Επειδή ολόκληρο το μόριο έχει φορτίο 1-, θα πρέπει να υπάρχει ένα επί πλέον ηλεκτρόνιο, εκτός αυτών που έχουν τα ουδέτερα άτομα. Ας υποθέσομε ότι αρχικά τοποθετείται αυτό το επί πλέον ηλεκτρόνιο επάνω στο άτομο του αζώτου. Τότε, μπορούμε να γράψομε έναν τύπο για το άζωτο, ο οποίος θα δείχνει τρία ζεύγη ηλεκτρονίων. Κάθε ένα από αυτά τα ζεύγη θα τα μοιράζεται με τρία άτομα οξυγόνου:

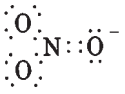


Αυτός ο ηλεκτρονιακός τύπος, αποδίδει ορθά το φορτίο, και παρέχει σε κάθε άτομο οξυγόνου μια πληρότητα όσον αφορά στα ηλεκτρόνια σθένους. Αλλά δεν είναι πλήρως ικανοποιητικός,



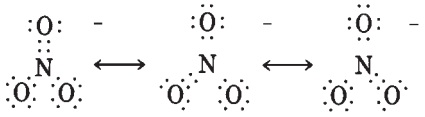
ΣΧΗΜΑ 15-21. *Δύο τετράεδρα, τα οποία έχουν κοινή τη μια τους πλευρά, σχηματίζουν ένα τριπλό δεσμό. Αυτό οδηγεί σε γραμμικό μόριο, όπως φαίνεται εδώ προκειμένου για το ακετυλένιο.*

γιατί αφήνει το άτομο του αζώτου με έξι ηλεκτρόνια μόνο. Εν τούτοις, υπάρχει μια απλή λύση σε αυτό το πρόβλημα. Δεν έχομε παρά να μετακινήσομε ένα ζεύγος ηλεκτρονίων από ένα από τα άτομα του οξυγόνου στο χώρο ανάμεσα στο άτομο του αζώτου και σε αυτό το άτομο οξυγόνου:



Βάσει αυτής της ηλεκτρονιακής δομής, θα μπορούσαμε να προβλέψομε ότι το νιτρικό ιόν πρέπει να είναι επίπεδο, ακριβώς όπως προβλέψαμε ότι θα είναι επίπεδο και το μόριο της φορμαλδεΰδης. Και σε αυτήν την περίπτωση η πρόβλεψή μας θα είναι σωστή. Το νιτρικό ιόν ***είναι*** επίπεδο. Όμως, επειδή ο ηλεκτρονιακός τύπος εμφανίζει ένα διπλό και δύο απλούς δεσμούς θα περιμέναμε ότι στο νιτρικό ιόν η μία απόσταση του N από το O θα είναι μικρότερη από τις άλλες δύο. Και όμως, πειράματα έδειξαν ότι χωρίς αμφιβολία το νιτρικό ιόν έχει το σχήμα ενός ισοπλεύρου τριγώνου. Και οι τρεις δεσμοί του N με το O είναι του ιδίου μήκους.

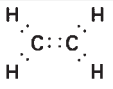
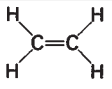
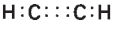
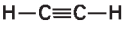
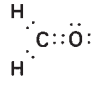
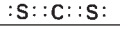
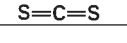
Οι χημικοί έχουν βρει δύο τρόπους, για να αντιμετωπισθεί αυτό και άλλα ανάλογα προβλήματα. Ο ένας εξετάζεται σε αυτήν την παράγραφο, ενώ ο άλλος αναπτύσσεται στην παράγραφο 15-9. Ακολουθώντας είτε τον ένα είτε τον άλλο τρόπο οι χημικοί ξεκινούν παρατηρώντας ότι δεν υπάρχει στην πραγματικότητα λόγος που να δικαιολογεί την ύπαρξη ενός διπλού δεσμού στη μία θέση και όχι στις άλλες δύο. Όλα τα άτομα του οξυγόνου ξεκινούν με τα ίδια χαρακτηριστικά. Γιατί να διαφοροποιείται το ένα από αυτά; Η πραγματική δομή δείχνει ότι δεν υπάρχει διαφορά. Ένας τρόπος να το εξηγήσομε είναι να γράψομε τους τρεις ακόλουθους τύπους για το νιτρικό ιόν:



Επειδή κανένας από αυτούς δεν υπάρχει λόγος να ευνοείται έναντι των άλλων, οι χημικοι συμπεραίνουν ότι ο τρόπος με τον οποίο διατάσσονται στην πραγματικότητα τα ηλεκτρόνια μέσα στο μόριο είναι μια συνισταμένη και των τριών τύπων. Αφού δεν υπάρχει ένας απλός τρόπος να παραστήσομε αυτήν τη μέση διάταξη, γράφομε και τους τρεις τύπους χωριστά και τους συνδέομε με βέλη διπλής κατευθύνσεως. Έχει πολύ μεγάλη σημασία η σωστή ερμηνεία αυτής της απεικονίσεως. ***Δεν*** πρέπει να συμπεράνετε ότι ο διπλός δεσμός μετακινείται από τη μια θέση στην άλλη. ***Ούτε*** ότι σε κάποια στιγμή είναι ένα άτομο οξυγόνου και μια στιγμή αργότερα κάποιο άλλο που συνδέεται μέσω διπλού δεσμού με το άτομο του αζώτου.

ΠΙΝΑΚΑώ 15.1.

Τρόποι απεικονίσεως μερικών ενώσεων, οι οποίες περιέχουν πολλαπλούς δεσμούς.

Όνομα της ενώσεως	Μοριακός τύπος	Ηλεκτρονιακός τύπος	Συντακτικός τύπος
Αιθυλένιο	C_2H_4		
Ακετυλένιο	C_2H_2		
Φορμαλδεΰδη	HCHO		
Διθειάνθρακας	CS_2		

Ποια ***είναι*** η σωστή ερμηνεία των προηγουμένων τύπων; Οι χημικοί εννοούν ότι, απλά, όλα τα άτομα του οξυγόνου είναι πάντα μερικώς συνδεδεμένα μέσω διπλού δεσμού με το άτομο του αζώτου. Η πραγματική ηλεκτρονιακή κατανομή στο ιόν ονομάζεται ***υβρίδιο συντονισμού*** των τριών διαφορετικών ηλεκτρονικών τύπων. Οι τρεις διαφορετικές απεικονίσεις του τρόπου συνδέσεως λέγεται ότι βρίσκονται σε ***συντονισμό***.

Ένας πολύ καλός τρόπος να συγκρατήσομε αμέσως τη σωστή ερμηνεία της έννοιας του συντονισμού είναι να σκεφθούμε ότι ένα μουλάρι δεν είναι τίποτα άλλο από ένα υβρίδιο. Τα μουλάρια δεν γεννήθηκαν από μουλάρια. Προήλθαν από ένα γάϊδαρο και ένα άλογο. Ένα μουλάρι έχει μερικά από τα χαρακτηριστικά ενός γαϊδάρου και μερικά από τα χαρακτηριστικά ενός αλόγου, αλλά παραμένει πάντοτε και δείχνει μουλάρι έχοντας τα χαρακτηριστικά και των δύο.

15.9 Μοριακά τροχιακά.

Μόλις πριν από λίγο μάθαμε ότι η έννοια του συντονισμού μας βοηθά να περιγράψομε τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τα ηλεκτρόνια μέσα σε μόρια, κάτι για το οποίο δεν είναι δυνατόν να μας βοηθήσει ένας μόνον ηλεκτρονιακός τύπος όπου τα ζεύγη των ηλεκτρονίων τους βρίσκονται τοποθετημένα σε συγκεκριμένες θέσεις.

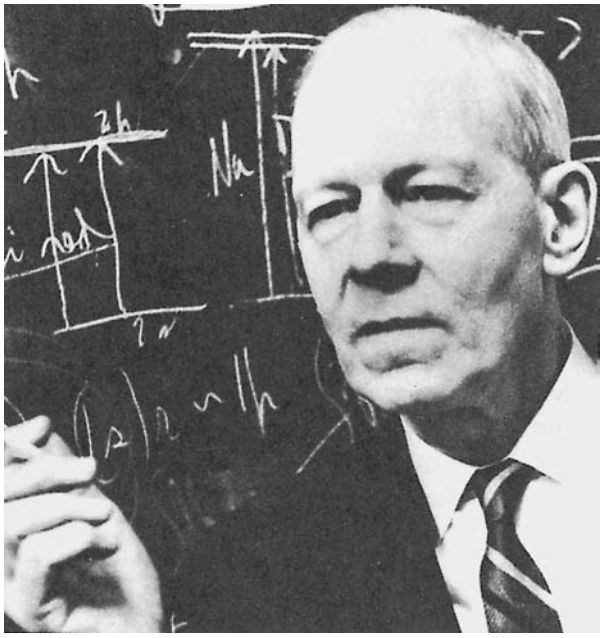
Υπάρχει όμως ένας άλλος τρόπος να αντιμετωπίσομε αυτό το πρόβλημα. Αντί να ξεκινήσομε με τη σκέψη ότι υπάρχει πάντα μια επικάλυψη τροχιακών στο χώρο ανάμεσα σε ένα ζεύγος ατόμων, πράγμα που σημαίνει ότι το κάθε ζεύγος ηλεκτρονίων θα πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα σε κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος ατόμων, μπορούμε να δεχθούμε μια περισσότερο ελαστική άποψη. Σε πολλές περιπτώσεις, ένα τροχιακό κάποιου ατόμου είναι γεωμετρικά ικανό να προσεγγίσει εξίσου καλά τα τροχιακά δύο ή τριών ακόμη ατόμων. Όταν συμβεί κάτι τέτοιο, μπορούμε να συμπεράνομε ότι θα υπάρξει ίση επικάλυψη με όλα τα τροχιακά που προσεγγίζονται εξίσου. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό ενός γιγαντιαίου τροχιακού, που εκτείνεται πάνω από περισσότερα των δύο ατόμων. Μερικές φορές τέτοια τροχιακά εκτείνονται και πάνω από ολόκληρο το μόριο. Γι' αυτό συχνά ονομάζονται μοριακά τροχιακά, έστω και αν στην πραγματικότητα δεν εκτείνονται πάνω από ολόκληρο το μόριο.

Ένα εξαιρετικό παράδειγμα για να αποδείξομε την ισχύ αυτής της απόψεως είναι το νιτρικό ιόν, με το οποίο ασχοληθήκαμε ήδη από την άποψη του συντονισμού. Ας ξεκινήσομε, όπως και προηγουμένως, προσθέτοντας ένα ηλεκτρόνιο στο άτομο του αζώτου και σχηματίζοντας στη συνέχεια από ένα δεσμό ζεύγους ηλεκτρονίων με κάθε άτομο οξυγόνου. Από αυτό το σημείο όμως θα διαφοροποιηθεί η πορεία μας.

Τα τρία ζεύγη ηλεκτρονίων γύρω από το άζωτο, που τα χρησιμοποιεί για να σχηματίζει δεσμούς με τα άτομα του οξυγόνου, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι κατέχουν ένα σύνολο τριών sp^2 υβριδοποιημένων τροχιακών. Όπως είδαμε προηγουμένως, τα sp^2 υβρίδια κατευθύνονται προς τις κορυφές ενός ισοπλεύρου τριγώνου. Αν υποθέσομε ότι το νιτρικό ιόν βρίσκεται πάνω στο επίπεδο xy ενός καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων, τότε θα πρέπει τα p_x και p_y τροχιακά να χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αυτών των υβριδίων. Το p_z τροχιακό είναι κάθετο στο επίπεδο των τριών δεσμών, και γι' αυτό είναι κάθετο και προς το επίπεδο ολοκλήρου του νιτρικού ιόντος.

Ας εξετάσομε τώρα την κατανομή των ζευγών ηλεκτρονίων σε σχέση με κάθε άτομο οξυγόνου. Το ένα από τα τέσσερα ζεύγη βρίσκεται κατά μήκος της γραμμής, ανάμεσα στο άτομο του οξυγόνου και το άτομο του αζώτου. Η κατεύθυνση αυτή μπορεί να εκληφθεί ως η κατεύθυνση του ενός άξονα, ας πούμε του άξονα x, ενός συστήματος συντεταγμένων που έχει ως κέντρο το άτομο του οξυγόνου. Το άτομο του οξυγόνου είναι δυνατόν να θεωρηθεί κατόπιν ότι χρησιμοποιεί το p_x τροχιακό του, για να σχηματίσει δεσμό ζεύγους ηλεκτρονίων με το άτομο του αζώτου. Τα υπόλοιπα τρία ζεύγη καταλαμβάνουν τα s, p_y, και p_z τροχιακά. Αν ορίσομε το υπόλοιπο σύστημα συντεταγμένων πάνω στο άτομο του οξυγόνου έτσι, ώστε ο άξονας y να βρίσκεται στο επίπεδο του νιτρικού ιόντος, τότε το p_z τροχιακό του κάθε ατόμου οξυγόνου θα πρέπει να είναι κάθετο σε αυτό το επίπεδο. Έτσι, τα p_z τροχιακά και στα τέσσερα άτομα του νιτρικού ιόντος θα είναι παράλληλα. Μπορείτε να το δείτε στο σχήμα 15-22 (για την ακρίβεια φαίνονται μόνο τα p_z τροχιακά).

Το σχήμα 15-22 δείχνει ότι το p_z τροχιακό του ατόμου του αζώτου είναι δυνατόν να επικαλυφθεί εξίσου καλά με τα p_z τροχιακά του καθενός από τα άτομα οξυγόνου. Δεν θα υπήρχε δικαιολογία να πιστέψομε ότι επικαλύπτεται εκλεκτικά με κάποιο



Robert Sanderson Mulliken (1896-1986)

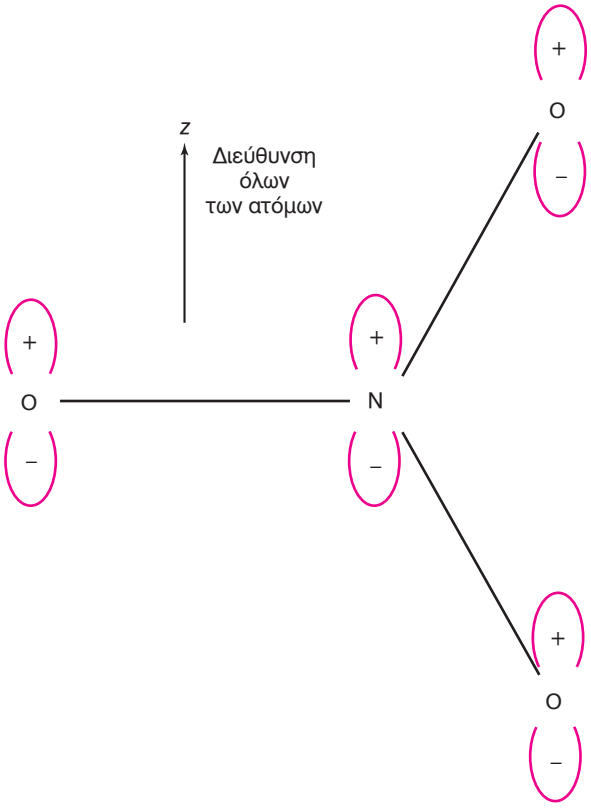
Ο Robert Mulliken έδειξε από νωρίς ενδιαφέρον για τις θετικές επιστήμες και αυτό φαίνεται από την εργασία που εξεπόνησε με τον τίτλο «Το ηλεκτρόνιο: Τι είναι και τι κάνει» την οποία ανακοίνωσε στο Γυμνάσιο όπου φοίτησε κατά την τελετή απονομής των απολυτηρίων.

Μετά την αποφοίτησή του από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασσαχουσέτης το 1917 και αφού είχε εκπονήσει το διδακτορικό του, τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1920 ασχολήθηκε με διάφορα προβλήματα που είχαν σχέση με τη χημεία. Για ένα διάστημα συγκέντρωσε την προσοχή του στο διαχωρισμό των ισοτόπων, σύντομα όμως ενδιαφέρθηκε για τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα φάσματα (παράγρ. 11.12) και στη δομή των μορίων.

Όταν τα άτομα των στοιχείων διεγερθούν από θερμότητα ή από ηλεκτρισμό υψηλής τάσεως, παράγουν φάσματα με απόλυτα ξεκαθαρισμένες φωτεινές γραμμές. Τα φάσματα που δημιουργούνται από διεγερμένα μόρια είναι πλατύτερα και πιο διάχυτα, και πάνω σε μια φωτογραφική πλάκα έχουν τη μορφή ταινιών. Όταν οι ενώσεις απορροφούν ακτινοβολία, εμφανίζονται ταινίες στις περιοχές, όπου απορροφάται η ακτινοβολία ή ορισμένα μήκη κύματος. Σήμερα γνωρίζομε ότι η πολυπλοκότητα αυτών των φασμάτων προκαλείται από ηλεκτρονικές κινήσεις, περιστροφικές κινήσεις και κινήσεις ταλαντώσεων μέσα σε ένα μόριο, αλλά αυτό ήταν άγνωστο στη δεκαετία του 1920. Οι συνεργάτες του Mulliken τον προειδοποίησαν να αποφύγει αυτό το θέμα, εκτός κι αν σχεδίαζε να ξοδέψει το υπόλοιπο της ζωής του για να λύσει τα προβλήματα που θα συναντούσε.

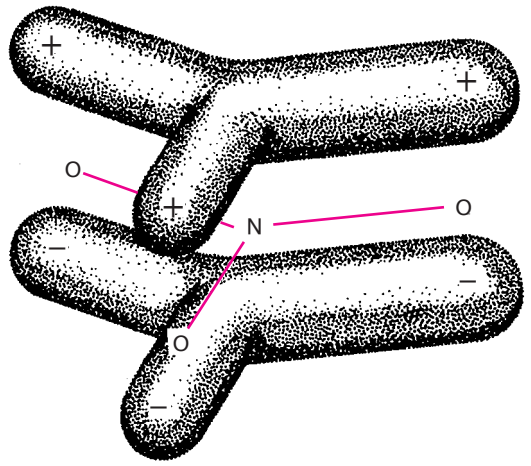
Ο Mulliken αποδέχτηκε την πρόκληση και άρχισε να εξετάζει τις ιδιότητες των μορίων με τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων, δηλαδή διαφορετικών τύπων μορίων, που περιέχουν τους ίδιους αριθμούς ηλεκτρονίων. Επεκτείνοντας την εργασία του, ώστε να περιληφθούν και άλλοι τύποι μορίων, άρχισε να διαβλέπει ότι η αρχή του ενός μονήρους ζεύγους ηλεκτρονίων που βρίσκεται στενά συνδεδεμένο ανάμεσα σε δύο γειτονικά άτομα δεν ήταν τόσο απλή όσο είχε υποθέσει ο Αμερικανός χημικός G.N.Lewis, το 1916. Άρχισε να διαπιστώνει ότι πολλά από αυτά τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονταν σαν κύματα και κάλυπταν σημαντικά τμήματα του μορίου. Το 1932, για να δικαιολογήσει το χώρο που κατελάμβαναν αυτά τα ηλεκτρόνια μέσα στα άτομα και στα μόρια, επινόησε τους όρους «ατομικό τροχιακό» και «μοριακό τροχιακό».

Η βασική αρχή της τροχιακής θεωρίας των τροχιακών που διετύπωσε ο Mulliken είναι ότι στα άτομα και στα μόρια υπάρχουν μερικά ευδιάκριτα επίπεδα ηλεκτρονικής ενέργειας ή τροχιακά, τα οποία ακολουθούν μια κανονική σειρά διατάξεως καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα του συστήματος. Η θεωρία των μοριακών τροχιακών υπήρξε ιδιαίτερα χρήσιμη κατά την ερμηνεία της δομής του βενζολίου, του νιτρικού ιόντος και άλλων ουσιών, για τις οποίες θα ήταν δυνατόν να γραφούν διάφορες ισοδύναμες ηλεκτρονιακές δομές.



ΣΧΗΜΑ 15-22. *Τα παράλληλα p_z τροχιακά στο νιτρικό ιόν.*

από αυτά έναντι των άλλων. Αυτό μας οδηγεί σε μια εικόνα μοριακού τροχιακού, διασκορπισμένου ομοιόμορφα και συμμετρικά γύρω από το ολικό νιτρικό ιόν, όπως ακριβώς δείχνει το σχήμα 15-23. Τα ηλεκτρόνια των p_z τροχιακών των ατόμων του οξυγόνου καταλαμβάνουν αυτό το μοριακό τροχιακό με ίση κατανομή για κάθε άτομο



ΣΧΗΜΑ 15-23. *Μοριακό τροχιακό του νιτρικού ιόντος, το οποίο σχηματίζεται από επικάλυψη των p_z τροχιακών που δείχνει το σχήμα 15.22.*

οξυγόνου. Κατά μέσο όρο, το κάθε άτομο οξυγόνου συμμετέχει κατά το ένα τρίτο στο ζεύγος ηλεκτρονίων. Ένα μοριακό τροχιακό, όπως και ένα ατομικό τροχιακό, δεν είναι δυνατόν να καταλαμβάνεται από περισσότερα του ενός ζεύγη ηλεκτρονίων. Στην περίπτωση αυτήν, κατά την οποία υπάρχουν διαθέσιμα τρία ίσης αξίας ζεύγη για συμμετοχή στη συμπλήρωση ενός μοριακού τροχιακού, λαμβάνεται από το καθένα ίσο μερίδιο συνεισφοράς. Όπως είδατε, υπάρχει ένας δεσμός ζεύγους ηλεκτρονίων ανάμεσα στο άτομο του αζώτου και του καθενός ατόμου οξυγόνου, στο επίπεδο *xy*. Αν εξετάσομε αυτό το δεσμό μαζί με το δεσμό p_z, διαπιστώνομε ότι ο κάθε δεσμός αζώτου με οξυγόνο αποτελείται από ένα μέσο όρο $1^1/_3$ ζευγών ηλεκτρονίων. Στο ίδιο αποτέλεσμα είχαμε καταλήξει και με τη βοήθεια της εικόνας συντονισμού.

Περίληψη.

Όταν ένα ζεύγος ηλεκτρονίων μοιράζεται ανάμεσα σε δύο άτομα, λέγεται ότι υπάρχει ένας απλός δεσμός. Είναι δυνατόν ανάμεσα σε δύο άτομα να βρίσκονται μοιρασμένα περισσότερα από ένα ζεύγη ηλεκτρονίων. Όταν μοιράζονται δύο ζεύγη, υπάρχει ένας διπλός δεσμός, και όταν υπάρχουν τρία, τότε έχομε ένα τριπλό δεσμό. Οι διπλοί και οι τριπλοί δεσμοί είναι ισχυρότεροι από τους απλούς δεσμούς, ενώ ο τριπλός είναι ο ισχυρότερος όλων προκειμένου για το ίδιο ζεύγος ατόμων. Ισχυρότεροι δεσμοί οδηγούν και σε μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των ατόμων που συνδέονται μεταξύ τους. Για μερικά μόρια δεν είναι δυνατόν να γραφεί ένας μόνον ηλεκτρονιακός τύπος, ο οποίος να περιγράφει με ακρίβεια το σχήμα του μορίου και την ηλεκτρονιακή κατανομή μέσα σε αυτό. Έτσι, θα πρέπει να καταφύγομε σε ένα ή δύο πιο ειδικά πρότυπα. Ένα πρότυπο δημιουργείται, αν γράψομε αρχικά όλους τους διαφορετικούς, αλλά ισοδύναμους, ηλεκτρονιακούς τύπους. Θεωρούμε ότι η πραγματική ηλεκτρονιακή κατανομή αποδίδεται από ένα μέσο όρο ή μίγμα, που ονομάζεται υβρίδιο συντονισμού όλων αυτών. Εξάλλου, ένα μέρος των ηλεκτρονίων είναι δυνατόν να συμμετάσχει σε μοριακά τροχιακά. Τα

μοριακά τροχιακά εκτείνονται μάλλον πάνω από τρία ή και περισσότερα άτομα, συχνά δε πάνω από όλα τα άτομα του μορίου, και δεν περιορίζονται στην περιοχή ανάμεσα σε ένα ορισμένο ζεύγος ατόμων.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Σχηματίστε έναν ηλεκτρονιακό τύπο για το μόριο του υδροκυανίου, HCN. Τι είδους δεσμούς περιέχει;
2. Το μόριο του SO_2 είναι τεθλασμένο και οι δεσμοί του θείου με το οξυγόνο είναι σε μήκος ίσοι. Να αποδείξετε αυτήν τη θέση με τη βοήθεια του προτύπου του συντονισμού.
3. Να γράψετε έναν ηλεκτρονιακό τύπο για το μόριο που ονομάζεται αιθάνιο, C_2H_6.

Μοριακό σχήμα και διπολικές ροπές

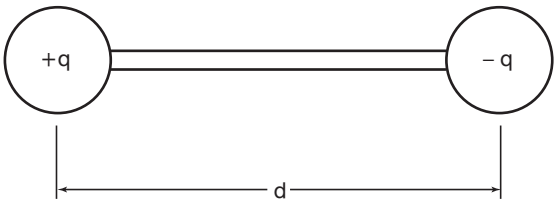
15.10 Ορισμός της διπολικής ροπής.

Διπολική ροπή αναπτύσσεται, εφόσον η κατανομή του ηλεκτρικού φορτίου ενός αντικειμένου δεν είναι ομοιόμορφη, και έτσι μια περιοχή έχει περίσσεια αρνητικού, φορτίου ενώ μια άλλη έχει περίσσεια θετικού φορτίου. Το αντικείμενο στο σύνολό του δεν έχει μόνο αρνητικό ή μόνο θετικό φορτίο. Είναι συνολικά ουδέτερο. Η διπολική ροπή είναι μια ποσοτική μέτρηση της εκτάσεως στην οποία το φορτίο είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένο. Παρατηρήστε το αντικείμενο του σχήματος 15-24. Εφόσον το αντικείμενο είναι στο σύνολό του ουδέτερο, θα πρέπει τα θετικά και τα αρνητικά φορτία, τα οποία υπάρχουν στο κάθε άκρο του, να είναι ίσα. Αν και το αντικείμενο δεν εμφανίζει φορτίο, είναι δυνατόν να πούμε ότι έχει πολικότητα ή είναι πολωμένο. Διαθέτει ένα θετικό και έναν αρνητικό πόλο. Είναι προφανές ότι ο βαθμός πολικότητας εξαρτάται από δύο παράγοντες: (1) από την ποσότητα του φορτίου που υπάρχει σε κάθε πόλο και (2) από την απόσταση ανάμεσα στους δύο πόλους. Αυτοί οι δύο παράγοντες συνδυάζονται μαθηματικά μέσα στον ορισμό της διπολικής ροπής.

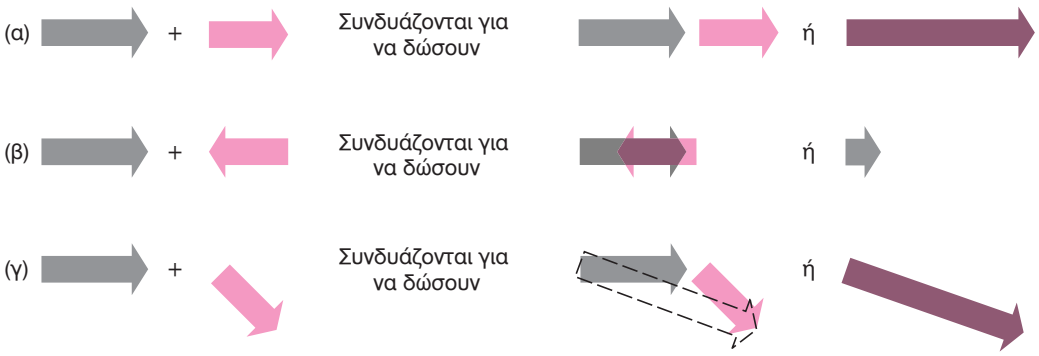
Η ***διπολική ροπή*** ορίζεται ως το γινόμενο του φορτίου, q, επί την απόσταση των δύο πόλων, d. Η ***διπολική ροπή ισούται με qd.***

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η έννοια της λέξεως «δίπολο» είναι ξεκάθαρη. Όμως, η λέξη «ροπή», ίσως σας φαίνεται λίγο ασυνήθιστος όρος. Είναι μια λέξη που χρησιμοποιείται εκτεταμένα στις φυσικές επιστήμες, ιδιαίτερα στη φυσική. Η ***ροπή*** είναι δυνατόν να ορισθεί ως μία τάση δημιουργίας κινήσεως γύρω από έναν άξονα περιστροφής. Ένα μόριο με διπολική ροπή έχει την τάση να στρέφεται περί τον άξονά του, όταν εκτίθεται σε μια ηλεκτροστατική δύναμη. Αν κρεμάσετε μια κοντή μεταλλική ράβδο από μια κλωστή δεμένη στο μέσο της και πλησιάσετε προς αυτήν ένα φορτισμένο σώμα, δεν θα συμβεί τίποτα. Αν όμως μπορούσατε να φορτίσετε τη μεταλλική ράβδο, ώστε το ένα από τα άκρα της να είχε θετικό φορτίο και το άλλο αρνητικό, η ράβδος θα άρχιζε να περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, όταν ένα άλλο φορτισμένο σώμα θα πλησίαζε πάλι προς το μέρος της.

Άλλη σημαντική ιδιότητα των διπόλων είναι ότι μαζί με το μέγεθός τους, το οποίο εκφράζεται από τη διπολική ροπή, διαθέτουν μια καθορισμένη κατεύθυνση. Όπως είδατε στο σχήμα 15-24, η απόσταση d είναι μια ευθεία γραμμή που ενώνει τα κέντρα των δύο φορτίων. Έτσι, ένα δίπολο είναι δυνατόν να παρασταθεί με ένα διάνυσμα. Οι επιστήμονες προσανατολίζουν αυθαίρετα την άκρη του βέλους προς το αρνητικό άκρο του διπόλου. Το μήκος του διανύσματος είναι ανάλογο με το μέγεθος της διπολικής ροπής. Η απεικόνιση των διπόλων με διανύσματα είναι πολύ σημαντική, γιατί μας παρέχει τη δυνατότητα να υπολογίσομε ποιο θα είναι το συνολικό δίπολο, όταν συνδυασθούν μερικά δίπολα μεταξύ τους με



ΣΧΗΜΑ 15-24. *Παράσταση ενός διπόλου.*



ΣΧΗΜΑ 15-25. *Τα σύμβολα των διπόλων είναι δυνατόν να προστεθούν, όπως φαίνεται εδώ. Δύο δίπολα που στοχεύουν προς την ίδια κατεύθυνση ισοδυναμούν με το αριθμητικό τους άθροισμα (α). Όταν έχουν αντίθετη κατεύθυνση (β), τότε η συνολική διαφορά τους είναι όπως η εικονιζόμενη. Όταν τα δίπολα σχηματίζουν γωνίες (γ), τα βέλη προστίθενται γεωμετρικά και δίνουν τη συνολική τιμή.*

μια ιδιαίτερη γεωμετρική διάταξη. Στο σχήμα 15-25, δίνονται μερικά παραδείγματα συνδυασμού διπόλων προς ένα τελικό (συνολικό) δίπολο με τη βοήθεια της προσθέσεως των διανυσμάτων των διαφόρων διπόλων. Αυτού του είδους οι συνδυασμοί οδηγούν πάντα σε διανυσματικό μέγεθος διαφορετικό από αυτό των δύο διαφορετικών διπόλων που το συνιστούν. Επίσης, οι συνδυασμοί αυτοί είναι δυνατόν να έχουν και διαφορετική κατεύθυνση.

15.11 Πώς είναι δυνατόν να έχουν τα μόρια διπολικές ροπές.

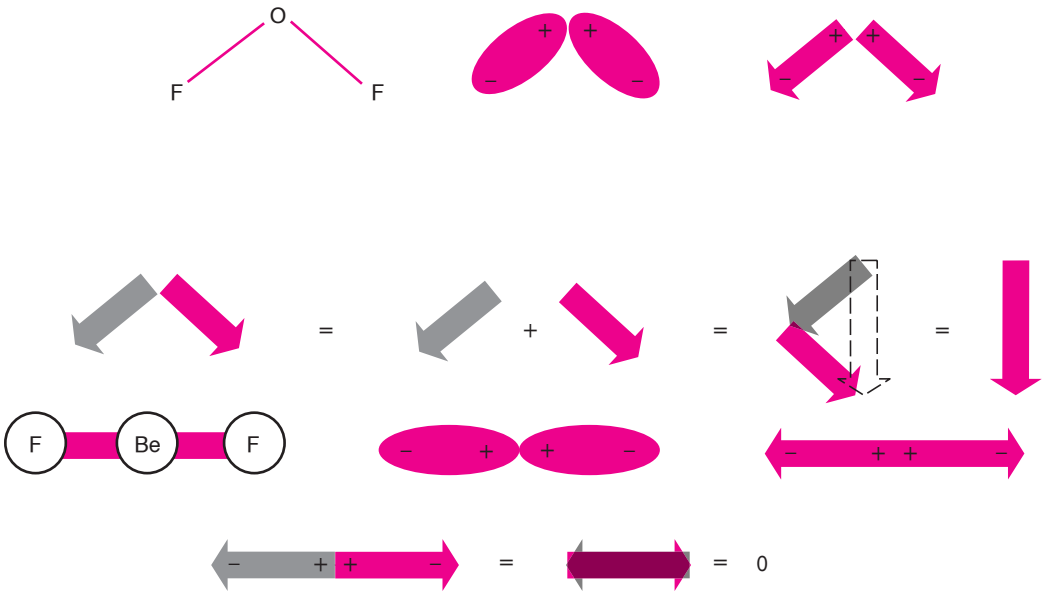
Όπως είδαμε στην παράγραφο 14.13, ένας δεσμός ανάμεσα σε δύο διαφορετικά άτομα παρουσιάζει, γενικά, κάποιον ιοντικό χαρακτήρα. Τα δύο άτομα δεν θα μοιράζονται εξίσου το ζεύγος ηλεκτρονίων (ή ζεύγη), διότι το αρνητικό φορτίο των κοινών ηλεκτρονίων θα βρίσκεται πλησιέστερα προς το ένα από τα δύο άτομα. Ένας δεσμός με κάποιο ιοντικό χαρακτήρα, δηλαδή με κάποια άνιση κατανομή των ηλεκτρονίων, θα πρέπει να είναι πολικός. Το ένα άκρο θα είναι αρνητικό και το άλλο άκρο θετικό. Έτσι, θα υφίσταται μια διπολική ροπή κατά μήκος της διευθύνσεως του άξονα που ενώνει τα δύο άτομα. Όλα τα διατομικά μόρια που αποτελούνται από ανόμοια άτομα διαθέτουν διπολική ροπή. Στον πίνακα 15-2 αναφέρονται οι διπολικές ροπές μερικών μορίων αυτού του τύπου.

Προκειμένου για πιο πολύπλοκα μόρια, που περιέχουν πολικούς δεσμούς, η παρουσία ή απουσία σε αυτά διπολικής ροπής εξαρτάται από το σχήμα του μορίου. Για το λόγο αυτό, η μέτρηση των διπολικών ροπών συχνά είναι δυνατόν να μας πληροφορήσει σχετικά με το σχήμα του μορίου. Για παράδειγμα, όλα τα τριατομικά μόρια του τύπου XYX, όπως τα BeF_2, H_2O, CO_2, και OF_2, που είναι κάποια από όσα έχετε κι όλας γνωρίσει, θα πρέπει να ανήκουν στη μια ή στην άλλη από τις εξής δύο κατηγορίες: Είτε είναι τεθλασμένα είτε είναι γραμμικά. Όπως δείχνει το σχήμα 15-26, όταν ένα τέτοιο τριατομικό μόριο είναι τεθλασμένο, το σύνολο των διανυσμάτων των διπόλων των δεσμών του, δίνει τη συνολική διπολική ροπή ολοκλήρου του μορίου. Εξάλλου,

ΠΙΝΑΚΑΣ 15.2.
Διπολικές ροπές μερικών μορίων.

Μόριο	Διπολική ροπή (D)*
Διατομικό	
HCl	1,08
HF	1,91
CO	0,10
Τριατομικό	
BeF_2	0
CO_2	0
OF_2	0,30
H_2O	1,85
Τετρα-ατομικό	
BF_3	0
NF_3	0,25
NH_3	1,47

* *Η μονάδα μετρήσεως (D) ισούται με τη διπολική ροπή που δημιουργείται, όταν θετικά (+) και αρνητικά (–) φορτία ίσα με το φορτίο του ηλεκτρονίου απέχουν μεταξύ τους μια απόσταση ίση με ένα Engsrtφm.*



ΣΧΗΜΑ 15-26. *Το μόριο OF_2 (επάνω), εμφανίζει μια συνολική διπολική ροπή, όπως φαίνεται από την προσθήκη των διπολικών διανυσμάτων των δύο δεσμών. Το συνολικό δίπολο στο μόριο του BeF_2 (κάτω) είναι μηδέν, διότι τα δύο δίπολα των αντίθετης κατευθύνσεως δεσμών αλληλοαναιρούνται λόγω της αντίθετης διευθύνσεώς τους.*

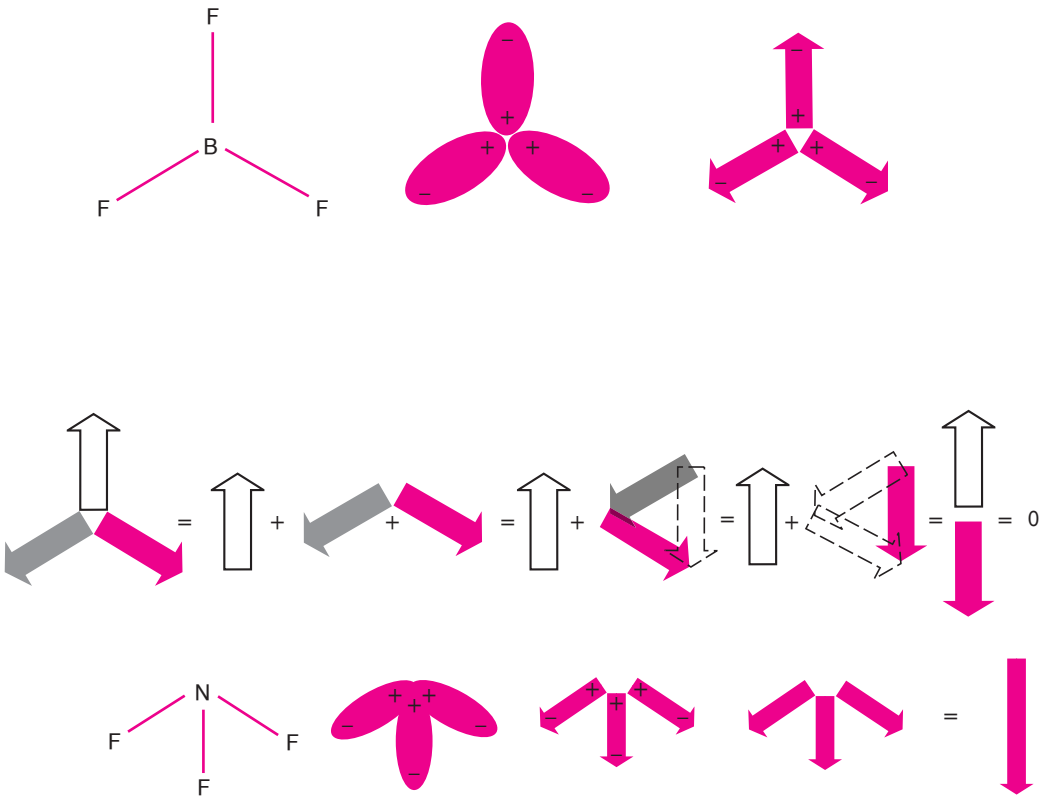
όταν ένα μόριο του τύπου XYX είναι γραμμικό, τα δίπολα των δεσμών X-Y και Y- X αλληλοαναιρούνται, και το μόριο στο σύνολό του δεν παρουσιάζει διπολική ροπή. Έτσι, η μέτρηση των διπολικών ροπών των τριατομικών μορίων του τύπου XYX δείχνει αν πρόκειται για γραμμικά ή τεθλασμένα. Για τα μόρια που αναφέρθηκαν πιο πάνω, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 15-2.

Για τετρα-ατομικά μόρια του τύπου XY_3, υπάρχουν δύο βασικές δυνατότητες όσον αφορά στο σχήμα τους: (1) το μόριο είναι δυνατόν να βρίσκεται εξ ολοκλήρου σε ένα επίπεδο και να έχει το σχήμα ενός ισοπλεύρου τριγώνου με το άτομο X στο κέντρο του. (2) Το μόριο είναι δυνατόν να έχει το σχήμα τριγωνικής πυραμίδας, με τα άτομα Y να σχηματίζουν τη βάση και το άτομο X στην κορυφή. Μερικά μόρια του τύπου XY_3 που συναντήσαμε είναι τα BF_3, NF_3, και NH_3. Το σχήμα 15-27 δείχνει πώς προστίθενται τα διάφορα διανύσματα των δεσμών, στην περίπτωση των δύο πιθανών δομών. Όπως φαίνεται, τα επίπεδα μόρια θα έχουν μηδενική διπολική ροπή, ανεξάρτητα από το πόσο πολικοί είναι οι διάφοροι δεσμοί. Τα μόρια τύπου πυραμίδας διαθέτουν πάντα μια μικρή διπολική ροπή. Στον πίνακα 15-2 φαίνονται πάλι τα πειραματικά δεδομένα. Από τα αποτελέσματα αυτά μπορείτε να συμπεράνετε ότι το BF_3 είναι επίπεδο, και ότι το NF_3 και η NH_3 είναι τύπου πυραμίδας.

15.12 Συντακτικά ισομερή.

Ένας από τους λόγους που η χημεία μοιάζει με ένα πολύ ενδιαφέρον και συχνά πολύπλοκο παιχνίδι είναι ότι, στις περισσότερες (εκτός από τις απλούστατες) περιπτώσεις, προκειμένου για μια ομάδα ατόμων, είναι δυνατόν να υπάρξουν περισσότεροι από έναν τρόποι συνδέσεως των ατόμων μεταξύ τους. Με άλλα λόγια, είναι δυνατόν να υπάρξουν δύο (ή περισσότερα) διαφορετικά μόρια, τα οποία να περιέχουν ακριβώς τον ίδιο αριθμό από το κάθε είδος ατόμου. Στο επόμενο κεφάλαιο θα συναντήσομε πολλά τέτοια παραδείγματα. Κατ' αρχήν, ας ορίσομε την έννοια και ας δώσομε μερικά παραδείγματα.

Το κύριο συστατικό όλων των οινοπνευματωδών ποτών είναι μια ουσία με το κοινό όνομα αλκοόλη. Για λόγους τους οποίους θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο, το όνομα αυτό δεν είναι επιστημονικά ικανοποιητικό. Οι χημικοί την αποκαλούν *αιθανόλη*. Με την ανάλυση προκύπτει ότι η αιθανόλη αποτελείται μόνο από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Επίσης, αν προσδιορισθούν οι ακριβείς αναλογίες της μάζας των τριών στοιχείων, βρίσκομε ότι αυτά υπάρχουν στην εξής αναλογία: 24 μέρη άνθρακα προς 6 μέρη υδρογόνου προς 16 μέρη οξυγόνου. Μετρώντας τη μάζα γνωστού όγκου ατμών αιθανόλης, και με τη βοήθεια των νόμων των



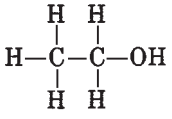
ΣΧΗΜΑ 15-27. *Τα τρία ίσα και κατά τον αυτό τρόπο κατανεμημένα στο χώρο δίπολα που σχηματίζουν το μόριο του BF_3 (επάνω), έχουν συνολική ροπή μηδέν. Τα δ ιπολικά διανύσματα των διαφόρων δεσμών N - F δίνουν ως αποτέλεσμα ένα μοριακό δίπολο στο τύπου πυραμίδας μόριο NF_3 (κάτω).*

αερίων που μελετήσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι δυνατόν να βρεθεί ότι η μοριακή μάζα της αιθανόλης είναι 46.

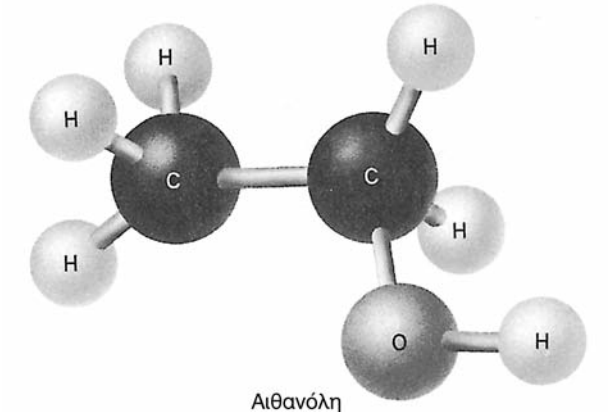
Με τη βοήθεια προηγουμένων πειραματικών αποτελεσμάτων είναι δυνατόν να βρεθεί ο τύπος της αιθανόλης. Ένα mole αιθανόλης έχει μάζα 46 γραμμαρίων. Από αυτήν τη μάζα, τα 24 γραμμάρια πρέπει να είναι άτομα άνθρακα, τα 6 γραμμάρια πρέπει να είναι άτομα υδρογόνου και τα 16 γραμμάρια πρέπει να είναι άτομα οξυγόνου. Η ατομική μάζα του άνθρακα (δηλαδή, η μάζα ενός mole ατόμων άνθρακα) είναι 12,0 γραμμάρια. Άρα, ένα mole αιθανόλης θα πρέπει να περιέχει δύο mole (24 γραμμάρια) ατόμων άνθρακα. Αναλόγως, θα πρέπει να υπάρχουν έξι mole ατόμων υδρογόνου (ατομική μάζα x 1,0) και ένα mole ατόμων οξυγόνου (ατομική μάζα = 16,0). Έτσι, το κάθε ξεχωριστό μόριο αιθανόλης θα πρέπει να περιέχει 2 άτομα άνθρακα, 6 άτομα υδρογόνου, και 1 άτομο οξυγόνου. Ο τύπος της θα είναι C_2H_6O.

Εκτός από τις σε όλους γνωστές φυσιολογικές ιδιότητές της, η αιθανόλη έχει και άλλες χαρακτηριστικές φυσικές ιδιότητες. Όπως συμβαίνει και με όλες τις καθαρές ουσίες, πρόκειται περί σταθερών ιδιοτήτων για οποιοδήποτε δείγμα της ουσίας αυτής. Αν ένα υλικό διαθέτει όλες αυτές τις ιδιότητες, είναι λογικό να υποθέσομε ότι πρόκειται γι' αυτήν ειδικά την ουσία, την αιθανόλη. Στον πίνακα 15-3 αναφέρονται μερικές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της αιθανόλης.

Αυτό που απομένει να μάθομε είναι η δομή του μορίου της αιθανόλης. Από μια σειρά μετρήσεων που έχουν πραγματοποιήσει οι χημικοί, βρέθηκε ότι ο τρόπος σχηματισμού δεσμών και το σχήμα του μορίου της αιθανόλης συμπίπτει με το εικονιζόμενο σχήμα 15-28. Μπορεί επίσης να παρασταθεί και ως εξής:

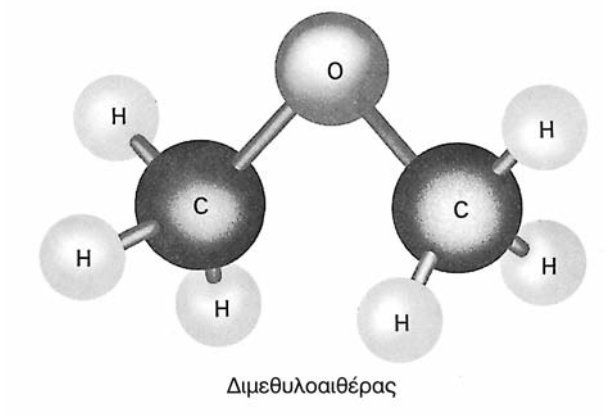


Η ιστορία μέχρις εδώ είναι μάλλον απλή. Από τη σύσταση και τη μοριακή μάζα είναι δυνατόν να



Αιθανόλη

ΣΧΗΜΑ 15-28. *Ένα πρότυπο μορίου αιθανόλης στο χώρο, κατασκευασμένο από μικρές σφαίρες και ράβδους.*

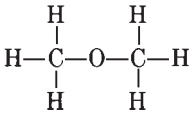


Διμεθυλοαιθέρας

ΣΧΗΜΑ 15-29. *Ένα πρότυπο του διμεθυλοαιθέρα στο χώρο κατασκευασμένο από μικρές σφαίρες ή*

βρεθεί ο τύπος μιας ουσίας, της οποία στη συνέχεια μπορεί να προσδιορισθεί η δομή με βάση τις δικές της χαρακτηριστικές ιδιότητες, όπως είναι το χρώμα, η οσμή, το σημείο βρασμού, και η πυκνότητα. Τώρα όμως φθάνομε σε μια ενδιαφέρουσα περιπλοκή. Υπάρχει μια άλλη ουσία η οποία έχει ακριβώς τον ίδιο τύπο, C_2H_6O, αλλά διαφορετικές ιδιότητες. Ενώ η αιθανόλη σε θερμοκρασία δωματίου είναι ένα υγρό που μοιάζει με νερό, η άλλη ουσία είναι αέριο στη θερμοκρασία δωματίου, με σημείο βρασμού τους –27°C. Είναι προφανές ότι πρόκειται για διαφορετικές ουσίες. Θα πρέπει να αποτελούνται συνεπώς από διαφορετικά μόρια. Επί πλέον, αυτά τα διαφορετικά μόρια αποτελούνται από τον ίδιο ακριβώς συνδυασμό ατόμων. Η δεύτερη ουσία, με μοριακό τύπο επίσης C_2H_6O, ονομάζεται διμεθυλο-αιθέρας.

Η δομή του μορίου του διμεθυλο-αιθέρα έχει προσδιορισθεί με διάφορα είδη μετρήσεων και φαίνεται στο σχήμα 15-29. Μπορεί επίσης να παρασταθεί ως εξής:



Τα μόρια της αιθανόλης και του διμεθυλο-αιθέρα είναι ισομερή. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 7 (παραγρ. 13), ισομερή είναι τα μόρια που αποτελούνται από το ίδιο είδος ατόμων, διατεταγμένα διαφορετικά στην κάθε περίπτωση. Για να είμαστε πιο ακριβείς, ισομερή αυτού του ειδικού τύπου ονομάζονται συντακτικά ισομερή*. Ο όρος αυτός σημαίνει ότι τα ισομερή διαφέρουν στο ότι έχουν διαφορετικούς τους συνδυασμούς των δεσμών τους. Οι δεσμοί στην αιθανόλη είναι οι ακόλουθοι:

5 δεσμοί C – H
1 δεσμός C – C
1 δεσμός C – O
1 δεσμός O – H

Οι ίδιοι δεσμοί όμως δεν υπάρχουν στο διμεθυλο-αιθέρα. Αυτός έχει τους ακόλουθους.

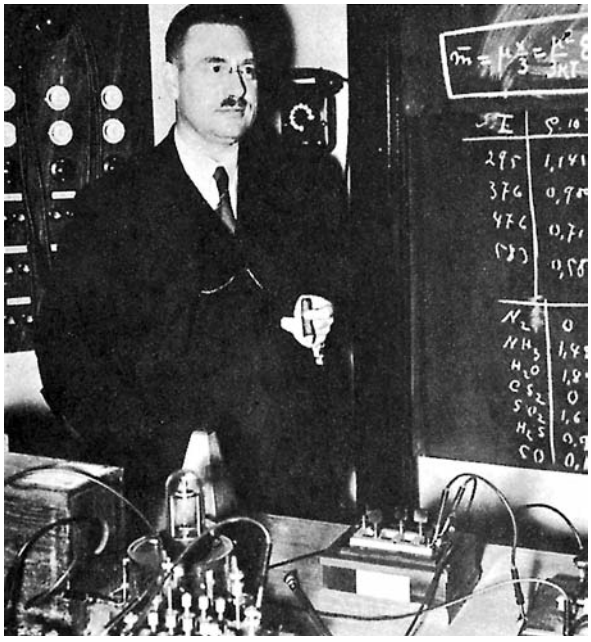
6 δεσμούς C – H
2 δεσμούς C – O

Δομικά ισομερή υπάρχουν επίσης, όταν οι συνδυασμοί δεσμών είναι ίδιοι, αλλά διαφέρει η σειρά τους. Ας προσέξομε το παρακάτω ζεύγος μορίων:

ΠΙΝΑΚΑΣ 15.3.
Μερικές φυσικές ιδιότητες της αιθανόλης.

Ιδιότητα	Περιγραφή
Σημείο τήξεως	–117,3 °C
Σημείο βρασμού	78,5 °C
Πυκνότητα (στους 20 °C)	0,789 g/ml
Χρώμα	Άχρωμη
Διαλυτότητα	Διαλυτή στο νερό σε οποιαδήποτε αναλογία

* *Σ.τ.Μ. Στην ελληνική ορολογία αναφέρονται απλούστερα και ως ισομερή.*



Peter Joseph Wilhelm Debye (1884 - 1966)

Αν και κατά τα φοιτητικά του χρόνια στο κολλέγιο ο Peter Debye σπούδαζε ηλεκτρολόγος μηχανικός, πήρε το διδακτορικό του από το Πανεπιστήμιο του Μονάχου το 1908 στη φυσική. Μέσα σε τρία χρόνια απέκτησε τέτοια φήμη ως διαπρεπής επιστήμονας, ώστε προτάθηκε για τη θέση, την οποία μόλις είχε αφήσει ο Albert Einstein στο Πανεπιστήμιο της Ζυρίχης.

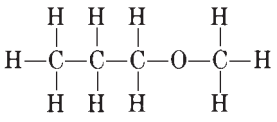
Πολύ νωρίς στη διαδρομή του ο Debye ενδιαφέρθηκε για την επίδραση των ηλεκτρικών δυνάμεων στα μόρια. Βρήκε ότι αν το ηλεκτρικό φορτίο σε ένα μόριο δεν είναι συμμετρικά κατανεμημένο, το μόριο τείνει να αποκτήσει μια περιστροφική κίνηση μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο.

Το μόριο στη συνέχεια προσανατολίζεται προς ορισμένες κατευθύνσεις, οι οποίες καθορίζονται από την ένταση του πεδίου και τα φορτία στα άκρα του μορίου. Μετρώντας τις μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου, όταν εισέρχονταν τα μόρια σε αυτό, ο Debye κατάφερε να προσδιορίσει αυτό που ονόμασε **διπολική ροπή των μορίων.** Μετρώντας την κατανομή των φορτίων σε πολλά μόρια, ο Debye και άλλοι κατάφεραν να μάθουν πολλά γύρω από τις δομές αυτών των μορίων και να προβλέψουν πώς θα συμπεριφερθούν αυτά τα μόρια κάτω από ποικίλες συνθήκες. Σήμερα χρησιμοποιούμε το **debye** ως τη βασική μονάδα μετρήσεως των διπολικών ροπών.

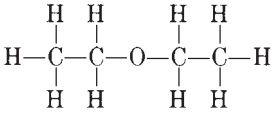
Πριν από το 1916, ένα από τα μεγαλύτερα μειονεκτήματα της αναλύσεως των κρυσταλλικών ενώσεων με περίθλαση ακτίνων-Χ ήταν ότι έπρεπε να παραχθούν μεγάλοι, τέλειοι κρύσταλλοι. Ο Debye ήταν από τους πρώτους που ανακάλυψε ότι οι μέθοδοι της περιθλάσεως των ακτίνων-Χ θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν εξίσου καλά και σε κονιοποιημένους κρυστάλλους, αρκεί να είχαν προετοιμασθεί με κατάλληλες μεθόδους. Ο περιορισμός της χρονοβόρου διαδικασίας της αναπτύξεως κρυστάλλων κατέστησε την περίθλαση των ακτίνων-Χ μια πολύ σημαντική αναλυτική μέθοδο.

Κατά τη διάρκεια της εργασίας του γύρω από την περίθλαση των ακτίνων-Χ, ο Debye ανακάλυψε ότι τα ιόντα υπάρχουν στην πραγματικότητα στους κρυστάλλους των αλάτων, πριν αυτοί διαλυθούν στο νερό. Ο Σουηδός χημικός Arrhenius είχε μελετήσει διαλύματα αλάτων στη δεκαετία του 1880. Ο Arrhenius είχε συμπεράνει ότι, επειδή τα διαλύματα ορισμένων αλάτων δεν άγουν τον ηλεκτρισμό τόσο όσο θα αναμενόταν, αυτά τα άλατα δεν διασπώνται τελείως σε ιόντα, όταν βρίσκονται σε διαλύματα. Ο Debye ως αποτέλεσμα των δικών του μελετών για τα πολικά μόρια, πρότεινε ότι τα άλατα πράγματι διασπώνται εντελώς στα διαλύματα, αλλά τα ιόντα τους περιβάλλονται από νέφη πολικών μορίων διαλύτη, τα οποία παρεμποδίζουν την κίνησή τους μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.

Το 1936 κέρδισε το βραβείο Νόμπελ στη Χημεία για την εργασία του στις διπολικές ροπές. Αν και υπήρξε διευθυντής του Ινστιτούτου Wilhelm Kaiser στο Βερολίνο για αρκετά χρόνια, θεώρησε ότι ήταν όλο και περισσότερο δύσκολο να εργασθεί εκεί, κάτω από το καθεστώς



10 δεσμοί C – H
2 δεσμοί C – C
2 δεσμοί C – O



10 δεσμοί C – H
2 δεσμοί C – C
2 δεσμοί C – O

Τα δύο μόρια είναι σίγουρα διαφορετικά, έστω και αν περιέχουν τον ίδιο αριθμό δεσμών. Διαφέρουν στη σειρά των δεσμών. Στην πρώτη περίπτωση, ακολουθώντας την κεντρική αλυσίδα του μορίου βρίσκομε C – C – C – O – C, ενώ στη δεύτερη περίπτωση αντίστοιχα βρίσκομε C – C – O – C – C.

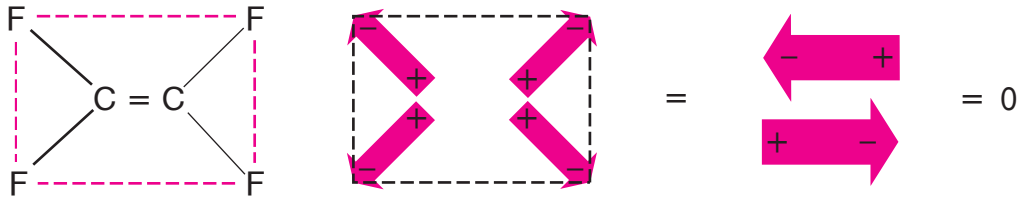
15.13 Γεωμετρικά ισομερή.

Προκειμένου να μελετήσομε ένα παράδειγμα διαφορετικού είδους ισομερών, ας επιστρέψομε στο μόριο του αιθυλενίου. Όπως θα θυμάστε ίσως από την παράγραφο 15-6, το μόριο του αιθυλενίου είναι επίπεδο. Υπάρχουν πολλά μόρια που μοιάζουν με αυτό του αιθυλένιου ως προς το ότι έχουν το ζεύγος των ατόμων άνθρακα συνδεδεμένο με ένα διπλό δεσμό, αλλά διαφέρουν και από αυτό ως προς το ότι έχουν κάτι άλλο συνδεδεμένο με τα δύο άτομα του άνθρακα αντί για τα τέσσερα άτομα υδρογόνου του αιθυλενίου. Για παράδειγμα, αντί για τα τέσσσερα άτομα του υδρογόνου, είναι δυνατόν να έχουν τέσσερα άτομα φθορίου ή τέσσερα άτομα χλωρίου. Όλα αυτά τα μόρια είναι επίπεδα και όπως προκύπτει μετά από λίγη σκέψη, δεν έχουν διπολική ροπή, έστω και αν οι επιμέρους δεσμοί είναι πολικοί. Οι ροπές των τεσσάρων δεσμών C – H, C – F ή C – Cl, είναι προσανατολισμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αλληλοαναιρούνται, όπως φαίνεται και για το μόριο του C_2F_4 στο σχήμα 15-30.

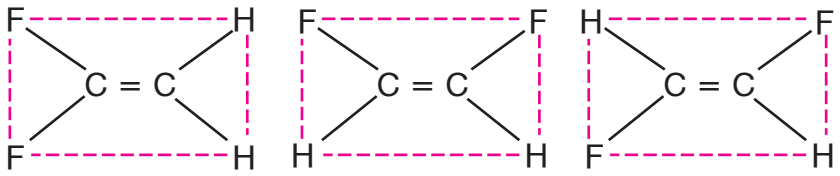
Ας υποθέσομε όμως ότι μόνο δύο από τα άτομα υδρογόνου αντικαθίστανται, για παράδειγμα από δύο άτομα φθορίου. Ο τύπος θα γίνει τώρα $C_2H_2F_2$. Όπως μπορείτε να διαπιστώσετε, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι, με τους οποίους είναι δυνατόν να αντικατασταθούν τα άτομα του υδρογόνου. Φαίνονται στο σχήμα 15-31. Είναι προφανές ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο αν θα αντικατασταθούν δύο άτομα υδρογόνου από το ίδιο άτομο άνθρακα ή ένα από το κάθε ένα. Το γεγονός ότι δημιουργούνται ισομερή στην περίπτωση αυτή είναι εύκολο να διαπιστωθεί. Πρόκειται για ένα παράδειγμα συντακτικής ισομέρειας.

Ίσως να μην είναι τόσο προφανές ότι υπάρχουν δύο τρόποι αντικαταστάσεως ενός ατόμου υδρογόνου σε κάθε άτομο άνθρακα. Με βάση τα σχήματα 15-31 και 15-32, είναι σαφές ότι τα δύο μόρια είναι διαφορετικά και ότι θα πρέπει να παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες. Στην πραγματικότητα, είναι πολύ εύκολο να διαπιστώσει κάποιος τη διαφορά ανάμεσα σε αυτά τα δύο ισομερή, και να πει ποιο είναι ποιο, μετρώντας τις διπολικές τους ροπές. Το ισομερές που χαρακτηρίζεται ως *cis, (σημαίνει «προς την ίδια πλευρά»)*, εμφανίζει κάποια διπολική ροπή. Το ισομερές όμως που χαρακτηρίζεται ως *trans,* (σημαίνει *«στην απέναντι πλευρά»*), δεν διαθέτει διπολική ροπή. Στη διάταξη *trans* οι ροπές των δύο δεσμών C – F αναιρούν η μία την άλλη, όπως και οι ροπές των δύο δεσμών C – H.

Ισομερή αυτού του τύπου ονομάζονται ***γεωμετρικά*** ισομερή, για να διακρίνονται από τα συντακτικά ισομερή. Δύο (ή μερικές φορές περισσότερα) γεωμετρικά ισομερή έχουν τους ίδιους τύπους δεσμών, στην ίδια σειρά. Αλλά αυτό που διαφέρει είναι η σχέση μερικών δεσμών



ΣΧΗΜΑ 15-30. *Κάθε δεσμός C – F στο τετραφθοροαιθυλένιο έχει τη δική του διπολική ροπή, σύμφωνα με το σχήμα. Η διάταξή τους όμως μέσα στο μόριο είναι τέτοια, ώστε να αναιρεί ο ένας τον άλλο.*

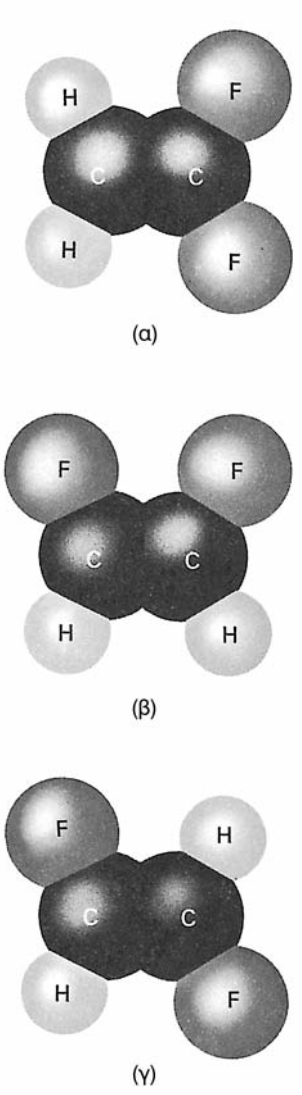


ΣΧΗΜΑ 15-31. *Τρία ισομερή με τον τύπο $C_2H_2F_2$.*

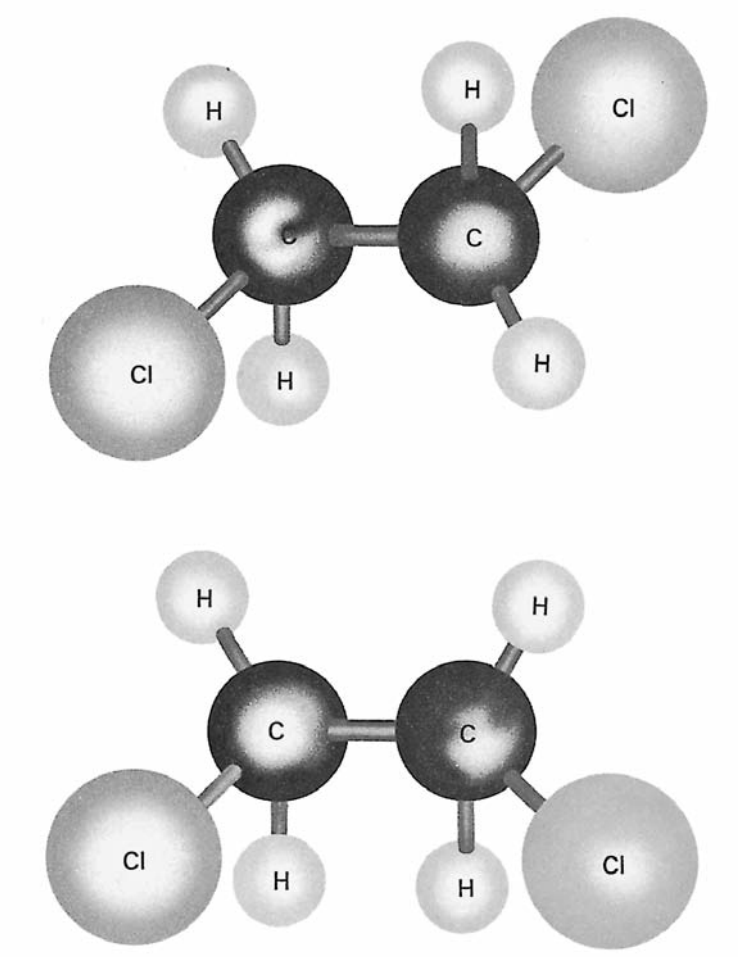
στο χώρο. Γι' αυτό και διαφέρει η γεωμετρία και ονομάζονται γεωμετρικά ισομερή.

Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσομε ότι *cis* και *trans* ισομερή υπάρχουν μόνο όταν υπάρχει διπλός δεσμός ανάμεσα στα άτομα του άνθρακα. Δεν είναι δυνατόν να μετατρέψομε το *cis* ισομερές σε *trans* χωρίς να σπάσομε το διπλό δεσμό ή τουλάχιστον το ένα ήμισυ αυτού. Τα τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων γύρω από το κάθε άτομο του άνθρακα πρέπει να παραμένουν σε τετραεδρική διάταξη. Αυτό καθιστά αδύνατη την περιστροφή του μορίου. Με τα πρότυπα που θα κατασκευάσετε αργότερα (παράγρ. 15-14) αυτό θα γίνει σαφέστερο. Μόνο όταν μετακινήσετε τουλάχιστον μία από τις οδοντογλυφίδες που θα χρησιμοποιήσομε για την αναπαράσταση του διπλού δεσμού, που ισοδυναμεί με σπάσιμο του ενός δεσμού, είναι δυνατόν να περιστραφεί το ένα άκρο του μορίου. Επειδή το σπάσιμο των δεσμών απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας, δεν συντελείται από μόνο του. Γι' αυτό τα *cis* και τα *trans* ισομερή δεν αλληλομετατρέπονται. Παραμένουν ως ξεχωριστά, ιδιαίτερα και διαφορετικά μόρια.

Όταν τα μόρια του άνθρακα συνδέονται μόνο με απλό δεσμό, δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν γεωμετρικά ισομερή. Παρατηρώντας τις δύο δομές, τις οποίες δείχνει το σχήμα 15-33, διαπιστώνομε ότι μοιάζουν με γεωμετρικά ισομερή, αλλά δεν είναι. Γιατί; Επειδή είναι δυνατόν το ένα να μετατραπεί στο άλλο χωρίς να σπάσει κανένας δεσμός. Αυτό που χρειάζεται είναι μόνο περιστροφή γύρω από το δεσμό C – C και είναι κάτι που γίνεται εύκολα. Και πάλι με τα πρότυπα που θα κατασκευάσετε με τις μπάλες και τις οδοντογλυφίδες θα φανεί αυτό καθαρά.



ΣΧΗΜΑ 15-32. *Τα τρία ισομερή του διφθοροαιθυλενίου. Το 1,1-διφθοροαιθυλένιο (α) και τα cis και trans ισομερή του 1,2-διφθοροαιθυλενίου αντιστοίχως στα σχήματα (β) και (γ).*



ΣΧΗΜΑ 15-33. *Δύο διαφορετικοί τρόποι διατάξεως των ατόμων του 1,2-διχλωροαιθανίου. Εύκολα μετατρέπεται η μία στην άλλη με περιστροφή γύρω από το δεσμό C - C και δε θεωρούνται ισομερή.*

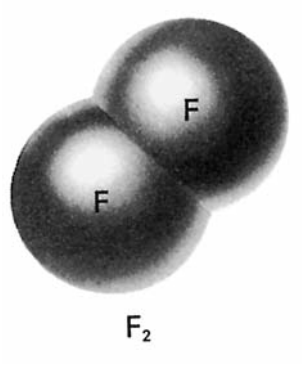
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

15.14 Τα μόρια και τα σχήματά τους.

Όταν δύο άτομα συνενώνονται, για να σχηματίσουν ένα διατομικό μόριο, το μέγεθος των ατόμων και η απόσταση των πυρήνων τους μπορεί να διαφέρει. Το βασικό σχήμα όμως είναι το ίδιο για όλα τα μόρια αυτού του είδους. Πρόκειται για μία τρισδιάστατη εικόνα που σχηματίζεται από δύο τεμνόμενες σφαίρες (σχ. 15-34).

Μόρια που διαθέτουν περισσότερα από δύο άτομα είναι δυνατόν να προσλάβουν σχήματα σε μεγαλύτερη ποικιλία. Τα σχήματα αυτά καθορίζονται από τον αριθμό και το μέγεθος των ατόμων, τον αριθμό των ηλεκτρονίων, τους τύπους των τροχιακών που διατίθενται για σχηματισμό δεσμών στο κάθε άτομο, και τον αριθμό των δεσμών που συνδέουν τα άτομα.

Πολλές ιδιότητες των ενώσεων εξαρτώνται από τα σχήματα των μορίων τους, όπως και από τις δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα που αποτελούν τα μόρια ενωμένα. Γι' αυτό, η γνώση των σχημάτων των μορίων είναι σημαντική για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων νέων ενώσεων και την ερμηνεία της συμπεριφοράς πολλών γνωστών ενώσεων. Για παράδειγμα, στον τομέα της βιοχημείας, το σχήμα του μορίου ενός ενζύμου είναι εξαιρετικά σημαντικό



ΣΧΗΜΑ 15-34. *Ένα στερεοχημικό (ή τρισδιάστατο) πρότυπο του ατόμου του φθορίου, F_2.*

(για τα ένζυμα γίνεται λόγος στο κεφάλαιο 21). Ένα μόριο είναι δυνατόν να διαθέτει το σωστό αριθμό και τύπο ατόμων, αλλά να είναι εντελώς αδρανές ως ένζυμο, αν δεν διαθέτει το σωστό σχήμα. Το άμυλο και η κυτταρίνη (αναφέρονται στο κεφάλαιο 18) έχουν τον ίδιο βασικό τύπο, αλλά λόγω των διαφορετικών σχημάτων των μορίων τους, έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Μετατρέποντας τα σχήματα των μορίων που συνθέτουν μερικά από τα κοινά πλαστικά, οι χημικοί έχουν κατορθώσει να αυξήσουν σημαντικότατα την αντοχή τους.

Στο πείραμα που ακολουθεί θα κατασκευάσετε μερικά πρότυπα μορίων με διογκωμένη πολυστερίνη. Όπως βλέπετε, από ένα τέτοιο πρότυπο, (σχ. 15-35) τα πρότυπα αυτού του είδους μοιάζουν περισσότερο με τα πρότυπα του τύπου μπάλα-άξονας και όχι με τα πιστά τρισδιάστατα πρότυπα των μορίων στο χώρο. Επίσης, επειδή είναι λίγες οι διαθέσιμες μπάλες διαφορετικού μεγέθους από διογκωμένη πολυστερίνη, δεν θα είναι δυνατόν να παραστήσομε με ακρίβεια τα σχετικά μεγέθη των διαφόρων ατόμων. Παρ' όλα αυτά, τα πρότυπά σας θα σας βοηθήσουν να συνειδητοποιήσετε τα μοριακά σχήματα και να κατανοήσετε τις διάφορες μορφές των δεσμών.

ΣΚΟΠΟΣ

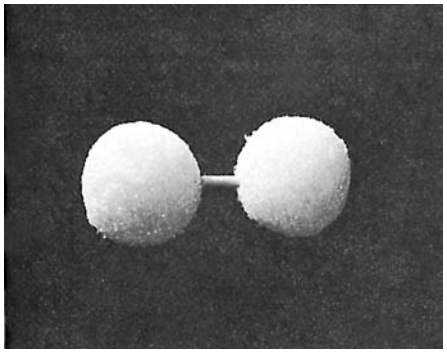
Θα κατασκευάσετε πρότυπα αρκετών μορίων με βάση την τοποθέτηση των ηλεκτρονίων στα άτομά τους. Στα πρότυπα θα περιλαμβάνονται μόρια με απλούς, διπλούς και τριπλούς δεσμούς. Θα κατασκευάσετε επίσης και πρότυπα ισομερών. Από τα πρότυπά σας θα μπορέσετε να προβλέψετε πώς επιδρούν στα σχήματα των μορίων οι διαφορές στα τροχιακά συνδέσεως και το μέγεθος των ατόμων. Επί πλέον, θα είστε σε θέση να προβλέψετε ποια μόρια έχουν διπολικές ροπές.

ΥΛΙΚΑ

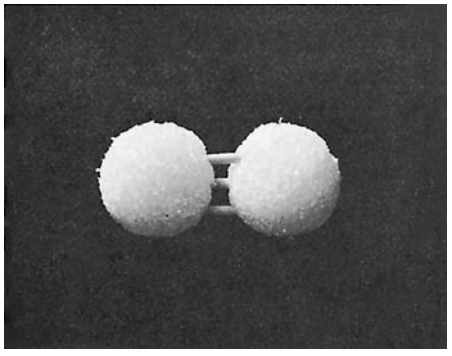
16 μπάλες από διογκωμένη πολυστερίνη, διαμέτρου 2 cm
2 μπάλες από διογκωμένη πολυστερίνη, διαμέτρου 2,5 cm
7 μπάλες από διογκωμένη πολυστερίνη, διαμέτρου 3 cm
1 μπάλα από διογκωμένη πολυστερίνη, διαμέτρου 4 cm
1 μπάλα από διογκωμένη πολυστερίνη, διαμέτρου 5 cm
24 στρογγυλές οδοντογλυφίδες, μυτερές στο κάθε άκρο
Μοιρογνωμόνιο
Μετρικός χάρακας
1 g υδρόφιλο βαμβάκι

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Να συμπληρώσετε τον πίνακα που υπάρχει στην παράγραφο «δεδομένα και αποτελέσματα», μέχρι τη σειρά «τροχιακά που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό δεσμών» (πριν έρθετε στο εργαστήριο).
2. Να κατασκευάσετε πρότυπα για κάθε μία από τις επτά υδρογονούχες ενώσεις που αναφέρονται σε αυτόν τον πίνακα. Δεχόμαστε ότι τα τροχιακά που χρησιμοποιούνται εκτείνονται όσο το δυνατόν μακρύτερα γύρω από το κεντρικό άτομο. Είναι γνωστό ότι τα άτομα της δεύτερης περιόδου του περιοδικού πίνακα έχουν διαφορετικά μεγέθη στις ομοιοπολικές ενώσεις, ξεκινώντας από μία ακτίνα 1,23 Å για το Li και καταλήγοντας σε 0,72 Å για το F. Πάντως, να χρησιμοποιήσετε τις μπάλες διαμέτρου 3 cm για να παραστήσετε το κάθε ένα από αυτά τα άτομα και μπάλες διαμέτρου 2 cm, για να παραστήσετε τα άτομα του υδρογόνου. Μια οδοντογλυφίδα στερεωμένη ανάμεσα σε δυο γειτονικές μπάλες θα παριστάνει ένα ζεύγος



ΣΧΗΜΑ 15-35.



ΣΧΗΜΑ 15-36.

ηλεκτρονίων που σχηματίζει έναν απλό δεσμό ανάμεσα σε δύο άτομα, όπως δείχνει το σχήμα 15-35 (θα χρειασθείτε επτά μπάλες από διογκωμένη πολυστερίνη διαμέτρου 3 cm, δεκαέξι μπάλες των 2 cm, λίγο υδρόφιλο βαμβάκι και περίπου 24 οδοντογλυφίδες.)

(α) Πριν να συμπληρώσετε το πρότυπο (μοντέλο) του CH_4, βυθίστε τέσσερις οδοντογλυφίδες σε βάθος 1 cm μέσα στο κεντρικό άτομο, ώστε να βρίσκονται όλες σε ένα επίπεδο με τις εξωτερικές τους άκρες να σχηματίζουν τις κορυφές ενός τετραγώνου. Μετρήστε την απόσταση ανάμεσα στα άκρα και των τεσσάρων ζευγών των γειτονικών οδοντογλυφίδων και βρείτε τη μέση απόσταση (με τη διαδικασία αυτή θα διορθωθούν οι ελαφρές ανωμαλίες του προτύπου σας). Τώρα, μετακινήστε τις τέσσερις οδοντογλυφίδες και προσπαθήστε να τις βυθίσετε πάλι στο κεντρικό άτομο, ώστε και οι τέσσερις οδοντογλυφίδες να είναι διατεταγμένες συμμετρικά στο χώρο γύρω από το άτομο, και να σχηματίζουν σχεδόν ίσες γωνίες μεταξύ τους (αυτό είναι λίγο δύσκολο και θα πρέπει να κάνετε αρκετές προσπάθειες μέχρι να τις τοποθετήσετε σωστά). Βεβαιωθείτε ότι η κάθε οδοντογλυφίδα έχει βυθισθεί σε βάθος ενός εκατοστού μέσα στο κεντρικό άτομο. Βρείτε πάλι τη μέση απόσταση ανάμεσα στα γειτονικά άκρα των οδοντογλυφίδων.

(β) Για να κατασκευάσετε τα πρότυπα των NH_3, H_2O, και HF, να χρησιμοποιήσετε τα ίδια τροχιακά με αυτά του CH_4. Σχηματίστε μια μικρή μπάλα από βαμβάκι στην άκρη μιας οδοντογλυφίδας για να παραστήσετε το κάθε μονήρες ζεύγος ηλεκτρονίων.

3. Κατασκευάσατε ένα πρότυπο του μορίου του H_2S, χρησιμοποιώντας μια μπάλα διαμέτρου 4 cm για το θείο και μπάλες 2 cm για το υδρογόνο. Να συγκρίνετε αυτό το πρότυπο με εκείνο του H_2O που είχατε κατασκευάσει με μπάλα διαμέτρου 3 cm.
4. Χρησιμοποιήστε μια μπάλα 2 cm, για να παραστήσετε το F, μια μπάλα 2,5 cm για το Cl, μια 4 cm για το Br, και μια μπάλα 5 cm για το I. Κατασκευάστε τα πρότυπα των HF, HCl, HBr, και HI. Χρησιμοποιήστε κοντά κομμάτια οδοντογλυφίδων και σπρώξτε τις μπάλες, μέχρι να ακουμπήσουν μεταξύ τους (τα πρότυπα αυτά δεν θα είναι ακριβώς ανάλογα με τα μεγέθη των πραγματικών μορίων, αλλά είναι ικανοποιητικά για τους σκοπούς μας).
5. Αποσυνδέστε τα πρότυπα που κατασκευάσατε. Τώρα κατασκευάστε μια σειρά από ενώσεις του άνθρακα, του υδρογόνου και του οξυγόνου, παίρνοντας μπάλες διαμέτρου 3 cm για τον άνθρακα, 2 cm για το υδρογόνο, και 2,5 cm για το οξυγόνο. Να δείξετε μόνο τα συζευγμένα ηλεκτρόνια και όχι τα μονήρη. Χρησιμοποιήστε δύο οδοντογλυφίδες για τους διπλούς δεσμούς και τρεις για τους τριπλούς, σύμφωνα με το σχήμα 15-36. Όταν θα ολοκληρώσετε ένα πρότυπο, να γράψετε το συντακτικό τύπο της ενώσεως που σχηματίσθηκε. Να κατασκευάσετε μοριακά πρότυπα που θα έχουν τα ακόλουθα άτομα:

   (α) 2 C, 6 H
   (β) 2 C, 4 H
   (γ) 2 C, 2 H
   (δ) 1 C, 2 H, 1 O
   (ε) 1 C, 4 H, 1 O
   (στ) 2 C, 6 H, 1 O (δύο διαφορετικές μορφές)

6. Κολλήστε πάνω σε δύο μπάλες διαμέτρου 2,5 cm μικρές ετικέττες γράφοντας πάνω τους Cl, για να παραστήσετε τα άτομα

του χλωρίου. Χρησιμοποιήστε τες, για να κατασκευάσετε τρία διαφορετικά ισομερή διχλωροαιθυλενίου ($C_2H_2Cl_2$). Γράψτε τους συντακτικούς τύπους για το κάθε ισομερές. Δείξτε ποιοι έχουν μορφή *cis και* ποιοι μορφή *trans*.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πριν να κατασκευάσετε οποιοδήποτε πρότυπο, καταρτίστε έναν πίνακα, σαν αυτόν που ακολουθεί, σε μια ολόκληρη σελίδα από το τετράδιό σας. Στρέψτε το χαρτί έτσι, ώστε η μακριά πλευρά να είναι στο επάνω μέρος, και καταγράψτε τα σύμβολα των στοιχείων που εμφανίζονται στη δεύτερη σειρά του περιοδικού πίνακα (Li-F) στην επάνω γραμμή.

Στοιχείο	Li, Be, κ.λ.π.
Ατομικός αριθμός	
Ηλεκτρονιακή διάταξη	
Ηλεκτρονιακός τύπος του στοιχείου	
Ηλεκτρονιακός τύπος των ενώσεων του υδρογόνου	
Τροχιακά που χρησιμοποιούνται στους δεσμούς	
Σχεδιαγράμματα προτύπων	
Κατά προσέγγιση γωνίες των δεσμών	
Έχει το μόριο διπολική ροπή;	
Σχήμα του μορίου: γραμμικό τεθλασμένο, επίπεδο τύπου πυραμίδας, τετραεδρικό.	

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

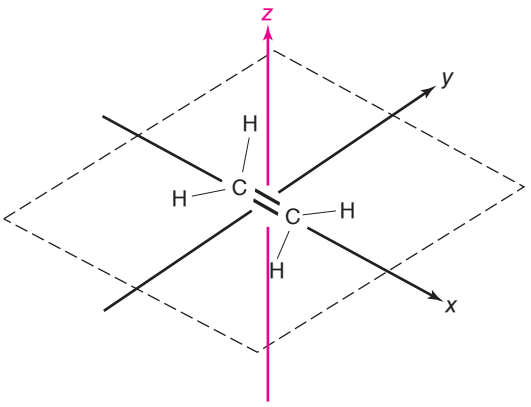
1. Ποια από τις δυο μορφές του CH_4 που κατασκευάσατε είναι πιο σταθερή; Γιατί;
2. Να εξηγήσετε την επίδραση που έχουν τα μη συνδεδεμένα ηλεκτρόνια στις γωνίες των δεσμών της NH_3 και του H_2O. Να συγκρίνετε τις γωνίες αυτών των δεσμών με αυτές του CH_4. Ποιες από τις τρεις ενώσεις θα πρέπει να έχουν τις μεγαλύτερες γωνίες δεσμών;
3. Βρείτε μια πιθανή εξήγηση για το γεγονός ότι η πραγματική γωνία H – S – H ενός μορίου H_2S είναι περίπου 93˚, ενώ η γωνία H – O – H ενός μορίου H_2O είναι περίπου 104,5˚.
4. Θυμηθείτε ότι η δύναμη ανάμεσα σε δύο φορτία είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της μεταξύ τους αποστάσεως. Έπειτα από αυτό, εξετάστε τις ενώσεις HF και HI, για τις οποίες κατασκευάσατε μοριακά πρότυπα. Το φθόριο ή το ιώδιο νομίζετε ότι θα έλκει ισχυρότερα τα ηλεκτρόνια του δεσμού;
5. Εξετάστε τις τέσσερις ενώσεις HF, HCl, HBr, και HI. Ποια νομίζετε ότι θα συγκρατείται από τους ισχυρότερους δεσμούς; Ποιος δεσμός θα έχει τον ισχυρότερο ιοντικό χαρακτήρα; Ποιο μόριο θα έχει τη μεγαλύτερη διπολική ροπή;
6. Ποιο από τα ισομερή του διχλωροαιθυλενίου θα έχει διπολική ροπή;

15.15 Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής των διπλών και των τριπλών δεσμών.

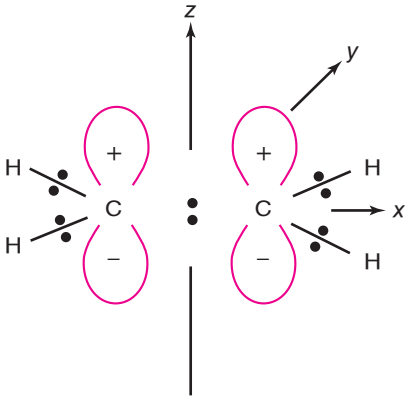
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας διπλός δεσμός είναι δυνατόν να παρασταθεί από την κοινή ακμή δύο τετραέδρων. Αυτή η πολύ απλή περιγραφή είναι χρήσιμη και δικαιολογεί πολλά βασικά χαρακτηριστικά του διπλού δεσμού. Μας βοηθά να κατανοήσομε γιατί είναι εντελώς απαγορευτική η περιστροφή γύρω από το διπλό δεσμό οδηγώντας έτσι στο σχηματισμό των *cis* και trans ισομερών. Όμως, αυτή η απλή εικόνα δεν εξασφαλίζει μια πλήρως ικανοποιητική περιγραφή των διπλών δεσμών. Υπάρχουν μερικά χαρακτηριστικά των μορίων με διπλούς δεσμούς, ιδιαίτερα των φασμάτων τους, τα οποία οι χημικοί θα μπορούσαν να κατανοήσουν ευκολότερα με τη βοήθεια μιας διαφορετικής περιγραφής. Θα εξηγηθεί τώρα αυτός ο διαφορετικός τρόπος αντιμετωπίσεως ενός διπλού δεσμού (καθώς επίσης, και ενός τριπλού δεσμού). Ονομάζεται περιγραφή σίγμα (σ) και ***πι*** (π).

Ας χρησιμοποιήσομε αρχικά για παράδειγμα το μόριο του αιθυλενίου $H_2C = CH_2$. Τα πειράματα δείχνουν ότι το μόριο του αιθυλενίου είναι επίπεδο. Το επίπεδο του μορίου είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως το επίπεδο *xy* σε ένα σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων, όπως δείχνει και το σχήμα 15-37. Ένα άτομο άνθρακα στην κατώτερη ενεργειακή του κατάσταση έχει ηλεκτρονική διαμόρφωση $1s^2 2s^2 2p^2$. Αρχικά, ένα ηλεκτρόνιο στο άτομο του άνθρακα θα πρέπει να προωθηθεί, ώστε να αποκτήσει τη διαμόρφωση $1s^2 2s 2p_x 2p_y 2p_z$. Κατόπιν αυτού, όλα τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στα τροχιακά 2*s*, $2p_x$, $2p_y$, και $2p_z$, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για να σχηματίσουν δεσμούς. Από τώρα και στο εξής δεν θα αναφέρομε τα ηλεκτρόνια 1*s*, γιατί δεν θα παίζουν κανένα ρόλο στο σχηματισμό των δεσμών.

Τώρα, αντί να υποθέσομε ότι τα τέσσερα τροχιακά της δεύτερης στοιβάδας υβριδοποιούνται, για να σχηματίσουν ένα σύστημα τετραεδρικών τροχιακών, προχωρούμε ως εξής. Υποθέτομε ότι μόνο τα 2*s*, $2p_x$, και $2p_y$ τροχιακά υβριδοποιούνται. Αυτά τα sp^2 υβριδοποιημένα τροχιακά στο κάθε άτομο του άνθρακα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τώρα, για να σχηματίσουν απλούς δεσμούς με τρία διαφορετικά άτομα στο επίπεδο xy. Στην περίπτωση του



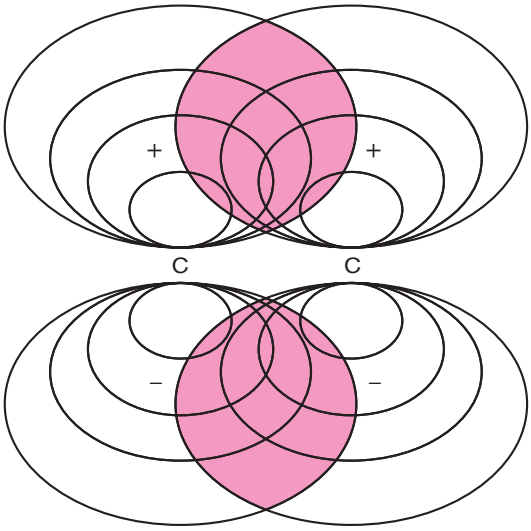
ΣΧΗΜΑ 15-37. *Το μόριο του αιθυλενίου στο επίπεδο xy του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων.*



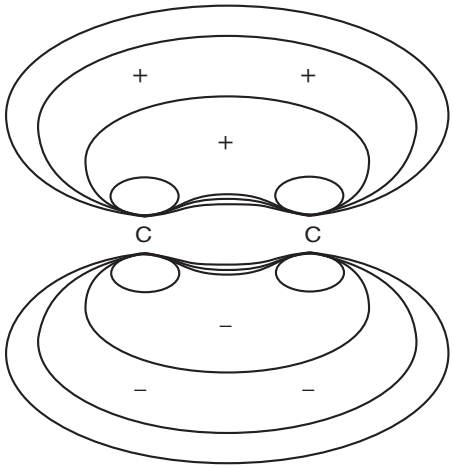
ΣΧΗΜΑ 15-38. *Το κάθε άτομο του άνθρακα έχει σχηματίσει ένα σύστημα από τρεις απλούς δεσμούς χρησιμοποιώντας ζεύγη ηλεκτρονίων στο επίπεδο του μορίου. Φαίνεται επίσης το p_z τροχιακό του κάθε ατόμου άνθρακα.*

αιθυλενίου, αυτά είναι τα δύο άτομα του υδρογόνου και το άλλο άτομο του άνθρακα. Το κάθε άτομο άνθρακα εξακολουθεί να διαθέτει το p_z τροχιακό του, το οποίο περιέχει ένα μη χρησιμοποιηθέν ηλεκτρόνιο. Η κατάσταση μέχρι αυτό το σημείο παριστάνεται στο σχήμα 15-38.

Το σχήμα 15-38 δεν παριστάνει με ακρίβεια την κατάσταση. Στην πραγματική απόσταση C – C τα $2p_z$ τροχιακά των ατόμων του άνθρακα επικαλύπτονται σημαντικά μεταξύ τους. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 15-39α. Είναι δυνατόν να παραστήσομε την κατανομή της ηλεκτρονιακής πυκνότητας στις περιοχές των δύο $2p_z$ τροχιακών από κοινού με ένα μόνο σύνολο περιγραμμάτων, όπως δείχνει το σχήμα 15-39β. Το σύνολο αυτών των περιγραμμάτων το ονομάζομε π (ελληνικό



(α)

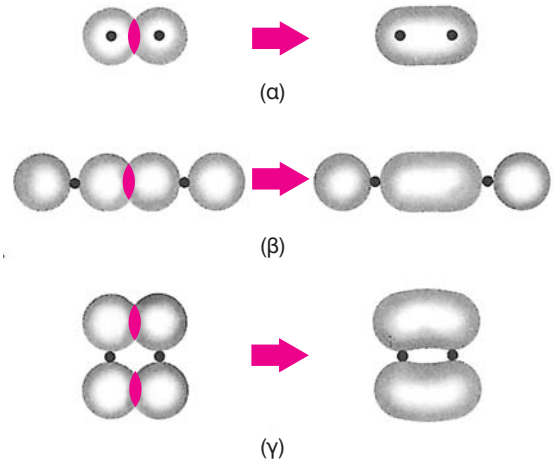


(β)

ΣΧΗΜΑ 15-39. *Επάνω φαίνεται πώς επικαλύπτονται στην πραγματικότητα τα p_z τροχιακά. Κάτω φαίνεται το συνολικό περίγραμμα των επικαλυπτομένων τροχιακών, τα π τροχιακά του μορίου.*

γράμμα π) δεσμό. Ονομάζεται *π* δεσμός γιατί μοιάζει στο σχήμα με ένα *p* τροχιακό. Το ελληνικό γράμμα *π* αντιστοιχεί προς το αγγλικό γράμμα *p*. Τα δύο ηλεκτρόνια, τα οποία υπήρχαν αρχικά από ένα στο κάθε $2p_z$ τροχιακό, συνεζεύχθησαν στο *π* τροχιακό.

Ο διπλός δεσμός ανάμεσα τα άτομα του άνθρακα απεικονίζεται έτσι σαν να έχει δυο διαφορετικά συστατικά. Το ένα είναι ο δεσμός που σχηματίζεται από επικάλυψη των λοβών των

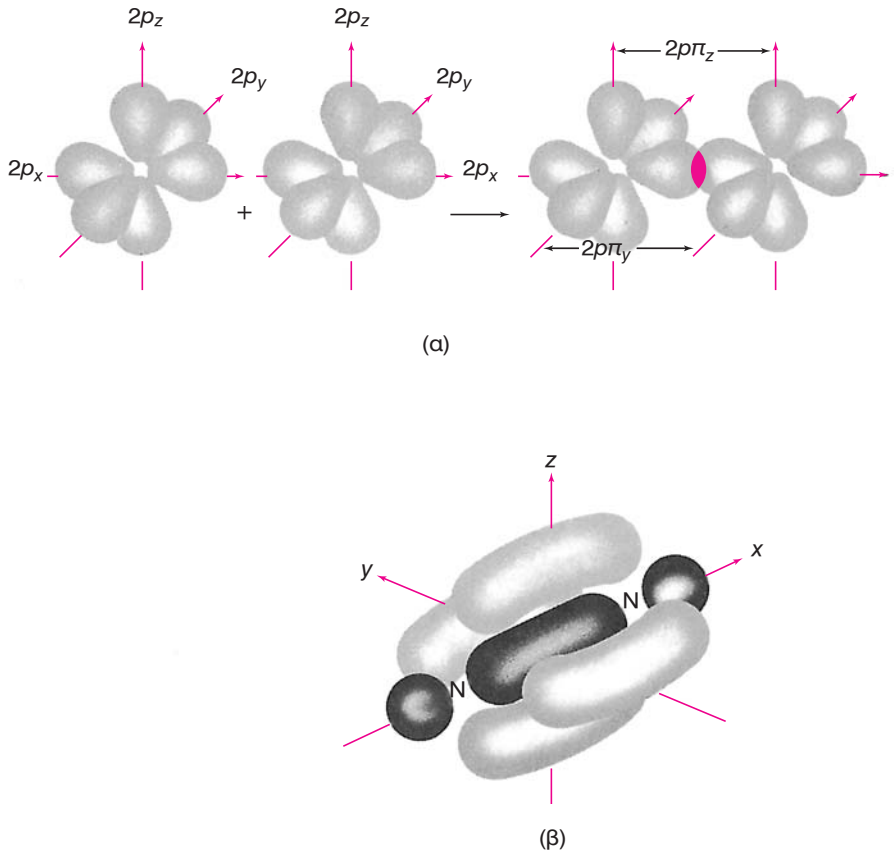


ΣΧΗΜΑ 15-40. *Σχηματισμός ενός σ δεσμού από την επικάλυψη δύο s τροχιακών (α). Σχηματισμός ενός σ δεσμού από την επικάλυψη δύο p τροχιακών (β). Σχηματισμός ενός π δεσμού από την επικάλυψη δύο p τροχιακών (γ).*

sp^2 υβριδοποιημένων τροχιακών στο επίπεδο *xy*. Ο δεσμός αυτός ονομάζεται *σ* δεσμός (το ελληνικό γράμμα *σ*, που αντιστοιχεί στο αγγλικό *s*). Ο χαρακτηρισμός *σ*, χρησιμοποιείται, γιατί αυτός ο τύπος δεσμού σχηματίζεται από επικάλυψη δύο *s* τροχιακών. Ο δεσμός στο μόριο του υδρογόνου είναι ένας *σ* δεσμός. Είναι συμμετρικός γύρω από τον άξονα του δεσμού, όπως δείχνει το σχήμα 15-40α. Δεσμοί σίγμα είναι δυνατόν να σχηματισθούν και από επικάλυψη ενός *s* και ενός *p* τροχιακού, ή οποιουδήποτε ζεύγους των *sp*, sp^2, ή sp^3 υβριδοποιημένων τροχιακών, ή από οποιοδήποτε συνδυασμό ενός από τα υβριδοποιημένα τροχιακά και ενός *s* ή *p* τροχιακού.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 15-39, *π* δεσμοί σχηματίζονται από την επικάλυψη των *π* τροχιακών, που έχουν τους άξονές τους παράλληλους. Η βασική διαφορά στο σχήμα των *σ* και *π* τροχιακών φαίνεται καλύτερα στο σχήμα 15-40. Προκειμένου για ένα *π* τροχιακό, η ηλεκτρονιακή πυκνότητα είναι συγκεντρωμένη σε δύο χωριστές περιοχές στα δύο άκρα της γραμμής ανάμεσα στα συνδεόμενα άτομα.

Η περιγραφή *σ-π* ενός διπλού δεσμού δικαιολογεί εντελώς φυσιολογικά την περιορισμένη περιστροφή. Η μέγιστη επικάλυψη ανάμεσα σε δύο p_z τροχιακά δημιουργείται, όταν οι *z* άξονές τους είναι ακριβώς παράλληλοι. Κάθε περιστροφή του ενός άκρου του μορίου σχετικά με το άλλο μειώνει την επικάλυψη και γι' αυτό



ΣΧΗΜΑ 15-41. *Στο μόριο του N_2 τα ζεύγη των $2p_y$ και $2p_z$ τροχιακών των δύο ατόμων επικαλύπτονται και σχηματίζουν π δεσμούς, ενώ τα $2p_x$ τροχιακά σχηματίζουν ένα δεσμό σ.*

απαιτεί αυξημένη ενέργεια.

Οι τριπλοί δεσμοί μπορούν να παρασταθούν επίσης με τον τρόπο *σ-π*. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του μορίου του αζώτου, ξεκινάμε με δύο άτομα, το καθένα από τα οποία έχει την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση $2s^2 2p_x 2p_y 2p_z$. Αν αυτά τα δύο άτομα πλησιάσουν μεταξύ τους κατά μήκος του άξονα *x*, σχηματίζεται ένας *σ* δεσμός από επικάλυψη των p_x τροχιακών τους, όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα 15-40β. Τα δύο ηλεκτρόνια p_x συζεύγνυνται. Αν ο προσανατολισμός των αξόνων *x* και *z* των δύο ατόμων είναι όπως αυτός του σχήματος 15-41α, είναι δυνατόν να σχηματισθούν δύο *π* δεσμοί. Τα δύο p_y τροχιακά επικαλύπτονται, όπως και τα δύο p_z τροχιακά. Έτσι, ένας τριπλός δεσμός θεωρείται ότι αποτελείται από ένα *σ* και δύο *π* δεσμούς. Στο σχήμα 15-41β φαίνεται ακριβώς αυτό για το άζωτο.

Περίληψη.

Όταν τα φορτία μιας ουσίας, η οποία στο σύνολό της είναι ουδέτερη, δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλο το μήκος της δημιουργείται ένα δίπολο. Μια ουσία αυτού του είδους εμφανίζει στο ένα άκρο της περισσότερο θετικό παρά αρνητικό φορτίο και στο άλλο άκρο περισσότερο αρνητικό έναντι του θετικού φορτίου. Ένα ποσοτικό μέτρο της πολικότητας είναι η διπολική ροπή, η οποία λαμβάνεται με πολλαπλασιασμό του μεγέθους των μη εξισορροπημένων φορτίων επί την απόσταση ανάμεσά τους. Όλοι οι δεσμοί ανάμεσα σε ανόμοια άτομα έχουν διπολική ροπή, αν και μπορεί να είναι σε πολλές περιπτώσεις μικρή. Όταν ένα μόριο περιέχει δύο ή και περισσότερους πολικούς δεσμούς, μπορεί στο σύνολό του, να έχει ή να μην έχει διπολική ροπή.

Εξαρτάται από το αν οι διάφορες ροπές των δεσμών προστίθενται για να δώσουν ένα συνολικό διπολικό διάνυσμα ή από το αν είναι έτσι προσανατολισμένες, ώστε να αναιρεί η μια την άλλη. Εξαιτίας αυτού, συχνά τα μοριακά σχήματα είναι δυνατόν να επιβεβαιωθούν με μέτρηση των μοριακών διπολικών ροπών.

Δύο ή περισσότερα μόρια που περιέχουν το ίδιο σύνολο ατόμων συνδεδεμένων κατά διαφορετικούς τρόπους ονομάζονται ισομερή. Τα ισομερή είναι διαφορετικές ενώσεις, με εντελώς διαφορετικές ιδιότητες.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να κατονομάσετε τρία διατομικά μόρια, τα οποία να έχουν διπολικές ροπές και τρία τα οποία να μην έχουν.
2. Θα έπρεπε το μόριο CH_3F να έχει διπολική ροπή; Τι θα λέγατε για το CH_2F_2;
3. Ας υποτεθεί ότι ένας δεσμός C - H της αιθανόλης πρόκειται να αντικατασταθεί με ένα δεσμό C – F. Πόσα ισομερή θα προκύψουν; Απαντήστε στις ίδιες ερωτήσεις και όταν πρόκειται για διμεθυλοαιθέρα.

Περίληψη κεφαλαίου

Είναι γνωστό από διάφορες πειραματικές ενδείξεις, ειδικά από μελέτες των κρυσταλλικών ουσιών με περίθλαση ακτίνων Χ, ότι τα μόρια έχουν καθορισμένα σχήματα. Τα σχήματα αυτά καθορίζονται από τις διευθύνσεις στις οποίες τείνουν να προσανατολισθούν οι δεσμοί που σχηματίζουν τα άτομα. Είναι δυνατόν να κατανοήσομε, και σε κάποιο σημαντικό βαθμό να προβλέψομε, αυτές τις επιλεκτικές διευθύνσεις των δεσμών και κατά συνέπεια και τα σχήματα των μορίων. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να συμβεί είτε μελετώντας τα σχήματα των ατομικών τροχιακών που χρησιμοποιούνται από το κάθε άτομο για τη δημιουργία των δεσμών, είτε γνωρίζοντας ότι, αφού τα ζεύγη των ηλεκτρονίων απωθούνται μεταξύ τους, θα συνταχθούν γύρω από κάθε άτομο ανάλογα. Ένα άλλο πρότυπο χρησιμοποιείται για να απεικονισθεί ο υβριδισμός των ατομικών τροχιακών. Με τον υβριδισμό, προκύπτουν τροχιακά, τα οποία ταιριάζουν καλύτερα από ό,τι τα καθαρά *s* ή *p* προκειμένου να επικαλυφθούν με τροχιακά άλλων ατόμων. Οι διάφοροι αυτοί τρόποι αντιμετωπίσεως του προβλήματος οδηγούν στα ίδια σχήματα για τα περισσότερα μόρια, αν και οι διαφορετικές αυτές μέθοδοι συχνά οδηγούν σε πρόβλεψη λίγο διαφορετικών τιμών για τις γωνίες των δεσμών.

Είναι δυνατόν δύο, ή ακόμη και τρία ζεύγη ηλεκτρονίων, να μοιράζονται ανάμεσα σε δύο άτομα. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται διπλοί και τριπλοί δεσμοί. Σε μερικά μόρια δεν υπάρχει ένας τρόπος διατάξεως των ηλεκτρονίων, ο οποίος να υπερτερεί έναντι των άλλων. Στις περιπτώσεις αυτές η πραγματική ηλεκτρονιακή κατανομή του μορίου θα πρέπει να θεωρηθεί ως ένα μίγμα, ή υβρίδιο συντονισμού, των διαφόρων επιμέρους κατανομών (αυτή η περίπτωση μπορεί επίσης να αντιμετωπισθεί με την κατασκευή μοριακών τροχιακών· πρόκειται για τροχιακά, τα οποία εκτείνονται πάνω από τρία ή περισσότερα άτομα και συχνά πάνω από ολόκληρο το μόριο.) Οι δεσμοί ανάμεσα σε ανόμοια άτομα είναι συνήθως, πολικοί. Όταν αρκετοί δεσμοί αυτού του είδους υπάρχουν σε ένα μόριο, τότε το μόριο στο σύνολό του ενδέχεται να εμφανίζει διπολική ροπή. Εξαρτάται αν το σχήμα του μορίου επιτρέπει στα διάφορα επιμέρους δίπολα των δεσμών να δίνουν ως αποτέλεσμα ένα συνολικό δίπολο, ή αν αλληλοεξουδετερώνονται μεταξύ τους. Με βάση το αν το μόριο διαθέτει ή όχι διπολική ροπή είναι συχνά δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για τις δομές των μορίων.

Δύο ή περισσότερα μόρια που αποτελούνται από τον ίδιο συνδυασμό ατόμων συνδεδεμένων όμως με διαφορετικούς τρόπους, ονομάζονται ισομερή. Συχνά τα ισομερή διαφέρουν στο είδος των δεσμών που περιέχουν. Για παράδειγμα, η αιθανόλη περιέχει ένα δεσμό C – C, έναν O – H, όπως επίσης πέντε C – H και έναν C – O δεσμό. Ο

διμεθυλοαιθέρας, που είναι ένα ισομερές της αιθανόλης, δεν περιέχει ούτε δεσμό C - C, αλλά ούτε και δεσμούς O – H. Περιέχει όμως περισσότερους δεσμούς C – O και C – H από ότι η αιθανόλη. Σε άλλες περιπτώσεις, ενώ υπάρχει ο ίδιος αριθμός δεσμών του ιδίου είδους, διαφέρει ο τρόπος της μεταξύ των δεσμών διατάξεως. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στα *cis* και *trans* ισομερή του $C_2H_2F_2$.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

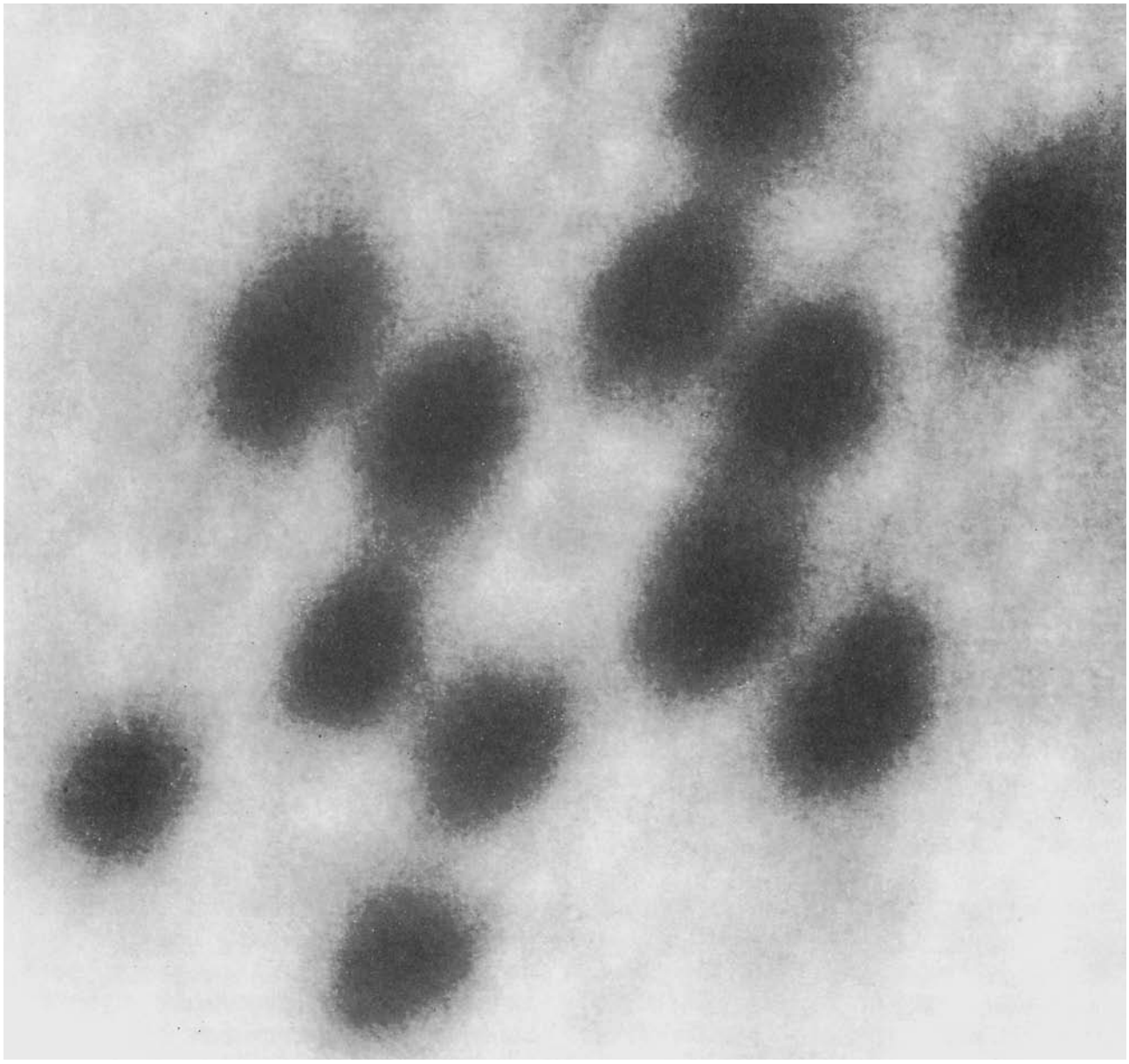
1. Ποιο θα είναι το μέγεθος της γωνίας H – O – H προκειμένου για το μόριο του νερού, αν για το υπολογισμό της ληφθούν υπόψη μόνο τα *p* τροχιακά του; Γιατί;
2. Γιατί προβλέπετε ότι η γωνία H – N – H στο μόριο της NH_3 είναι ίδια με τη γωνία H – O – H στο μόριο του νερού;
3. Να εξηγήσετε γιατί περιμένετε να έχει ένα μόριο H_2S σχεδόν το ίδιο σχήμα με ένα μόριο νερού.
4. Με βάση τη θεωρία της απώσεως του ηλεκτρονικού ζεύγους, πώς θα δικαιολογούσατε το γεγονός ότι η γωνία H – S – H στο H_2S είναι περίπου 93˚, ενώ η γωνία H – O – H στο H_2O είναι περίπου 105˚;
5. Γιατί μια δέσμη ατόμων χαλκού (ατομικός αριθμός 29) χωρίζεται σε δύο δέσμες μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, ενώ μια δέσμη ατόμων ψευδαργύρου (ατομικός αριθμός 30) δεν χωρίζεται σε δύο δέσμες;
6. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από ένα περιστρεφόμενο ηλεκτρόνιο μπορεί να παρασταθεί με ένα διάνυσμα. Να εξηγήσετε τον όρους «μαγνητικό πεδίο» και «διάνυσμα». Μεταχειριθείτε διανύσματα, για να παραστήσετε την κίνηση δύο αεροπλάνων, εκ των οποίων το ένα κινείται βόρεια με ταχύτητα 350 km/h και το άλλο να κινείται νοτιοανατολικά με ταχύτητα 480 km/h.
7. Πώς δρουν μεταξύ τους οι αντίθετοι πόλοι δύο μαγνητών; Πώς δρούν μεταξύ τους οι όμοιοι πόλοι δύο μαγνητών; Να εξηγήσετε γιατί δύο ηλεκτρόνια που περιστρέφονται προς αντίθετες διευθύνσεις ευνοούν το σχηματισμό ηλεκτρονικού ζεύγους.
8. Γιατί τα ηλεκτρονικά ζεύγη τείνουν να απομακρυνθούν όσο το δυνατόν περισσότερο στο χώρο, ενώ μόλις προηγουμένως είδαμε ότι τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται προς αντίθετες διευθύνσεις έλκονται μεταξύ τους;
9. Με βάση το σχήμα 15-8, να εξηγήσετε γιατί η απόσταση *y* ανάμεσα στις κορυφές ενός τετραέδρου είναι μεγαλύτερες από την απόσταση *x* ανάμεσα στις κορυφές ενός τετραγώνου, ενώ και στα δύο γεωμετρικά σχήματα η απόσταση *r* από το κεντρικό άτομο μέχρι τις κορυφές είναι ίδια.
10. Γιατί τα ζεύγη των μη συζευγμένων ηλεκτρονίων καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο από ό,τι τα ζεύγη των συζευγμένων ή δεσμευμένων ηλεκτρονίων; Με τη βοήθεια αυτής της απαντήσεως και του σχήματος 15-11 να εξηγήσετε γιατί η γωνία H – N – H της NH_3 είναι μικρότερη από τη γωνία H – C –H του CH_4;
11. Αν σημειώνατε το ασύζευκτο ζεύγος ηλεκτρονίων στο μόριο της NH_3 του σχήματος 15-10 με ένα X, νομίζετε ότι η γωνία X – N – H θα ήταν μεγαλύτερη από τις γωνίες H – N – H; Να το δικαιολογήσετε.
12. Γιατί ένα μόριο όπως το CH_2F_2 δεν σχηματίζει ένα τετράεδρο με ίσες γωνίες ανάμεσα στο κεντρικό άτομο και τις κορυφές;
13. Να προβλέψετε τα σχήματα των μορίων $AlCl_3$ και $MgBr_2$. Χρησιμοποιήσατε τη θεωρία της απώσεως του ηλεκτρονίου, όπως και τη θεωρία του υβριδοποιημένου τροχιακού, για να υποστηρίξετε τις απαντήσεις σας.
14. Να προβλέψετε το σχήμα του μορίου PCl_3, με τη βοήθεια της αρχής του υβριδοποιημένου τροχιακού.
15. Να γράψετε τους ηλεκτρονικούς τύπους για τις ακόλουθες ενώσεις: CH_4, C_3H_6, C_3H_4, CH_3OH, $(CH_3)_2CO$, C_2H_5CN.
16. Το βενζόλιο έχει τον τύπο C_6H_6. Έχει αποδειχθεί ότι οι έξι άνθρακες σχηματίζουν ένα δακτύλιο με ομοιοπολικούς δεσμούς, με ένα H σε κάθε άτομο άνθρακα. Να γράψετε δύο διαφορετικούς ηλεκτρονιακούς τύπους για το βενζόλιο και να δικαιολογήσετε πώς μπορούν να συντονισθούν μεταξύ τους.
17. Γράψτε μια ηλεκτρονιακή απεικόνιση του ιόντος NH_4^+. Τι σχήμα προβλέπετε ότι θα έχει αυτό το ιόν;
18. Να προβλέψετε το είδος των δεσμών του ιόντος BF_4^- καθώς και το σχήμα του.
19. Σε ποια από τις επόμενες ενώσεις είναι ο δεσμός ανάμεσα στα άτομα του άνθρακα

ισχυρότερος: CH_3CH_3, CH_2CH_2, ή CHCH; Να το δικαιολογήσετε.

20. Έχοντας για σύγκριση την αντίστοιχη ένωση με οξυγόνο, να προβλέψετε το σχήμα του μορίου του H_2S. Ποια τροχιακά συνδέσεως χρησιμοποιούνται;
21. Με βάση την ηλεκτρονιακή παράσταση των ατόμων και του μορίου να προβλέψετε τη δομή του N_2F_2.
22. Να συγκρίνετε τις ενώσεις CH_3CH_3 (αιθάνιο) και CH_3NH_2 (μεθυλαμίνη). Γιατί η CH_3NH_2 έχει διπολική ροπή ενώ το CH_3CH_3 δεν έχει;
23. Δίνονται οι ακόλουθες ενώσεις: CH_4, CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$, CCl_4. Σε ποιες περιπτώσεις θα έχουν τα μόρια διπολικές ροπές; Να υποστηρίξετε την απάντησή σας λαμβάνοντας υπόψη σας τα τροχιακά δεσμών του άνθρακα, το σχήμα των μορίων και τη συμμετρία των μορίων.
24. Να γράψετε συντακτικούς τύπους για όλα τα ισομερή με τον τύπο C_6H_{14}. Για να γράψετε τους απλούς δεσμούς ανάμεσα στα άτομα μεταχειρισθείτε απλές γραμμές αντί για δύο τελείες. Να σημειωθεί ότι γράφοντας ένα διαφορετικό σχήμα στο χαρτί, αν τα άτομα είναι τοποθετημένα κατά τον ίδιο τρόπο, δεν προκύπτει ένα διαφορετικό ισομερές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

Μόρια που περιέχουν άνθρακα



Αυτή η φωτογραφία του μορίου του εξαμεθυλοβενζολίου, ενός τυπικού μορίου που αποτελείται από άνθρακα, δημιουργήθηκε με μετατροπή των αποτελεσμάτων της περιθλάσεως των ακτίνων Χ σε οπτικό σήμα. Ο συντελεστής μεγεθύνσεως είναι 10^8.

Η χημεία του στοιχείου που ονομάζομε άνθρακας έχει ιδιαίτερη σημασία. Σχεδόν όλες οι χημικές ενώσεις των ζωντανών οργανισμών αποτελούνται κυρίως από άτομα άνθρακα μαζί με άτομα υδρογόνου, οξυγόνου και αζώτου. Ενώ και άλλα στοιχεία είναι βασικά για τη ζωή, τον πρωταγωνιστικό ρόλο έχει ο άνθρακας. Εκτός από τη σημαντική θέση την οποία κατέχει στη χημεία των ζωντανών οργανισμών, ο άνθρακας απαντά, σε σημαντικό ποσοστό, και σε άλλα γνωστά και σημαντικά υλικά του περιβάλλοντός μας. Οι γαιάνθρακες, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τα περισσότερα πλαστικά, τα χρώματα, το χαρτί, το ξύλο και πολλά άλλα υλικά είναι πλούσια σε άνθρακα και ενώσεις του άνθρακα. Βέβαια, η παρουσία του άνθρακα σε πολλά από αυτά οφείλεται στη μακρινή καταγωγή τους από ζωντανούς οργανισμούς. Προκειμένου να κατανοηθούν πολλές από τις σημαντικότερες χημικές διαδικασίες στη φύση, πρέπει προηγουμένως να εξοικειωθούμε με τη βασική χημεία του στοιχείου

Οι οργανικές ενώσεις αποτελούνται από άτομα άνθρακα

16.1 Πηγές ενώσεων του άνθρακα.

Ενώσεις που περιέχουν άνθρακα αποτελούν τη μεγαλύτερη χημική ομάδα γνωστή ως ομάδα οργανικών ενώσεων. Πολλές παράγονται στα «χημικά εργοστάσια» των ζωντανών οργανισμών, τόσο των φυτικών όσο και των ζωικών. Οι ζωντανοί οργανισμοί συνθέτουν χιλιάδες πολυπλόκων ουσιών, ανάμεσα στις οποίες είναι τα σάκχαρα, το άμυλο, οι πρωτεΐνες, οι ορμόνες, τα αντιβιοτικά, τα κεριά, τα έλαια και τα χρώματα. Επειδή αυτές οι ενώσεις απαντούν στους ζωντανούς οργανισμούς, ονομάζονται οργανικές ενώσεις.

Οι χημικοί έχουν κατορθώσει να συνθέσουν ένα μεγάλο αριθμό ενώσεων που περιέχουν άνθρακα*. Κατ' αναλογία προς τις ουσίες που παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς ως αποτέλεσμα των διαδικασιών που είναι απαραίτητες για να υπάρξει ζωή και οι ενώσεις του άνθρακα που παράγονται στο εργαστήριο ονομάζονται επίσης οργανικές ενώσεις. Έτσι, ***οργανικές*** ενώσεις είναι οι ενώσεις που περιέχουν άνθρακα (σχετική αναφορά στο τέλος αυτής της παραγράφου).

Σημαντικές φυσικές πηγές του άνθρακα είναι ο γαιάνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Από αυτές ένας χημικός μπορεί να απομονώσει τις απαραίτητες ουσίες για τη μελέτη και τη σύνθεση των εκατοντάδων χιλιάδων νέων ενώσεων που προστίθενται κάθε χρόνο στον κατάλογο των γνωστών οργανικών ουσιών.

Γαιάνθρακας. Η μορφή αυτή του άνθρακα βρίσκεται σε ποικίλες ποσότητες σε όλο τον κόσμο. Πρόκειται για ουσία μαύρου χρώματος, η οποία έχει προέλθει από την αποσύνθεση φυτικών υλών πριν από πάρα πολλά χρόνια, κατά την προϊστορική εποχή (σχ. 16-1). Αυτές οι φυσικές ύλες δημιουργήθηκαν βαθμηδόν, στοιβάδα με στοιβάδα, υπέστησαν σημαντικές αλλοιώσεις από τη θερμοκρασία και την πίεση επί αιώνες και, τελικά, μετετράπησαν σε γαιάνθρακα.

Τα αποθέματα γαιάνθρακα δεν έχουν ομοιόμορφη σύσταση. Μία μορφή γαιάνθρακα είναι γνωστή ως ανθρακίτης, ο οποίος περιέχει μέχρι και 95 τοις εκατό καθαρό άνθρακα και είναι πολύ σκληρός, ενώ μια άλλη μορφή είναι ο πισσούχος άνθρακας, ο οποίος είναι πολύ πιο μαλακός και περιέχει αισθητά λιγότερο καθαρό άνθρακα, χαρακτηρίζεται δε από την παρουσία μεγαλυτέρων ποσοτήτων πτητικών προσμίξεων. Η τύρφη είναι μια μορφή γαιάνθρακα, που σχηματίσθηκε σε νεότερες γεωλογικές περιόδους (σχηματίζεται ακόμη και σήμερα). Έχει συγκρατήσει ποικίλες προσμίξεις, ανάμεσα στις οποίες είναι και πολλά υλικά αμετάβλητα. Συχνά περιέχει μόνο 50 τοις εκατό άνθρακα.

Όταν οι ουσίες θερμανθούν σε υψηλή θερμοκρασία παρουσία οξυγόνου (όπως συμβαίνει στον αέρα), συχνά συνενώνονται με αυτό. Το κάρβουνο και άλλες ουσίες που περιέχουν εύφλεκτα οργανικά υλικά καίγονται παρουσία αέρα. Κατά την τελεία καύση των γαιανθράκων παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Μια γνωστή κατεργασία γαιανθράκων είναι η ***ξηρή απόσταξη***, η οποία περιλαμβάνει θέρμανση των γαιανθράκων ή άλλων ουσιών σε

* *Σ.τ. Μ. Οργανικές ενώσεις.*



ΣΧΗΜΑ 16-1. *Παμπάλαια δάση σαν και αυτό απετέλεσαν την πρώτη ύλη για το σχηματισμό του γαιάνθρακα και του πετρελαίου, αποθέματα των οποίων βρίσκομε σήμερα.*

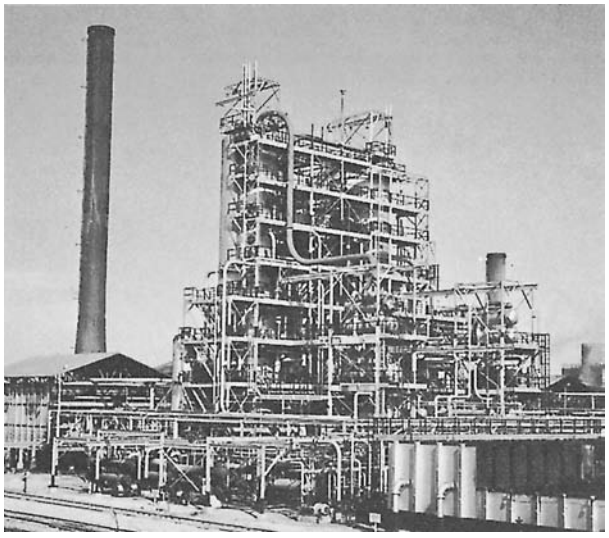
υψηλές θερμοκρασίες απουσία αέρα. Οι γαιάνθρακες κάτω από αυτές τις συνθήκες, αποσυντίθενται, ενώ συλλέγονται με απόσταξη τα περισσότερα πτητικά συστατικά· αυτό που μένει είναι ένα στερεό υπόλειμμα, το κωκ. Το κωκ είναι μια εξαιρετικά καθαρή μορφή άνθρακα και περιέχει τις μη πτητικές ορυκτές ουσίες που υπάρχουν στο αρχικό μίγμα. Χρησιμοποιείται εκτεταμένα κατά τις διαδικασίες παραλαβής ορισμένων μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους. Η σημαντικότερη από αυτές τις διαδικασίες είναι η μετατροπή των οξειδίων του σιδήρου σε χυτοσίδηρο κατά την παραγωγή του χάλυβα.

Τα πτητικά συστατικά που λαμβάνονται κατά την ξηρή απόσταξη του γαιάνθρακα αποτελούνται κυρίως από δύο μίγματα: Το ***φωταέριο*** και την ***ανθρακόπισσα***. Τα μίγματα αυτά περιέχουν διάφορες οργανικές ενώσεις, οι οποίες χρησιμεύουν ως σημαντικές πρώτες ύλες για την παραγωγή χιλιάδων οργανικών ενώσεων απαραιτήτων στις σύγχρονες χημικές βιομηχανίες.

Η πυρολυτική απόσταξη του ξύλου δίνει μια σχετικά καθαρή μορφή άνθρακα, γνωστή ως ξυλάνθρακα, και μια σειρά πτητικών ενώσεων διαφορετικών από εκείνες οι οποίες παράγονται από το γαιάνθρακα.

Φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Άλλες σημαντικές πηγές οργανικών πρώτων υλών για τις χημικές βιομηχανίες είναι τα υπόγεια αποθέματα φυσικού αερίου και πετρελαίου (συχνά γνωστού ως αργού πετρελαίου). Το φυσικό αέριο είναι ένα μίγμα ενώσεων και βρίσκεται σε πετρώματα αμμολίθων ή άλλους σχηματισμούς από πορώδη πετρώματα. Το 90 τοις εκατό του φυσικού αερίου συνήθως είναι μεθάνιο (ελειογενές αέριο). Το αέριο που χρησιμοποιείται για το μαγείρευμα και τη θέρμανση των κατοικιών αποτελείται κυρίως από αυτό το άχρωμο και άοσμο μεθάνιο. Η χαρακτηριστική μυρωδιά του αερίου που χρησιμοποιείται στα σπίτια οφείλεται σε μια θειούχο ένωση που προσθέτουν ως πρόσμιξη πριν διατεθεί το αέριο στους καταναλωτές. Η προσθήκη αυτή επιβάλλεται από το νόμο για να γίνονται αντιληπτές οι διαρροές, εξαιτίας των οποίων έχουν συμβεί διάφορα ατυχήματα.

Το πετρέλαιο είναι μίγμα οργανικών ενώσεων· περιέχει σχετικά ελαφρά πτητικά υγρά, αλλά και παχύρρευστες ουσίες που μοιάζουν με την πίσσα. Το αργό πετρέλαιο είναι η κυριότερη πηγή παραγωγής της βενζίνης, η οποία χρησιμοποιείται στις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Τα σύγχρονα καύσιμα είναι μίγματα ενώσεων, που προέρχονται από την κλασματική απόσταξη του



ΣΧΗΜΑ 16-2. *Πύργος κλασματικής αποστάξεως για το διαχωρισμό των συστατικών του αργού πετρελαίου (διυλιστήριο).*

αργού πετρελαίου. ***Κλασματική απόσταξη*** είναι η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία βράζει ένα μίγμα υγρών ενώσεων και συλλέγονται πρώτα τα πιο πτητικά συστατικά. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, εξατμίζονται και συλλέγονται τα λιγότερο πτητικά συστατικά. Το σχήμα 16-2 παρουσιάζει έναν πύργο κλασματικής αποστάξεως, που χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των συστατικών του αργού πετρελαίου.

Οι χημικοί της παραγωγής έχουν ανακαλύψει και βελτιώσει πολλές πρόσθετες ουσίες με σκοπό να διευκολύνουν την ομαλή καύση της βενζίνης (κατά του κτυπήματος του κινητήρα). Μία από τις γνωστότερες είναι ο τετρααιθυλιούχος μόλυβδος, $Pb(C_2H_5)_4$. Επίσης για να αναφλέγεται πιο ομαλά η βενζίνη, γίνονται διάφορες μεταβολές στο αρχικό σχήμα και μέγεθος των μορίων των διαφόρων κλασμάτων του αργού πετρελαίου που απομονώνονται κατά την κλασματική απόσταξη.

Για να αυξηθεί η παραγωγή βενζίνης από το πετρέλαιο έχουν αναπτυχθεί διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες. Ανάμεσα σε αυτές είναι ο «πολυμερισμός» (κατά τον οποίο τα μικρότερα μόρια συνδέονται για να σχηματίσουν μεγαλύτερα), και η «πυρόλυση» (κατά την οποία τα μεγαλύτερα μόρια αποικοδομούνται προς μεσαίου μεγέθους μόρια, τα οποία χρησιμοποιούνται στη βενζίνη).

Όπως αναφέρθηκε, οργανική χημεία είναι η χημεία των ενώσεων του άνθρακα. Η χημεία όλων των υπολοίπων στοιχείων ονομάζεται ***ανόργανη*** χημεία. Δεν υπάρχει όμως ξεκάθαρη διάκριση ανάμεσα στην οργανική και την ανόργανη χημεία. Λίγες είναι οι ενώσεις που ενώ περιέχουν άνθρακα θεωρούνται ότι ανήκουν στην ανόργανη χημεία και όχι στην οργανική. Ανάμεσα σε αυτές είναι το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, το μονοξείδιο του άνθρακα, CO, και οι ανθρακικές, καθώς και οι κυανιούχες ενώσεις. Παραδείγματα αυτών είναι το ανθρακικό νάτριο, Na_2CO_3 και το κυανιούχο νάτριο, NaCN. Όμως, αυτές οι ανόργανες ουσίες αποτελούν σχεδόν αμελητέα ποσότητα, αν συγκριθούν με τον τεράστιο αριθμό ενώσεων του άνθρακα της οργανικής χημείας.

16.2 Σύσταση και δομή των οργανικών ενώσεων.

Η μοναδική ικανότητα του άνθρακα να σχηματίζει μεγάλο αριθμό ενώσεων οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους: (1) Ο ένας είναι η δομή αυτού του ίδιου του ατόμου του άνθρακα. (2) Ο άλλος είναι η ικανότητα των ατόμων του άνθρακα να συνδέονται μεταξύ τους και να σχηματίζουν μακρές αλυσίδες.

Όπως αναφέρθηκε στα αμέσως προηγούμενα κεφάλαια, το άτομο του άνθρακα διαθέτει τέσσερα ηλεκτρόνια ικανά για να σχηματίσουν δεσμούς. Όταν το κάθε ένα από αυτά τα ηλεκτρόνια συζευχθεί με το ηλεκτρόνιο ενός άλλου ατόμου, σχηματίζονται τέσσερις απλοί δεσμοί. Κατά τον τρόπο αυτόν το άτομο του άνθρακα περιβάλλεται από τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων. Τα ζεύγη αυτά των ηλεκτρονίων διατάσσονται έτσι στο χώρο, ώστε να μεγιστοποιείται η μεταξύ τους μέση απόσταση. Ως αποτέλεσμα αυτής της διατάξεως οι τέσσερις δεσμοί κατευθύνονται προς τις κορυφές ενός τετραέδρου. Ένα άτομο άνθρακα είναι δυνατόν να σχηματίσει διπλούς και τριπλούς δεσμούς με άλλα άτομα, συμπεριλαμβανομένων και άλλων ατόμων άνθρακα. Η ικανότητα αυτή δημιουργεί επί πλέον δυνατότητες ποικίλων μοριακών δομών.

Η ικανότητα των ατόμων του άνθρακα να σχηματίζουν ισχυρούς δεσμούς μεταξύ τους αποτελεί μια μοναδική ιδιότητα*. Προκειμένου για όλα τα άλλα στοιχεία, ο σχηματισμός δεσμών με διαφορετικά είδη ατόμων είναι το ίδιο

* *Σ.τ.Μ. Ανάλογη – αλλά σε πολύ μικρότερη κλίμακα – συμπεριφορά παρουσιάζει και το πυρίτιο (Si), που ανήκει στην ίδια με τον άνθρακα ομάδα του περιοδικού συστήματος.*

δύσκολος, όπως και ο σχηματισμός δεσμών με άτομα του ιδίου είδους. Μόνο ο άνθρακας διαθέτει τη χαρακτηριστική ιδιότητα να σχηματίζει μόρια, τα οποία να περιέχουν μακρές αλυσίδες, δακτυλίους και πολύπλοκες τρισδιάστατες διατάξεις, που αποτελούνται όλες από όμοια άτομα.

Σχεδόν όλες οι οργανικές ενώσεις, μαζί με τα άτομα του άνθρακα περιέχουν και άτομα υδρογόνου. Επίσης, εμφανίζονται στους χημικούς τύπους πολλών σημαντικών οργανικών ουσιών και άτομα οξυγόνου, θείου και αζώτου.

Έχοντας κατά νου όλα αυτά τα δεδομένα μπορείτε να αντιληφθείτε ότι ο χημικός προκειμένου να προσδιορίσει και να κατανοήσει μια οργανική ένωση, βρίσκεται αντιμέτωπος με ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Πρέπει να προσδιορίσει όχι μόνο το είδος των ατόμων που συμμετέχουν, αλλά και το συνολικό αριθμό από το κάθε είδος αυτών των ατόμων, καθώς και τη δομή-διάταξη των ατόμων μέσα σε αυτό το μόριο. Η λύση αυτών των τριών προβλημάτων είναι ταυτόσημη με τον προσδιορισμό του ***εμπειρικού τύπου***, του ***μοριακού τύπου*** και του ***συντακτικού τύπου.***

16.3 Προσδιορισμός εμπειρικού και μοριακού τύπου.

Οι χημικοί προσδιορίζουν τον εμπειρικό τύπο με πειράματα, τα οποία αποκαλύπτουν το "σχετικό" αριθμό ατόμων του κάθε στοιχείου που υπάρχει στο μόριο. Για παράδειγμα, η ανάλυση μιας οργανικής ενώσεως που καλείται αιθάνιο δείχνει ότι το αιθάνιο αποτελείται εξ ολοκλήρου από άνθρακα και υδρογόνο. Επί πλέον πειράματα δείχνουν ότι το μόριο περιέχει ένα άτομο άνθρακα για κάθε τρία άτομα υδρογόνου. Με βάση αυτά, ο απλούστερος δυνατός τύπος για το μόριο του αιθανίου είναι CH_3. Αυτό αποτελεί τον εμπειρικό του τύπο.

Ένα είδος πειράματος, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του εμπειρικού τύπου του αιθανίου, προβλέπει την καύση ενός δείγματος 30 g αυτής της ουσίας με οξυγόνο. Όταν καούν και τα 30 g του δείγματος αιθανίου, λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Σχηματίζονται ογδόντα οκτώ γραμμάρια CO_2. Επειδή η μοριακή μάζα του CO_2 είναι 44, τα 88 g αντιστοιχούν σε 88/44 ή 2 moles CO_2. Γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχουν δύο moles ατόμων άνθρακα στο δείγμα του αιθανίου.
2. Σχηματίζονται πενήντα τέσσερα γραμμάρια H_2O. Επειδή η μοριακή μάζα του H_2O είναι 18, τα 54 g αντιστοιχούν σε 54/18 ή 3 moles H_2O. Άρα θα πρέπει να υπάρχουν έξι moles ατόμων υδρογόνου στο δείγμα του αιθανίου.

Δηλαδή, υπήρχαν στο δείγμα του αιθανίου δύο moles ατόμων άνθρακα και έξι moles ατόμων υδρογόνου. Από αυτό συμπεραίνεται ότι στην ένωση "αιθάνιο" θα πρέπει να υπάρχει ένα άτομο άνθρακα για κάθε τρία άτομα υδρογόνου. Ο εμπειρικός τύπος θα είναι CH_3.

Όπως είδαμε, το αιθάνιο περιέχει άνθρακα και υδρογόνο με την αναλογία τρία άτομα υδρογόνου προς ένα άτομο άνθρακα. Αλλά δεν μάθαμε πόσα άτομα άνθρακα και υδρογόνου υπάρχουν *ανά μόριο*. Ο εμπειρικός τύπος μας πληροφορεί μόνο ότι, *αν* υπάρχει ένα άτομο άνθρακα ανά μόριο, τότε θα *πρέπει* να υπάρχουν και τρία άτομα υδρογόνου ανά μόριο. Παρομοίως, αν υπάρχουν δύο άτομα άνθρακα ανά μόριο, θα πρέπει να υπάρχουν έξι άτομα υδρογόνου για το ίδιο μόριο, και ούτω καθεξής. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο μοριακός τύπος θα μπορούσε να είναι CH_3, C_2H_6, C_3H_9, ή οποιοδήποτε άλλο πολλαπλάσιο του εμπειρικού τύπου. Θα μπορούσε να είναι ακόμη και $C_{100}H_{300}$, αν και το τελευταίο είναι μάλλον απίθανο.

Προκειμένου να βρεθεί ο μοριακός τύπος, πρέπει να είναι επίσης γνωστή η *μοριακή μάζα*. Στην περίπτωση του αιθανίου, έχομε μια ουσία, η οποία είναι αέριο σε θερμοκρασία δωματίου. Άρα, είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η μοριακή μάζα, αν μετρηθεί ο όγκος γνωστής μάζας του αερίου σε γνωστή και σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Αυτού του είδους το πείραμα (και τα αποτελέσματα που προκύπτουν) είναι όμοιο με τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην αρχή του βιβλίου.

Το αιθάνιο έχει μοριακή μάζα 30. Αφού ο εμπειρικός τύπος, CH_3, έχει μοριακή μάζα μόνο 15, είναι φανερό ότι δεν είναι ο πραγματικός τύπος του αιθανίου. Ο μοριακός τύπος πρέπει να έχει μοριακή μάζα, η οποία θα πρέπει να είναι πολλαπλάσια κατά ένα συντελεστή 30/15 = 2. Από αυτό προκύπτει ότι ο μοριακός τύπος του αιθανίου είναι C_2H_6. Το σχήμα 16-3 δείχνει το μοριακό πρότυπο και το συντακτικό τύπο του αιθανίου.

Ας εξετάσομε το ακόλουθο παράδειγμα, το οποίο δείχνει πώς υπολογίζεται η μοριακή μάζα του αιθανίου. Πειραματικά βρέθηκε ότι 12,2 γραμμάρια δείγματος αιθανίου καταλαμβάνουν στους 27°C και σε πίεση 1 atm, όγκο 10 λίτρων.

Παράδειγμα.

$m = 12,2\ g \qquad T = 27^{\circ}C\ (300\ K)$

$P = 1,00\ atm \qquad V = 10,0\ λίτρα$

$$R = 0,0820\ \frac{λίτρα\ /atm}{mole - K}$$

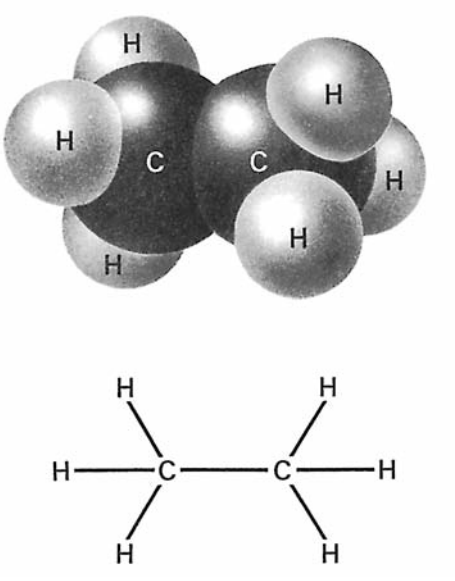
$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1,00)(10,0)}{(0,0820)(300)}$$

$n = 0,406$ moles αιθανίου

Αφού 0,406 moles αιθανίου έχουν μάζα 12,2 g, τότε το ένα mole αιθανίου θα έχει μάζα 12,2/0,406 = 30,0 g.

Για να κατανοηθεί η χημεία των οργανικών ενώσεων, είναι απαραίτητο να γίνουν επίσης γνωστές αλλά και κατανοητές οι ***δομές*** των μορίων. Οποιαδήποτε μελέτη της μοριακής δομής θα πρέπει όμως να ξεκινά από τη γνώση του αριθμού των ατόμων κάθε στοιχείου που συμμετέχει στο σχηματισμό του μορίου. Με άλλα λόγια, πρέπει να είναι γνωστοί οι μοριακοί τύποι των ουσιών, οι οποίες θα μελετηθούν. Γι' αυτό τονίσθηκε η διαφορά ανάμεσα σε εμπειρικό και μοριακό τύπο, και έγινε φανερή η σημασία της γνώσεως τόσο της μοριακής μάζας, όσο και και της εμπειρικής συστάσεως της οργανικής ενώσεως.



ΣΧΗΜΑ 16-3. *Το στερεοχημικό (ή τρισδιάστατο) πρότυπο του αιθανίου και ο συντακτικός του τύπος. Θα πρέπει να είναι γνωστός ο μοριακός τύπος μιας ενώσεως πριν προσδιορισθεί ο συντακτικός της τύπος.*

Περίληψη.

Το στοιχείο άνθρακας σχηματίζει τεράστιο αριθμό ενώσεων που είναι απαραίτητες στους ζωντανούς οργανισμούς. Έτσι, επειδή ο μέγιστος αριθμός των ουσιών που βρίσκονται στους ζωντανούς ***οργανισμούς*** είναι ενώσεις του άνθρακα, επεκράτησε η χημεία των ενώσεων του άνθρακα να λέγεται ***Οργανική Χημεία.***

Ο άνθρακας εκτός από την παρουσία του στα μόρια των ζωντανών οργανισμών, βρίσκεται και σε άλλα υλικά που απαντούν στη φύση, σημαντικότερα των οποίων είναι ο γαιάνθρακας, όπου υπάρχει πρακτικά καθαρός άνθρακας, και το πετρέλαιο*. Και οι δύο αυτές ουσίες σχηματίσθηκαν κάτω από την επιφάνεια της γης πριν από πάρα πολλά χρόνια με την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων σε ουσίες που προέρχονταν αρχικά από ζωντανούς οργανισμούς. Τόσο ο μεγάλος αριθμός όσο και η πολυπλοκότητα των οργανικών ενώσεων οφείλονται κυρίως σε δύο λόγους.

Ο άνθρακας μπορεί να σχηματίζει ένα τετραεδρικό σύνολο τεσσάρων απλών δεσμών, όπως επίσης διπλών ή τριπλών δεσμών. Επί πλέον, διαθέτει μοναδική ικανότητα να σχηματίζει δεσμούς με άλλα άτομα άνθρακα. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται μακρές αλυσίδες, δακτύλιοι και άλλα είδη διατάξεων ατόμων άνθρακα.

Οι οργανικές ενώσεις περιέχουν πρακτικά πάντα υδρογόνο και συχνά περιέχουν επίσης οξυγόνο ή άζωτο, καθώς και μερικά άλλα στοιχεία.

Ο μοριακός τύπος μιας οργανικής ενώσεως έχει μεγάλη σημασία. Συνήθως δεν συμπίπτει με τον εμπειρικό τύπο. Ο εμπειρικός τύπος δίνει μόνο τις σχετικές αριθμητικές αναλογίες με τις οποίες ενώνονται τα άτομα των διαφόρων στοιχείων για να σχηματίσουν την ένωση. Αν είναι γνωστός ο εμπειρικός τύπος και η μοριακή μάζα, είναι δυνατόν να βρεθεί ο μοριακός τύπος.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στις οργανικές και στις ανόργανες ενώσεις;

* *Σ.τ.Μ. Αυτό αποτελείται από ενώσεις του άνθρακα που ονομάζονται υδρογονάνθρακες.*

2. Μια ένωση βρέθηκε να έχει εμπειρικό τύπο CH_2 και μοριακή μάζα 70,0. Ποιος θα είναι ο μοριακός τύπος της ουσίας;
3. Η ικανότητα του άνθρακα να σχηματίζει μεγάλο αριθμό οργανικών ενώσεων οφείλεται σε δύο χαρακτηριστικά γνωρίσματά του. Ποια είναι αυτά;

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν τη βάση των οργανικών ενώσεων

16.4 Ονοματολογία.

Οι οργανικές ενώσεις έχουν ξεπεράσει το ένα εκατομμύριο, ενώ κάθε μέρα συντίθενται και νέες ενώσεις. Για να μελετηθεί αποτελεσματικά ο τεράστιος όγκος πληροφοριών, είναι απαραίτητο κάποιο σύστημα για τη διάκριση ανάμεσα στις υπάρχουσες και τις νέες ενώσεις. Το πρόβλημα της καθιερώσεως ενός συστήματος ονοματολογίας των οργανικών ενώσεων γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκο από το γεγονός ότι σε πολλές από τις ενώσεις που έχουν ήδη ανακαλυφθεί, έχουν δοθεί ονόματα, τα οποία εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται καθημερινά. Τα ονόματα αυτά είναι εντελώς αυθαίρετα*. Δηλαδή δεν υπακούουν σε οποιαδήποτε συστηματική κατάταξη. Αυτός που μελετά πιο σοβαρά την οργανική χημεία πρέπει να γνωρίζει και τα δύο συστήματα ονοματολογίας. Για την ίδια ουσία υπάρχουν ονόματα που προέρχονται από τα σημερινά αποδεκτά συστήματα οργανικής ονοματολογίας μαζί με τα παλαιότερα, συχνά πιο γνωστά, ονόματα, γιατί χρησιμοποιούνται επί σειρά ετών. Για παράδειγμα, η οργανική ένωση που μέχρι τώρα ονομαζόταν αιθανόλη είναι η γνωστή αιθυλική αλκοόλη** η οποία βρίσκεται στα αλκοολούχα ποτά, σε πρόσθετα των τροφίμων και σε πολλά άλλα προϊόντα.

Τι είναι όμως κάποιες άλλες ενώσεις, και πώς ονομάζονται; Για συντομία, όλες οι οργανικές ενώσεις κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η μία περιλαμβάνει τους διαφόρους ***υδρογονάνθρακες***, ενώσεις που αποτελούνται μόνο από άτομα άνθρακα και υδρογόνου. Η άλλη κατηγορία αποτελείται από «παράγωγα» των υδρογονανθράκων, ενώσεις στις οποίες ένα ή περισσότερα άτομα υδρογόνου κάποιου υδρογονάνθρακα έχουν αντικατασταθεί από άλλα άτομα ή ομάδες ατόμων. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, θα αναφερθούν ορισμένα από τα μέλη της μεγάλης οικογένειας των οργανικών ενώσεων και μερικές από τις ενδιαφέρουσες και χαρακτηριστικές χημικές τους ιδιότητες.

16.5 Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες.

Ενώσεις οι οποίες αποτελούνται μόνο από άτομα άνθρακα και υδρογόνου που συνδέονται μεταξύ τους *μόνο με απλούς δεσμούς*, ονομάζονται ***κορεσμένοι*** υδρογονάνθρακες. Οι ενώσεις αυτές είναι επίσης γνωστές ως σειρά ***αλκανίων*** ή ως σειρά ***παραφινών******. Επειδή η ονοματολογία των οργανικών ενώσεων προέρχεται κυρίως από τα ονόματα των μελών αυτής της σειράς, θα πρέπει να εξοικειωθείτε με τα ονόματα και τους τύπους των πρώτων δέκα αλκανίων. Τα σχήματα 16-4 και 16-5 δείχνουν πρότυπα στο χώρο και συντακτικούς τύπους για μερικά από τα αλκάνια.

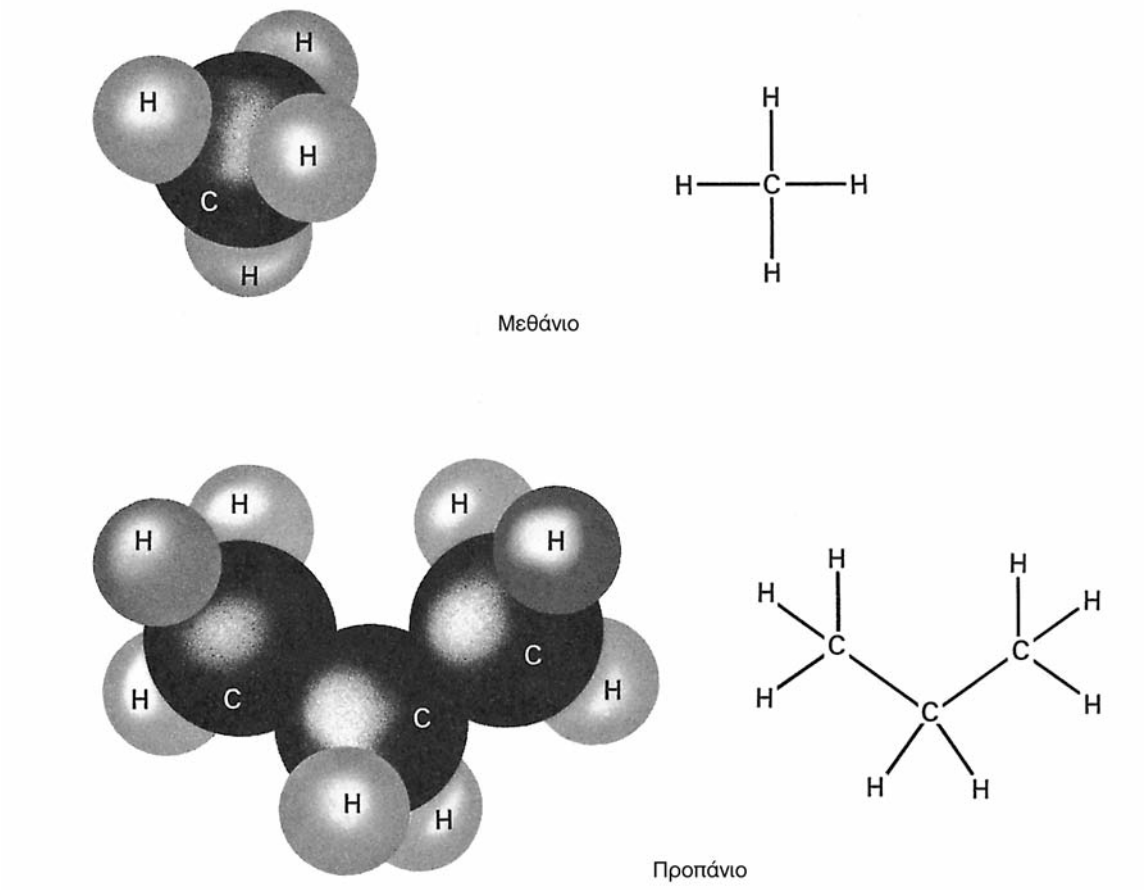
μεθάνιο	CH_4	εξάνιο	C_6H_{14}
αιθάνιο	C_2H_6	επτάνιο	C_7H_{16}
προπάνιο	C_3H_8	οκτάνιο	C_8H_{18}
βουτάνιο	C_4H_{10}	εννεάνιο	C_9H_{20}
πεντάνιο	C_5H_{12}	δεκάνιο	$C_{10}H_{22}$

Στο σχήμα 16-4 φαίνονται οι συντακτικοί τύποι και τα πρότυπα δύο κορεσμένων υδρογονανθράκων. Οι υδρογονάνθρακες από το βουτάνιο και πάνω υπάρχουν σε ισομερείς μορφές. Η δυνατότητα ισομερισμού οφείλεται στο

* *Σ.τ.Μ. Εμπειρική ονοματολογία.*

** *Σ.τ.Μ. Η μεγαλύτερη ποσότητα αιθυλικής αλκοόλης στις ΗΠΑ παράγεται από σπόρους (grain), π.χ. καλαμπόκι. Γι' αυτό η αλκοόλη αυτή ονομάζεται και αλκοόλη σπόρων. Στην Ελλάδα η αιθυλική αλκοόλη λέγεται καθαρό οινόπνευμα.*

*** *Σ.τ.Μ. Επειδή οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες δεν έχουν έντονη την τάση να αντιδρούν και επειδή παλαιότερα πιστευόταν ότι η τάση για αντιδράσεις είναι θέμα χημικής συγγένειας ανάμεσα στις ενώσεις. Οι παραπάνω ενώσεις (παραφίνες) έχουν parun affinitas, που στα λατινικά σημαίνει «μικρή συγγένεια».*



ΣΧΗΜΑ 16-4. *Πρότυπα στερεοχημικών και συντακτικών τύπων για το μεθάνιο, CH_4, και το προπάνιο, C_3H_8.*

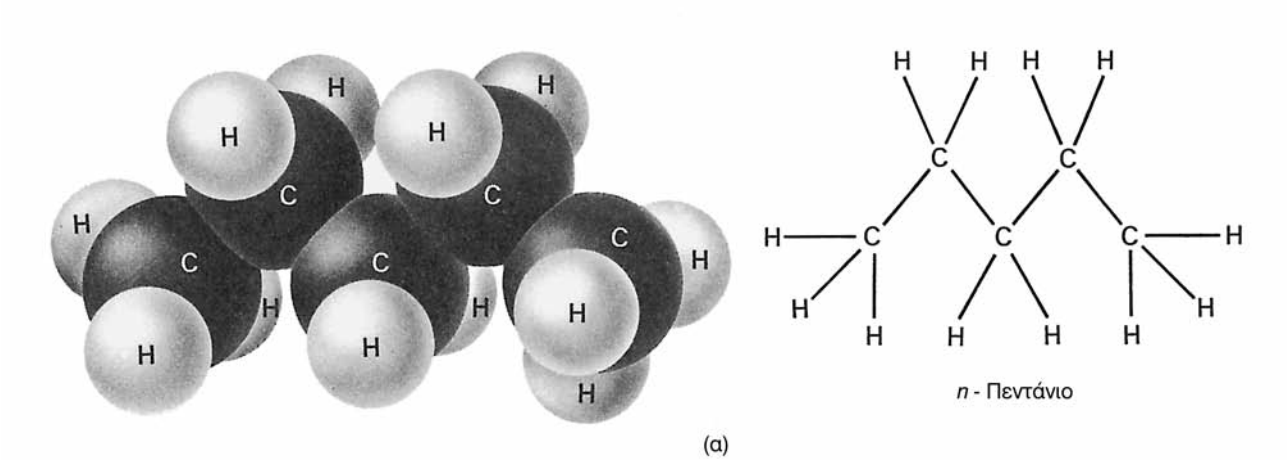
γεγονός ότι ένα άτομο άνθρακα είναι δυνατόν να συνδεθεί με 1, 2, 3, ή και 4 ακόμη άλλα άτομα άνθρακα. Προφανώς, η ονοματολογία, προκειμένου να γίνει διάκριση ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό ισομερών, είναι αρκετά πολύπλοκη. Δεν θα ασχοληθούμε με αυτήν τώρα εκτός από δύο απλούς κανόνες, οι οποίοι θα φανούν χρήσιμοι αργότερα. Τα ισομερή που περιέχουν τις απόλυτα «ευθείες» αλυσίδες ατόμων άνθρακα ονομάζονται ***κανονικά*** (n)* ισομερή, όπως είναι το n-πεντάνιο στο σχήμα 16-5α. Εκείνα τα ισομερή που περιέχουν μόνο μία διακλάδωση προς το τέλος της αλυσίδας ονομάζονται *ισο* ισομερή. Παράδειγμα αυτού του είδους ισομερών είναι το ισοπεντάνιο, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 16-5β.

Εύκολα διαπιστώνομε ότι όλοι οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες που αναφέρθηκαν λίγο πιο πριν, διαθέτουν τύπους, στους οποίους υπάρχουν διπλάσια άτομα υδρογόνου σε σχέση με τα άτομα του άνθρακα, συν δύο. Η εξήγηση είναι απλή, αν στην κάθε περίπτωση εξετασθούν προσεκτικά τα κανονικά ισομερή. Κάθε άτομο άνθρακα το οποίο δεν βρίσκεται στο τέλος του μοριακού τύπου έχει δύο άτομα υδρογόνου. Επίσης, κάθε ακραίο άτομο άνθρακα πρέπει να έχει όχι μόνο δύο άτομα υδρογόνου, αλλά και ένα τρίτο, για να «ολοκληρώσει» την αλυσίδα.

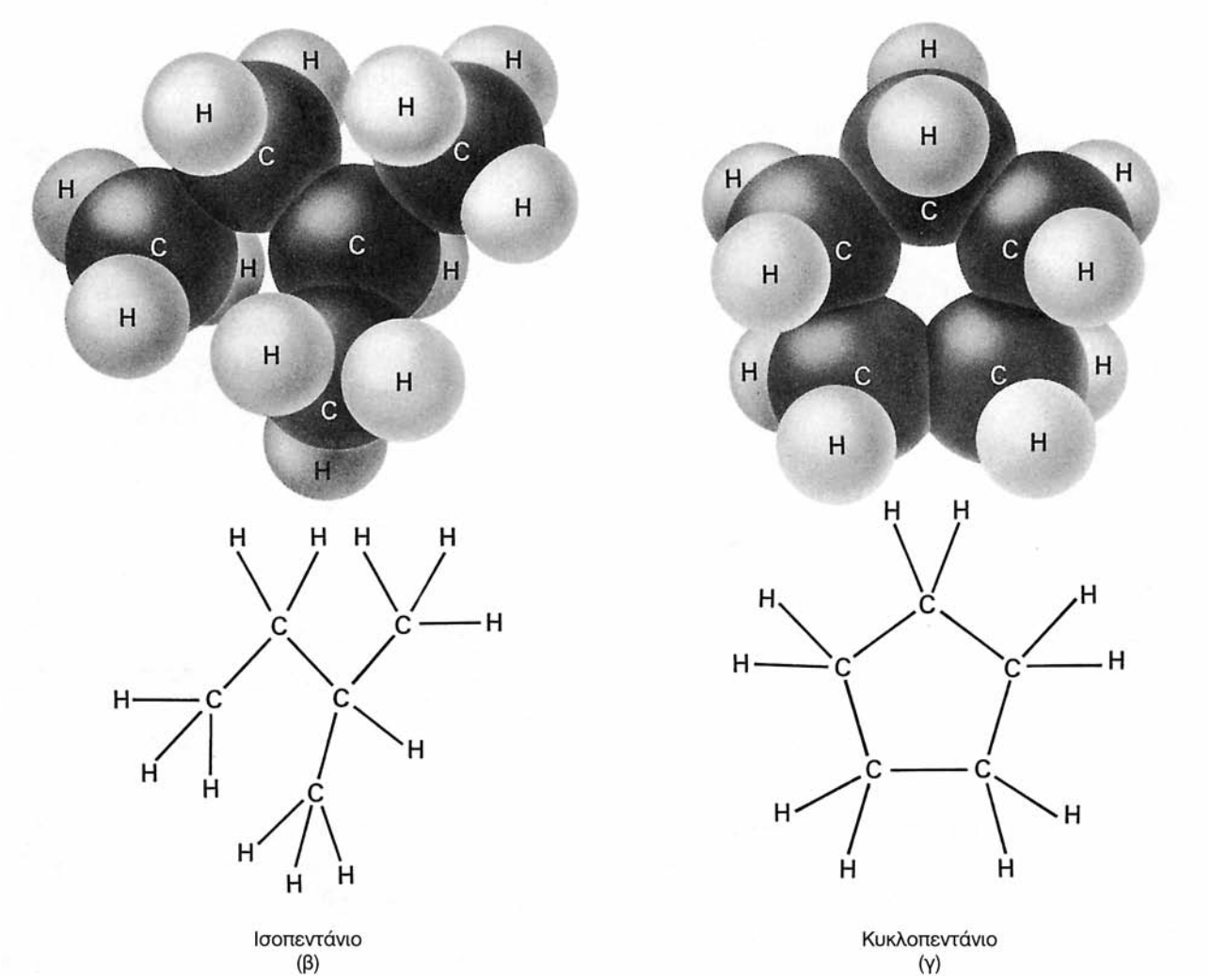
Ας υποθέσομε όμως ότι διαθέτομε μια αλυσίδα ομάδων CH_2, και αντί να ολοκληρωθεί το κάθε άκρο με ένα άτομο υδρογόνου, φανταζόμαστε την αλυσίδα να λυγίζει δημιουργώντας ένα δακτύλιο και αφήνοντας τα δύο άκρα να σχηματίσουν μεταξύ τους δεσμό**. Κάτι τέτοιο ικανοποιεί τις δυνατότητες συνδέσεως όλων των ατόμων και γι' αυτό θα πρέπει να δημιουργεί ένα σταθερό μόριο.

* *Σ.τ.Μ. = normal = κανονικό.*

** *Σ.τ.Μ. Υπενθυμίζεται ότι η διάταξη του ατόμου του άνθρακα στις ενώσεις με απλούς δεσμούς είναι τετραεδρική και οι γωνίες των δεσμών του περίπου 109°. Έτσι, το πρώτο με το πέμπτο άτομο του άνθρακα έρχονται πολύ κοντά και κλείνουν εύκολα σχηματίζοντας δακτύλιο.*



ΣΧΗΜΑ 16-5α. *Πρότυπα στερεοχημικού και συντακτικού τύπου για n–πεντάνιο, C_5H_{12}.*



ΣΧΗΜΑ 16-5β, γ. *Πρότυπα στερεοχημικών και συντακτικών τύπων για το ισοπεντάνιο, C_5H_{12}, αλλά και το κυκλοπεντάνιο, C_5H_{10}.*

ΠΙΝΑΚΑώ 16.1.

Μερικές ιδιότητες των κορεσμένων υδρογονανθράκων (αλκανίων).

Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες	Μοριακός τύπος	Σημείο τήξεως (°C)	Σημείο βρασμού (°C)
μεθάνιο	CH_4	–182,5	–161,5
αιθάνιο	CH_3CH_3	–182,8	–88,6
προπάνιο	$CH_3CH_2CH_3$	–189,9	–44,5
n-βουτάνιο	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	–138,3	–0,5
ισοβουτάνιο	$CH_3–CH(CH_3)–CH_3$	–159,6	–11,7
n-εξάνιο	C_6H_{14}	–95,3	68,7
κυκλοεξάνιο	C_6H_{12}	+6,9	80,7
n-οκτάνιο	C_8H_{18}	–56,5	125,7
n-δεκαοκτάνιο	$C_{18}H_{38}$	+28,2	306,0

Πράγματι έτσι γίνεται. Τα μόρια αυτά έχουν όλες τις προϋποθέσεις για να θεωρηθούν κορεσμένοι υδρογονάνθρακες: περιέχουν μόνο άτομα άνθρακα και υδρογόνου και έχουν μόνο απλούς δεσμούς ανάμεσα στα άτομα του άνθρακα. Για να τα διακρίνομε από τις ενώσεις με ευθύγραμμες και διακλαδισμένες αλυσίδες, οι οποίες έχουν το γενικό τύπο C_nH_{2n+2}, χρησιμοποιούμε το πρόθεμα *κύκλο*. Έτσι η κυκλική ένωση του σχήματος 16-5γ ονομάζεται κυκλοπεντάνιο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο τύπος του κυκλοπεντανίου είναι C_5H_{10}, ενώ των μη κυκλικών πεντανίων είναι C_5H_{12}. Το κυκλοπεντάνιο *δεν είναι* ισομερές με τα άλλα. Οι κυκλικοί κορεσμένοι υδρογονάνθρακες είναι διαφορετικοί από τους μη κυκλικούς. Διαφέρουν επί πλέον και στο γενικό μοριακό τύπο: C_nH_{2n}.

Το γενικό όνομα που είναι αποδεκτό για όλη την τάξη των κορεσμένων υδρογονανθράκων είναι *αλκάνια* (για το αντίστοιχο κυκλικό ο όρος είναι *κυκλοαλκάνια*). Το όνομα αυτό είναι απλούστερο και πιο συστηματικό από το «κορεσμένος υδρογονάνθρακας» και ταιριάζει με ένα σύστημα ονοματολογίας που θα αναπτύξομε παρακάτω.

Τα αλκάνια είναι οι κύριες ενώσεις που υπάρχουν στο φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Σε κανονικές συνθήκες, τα αλκάνια με μικρή μοριακή μάζα είναι αέρια. Τα σημεία βρασμού τους δίνονται στον πίνακα 16.1. Η βενζίνη αποτελείται κυρίως από διακλαδισμένα σε μεγάλο βαθμό αλκάνια, τα οποία περιέχουν από έξι μέχρι δέκα άτομα άνθρακα. Οι κηροί παραφίνης είναι συνήθως αλκάνια με 20 έως 35 άτομα άνθρακα.

Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες είναι σχετικά αδρανείς, εκτός αν θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Η καύση (αντίδραση με οξυγόνο) αποτελεί σχεδόν τη μόνη σημαντική απλή αντίδραση των αλκανίων. Αυτή ακριβώς η ιδιότητα καθιστά τους υδρογονάνθρακες μία από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας.

Σημαντικό χαρακτηριστικό της χημείας των κορεσμένων υδρογονανθράκων είναι η απουσία δραστικότητας. Εξ αιτίας αυτής της αδράνειας η χημεία των οργανικών ενώσεων ασχολείται κυρίως με τις επονομαζόμενες «δραστικές ομάδες» (functional groups). Πρόκειται για ομάδες ατόμων, οι οποίες συνήθως είναι περισσότερο δραστικές από ό,τι ο "σκελετός" των ανθράκων, πάνω στους οποίους είναι προσκολλημένες. Για το λόγο αυτό υποτίθεται ότι ο σκελετός θα παραμείνει ανέπαφος και αναλλοίωτος κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων. Οι σημαντικότερες δραστικές ομάδες και κάποια πράγματα γύρω από τη χημεία τους θα εξετασθούν σε άλλο σημείο αυτού του κεφαλαίου.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

16.6 Μερικές ιδιότητες και αντιδράσεις των υδρογονανθράκων.

Προηγουμένως μάθατε ότι οι ενώσεις που αποτελούνται μόνο από άνθρακα και υδρογόνο ονομάζονται υδρογονάνθρακες. Αν όλα τα άτομα του άνθρακα μέσα σε ένα μόριο υδρογονάνθρακα βρίσκονται συνδεδεμένα με απλούς δεσμούς, η ένωση ονομάζεται κορεσμένος υδρογονάνθρακας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ατόμων άνθρακα μέσα σε ένα μόριο υδρογονάνθρακα, τόσο περισσότερα είναι και τα ισομερή. Υδρογονάνθρακες οι οποίοι περιέχουν τουλάχιστον ένα διπλό ή τριπλό δεσμό ονομάζονται ακόρεστοι υδρογονάνθρακες. Όλα αυτά θα εξετασθούν, με περισσότερες λεπτομέρειες, στο κεφάλαιο 16.7.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα εξετασθούν οι ιδιότητες και οι αντιδράσεις μερικών κορεσμένων υδρογονανθράκων και των ισομερών τους. Θα γίνει επίσης σύγκριση των ιδιοτήτων και των αντιδράσεων των ακορέστων υδρογονανθράκων, υδρογονανθράκων με γραμμική διάταξη των ατόμων άνθρακα και υδρογονανθράκων οι οποίοι έχουν τα άτομα άνθρακα διατεταγμένα σε δακτύλιο.

ΥΛΙΚΑ

Θερμόμετρο, −10°C μέχρι 150°C
Ορθοστάτης και δακτύλιος
Συρμάτινο πλέγμα
Λύχνος
Ποτήρι ζέσεως των 100 ml
6 δοκιμαστικοί σωλήνες, 13– x 100 mm
6 ml 0,1 *M* διαλύματος Br_2 σε CCl_4
Δοκιμαστικός σωλήνας, 18–x150 mm
Ελαστικά πώματα για μικρούς δοκιμαστικούς σωλήνες
Στήριγμα δοκιμαστικών σωλήνων
Κηρομπογιά ή ετικέττες
6 τεμαχίδια πορσελάνης
50 ml φυτικό έλαιο

2 λαβίδες προχοΐδας, 1 λαβίδα με διπλό άγκιστρο
5 ml ενός από τα επόμενα, σύμφωνα με τις οδηγίες του καθηγητή:

n–επτάνιο	2,2–διμεθυλοπεντάνιο
n–οκτάνιο	2,2,4–τριμεθυλοπεντάνιο
2–μεθυλοεξάνιο	n–εξάνιο

1 ml ενός από τα ακόλουθα:

n–εξάνιο	κυκλοεξένιο
1–εξένιο	βενζόλιο
κυκλοεξάνιο	τολουόλιο

3 ml ενός από τα ακόλουθα διαλύματα:

0,01 *M* διαλύματος $KMnO_4$	6 *M* διαλύματος NaOH

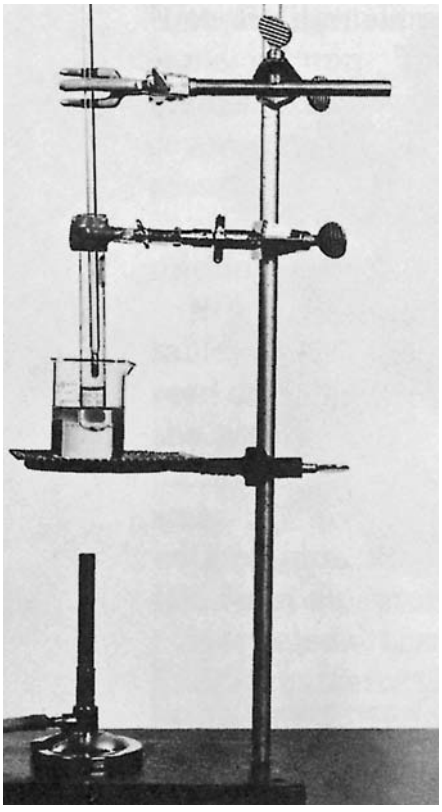
***ΣΗΜΕΙΩΣΗ*:** Το *M* δείχνει τη συγκέντρωση, σε mole ανά λίτρο. Συγκέντρωση είναι η ποσότητα μιας ορισμένης ουσίας που υπάρχει στην ποσοτική μονάδα μιας άλλης ουσίας. Αυτή η μονάδα της συγκεντρώσεως θα εξετασθεί στο κεφάλαιο 17.

Ειδικές προφυλάξεις. Οι υδρογονάνθρακες είναι εξαιρετικά εύφλεκτοι. Φυλάξτε τις φιάλες που τους περιέχουν μακριά από τον πάγκο εργασίας και τους λύχνους. Να προσκομίζετε στο χώρο εργασίας σας μόνο ό,τι χρειάζεστε για ένα πείραμα κάθε φορά. Αν σβήσετε εγκαίρως το λύχνο, μόλις αρχίσει να βράζει το υγρό σας, υπάρχουν ελάχιστες πιθανότητες το υγρό, του οποίου θα εξετάσετε το σημείο βρασμού, να αναφλεγεί. Αν όμως τύχει να αναφλεγεί, τότε απλά σβήστε το.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α.

1. Προσθέστε περίπου 50 ml φυτικού ελαίου σε ένα ποτήρι των 100 ml. Τοποθετήστε το ποτήρι μαζί με ένα μεταλλικό πλέγμα πάνω στο δακτύλιο που βρίσκεται πάνω από το λύχνο.
2. Προσθέστε περίπου 5 ml ενός υδρογονάνθρακα που θα σας δοθεί, σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα 18- x 150 mm. Ρίξτε ένα μόνο τεμαχίδιο πορσελάνης στο υγρό του δοκιμαστικού σωλήνα.
3. Στερεώστε το δοκιμαστικό σωλήνα στον ορθοστάτη με μία λαβίδα. Το κάτω άκρο του σωλήνα θα πρέπει να βυθίζεται περίπου 1-2 cm μέσα στο φυτικό έλαιο.
4. Με τη βοήθεια της λαβίδας που έχει το διπλό άγκιστρο κρεμάστε ένα θερμόμετρο (–10 °C μέχρι 150°C) μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα. Βεβαιωθείτε ότι το κάτω άκρο του θερμομέτρου είναι 1 cm περίπου πάνω από την επιφάνεια του υγρού στο σωλήνα. Στο σχήμα 16-6 μπορείτε να δείτε όλη τη διάταξη.
5. Θερμάνατε το ποτήρι με το φυτικό έλαιο μέχρι να αρχίσει το υγρό που βρίσκεται μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα να βράζει. Σβήστε αμέσως το λύχνο. Διαβάστε την ένδειξη του θερμομέτρου, ενώ το υγρό στο δοκιμαστικό σωλήνα εξακολουθεί να βράζει ζωηρά. Σημειώστε την ένδειξη.
6. Απομακρύνατε το θερμόμετρο από το δοκιμαστικό σωλήνα. Σκουπίστε το λάδι από την εξωτερική πλευρά του δοκιμαστικού σωλήνα. Στη συνέχεια, αφήστε να τρέξει νερό στην εξωτερική πλευρά του δοκιμαστικού σωλήνα, ώστε να ψύξει το περιεχόμενό του. Αδειάστε το κρύο υγρό στην αποχέτευση σύμφωνα με τις υποδείξεις του καθηγητή σας.
7. Αναφέρατε το αποτέλεσμά σας στην υπόλοιπη τάξη. Βεβαιωθείτε ότι καταγράψατε τα σημεία βρασμού που ανέφεραν άλλοι συμμαθητές σας. Πρέπει να έχετε τουλάχιστον ένα σημείο βρασμού για κάθε μία από τις ακόλουθες ενώσεις: 2,2–διμεθυλοπεντάνιο, 2–μεθυλοεξάνιο, n–επτάνιο, 2,2,4–τριμεθυλοπεντάνιο, n–εξάνιο και n–οκτάνιο.



ΣΧΗΜΑ 16-6.

Μέρος Β.

1. Κολλήστε από μια ετικέττα σε κάθε καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα 13– x 100 mm, οι οποίοι αντιστοιχούν στους έξι υδρογονάνθρακες που θα μελετήσετε: n–εξάνιο, 1–εξένιο, κυκλοεξάνιο, κυκλοεξένιο, βενζόλιο και τολουόλιο. Προσθέστε 10 σταγόνες από τον αντίστοιχο υδρογονάνθρακα στον κάθε σωλήνα.
2. Παρασκευάστε περίπου 6 ml αλκαλικού διαλύματος υπερμαγγανικού καλίου 0,005 *M*, προσθέτοντας 3 ml 0,01 *M* $KMnO_4$ σε 3 ml 6 *M* NaOH.
3. Προσθέστε 20 σταγόνες (περίπου 1 ml) από το διάλυμα αυτό σε καθέναν από τους δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν τους διάφορους υδρογονάνθρακες. Αφού κλείσετε με ένα ελαστικό πώμα τον κάθε σωλήνα, ανακινήστε καλά, ώστε να έλθουν σε μεγαλύτερη επαφή οι δύο φάσεις. Σημειώστε κάθε αλλαγή που θα επέλθει στο χρώμα του περιεχομένου μετά από ένα λεπτό. Για να διακρίνετε ευκολότερα την αλλαγή στο χρώμα, τοποθετήστε ένα φύλλο άσπρο χαρτί κάτω από το δοκιμαστικό σωλήνα. Για να πετάξετε τα διαλύματα αδειάστε τα στο κέντρο του νεροχύτη και ξεπλύντε με μεγάλη ποσότητα νερού* τους σωλήνες.

* *Σ.τ.Μ. Αφού προηγουμένως συνεννοηθείτε με τον καθηγητή.*

4. Προσθέστε 10 σταγόνες από τον καθένα από τους προηγούμενους έξι υδρογονάνθρακες σε ισάριθμους, ανάλογα σημειωμένους, καθαρούς δοκιμαστικούς σωλήνες.
5. Προσθέστε στάγδην περίπου 20 σταγόνες (περίπου 1 ml) διαλύματος 0,1 *M* Br_2 σε τετραχλωράνθρακα, στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Αφού κλείσετε με ένα ελαστικό πώμα τον κάθε σωλήνα, ανακινήστε τον κατά διαστήματα, καθώς προσθέτετε το διάλυμα του βρωμίου. Να σημειώσετε κάθε αλλαγή στο χρώμα. Εξακολουθήστε να προσθέτετε το διάλυμα του βρωμίου σε εκείνους τους υδρογονάνθρακες που δείχνουν μια αλλαγή στο χρώμα, μέχρι να επικρατήσει το χρώμα του βρωμιούχου διαλύματος.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

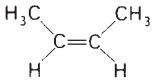
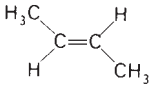
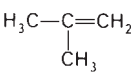
1. Γράψτε τους συντακτικούς τύπους για τις έξι ενώσεις που χρησιμοποιήσατε κατά τον προσδιορισμό του σημείου βρασμού. Θυμηθείτε ότι το πρόθεμα «*n*» μπροστά από το επτάνιο και τις άλλες ενώσεις σημαίνει «κανονικό», δηλαδή ότι πρόκειται για «γραμμικά» μη διακλαδισμένα μόρια. Τα αριθμητικά προθέματα υποδηλώνουν τη θέση του ατόμου του άνθρακα, στην οποία υπάρχει κάποια ομάδα. Η ένωση 2,2–διμεθυλοπεντάνιο έχει δύο μεθυλο–ομάδες (CH_3) συνδεδεμένες με το δεύτερο άτομο άνθρακα ενός μορίου πεντανίου.
2. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στο μέγεθος των γραμμικών (n) μορίων και των σημείων βρασμού τους;
3. Ποιες από τις έξι ενώσεις είναι ισομερείς μεταξύ τους; Τι προκύπτει από τη σύγκριση των σημείων βρασμού των διακλαδισμένων μορίων με αυτά των γραμμικών ισομερών τους;
4. Να γράψετε συντακτικούς τύπους για τους υδρογονάνθρακες που αντέδρασαν με $KMnO_4$ και Br_2. Οι μοριακοί τύποι για το κυκλοεξάνιο, το κυκλοεξένιο, και το βενζόλιο είναι αντίστοιχα C_6H_{12}, C_6H_{10}, και C_6H_6. Το κάθε μόριο διαθέτει έξι άτομα άνθρακα συνδεδεμένα σε ένα δακτύλιο. Να τοποθετήσετε τα άτομα του υδρογόνου και τους δεσμούς έτσι, ώστε το κάθε άτομο άνθρακα να έχει τέσσερις δεσμούς που θα ξεκινούν από αυτό. Το τολουόλιο είναι ανάλογο με το βενζόλιο, αλλά αντί για ένα άτομο Η έχει μια ομάδα CH_3 συνδεδεμένη με ένα άτομο άνθρακα. Η ένωση 1–εξένιο, με το μοριακό τύπο C_6H_{12}, έχει δύο άτομα υδρογόνου λιγότερα από αυτά του n–εξανίου, C_6H_{14}. Το αριθμητικό πρόθεμα σημαίνει ότι το πρώτο άτομο άνθρακα της αλυσίδας είναι συνδεδεμένο με διπλό δεσμό.
5. Ποιος από τους προηγούμενους υδρογονάνθρακες αντέδρασε εύκολα με το αλκαλικό διάλυμα του $KMnO_4$ και ποιος με το διάλυμα του βρωμίου;
6. Τι συμπεράσματα βγάλατε σχετικά με τη δραστικότητα των κορεσμένων υδρογονανθράκων; Τι συμπεραίνετε σχετικά με τη δραστικότητα των ακορέστων υδρογονανθράκων;

Ερωτήματα για προβληματισμό.

1. Ποιοι παράγοντες ευθύνονται για τις διαφορές ανάμεσα στα σημεία βρασμού των γραμμικών (n) και των διακλαδισμένων ισομερών με τους ίδιους μοριακούς τύπους;
2. Πώς δικαιολογείτε το γεγονός ότι όλοι οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες με κυκλική δομή δεν αντιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο με το $MKnO_4$ και το Br_2;

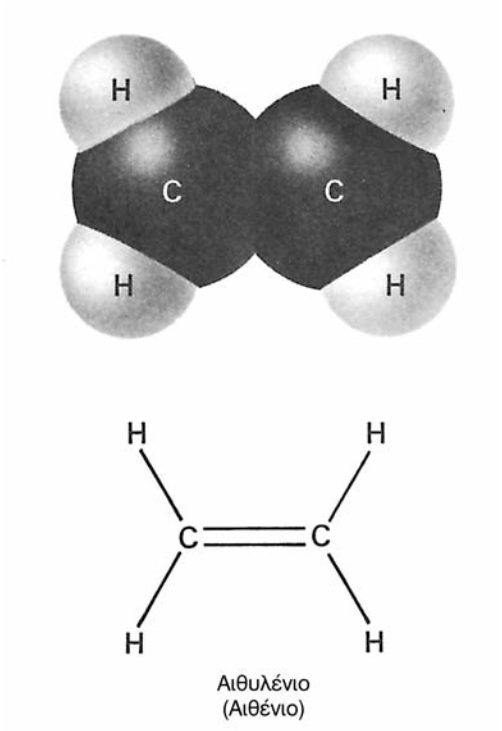
ΠΙΝΑΚΑΩ 16.2.

Μερικά αλκένια και οι ιδιότητές τους.

Όνομα	Μοριακός τύπος	Σημείο τήξεως (°C)	Σημείο βρασμού (°C)
αιθένιο (αιθυλένιο)	$H_2C{=}CH_2$	–169,2	–104,0
προπένιο	$H_2C{=}CHCH_3$	–185,2	–47,8
βουτένιο–1	$H_2C{=}CHCH_2CH_3$	–185,4	–6,3
cis-βουτένιο–2		–138,9	3,7
trans-βουτένιο–2		–105,6	0,9
ισοβουτένιο		–	–6,6
δωδεκένιο–1	$H_2C{=}CH(CH_2)_9CH_3$	–35,2	213,4

16.7 Ακόρεστοι υδρογονάνθρακες.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 16.6, εκτός από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες υπάρχουν και ακόρεστοι. Οι ***ακόρεστοι*** υδρογονάνθρακες περιέχουν διπλούς ή τριπλούς δεσμούς ή και τα δύο. Στις επόμενες παραγράφους θα εξετασθεί η έννοια «ακόρεστος».



ΣΧΗΜΑ 16-7. *Στερεοχημικό πρότυπο και συντακτικός τύπος του αιθυλενίου (ή αιθενίου), C_2H_4.*

Η ονομασία των ενώσεων με απλούς και διπλούς δεσμούς είναι συστηματική, ακριβώς όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των κορεσμένων υδρογονανθράκων. Ενώσεις με διπλό δεσμό λέγονται ***αλκένια***. Η κατάληξη ***–ένιο*** δηλώνει ότι πρόκειται για ακόρεστη ένωση με διπλό δεσμό (τα ονόματα των ενώσεων με τριπλό δεσμό καταλήγουν σε ***–ίνιο***). Στον πίνακα 16.2 φαίνονται μερικά αλκένια και τα συστηματικά τους ονόματα. Προσέξτε ότι μοιάζουν πάρα πολύ με τα ονόματα των αλκανίων. Το πρώτο από τα αλκένια, φαίνεται και στο σχήμα 16-7, φέρει το συστηματικό όνομα αιθένιο. Το παραδοσιακό του όνομα είναι αιθυλένιο. Το παραδοσιακό όνομα είναι τόσο πολύ διαδεδομένο ανάμεσα στους χημικούς, ώστε θα πρέπει επίσης να το θυμάστε. Γενικά, τα απλούστερα μέλη κάποια σειράς ενώσεων φέρουν ονόματα, τα οποία επεκράτησαν πολύ πριν δημιουργηθεί ένας συστηματικός τρόπος ονομασίας. Γι' αυτό εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται τα εμπειρικά τους ονόματα.

Υδρογονάνθρακες με τριπλό δεσμό ονομάζονται ***αλκίνια***. Στον πίνακα 16.3 αναφέρονται τα απλούστερα αλκίνια. Και πάλι βλέπομε ότι το πρώτο μέλος της σειράς έχει ένα όνομα, το οποίο δεν ταιριάζει με τη συστηματική ονομασία, αλλά είναι αυτό που σχεδόν ο καθένας γνωρίζει. Η ένωση αυτή, HC = CH, ονομάζεται

ΠίΝΑΚΑώ 16.3.

Μερικά αλκίνια και οι ιδιότητές τους.

Όνομα	Μοριακός τύπος	Σημείο τήξεως (°C)	Σημείο βρασμού (°C)
αιθίνιο (ακετυλένιο)	$HC{\equiv}CH$	–81,8	–83,6*
προπίνιο	$HC{\equiv}CCH_3$	–102,7	–23,2
πεντίνιο-2	$CH_3{\equiv}CCH_2CH_3$	–101,0	55,5

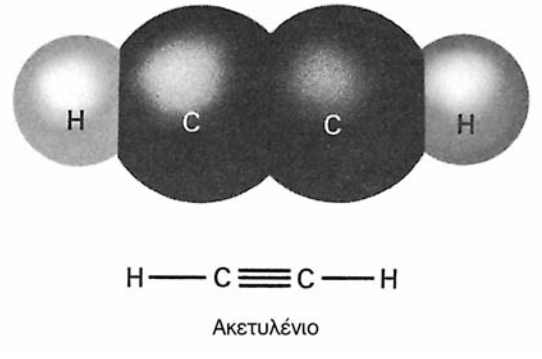
** Μετατρέπεται κατευθείαν από στερεό σε ατμό (εξαχνούται) σε πίεση 1 atm.*

ακετυλένιο (αιθίνιο). Η δομή της δίνεται στο σχήμα 16-8. Μια από τις κοινές χρήσεις της είναι στις οξυγονοκολλήσεις. Η φλόγα της οξυγονοκολλήσεως ονομάζεται συχνά οξυγονοακετυλενική φλόγα, επειδή δημιουργείται από την καύση ακετυλενίου σε ένα ρεύμα καθαρού οξυγόνου. Η φλόγα που παράγεται έχει εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία, ικανή να λιώσει όλα τα είδη του σιδήρου και του χάλυβα.

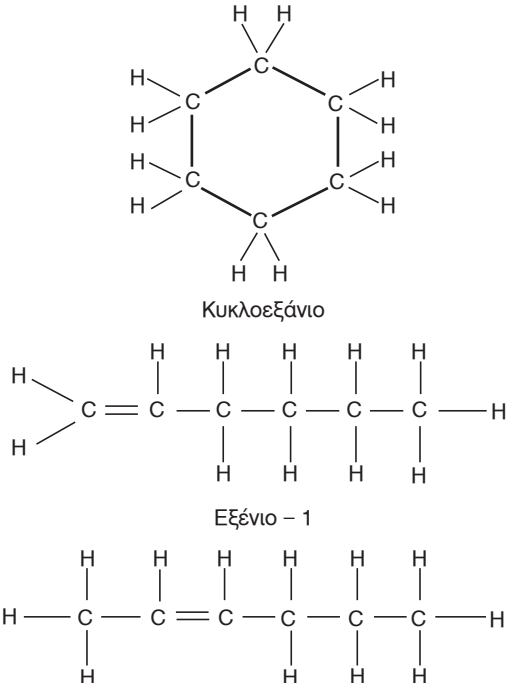
Οι πιθανότητες ισομεριώσεως ανάμεσα στα αλκένια είναι ακόμη μεγαλύτερες από αυτές ανάμεσα στα αλκάνια. Για παράδειγμα, ας μελετήσομε τα τέσσερα ισομερή του βουτενίου που δίνονται στον πίνακα 16.2. Κατ' αρχήν, διακρίνομε ότι είναι δυνατόν να μεταβάλλεται η θέση του διπλού δεσμού. Μια από τις δυνατότητες είναι το βουτένιο–1 όπου ο αριθμός 1 δείχνει πως ο διπλός δεσμός βρίσκεται ανάμεσα σε ένα ακραίο άτομο άνθρακα (1) και το γειτονικό του (2). Όταν ο διπλός δεσμός βρίσκεται ανάμεσα στο άτομο άνθρακα (2) και στο άλλο γειτονικό (3), το μόριο ονομάζεται βουτένιο–2. Στη συνέχεια, βλέπομε ότι υπάρχουν ***δύο*** δυνατότητες βουτενίων–2 εξαιτίας της ***cis*** και ***trans*** ισομέρειας. Τέλος, υπάρχει ένα ισομερές με το όνομα ισοβουτένιο, στο οποίο η αλυσίδα του άνθρακα δεν είναι ευθύγραμμη αλλά διακλαδισμένη.

Σημειώστε ότι τα κυκλικά αλκάνια και τα μη κυκλικά αλκένια είναι ισομερή. Για παράδειγμα, και το κυκλοεξάνιο και όλα τα ισομερή εξένια έχουν τον τύπο C_6H_{12}. Στο σχήμα 16-9 δίνονται οι συντακτικοί τύποι του κυκλοεξανίου και δύο εκ των ισομερών εξενίων, του εξενίου –1 και του εξενίου –2.

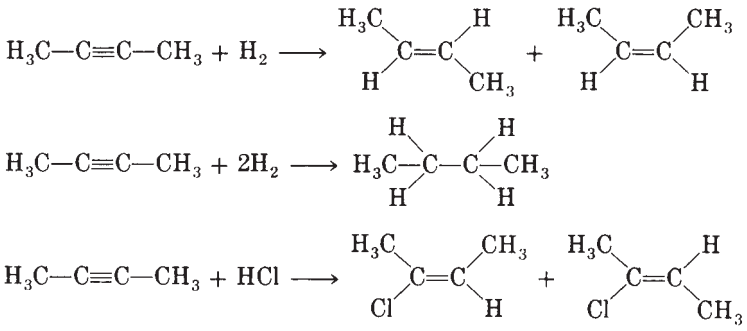
Τα αλκίνια διαθέτουν ένα είδος ισομέρειας, όπως και τα αλκένια, ανάλογα με τη θέση του τριπλού δεσμού μέσα στην αλυσίδα των ανθράκων. Στον πίνακα 16-3 δίνεται η ένωση πεντίνιο –2. Ένα από τα ισομερή της είναι το πεντίνιο–1. Τα αλκίνια δεν έχουν όμως ***cis*** και ***trans*** ισομερή. Όπως φαίνεται και στον τύπο του πεντινίου –2, οι δύο δεσμοί που σχηματίζονται

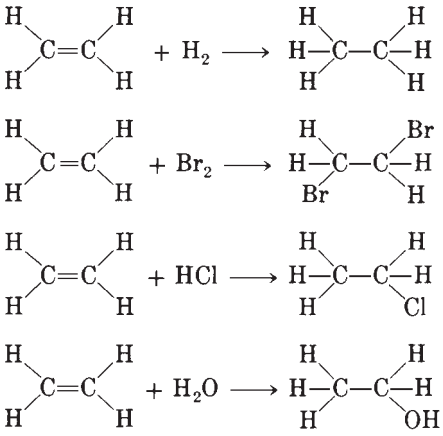


ΣΧΗΜΑ 16-8. *Στερεοχημικό πρότυπο και συντακτικός τύπος του ακετυλενίου.*

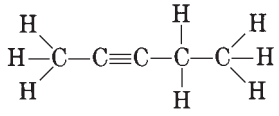


ΣΧΗΜΑ 16-9. *Συντακτικοί τύποι μερικών ισομερών με μοριακό τύπο C_6H_{12}.*





από μία ομάδα –C ≡ C– βρίσκονται στην ίδια ευθεία με το δεσμό C ≡ C. Η εξήγηση αυτής της γραμμικότητας των αλκινίων δόθηκε στο κεφάλαιο 15 (παράγρ. 15.7).



πεντίνιο-2

Γιατί άραγε τα αλκένια και τα αλκίνια ονομάζονται ακόρεστοι υδρογονάνθρακες; Σε αντίθεση με τα σχεδόν αδρανή αλκάνια, οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες είναι ιδιαίτερα δραστικοί. Το πιο χαρακτηριστικό είδος αντιδράσεώς τους είναι η ***προσθήκη*** άλλων ατόμων στους διπλούς ή τους τριπλούς δεσμούς. Φαίνεται σαν να μπορεί να ανοίξει ένας από τους δύο δεσμούς του διπλού δεσμού ή ένας, ακόμη και δύο, από τους τρεις δεσμούς του τριπλού δεσμού, και στη συνέχεια τα άτομα του άνθρακα να σχηματίσουν δεσμούς με άλλα άτομα. Οι εξισώσεις που ακολουθούν είναι παραδείγματα αυτού του είδους των αντιδράσεων για το αιθυλένιο και το βουτίνιο. Επειδή τα αλκένια και τα αλκίνια έχουν την ικανότητα να συνδέονται με ακόμη περισσότερα άτομα, ονομάζονται ακόρεστα. Έτσι, οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες έχουν χώρο για επί πλέον άτομα, ενώ οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες δεν έχουν.

16.8 Συστηματικά ονόματα για μη κυκλικούς υδρογονάνθρακες.

Οι μη κυκλικοί υδρογονάνθρακες ονοματίζονται με κάποιο συστηματικό τρόπο ονοματολογίας, όπως φαίνεται και στον πίνακα 16.4. Εκτός από λίγα μη συστηματικά ονόματα, όπως το αιθυλένιο και το ακετυλένιο, χρησιμοποιείται κάποιο σταθερό σύστημα ριζών ονοματολογίας. Μόνο οι καταλήξεις διαφέρουν. Η ρίζα μας πληροφορεί για τον αριθμό των ατόμων άνθρακα που υπάρχουν, και η κατάληξη για το αν η ένωση είναι ένα αλκάνιο, αλκένιο ή αλκίνιο. Οι ίδιες ρίζες χρησιμοποιούνται και για την ονομασία ενώσεων που περιέχουν άτομα ή άλλα στοιχεία συνδεδεμένα σε ένα «σκελετό» υδρογονάνθρακα. Η γνώση των ριζών βοηθά στην ονομασία και στην αναγνώριση του ονόματος τόσο των υδρογονανθράκων, όσο και των παραγώγων τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι ξεκινώντας από τα πέντε άτομα άνθρακα, οι ρίζες στη συστηματική ονοματολογία προέρχονται από τις αντίστοιχες ελληνικές ή λατινικές ονομασίες των αριθμών, όπως συμβαίνει και σε πολλές άλλες γνωστές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, ένα εξάγωνο (hexagon) είναι ένα πολύγωνο με έξι πλευρές. Ένα *οκτέτο* (octet) είναι μια «σύνθεση» για οκτώ μουσικά όργανα (ή είναι μια ομάδα από οκτώ όργανα που παίζουν μουσική), και μια δεκαετία (decade) είναι μια περίοδος δέκα ετών*.

* *Σ.τ.Μ. Τα παραδείγματα αυτά είναι διευκρινιστικά κυρίως για τους μαθητές των ΗΠΑ.*

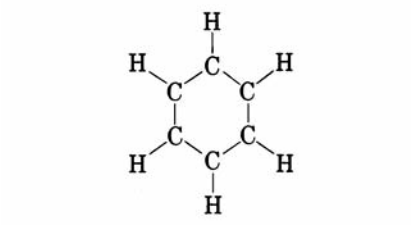
ΠίΝΑΚΑώ 16.4.

Ανακεφαλαίωση των ονομάτων των υδρογονανθράκων.

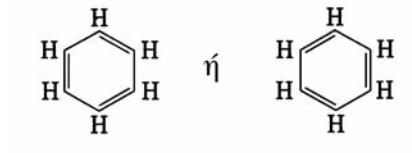
Αριθμός ατόμων άνθρακα	Ρίζα	Αλκάνια	Αλκένια	Αλκίνια
1	μεθ–	μεθάνιο	–	–
2	αιθ–	αιθάνιο	αιθένιο (αιθυλένιο)	αιθίνιο (ακετυλένιο)
3	προπ–	προπάνιο	προπένιο	προπίνιο
4	βουτ–	βουτάνιο	βουτένιο	βουτίνιο
5	πεντ–	πεντάνιο	πεντένιο	πεντίνιο
6	εξ–	εξάνιο	εξένιο	εξίνιο
7	επτ–	επτάνιο	επτένιο	επτίνιο
8	οκτ–	οκτάνιο	οκτένιο	εκτίνιο
9	εννε–	εννεάνιο	εννένιο	εννεΐνιο
10	δεκ–	δεκάνιο	δεκένιο	δεκίνιο

16.9 Αρωματικοί υδρογονάνθρακες: Το βενζόλιο και παράγωγά του.

Μια άλλη σημαντική κατηγορία οργανικών ενώσεων, εντελώς διαφορετικών από αυτές που περιεγράφησαν μέχρι τώρα, είναι εκείνες οι ακόρεστες ενώσεις που ονομάζονται αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Το απλούστερο παράδειγμα είναι το ***βενζόλιο***, μια κυκλική ένωση με έξι άτομα άνθρακα σε σχήμα δακτυλίου, με τύπο C_6H_6. Ο βενζολικός δακτύλιος είναι επίπεδος και έχει σχήμα κανονικού εξαγώνου, όπως φαίνεται και στο συντακτικό τύπο που ακολουθεί:



Υπάρχει όμως κάποια δυσκολία όταν πρόκειται να παρασταθούν οι δεσμοί στο βενζόλιο και στα παράγωγά του. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε ίσως να γίνει με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

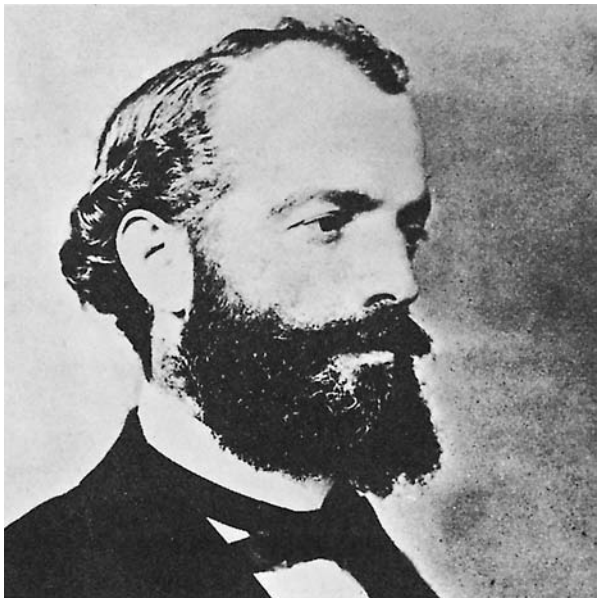


Και οι δύο αυτές δομές ικανοποιούν τους προηγούμενους κανόνες σθένους του άνθρακα, αλλά υπάρχει ένα σοβαρό λάθος. Η κάθε μία δομή δείχνει τρεις από τους δεσμούς άνθρακα–άνθρακα ως διπλούς δεσμούς και τρεις ως απλούς. Ένα πλήθος πειραματικών δεδομένων όμως δείχνει ότι δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο. Αντίθετα ισχύει το εξής: Ο καθένας από τους έξι δεσμούς άνθρακα–άνθρακα είναι ακριβώς ίδιος με τους άλλους.

Το πρόβλημα αυτό το ξανασυναντήσαμε στην περίπτωση του νιτρικού ιόντος, στο κεφάλαιο 15. Δεν υπάρχει και στην περίπτωση αυτή μια διάταξη δεσμών ικανή να απεικονίσει με ακρίβεια την πραγματική δομή και την ηλεκτρική κατανομή στο μόριο.

Υπάρχουν δύο τρόποι προκειμένου να αντιμετωπισθεί ένα τέτοιο πρόβλημα. Ο ένας είναι η μέθοδος του συντονισμού. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι το βενζόλιο δεν απεικονίζεται με ένα μόνο από τους παραπάνω τύπους, αλλά απεικονίζεται μάλλον με κάποιο συνδυασμό και των δύο σε έναν. Η πραγματική κατανομή των ηλεκτρονίων είναι ένα υβρίδιο συντονισμού και των δύο.

Ένας άλλος τρόπος για να απεικονισθεί η ηλεκτρονική κατανομή είναι με τη βοήθεια των «μοριακών τροχιακών» και όχι των ατομικών τροχιακών. Στο πρότυπο των ατομικών τροχιακών του βενζολίου κάθε ένα από τα τρία ζεύγη ηλεκτρονίων που σχηματίζουν το δεύτερο δεσμό στους διπλούς δεσμούς βρίσκεται τοποθετημένο ανάμεσα σε ένα συγκεκριμένο ζεύγος ατόμων άνθρακα. Στο πρότυπο των μοριακών τροχιακών, τα ηλεκτρόνια κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω από ολόκληρο το εξάγωνο των ατόμων άνθρακα σχηματίζοντας δύο δακτυλίους τοποθετημένους



Friedrich A. Kekulé von Stradowitz (1829 - 1896)

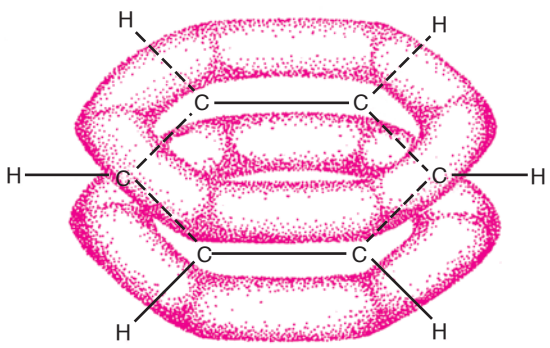
Σε νεαρή ηλικία ο Friedrich Kekulé αποφάσισε να σπουδάσει αρχιτεκτονική. Κατά τη διάρκεια των σπουδών του όμως, παρακολούθησε μερικές διαλέξεις, που έδωσε ο διάσημος Γερμανός χημικός Liebig, και ενθουσιάσθηκε τόσο πολύ, ώστε αποφάσισε να γίνει και ο ίδιος χημικός. Η αρχική του ενασχόληση με την αρχιτεκτονική δεν πήγε χαμένη. Είχε αποκτήσει ο Kekulé μια συνήθεια να εξετάζει πάντα το σχήμα και τη δομή των υλικών με τα οποία ασχολούνταν.

Μετά από μια μικρή παραμονή του στο Πανεπιστήμιο της γερμανικής πόλεως Heidelberg, μετακόμισε στο Πανεπιστήμιο του Ghent, στο Βέλγιο, όπου το 1858 έγινε καθηγητής της χημείας. Δεν ήταν ικανοποιημένος με τον τρόπο γραφής των ενώσεων, δηλαδή μόνο βάσει του μοριακού τους τύπου, γιατί ο τύπος αυτού του είδους δεν έλεγε τίποτα για τη δομή του μορίου. Πρότεινε ότι το τετρασθενές άτομο άνθρακα θα μπορούσε να συνδεθεί με άλλα άτομα άνθρακα και να σχηματίσει αλυσίδες. Επίσης, σκέφθηκε ότι οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα θα μπορούσαν να παρασταθούν με μικρές παύλες. Αν και την ίδια εποχή ένας Σκωτσέζος χημικός με το όνομα Couper είχε κάνει μια ανάλογη πρόταση, τελικά επεκράτησε οι τύποι αυτού του είδους να χαρακτηρίζονται ως τύποι του Kekulé.

Οι τύποι του Kekulé κατέστησαν εύκολη τη γραφή πολυπλόκων χημικών ενώσεων. Πριν από την εμφάνιση αυτών των τύπων δεν υπήρχε τρόπος να δικαιολογηθεί η ύπαρξη των ισομερών. Εφεξής η διάκριση ανάμεσα στα ισομερή ήταν εύκολη. Παρά τις νεότερες προτάσεις για παράσταση χημικών δεσμών, αυτοί οι συντακτικοί τύποι του Kekulé εξακολουθούν, πάνω από εκατό χρόνια μετά την εμφάνισή τους, να αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για τους χημικούς.

Ενώ ο μοριακός τύπος το βενζολίου ήταν από καιρό γνωστός, ο Kekulé δεν ήταν σε θέση να παραστήσει με τους δικούς του τύπους τη δομή αυτής της κοινής ουσίας. Μια μέρα, καθώς μισοκοιμόταν μπροστά στο τζάκι του δωματίου του στο Ghent, ονειρεύτηκε αλυσίδες ατόμων με μορφή φιδιών να χορεύουν και να σφυρίζουν μπροστά στα μάτια του. Αργότερα έλεγε: «Ξαφνικά ένα από τα φίδια άρπαξε την ουρά του και ο δακτύλιος που σχηματίσθηκε σφύριζε εξοργιστικά μπροστά στα μάτια μου. Ξύπνησα σαν από αστραπή και πέρασα την υπόλοιπη νύκτα επεξεργαζόμενος τις λογικές συνέπειες μιας τέτοιας υποθέσεως». Αποτέλεσμα του ονείρου του ήταν το γνωστό σήμερα κυκλικό σχήμα του μορίου του βενζολίου.

Λόγω της φήμης του ο Kekulé κατάφερε να διοργανώσει το Πρώτο Παγκόσμιο Συνέδριο Χημείας το 1861 στην πόλη Karlsruhe της Γερμανίας. Υπήρξε από τους πρώτους χημικούς που χαρακτήρισαν την οργανική χημεία ως τη χημεία των οργανικών ενώσεων του άνθρακα, μια θέση που διηύρυνε κατά πολύ τα όρια αυτής της επιστήμης (μέχρι τότε επικρατούσε η άποψη ότι αντικείμενο της χημείας είναι η απλή μελέτη των ενώσεων που παράγονται από τους ζωντανούς οργανισμούς).



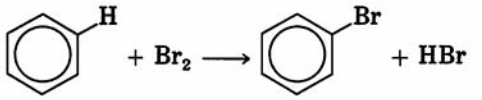
ΣΧΗΜΑ 16-10. *Οι σκιασμένες περιοχές δείχνουν πώς κατανέμονται τα ηλεκτρόνια στα μοριακά τροχιακά που μοιάζουν με δύο εξαγωνικά σωσίβια, το ένα πάνω και το άλλο κάτω από το επίπεδο του βενζολίου.*

πάνω και κάτω από το επίπεδο του εξαγώνου, όπως δείχνει το σχήμα 16-10 (τα μοριακά τροχιακά εξετάσθηκαν στην παράγραφο 15.9).

Οποιοδήποτε πρότυπο και αν επιλεγεί, αυτό του συντονισμού ή εκείνο των μοριακών τροχιακών, είναι απαραίτητο να δικαιολογεί την ομοιόμορφη κατανομή των ηλεκτρονίων γύρω από ολόκληρο το βενζολικό δακτύλιο, και να εκφράζει την ηλεκτρονική αυτή κατανομή κατά τη γραφή των χημικών τύπων. Οι χημικοί σχεδιάζουν πάντα ένα εξάγωνο, για να τοποθετήσουν τα έξι άτομα άνθρακα και τα συνδεδεμένα υδρογόνα, το οποίο συμπληρώνουν σχεδιάζοντας έναν κύκλο στο κέντρο του, για να απεικονίσουν την κατανομή των ηλεκτρονίων πάνω και κάτω από το δακτύλιο, όπως ο τύπος που ακολουθεί:



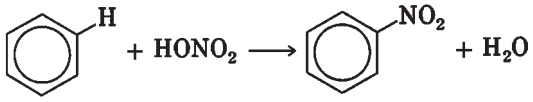
Αντιδράσεις υποκαταστάσεως του βενζολίου. Το βενζόλιο δεν εμφανίζει ούτε την τυπική δραστικότητα ούτε τη συνήθη αντίδραση προσθήκης του αιθυλενίου. Το βενζόλιο δεν αντιδρά με βρώμιο ώστε να σχηματίσει ένα απλό προϊόν προσθήκης στο διπλό δεσμό. Αντίθετα το βενζόλιο αντιδρά με βρώμιο ως εξής:



βρωμοβενζόλιο

Κατά την αντίδραση αυτή, που ονομάζεται ***βρωμίωση***, ένα από τα άτομα υδρογόνου αντικαθίσταται με ένα άτομο βρωμίου. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η χαρακτηριστική ηλεκτρονική κατανομή του δακτυλίου, όπως απεικονίζεται με το κυκλικό σύμβολο, δεν επηρεάζεται. Αν και αυτή η κατανομή των ηλεκτρονίων είναι ένα είδος ακορεστότητας, το βενζόλιο εμφανίζει πολύ μικρότερη τάση να αντιδράσει κατ' αυτόν τον τρόπο από ό,τι ο διπλός ή τριπλός δεσμός των αλκενίων και των αλκινίων.

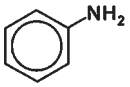
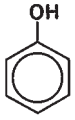
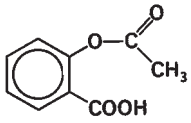
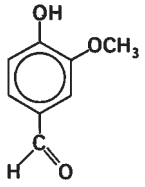
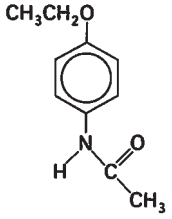
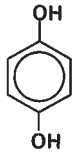
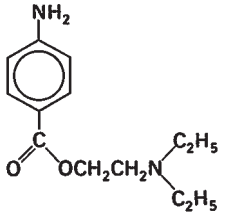
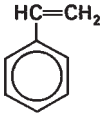
Η χαρακτηριστική αντίδραση των αρωματικών μορίων, όπως το βενζόλιο, είναι η ***υποκατάσταση*** των ατόμων του υδρογόνου και όχι η προσθήκη στα άτομα του άνθρακα. Ένα άλλο παράδειγμα των χαρακτηριστικών αντιδράσεων υποκαταστάσεως του βενζολίου συμβαίνει με το νιτρικό οξύ και ονομάζεται ***νίτρωση***:

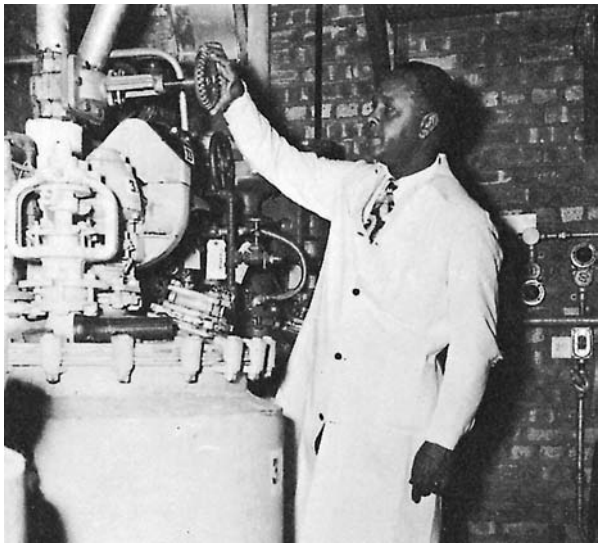


Η αντίδραση υποκαταστάσεως αποτελεί μια συνηθισμένη μέθοδο παρασκευής πλήθους οργανικών ενώσεων, τις οποίες συνθέτουν οι χημικοί που ασχολούνται με την οργανική χημεία. Η μέθοδος της υποκαταστάσεως τους επιτρέπει να προσθέσουν χαρακτηριστικές ομάδες στο μόριο του βενζολίου. Οι ομάδες αυτές είναι δυνατόν στη συνέχεια, με επί πλέον αντιδράσεις, είτε να μετατραπούν σε άλλες ομάδες είτε να συνδεθούν με μερικά άλλα στοιχεία ή ενώσεις. Με αυτού του είδους τις αντιδράσεις παράγεται ένας πολύ μεγάλος αριθμός σημαντικών χημικών ενώσεων. Πολλές από αυτές χρησιμοποιούνται καθημερινά διεθνώς. Μερικά από τα σημαντικά παράγωγα του βενζολίου αναφέρονται στον πίνακα 16.5.

ΠίΝΑΚΑώ 16.5

Μερικά παράγωγα του βενζολίου.

Δομή	Όνομα	Χρήσεις
	Ανιλίνη	Βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή πολλών χρωμάτων και φαρμάκων
	Φαινόλη	Μικροβιοκτόνο και απολυμαντικό
	Ασπιρίνη	Αναλγητικό
	Βανιλλίνη	Πρόσθετο τροφίμων
	Φαινακετίνη	Αναλγητικό (ενδείκνυται για πονοκεφάλους)
	Υδροκινόνη	Εμφάνιση φωτογραφιών
	«Νοβοκαΐνη» (προκαΐνη)	Τοπικό αναισθητικό
	Στυρένιο	Μονομερές για την παρασκευή πλαστικών πολυστυρενίου



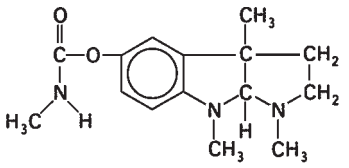
Percy Lavon Julian (1899 - 1975)

Ο Percy Julian, εγγονός ενός πρώην σκλάβου, όταν αποφοίτησε από την κρατική μέση σχολή για νέγρους του Μοντγκόμερυ της Αλαμπάμα στις ΗΠΑ, συνέχισε τις σπουδές του στο πανεπιστήμιο DePauw της Ινδιάνα, από όπου τελικά αποφοίτησε το 1920 πρώτος στην τάξη του.

Παρ' όλες τις καλές επιδόσεις του, στο DePauw, κανένα πανεπιστήμιο δεν επιθυμούσε να εγκρίνει υποτροφία για μεταπτυχιακές σπουδές σε ένα μαύρο σπουδαστή. Απογοητευμένος από αυτήν την απόρριψη ο Julian αποφάσισε να διδάξει χημεία στο πανεπιστήμιο Fisk του Nashville, στο Tennessee. Μέσα σε δύο χρόνια κέρδισε μια θέση για μεταπτυχιακά στη χημεία στο πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, όπου και εκεί είχε εξαιρετικές επιδόσεις. Τότε έθεσε υποψηφιότητα για μια θέση βοηθού καθηγητή, ώστε να μπορέσει να προωθήσει και το διδακτορικό του. Οι προκαταλήψεις για άλλη μια φορά στάθηκαν εμπόδιο στο δρόμο του. Έξι χρόνια αργότερα, μετά από αρκετούς διορισμούς του ως καθηγητή σε κολλέγια για μαύρους σπουδαστές, κέρδισε μια υποτροφία για τη Βιέννη όπου πήρε το διδακτορικό του, το 1931.

Όσο βρισκόταν στη Βιέννη, ασχολήθηκε με τη ***φυσοστιγμίνη***, ένα φάρμακο που χρησιμοποιείται για τη θεραπεία του γλαυκώματος. Το γλαύκωμα είναι μια ασθένεια των οφθαλμών που δημιουργεί μεγάλη πίεση στο εσωτερικό του βολβού. Η φυσοστιγμίνη είχε απομονωθεί και προσδιορισθεί το 1865, αλλά κανείς δεν είχε καταφέρει να προσδιορίσει τη δομή της ή να την παρασκευάσει συνθετικά. Ο Julian έμαθε ότι τα φασόλια της σόγιας περιέχουν φυσοστιγμίνη και αποφάσισε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της συνθετικής παρασκευής της.

Άρχισε να εργάζεται πάνω σε αυτό το πρόγραμμα μόλις επέστρεψε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Τέσσερα χρόνια αργότερα, μαζί με τον Joseph Pikl, που τον είχε ακολουθήσει από τη Βιέννη, ανεκοίνωσαν τη δομή και τη μέθοδο συνθέσεως αυτής της πολύπλοκης ενώσεως:



Φυσοστιγμίνη

Κατόπιν αυτής της επιτυχίας, ο Percy Julian διορίσθηκε στη θέση του υπεύθυνου χημικού και διευθυντή έρευνας στη μεγάλη βιομηχανία κατασκευής χρωμάτων και βερνικιών Glidden. Ο διορισμός αυτός χάραξε το δρόμο για την απασχόληση και άλλων μαύρων.

Εξακολούθησε να εργάζεται μελετώντας τα φασόλια, της σόγιας και παρήγαγε πολλές χρήσιμες ουσίες από αυτά, συμπεριλαμβανομένων και των ορμονών. Οι ορμόνες που υπάρχουν στη φύση παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς. Αυτές οι πολύ σημαντικές ουσίες, καθορίζουν πολλές λειτουργίες του σώματος, όπως η ανάπτυξη, η αναπαραγωγή και ο μεταβολισμός. Μία από τις ορμόνες που παρεσκεύασε ο Julian ήταν η κορτιζόνη, η οποία χρησιμοποιείται και για τη θεραπεία της ρευματοειδούς αρθρίτιδας. Η κορτιζόνη που παρασκεύασε από κορτεξελόνη, μια ουσία των φασολιών της σόγιας, κόστισε μόνο μερικές δραχμές ανά γραμμάριο. Προηγουμένως η κορτιζόνη ήταν μόνο φυσικής προελεύσεως και στοίχιζε αρκετές χιλιάδες δραχμές το γραμμάριο.

Περίληψη.

Λόγω του ότι οι γνωστές οργανικές ενώσεις είναι τόσο πολλές (πάνω από εκατομμύριο), είναι προφανές ότι χρειάζεται κάποια μέθοδος ονοματολογίας και κατατάξεως σύμφωνα με ένα συστηματικό τρόπο. Επειδή για πολλές οργανικές ενώσεις εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται τα εμπειρικά (αν και αυθαίρετα) ονόματα που τους δόθηκαν αρχικά, είναι συχνά απαραίτητο να μαθαίνει κάποιος και την παλαιά και την αποδεκτή σήμερα ως επιστημονική ονοματολογία. Μια σημαντική κατηγορία οργανικών ενώσεων είναι οι υδρογονάνθρακες, ενώσεις που περιέχουν μόνον άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Η ομάδα αυτή υποδιαιρείται σε κορεσμένους και ακόρεστους υδρογονάνθρακες, ανάλογα με το είδος των δεσμών που συνδέουν τα άτομα μεταξύ τους. Οι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες είναι σχετικά αδρανείς, εκτός αν βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες είναι εξαιρετικά δραστικοί. Προσλαμβάνουν πολύ εύκολα μόρια, όπως το H_2, το HCl, το Br_2 κ.λ.π.

Μια τρίτη υποδιαίρεση αποτελεί η άλλη ομάδα ακορέστων ενώσεων, αυτή των αρωματικών υδρογονανθράκων (το βενζόλιο και τα παράγωγά του). Οι ενώσεις αυτές χαρακτηρίζονται από κυκλικές δομές των ατόμων τους. Οι δακτύλιοι συνήθως απεικονίζονται με ένα εξάγωνο, που έχει έναν κύκλο στο εσωτερικό του. Ο κύκλος υποδηλώνει ότι υπάρχει ίση (στο βενζόλιο) δέσμευση ανάμεσα σε όλα τα γειτονικά ζεύγη των ατόμων του άνθρακα. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες παρέχουν κυρίως αντιδράσεις υποκαταστάσεως, κατά τις οποίες ένα άτομο υδρογόνου αντικαθίσταται από άλλο άτομο ή ομάδα ατόμων.

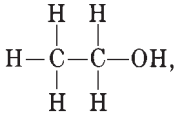
Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να περιγράψετε τον τρόπο συνδέσεως των ατόμων C και H μέσα σε έναν κορεσμένο υδρογονάνθρακα. Πώς δικαιολογείται η σχετική αδράνεια αυτής της ομάδας οργανικών ενώσεων;
2. Να περιγράψετε τον τρόπο συνδέσεως μέσα σε έναν ακόρεστο υδρογονάνθρακα. Πώς δικαιολογείται η σχετική δραστικότητα που εμφανίζουν αυτού του είδους τα μόρια;
3. Σχεδιάστε τους δύο τύπους του βενζολίου, που δείχνουν τις συγκεκριμένες θέσεις των διπλών δεσμών και δικαιολογήστε γιατί κανείς από αυτούς δεν απεικονίζει σωστά τη σύνδεση αυτή. Σχεδιάστε με κάποιο άλλο σχήμα το μόριο του βενζολίου.

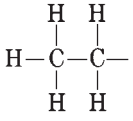
Χαρακτηριστικές δραστικές ομάδες καθορίζουν τη συμπεριφορά των οργανικών μορίων

16.10 Γενικά χαρακτηριστικά των δραστικών ομάδων.

Σχεδόν όλες οι αντιδράσεις και οι φυσικές ιδιότητες της αιθανόλης, C_2H_5OH,



είναι δυνατόν να ερμηνευθούν από τη συμπεριφορά της υδροξυ–ομάδας (–OH), η οποία αποτελεί και τη δραστική ομάδα της. Οι αντιδράσεις γίνονται με την ομάδα –OH, ενώ το άλλο μέρος του μορίου, C_2H_5, παραμένει συνήθως ανέπαφο. Οι αντιδράσεις αυτές υποδηλώνουν ότι το μόριο της αιθανόλης αποτελείται από δύο σημαντικά τμήματα. Το τμήμα που μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως είναι η ***υδροξυ***–ομάδα, –OH. Το τμήμα το οποίο συνήθως δεν μεταβάλλεται είναι η ***αιθυλο***–ομάδα, της οποίας ο τύπος είναι ο παρακάτω:



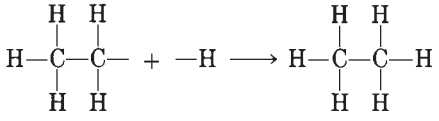
Η γενική αρχή της μη μεταβλητότητας του τμήματος του μορίου που αντιστοιχεί στους υδρογονάνθρακες είναι πολύ σημαντική για την οργανική χημεία. Συγκεντρώνεται έτσι η προσοχή στις ομάδες οι οποίες μεταβάλλονται, δηλαδή στις

δραστικές ομάδες. Αν γίνει κατανοητή η χημική συμπεριφορά μιας συγκεκριμένης δραστικής ομάδας για κάποια ένωση, τότε είναι γενικά αποδεκτό ότι και η χημική συμπεριφορά οποιασδήποτε άλλης ενώσεως που περιέχει την ίδια δραστική ομάδα θα είναι στις κύριες γραμμές της ανάλογη. Για το λόγο αυτό, οι ενώσεις που περιέχουν την υδροξυ –ομάδα ανήκουν στην ίδια οικογένεια, που έχει το όνομα ***αλκοόλες***. Το υπόλοιπο του μορίου (η αλυσίδα των ανθράκων) έχει σχετικά μικρή δράση και παραμένει ανέπαφο σε όλη τη σειρά των αντιδράσεων που αφορούν στη δραστική ομάδα.

Οι ακόλουθες εξισώσεις δείχνουν έναν τρόπο, με τον οποίο αντιδρά η υδροξυ–ομάδα που υπάρχει στις αλκοόλες:

$$CH_3CH_2OH + HBr \rightarrow CH_3CH_2Br + H_2O$$
$$CH_3CH_2OH + HCl \rightarrow CH_3CH_2Cl + H_2O$$
$$CH_3CH_2OH + HI \rightarrow CH_3CH_2I + H_2O$$

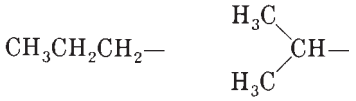
Στην περίπτωση αυτή οι χημικοί λένε ότι η ομάδα –OH αντικαταστάθηκε από ένα άτομο αλογόνου. Όπως μπορείτε να διαπιστώσετε, η ομάδα CH_3CH_2 – παρέμεινε ανέπαφη σε όλες αυτές τις αντιδράσεις. Θα θυμάστε ίσως μια προηγούμενη αναφορά στο αιθάνιο, C_2H_6. Κοιτάζοντας όμως το συντακτικό τύπο του αιθανίου, διαπιστώνετε ότι η ομάδα CH_3CH_2 –ενώνεται με ένα άτομο υδρογόνου:



αιθυλο–ομάδα αιθάνιο

Ενώσεις που περιέχουν την αιθυλο–ομάδα ονομάζονται με ανάλογο τρόπο. Για παράδειγμα, το C_2H_5Br ονομάζεται αιθυλο–βρωμίδιο και η C_2H_5OH ονομάζεται αιθυλική αλκοόλη. Τα συστηματικά ονόματα για τις ίδιες ενώσεις είναι αντίστοιχα το βρωμοαιθάνιο και η αιθανόλη. Το αιθυλο–βρωμίδιο, η αιθυλική αλκοόλη και οι άλλες αιθυλο–ενώσεις είναι δυνατόν να θεωρηθούν ότι προήλθαν από το αιθάνιο. Αυτό σημαίνει ότι αντικαταστάθηκε ένα άτομο υδρογόνου με –Br ή με –OH ή με κάποια άλλη δραστική ομάδα. Γι' αυτό οι εν λόγω ενώσεις χαρακτηρίζονται ως ***παράγωγα*** του αιθανίου. Το αιθάνιο θεωρείται ο μητρικός υδρογονάνθρακας για μια ολόκληρη σειρά οργανικών ενώσεων.

Το όνομα «αιθυλο» προέρχεται από το όνομα του αρχικού υδρογονάνθρακα, το αιθάνιο. Κατά τον ίδιο τρόπο, το όνομα της ***μεθυλο***–ομάδας (CH_3) προέρχεται από το μεθάνιο, CH_4 (σχ. 16-4). Βέβαια, καθώς αυξάνεται το μέγεθος της ομάδας των υδρογονανθράκων, δημιουργούνται και ισομερή. Το προπάνιο οδηγεί στο σχηματισμό μιας από τις ακόλουθες δύο ομάδες:

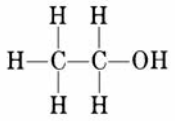


n–προπυλο–ομάδα ισοπροπυλο–ομάδα

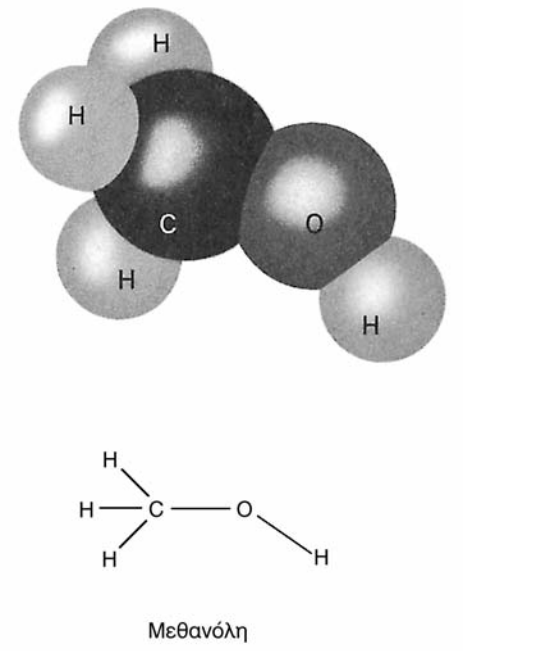
Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσει κάποιος ότι αυτές οι ομάδες του "σκελετού" (π.χ. μεθύλιο κ.λ.π.) είναι ασταθείς ενώσεις, οι οποίες δεν μπορούν να απομονωθούν και να σχηματίσουν μια ουσία σταθερή και υπαρκτή που να μπορούμε να τη φυλάξομε, π.χ. μέσα σε μία φιάλη. Αποτελούν πάντα ***τμήματα*** των μορίων. Η σύστασή τους και η δομή τους παραμένει ανέπαφη κατά τη διάρκεια των αντιδράσεων που αφορούν άλλα τμήματα των μορίων. Ο ανωτέρω τρόπος κατατάξεως των οργανικών ομάδων είναι και χρήσιμος και εύχρηστος, αλλά δεν πρέπει να ξεχνά κανείς ότι στις αντιδράσεις που περιεγράφησαν, η αιθυλο–ομάδα δεν υφίσταται στην πραγματικότητα ως ξεχωριστή ουσία.

16.11 Αλκοόλες.

Στο σχήμα 16-11 δίνεται ο συντακτικός τύπος και ένα μοριακό πρότυπο για την απλούστερη αλκοόλη, τη μεθανόλη ή μεθυλική αλκοόλη. Συγκρίνετε τον τύπο της με αυτόν της αιθανόλης ή αιθυλικής αλκοόλης, που ακολουθεί:



Διαπιστώνετε ότι αυτές οι δύο αλκοόλες προήλθαν αντίστοιχα από το μεθάνιο και το αιθάνιο, αφού αντικαταστάθηκε ένα άτομο υδρογόνου του υδρογονάνθρακα με την υδροξυ–ομάδα. Μια σειρά αλκοολών προκύπτει, όταν αντικατασταθεί ένα υδρογόνο ενός υδρογονάνθρακα από μια –OH ομάδα. Η ομάδα –OH είναι η δραστική ομάδα που χαρακτηρίζει όλες τις αλκοόλες. Για παράδειγμα, από το προπάνιο

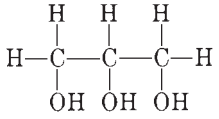


ΣΧΗΜΑ 16-11. *Στερεοχημικό πρότυπο και συντακτικός τύπος της μεθανόλης, CH_3OH, της απλούστερης των αλκοολών.*

λαμβάνεται η προπανόλη, $CH_3CH_2CH_2OH$ που ονομάζεται επίσης προπυλική αλκοόλη.

Αν αναζητήσετε προσεκτικά το πώς μπορεί να προέλθει μια αλκοόλη από το προπάνιο, θα διαπιστώσετε ότι αυτό είναι δυνατόν να γίνει με δύο τρόπους. Υπάρχει ο τρόπος που μόλις αναφέρθηκε, δηλαδή η αντικατάσταση του –Η ενός από τα ακραία άτομα άνθρακα, με ένα –ΟΗ. Όμως, είναι δυνατόν να αντικατασταθεί και ένα άτομο –Η από το μεσαίο άτομο άνθρακα, με ένα –ΟΗ. Τα δύο μόρια που προκύπτουν, σύμφωνα και με το σχήμα 16-12, είναι διαφορετικά, αλλά έχουν τον ίδιο μοριακό τύπο, C_3H_8O. Είναι ισομερή. Προκειμένου να τους δοθούν ονόματα που να επιτρέπουν τη διάκρισή τους, ονομάσθηκαν προπανόλη–1* και προπανόλη –2. Η τελευταία ονομάζεται επίσης ισοπροπυλική αλκοόλη.

Είναι δυνατόν να αντικατασταθούν περισσότερα από ένα άτομα Η από μια υδροξυ–ομάδα, εφ' όσον τα άτομα υδρογόνου που αντικαθίστανται δεν βρίσκονται πάνω στο ίδιο άτομο του άνθρακα. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο Η κάθε ατόμου του άνθρακα του προπανίου αντικατασταθεί με –ΟΗ, τότε λαμβάνεται η γνωστή ουσία γλυκερίνη (προπανοτριόλη, 1, 2, 3):



Μία σημαντική κατηγορία αντιδράσεων των αλκοολών είναι οι αντιδράσεις «οξειδώσεώς» τους. Όταν μια αλκοόλη οξειδώνεται, χάνει άτομα υδρογόνου. Αυτά τα άτομα υδρογόνου ενώνονται με άτομα οξυγόνου και σχηματίζουν μόρια νερού. Επίσης, είναι δυνατόν να προστεθούν και άτομα οξυγόνου και να σχηματισθούν νέοι δεσμοί με τα άτομα του άνθρακα. Ο μέγιστος βαθμός οξειδώσεως της αλκοόλης ή αυτού του αρχικού υδρογονάνθρακα, ισοδυναμεί με τη διαδικασία της καύσεως, η οποία εξετάσθηκε εκτενώς σε προηγούμενο σημείο. Η τελεία καύση μετατρέπει όλα τα άτομα του C και του Η σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, όπως φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση καύσεως της αιθανόλης:

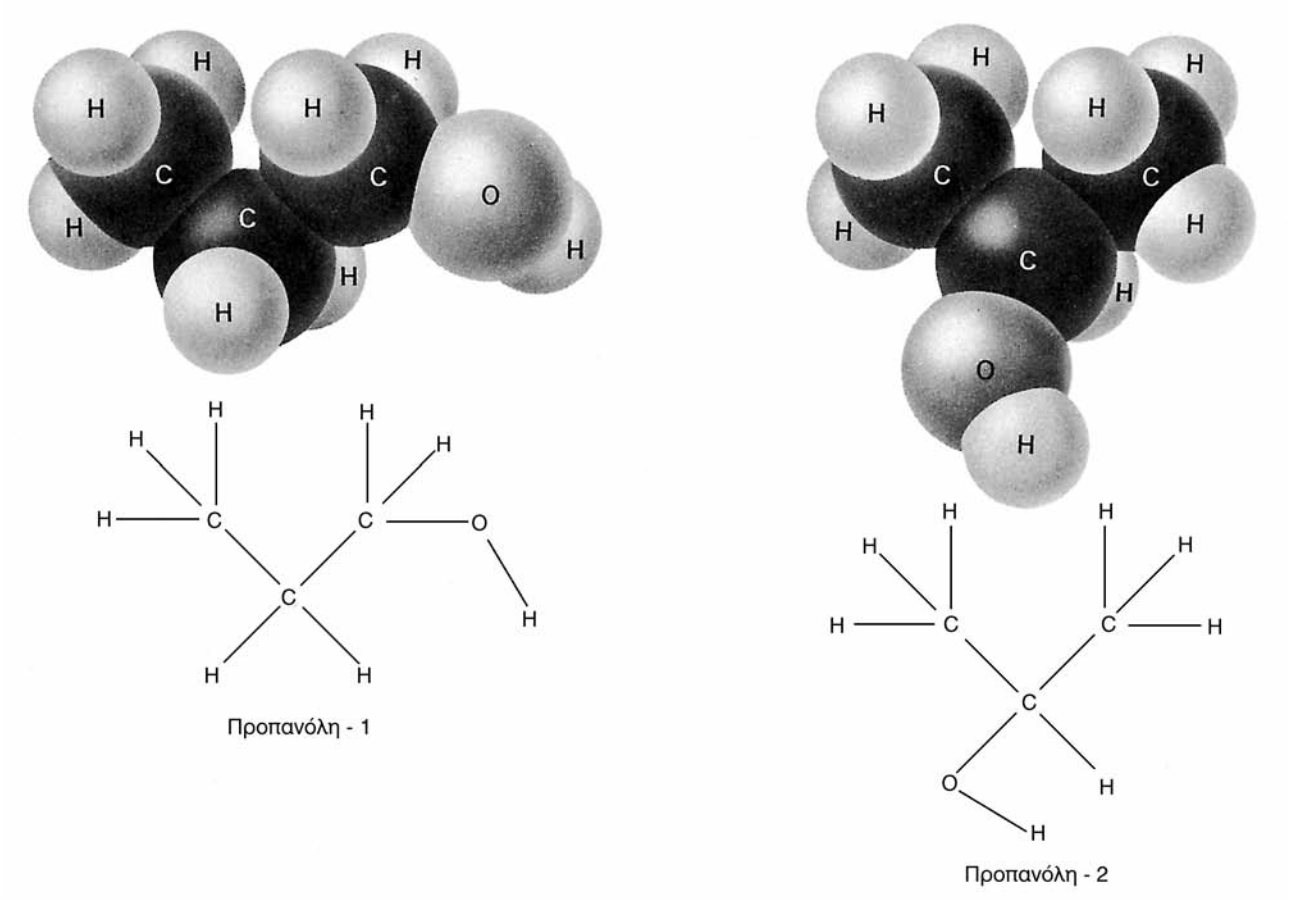
$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow \quad 2CO_2 + 3H_2O$$

Η αντίδραση αυτή δείχνει ακριβώς ό,τι συμβαίνει μέσα σε ένα καμινέτο οινοπνεύματος (= αιθανόλης).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η μερική οξείδωση των αλκοολών. Μερική οξείδωση είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια αντιδράσεων των αλκοολών με ορισμένες ανόργανες χημικές ουσίες, οι οποίες ονομάζονται «***οξειδωτικά μέσα***». Ανάμεσα σε αυτά είναι οι ενώσεις διχρωμικό κάλιο, $K_2Cr_2O_7$, και υπερμαγγανικό κάλιο, $KMnO_4$. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναφερθούν περισσότερα γι' αυτές και για άλλες ανάλογες με αυτές ουσίες. Προς το παρόν, αυτό που χρειάζεται είναι να προσέξετε ότι οι ενώσεις αυτές περιέχουν πολλά άτομα οξυγόνου και μπορούν να παραχωρούν αυτά τα άτομα του οξυγόνου σε ουσίες, όπως οι αλκοόλες.

Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η οξείδωση των αλκοολών, είναι δυνατόν να προκύψει ο σχηματισμός διαφόρων ενώσεων. Οι νέες αυτές ενώσεις περιέχουν νέα είδη δραστικών ομάδων. Στις επόμενες παραγράφους θα μελετηθεί η κάθε μία από αυτές τις δυνατότητες.

* *Σ.τ.Μ. Ή n–προπανόλη.*



ΣΧΗΜΑ 16-12. *Στερεοχημικό πρότυπο και συντακτικοί τύποι των ισομερών προπανόλη–1 και προπανόλη–2.*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

16.12 Μερικές ιδιότητες και αντιδράσεις των αλκοολών.

Μόλις προ ολίγου αναφέρθηκε ότι οι αλκοόλες, όπως και οι υδρογονάνθρακες, είναι δυνατόν να υπάρξουν σε μεγάλη ποικιλία μοριακών βαρών και ισομερών μορφών. Αναφέρθηκε επίσης ότι οι αντιδράσεις των υδρογονανθράκων εξαρτώνται από το μέγεθος και τη δομή των μορίων τους. Είναι δυνατόν άραγε τα διαφορετικά μεγέθη και σχήματα των μορίων των αλκοολών να επηρεάζουν τη συμπεριφορά των αλκοολών κατ' ανάλογο τρόπο;

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα αυτό θα σας επιτρέψει να μελετήσετε την επίδραση του μοριακού βάρους (μήκος της αλυσίδας των ατόμων άνθρακα) και της δομής σε μερικές από τις ιδιότητες των αλκοολών, συμπεριλαμβανομένης και της ιδιότητάς τους να αντιδρούν με διάφορα αντιδραστήρια.

ΥΛΙΚΑ

35 ml υδροχλωρικό οξύ 12 *M*
20-25 cm σύρμα χαλκού, διαμέτρου –22
2,0 g διχρωμικό κάλι
10 ml θειικό οξύ 3 *M*
6-8 ml πυκνό οξικό οξύ

50 ml φυτικό λάδι
1,0 g σαλικυλικό οξύ
Κυανός χάρτης ηλιοτροπίου
3 ml πεντανόλης –1
8 δοκιμαστικοί σωλήνες
13– x 100–mm
10 ml από τις ακόλουθες αλκοόλες:
μεθανόλη βουτανόλη–1
αιθανόλη βουτανόλη–2
προπανόλη–1, προπανόλη –2
2–μεθυλο–προπανόλη –2
40 ml διχρωμικό κάλιο 0,015 *M*
σε θειικό οξύ 3 *M*
15-20 σταγόνες πυκνό θειικό οξύ
7 ελαστικά πώματα, μεγέθους 0,
ώστε να ταιριάζουν στους
δοκιμαστικούς σωλήνες 13 x 100 mm
1-2 g μεταλλικό νάτριο (για χρήση
μόνο από τον καθηγητή)
Τρεις διπλές λαβίδες ή άλλη
κατάλληλη λαβίδα για τη στήριξη
του θερμομέτρου.
Δοκιμαστικός σωλήνας
18– x 150– mm
Στήριγμα δοκιμαστικών σωλήνων
Δακτύλιος και στήριγμα δακτυλίων
Λύχνος
Συρμάτινο πλέγμα
Κομματάκια πορσελάνης
Ποτήρι ζέσεως 100 ml
Ποτήρι ζέσεως 250 ml
Βαθμολογημένος κύλινδρος
των 100 ml

ΕΚΤΕΛΕΣΗ

Μέρος Α.

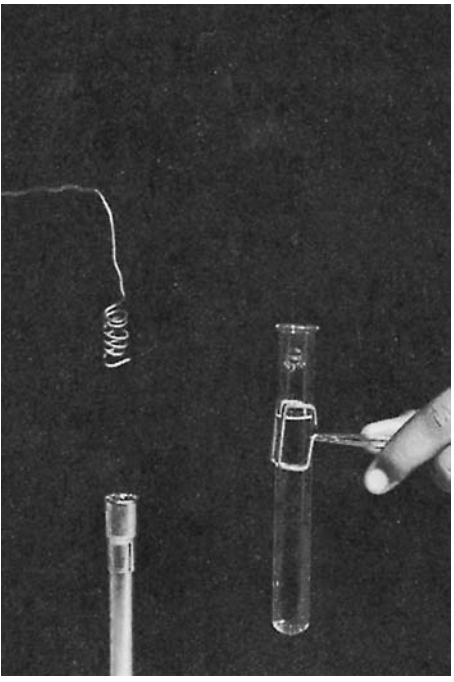
Να προσδιορίσετε το σημείο βρασμού της αλκοόλης που σας δόθηκε κατά τον ίδιο τρόπο με τον οποίο είχατε προσδιορίσει το σημείο βρασμού ενός υδρογονάνθρακα, στην παράγραφο 16.6. Οι συμμαθητές σας θα προσδιορίσουν το σημείο βρασμού της μεθανόλης, της αιθανόλης, της προπανόλης –1, της προπανόλης –2, της βουτανόλης –1, της βουτανόλης –2, και της 2–μεθυλο–προπανόλης –2. Να καταγράψετε στο τετράδιό σας όλα τα σημεία βρασμού που προσδιορίσατε.

Μέρος Β.

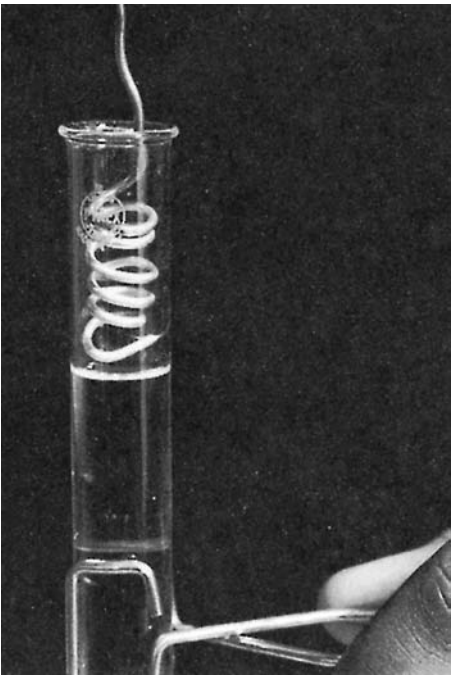
1. Προσθέστε 20 σταγόνες αιθανόλης σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα των 13 x 100 ml. Προσθέστε επίσης 5,0 ml διαλύματος 0,015 *M* διχρωμικού καλίου σε θειικό οξύ 3 *M*. Ανακινήστε μια φορά, για να αναμιχθεί το περιεχόμενο. Να παρατηρήσετε τις αλλαγές που συμβαίνουν στα επόμενα λεπτά. Να κρατήσετε αυτό το δοκιμαστικό σωλήνα με το περιεχόμενό του ως χρώμα αναφοράς (βάση συγκρίσεως) για τα επόμενα πειράματα.
2. Να επαναλάβετε την προηγούμενη άσκηση. Αυτή τη φορά να μετρήσετε το χρόνο που χρειάζεται για να αποκτήσει το διάλυμα ίδιο χρώμα με αυτό του περιεχομένου στο σωλήνα αναφοράς. Για να διευκολύνετε τη σύγκριση των χρωμάτων, κρατήστε τους δύο σωλήνες μαζί μπροστά από ένα κομμάτι λευκό χαρτί. Επειδή η αλλαγή του χρώματος γίνεται βαθμιαία, θα πρέπει να εκτιμήσετε εσείς πότε τα δύο χρώματα είναι όμοια.
3. Να επαναλάβετε το στάδιο 2 με προπανόλη –1, προπανόλη –2, βουτανόλη –1, βουτανόλη –2, μεθανόλη και 2–μεθυλο–προπανόλη –2.

Μέρος Γ.

1. Αδειάστε τους δοκιμαστικούς σωλήνες. Προσθέστε περίπου 1 ml (20 σταγόνες) καθεμιάς από τις αλκοόλες, στους αντίστοιχα σημειωμένους δοκιμαστικούς σωλήνες. Προσθέστε ακόμα 5 ml HCl 12 *M* στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Κλείστε τους δοκιμαστικούς σωλήνες με ένα ελαστικό πώμα και ανακινήστε τους επί ένα λεπτό. Παρατηρήστε την



ΣΧΗΜΑ 16-13α.



ΣΧΗΜΑ 16-13β.

ύπαρξη κάποιου ελαφρού θολώματος, που σημαίνει ότι κάποια ουσία είναι δυσδιάλυτη.

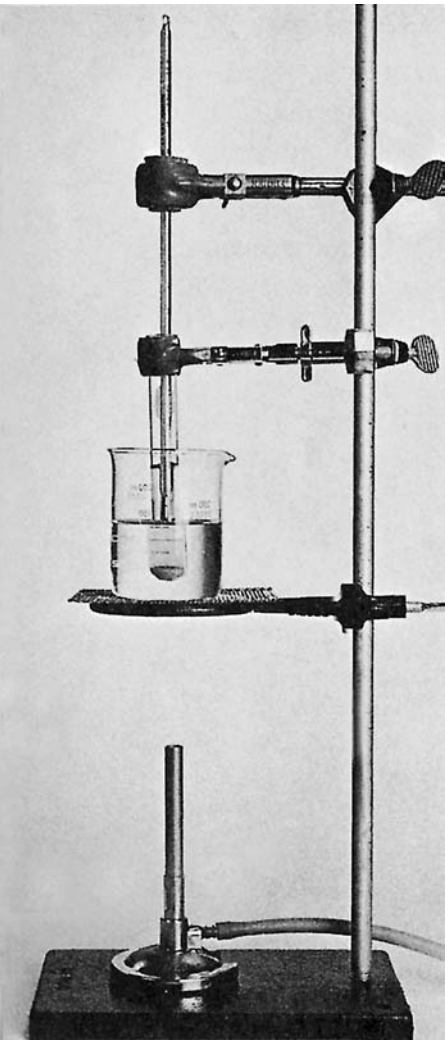
2. Εκτέλεση από τον καθηγητή. Να προστεθεί από 1 ml καθεμιάς από τις παραπάνω αλκοόλες σε επτά καθαρούς, ***στεγνούς*** δοκιμαστικούς σωλήνες. Προσθέστε μια λεπτή φέτα φρεσκοκομμένου μεταλλικού νατρίου στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Σημειώστε κάθε άμεση αντίδραση και κάθε αλλαγή που θα συμβεί μερικά λεπτά αργότερα.

Μέρος Δ.

1. Τοποθετήστε περίπου 2 ml μεθανόλης σε ένα μικρό δοκιμαστικό σωλήνα. Φτιάξτε ένα μικρό ελατήριο τυλίγοντας μερικές φορές γύρω από το μολύβι σας ένα γυμνό σύρμα χαλκού διαμέτρου –22. Αφήστε περίπου 15 cm ίσιο σύρμα, για να το χρησιμοποιήσετε ως λαβή. Κρατήστε το συρμάτινο ελατήριο στη φλόγα του λύχνου, μέχρι να ερυθροπυρωθεί (σχ. 16-13α). Βάλτε το θερμό σύρμα μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα, ώστε να βρεθεί ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της αλκοόλης (σχ. 16-13β). Να σημειώσετε την αλλαγή στην εμφάνιση του χάλκινου ελατηρίου. Μυρίστε προσεκτικά το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα φέρνοντας με το χέρι σας τους ατμούς προς τη μύτη σας. Να συγκρίνετε τους ατμούς με αυτούς της μεθανόλης. Η νέα ουσία που σχηματίσθηκε είναι η φορμαλδεΰδη, HCHO, η οποία είναι η ουσία που χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των δειγμάτων στα βιολογικά εργαστήρια.

   Προσοχή: Στα στάδια 2-5, κρατήστε τους δοκιμαστικούς σωλήνες μακριά από τα μάτια σας και από τους άλλους. Φοράτε γυαλιά ασφαλείας.

2. Μεταφέρατε περίπου 2,0 g διχρωμικού καλίου μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα 18 x 150 mm. Προσθέστε περίπου 10 ml θειικού οξέος 3 *M*. Στερεώστε το δοκιμαστικό σωλήνα σε έναν ορθοστάτη με μια κατάλληλη λαβίδα. Προσθέστε περίπου 125 ml νερό σε ένα ποτήρι των 250 ml. Με τη βοήθεια ενός δακτυλίου προσαρμοσμένου στον ίδιο ορθοστάτη, τοποθετήστε το ποτήρι με το νερό πάνω σε ένα μεταλλικό πλέγμα. Τοποθετήστε το λύχνο κάτω από το ποτήρι. Κατεβάστε το δοκιμαστικό σωλήνα με το διάλυμα του διχρωμικού καλίου μέσα στο νερό. Τοποθετήστε ένα θερμόμετρο μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα και στερεώστε το σε αυτήν τη θέση με μια λαβίδα (σχ. 16-14). Θερμάνατε το ποτήρι με το νερό, μέχρι να φθάσει η θερμοκρασία του διαλύματος του διχρωμικού καλίου τους 60-65·°C. Προσθέστε πολύ προσεκτικά ***μία*** σταγόνα αιθανόλης στο διάλυμα του διχρωμικού καλίου. Παρατηρήστε το αποτέλεσμα. Προσεκτικά προσθέστε και άλλη αλκοόλη, μια σταγόνα κάθε φορά, μέχρι να προσθέσετε συνολικά 8 σταγόνες. Απομακρύνατε το θερμόμετρο από το δοκιμαστικό σωλήνα. Με τη βοήθεια μιας λαβίδας κρατήστε το δοκιμαστικό σωλήνα και απομακρύνατέ τον από το υδρόλουτρο (το ποτήρι με το νερό). Μυρίστε προσεκτικά το περιεχόμενό του δημιουργώντας με το χέρι σας ελαφρύ ρεύμα αέρος προς τη μύτη σας. Συγκρίνατε τη μυρωδιά με αυτήν της αιθανόλης. Θερμάνατε το δοκιμαστικό σωλήνα με το περιεχόμενό του κατευθείαν πάνω από το λύχνο μέχρι να βράσει ζωηρά. Απομακρύνατε το λύχνο και μυρίστε πάλι προσεκτικά τους ατμούς. Εξακολουθήστε να βράζετε και να μυρίζετε το διάλυμα, μέχρι να σημειωθεί μια χαρακτηριστική αλλαγή στη μυρωδιά. Μερικές φορές, κατά τη διάρκεια του βρασμού, πλησιάστε ένα κομμάτι υγρού κυανού χάρτη ηλιοτροπίου στους ατμούς, στο στόμιο του δοκιμαστικού σωλήνα. Να σημειώσετε αν το χαρτί αλλάζει χρώμα. Κρατήστε το υδρόλουτρό σας για τα επόμενα στάδια.

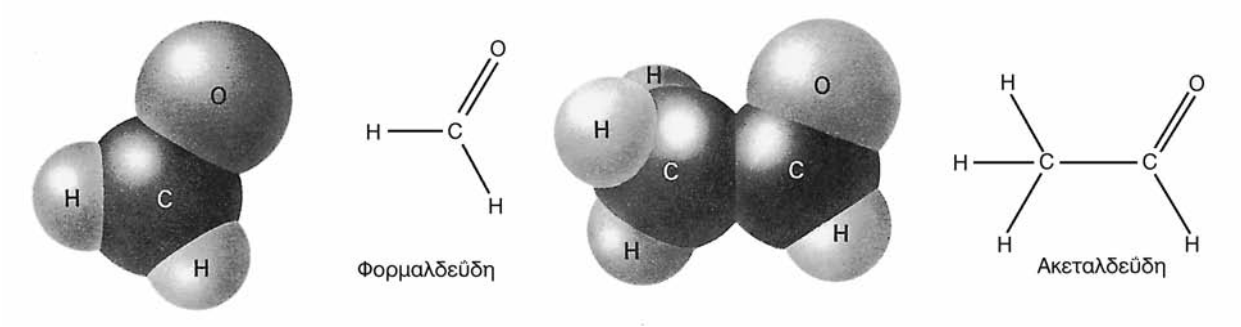


ΣΧΗΜΑ 16-14.

3. Προσθέστε 2–3 ml πυκνού οξικού οξέος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα των 18– x 150– mm. Προσθέστε ίσο όγκο αιθανόλης. Προσθέστε στο μίγμα 4–5 σταγόνες πυκνού θειικού οξέος. Ανακινήστε ζωηρά, για να αναμιχθούν. Με τη βοήθεια μιας μεταλλικής λαβίδας, στερεώστε το δοκιμαστικό σωλήνα στον ορθοστάτη, έτσι, ώστε το κάτω άκρο του να βυθίζεται στο υδρόλουτρο. Θερμάνατε το δοκιμαστικό σωλήνα και το περιεχόμενό του για μερικά λεπτά θερμαίνοντας μέχρι βρασμού το νερό στο υδρόλουτρο. Απομακρύνατε το λύχνο. Κρατώντας τον από τη λαβίδα, απομακρύνατε το δοκιμαστικό σωλήνα από το ζεστό νερό και μυρίστε προσεκτικά το περιεχόμενό του. Αν δεν είναι προφανής κάποια αλλαγή, θερμάνατε το σωλήνα ***προσεκτικά*** πάνω από το λύχνο για 1-2 λεπτά. Μυρίστε πάλι προσεκτικά το περιεχόμενό του.
4. Προσθέστε μερικούς κρυστάλλους σαλικυλικού οξέος, ώστε να γεμίσει το κοίλο κάτω μέρος ενός καθαρού, στεγνού δοκιμαστικού σωλήνα 18– x 150– mm. Προσθέστε περίπου 3 ml μεθανόλης και 4-5 σταγόνες πυκνού θειικού οξέος. Ανακινήστε μια φορά δυνατά, για να αναμιχθεί το περιεχόμενο. Θερμάνατε το δοκιμαστικό σωλήνα και το περιεχόμενό του μέσα σε ένα υδρόλουτρο, ακριβώς όπως κάνατε στο στάδιο 3. Εξακολουθήστε να θερμαίνετε μέχρι να αντιληφθείτε μια σημαντική μεταβολή στη μυρωδιά.
5. Επαναλάβατε το στάδιο 3, χρησιμοποιώντας πεντανόλη–1 (n–αμυλική αλκοόλη) αντί για αιθανόλη. Θερμάνατε, μέχρι να αλλάξει τελείως η μυρωδιά.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Γράψτε τους συντακτικούς τύπους για τις αλκοόλες που χρησιμοποιήσατε στα Μέρη Α, Β και Γ. Το αριθμητικό πρόθεμα δηλώνει τον αριθμό του ατόμου άνθρακα στην αλυσίδα του υδρογονάνθρακα που βρίσκεται ενωμένη η υδροξυ–ομάδα ή κάποιος άλλος υποκαταστάτης.
2. Εξετάστε τους τύπους τους οποίους γράψατε. Ποιες ενώσεις εμφανίζουν τις περισσότερες ομοιότητες στις δομές τους; Ποιες ενώσεις είναι ισομερείς μεταξύ τους;
3. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στα σημεία βρασμού και τις δομές των αλκοολών; Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στις αντιδράσεις των αλκοολών και τις δομές τους, σύμφωνα με όσα προσδιορίσθηκαν στα Μέρη Α, Β, και Γ;
4. Όταν μια αλκοόλη αντέδρασε με πυκνό υδροχλωρικό οξύ σχηματίσθηκε ένα αλκυλο–χλωρίδιο με το γενικό τύπο RCl. Γράψατε μια εξίσωση, που να δείχνει αυτήν την αντίδραση. Ποιο άλλο προϊόν θα πρέπει να σχηματίσθηκε συγχρόνως;
5. Συγκρίνατε τις διαφορές δραστικότητας των διαφόρων αλκοολών με το πυκνό υδροχλωρικό οξύ. Ποιο συμπέρασμα προκύπτει για τη σχετική σταθερότητα των δεσμών που συγκρατούν τις υδροξυ–ομάδες στα άτομα άνθρακα κάθε μορίου;
6. Ποιο ήταν το αέριο που σχηματίσθηκε, όταν το νάτριο αντέδρασε με μερικές από τις αλκοόλες; Αν δεν είστε βέβαιοι, πώς θα μπορούσατε να ελέγξετε το αέριο, για να πιστοποιήσετε την ταυτότητά του; Ποια άλλα προϊόντα σχηματίζονται;
7. Γιατί αποχρωματίσθηκε το σύρμα του χαλκού, όταν θερμάνθηκε με το λύχνο; Να συγκρίνετε τους τύπους της μεθανόλης και της φορμαλδεΰδης (σχ. 16-15 για τον τύπο της φορμαλδεΰδης). Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στη μετατροπή της μεθανόλης σε φορμαλδεΰδη και τη μεταβολή του χρώματος του χαλκού από το σχεδόν μαύρο στο αρχικό ανοικτό χρώμα του χαλκού; Τι άλλο πρέπει να σχηματίσθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της



ΣΧΗΜΑ 16-15. *Στερεοχημικά πρότυπα και συντακτικοί τύποι της φορμαλδεΰδης και της ακεταλδεΰδης.*

αντιδράσεως;

8. Στο στάδιο 2 του Δ μέρους, μήπως υπήρχε κάποια ομοιότητα ανάμεσα στη μυρωδιά του πρώτου προϊόντος της αντιδράσεως μεταξύ αιθανόλης και διχρωμικού καλίου, και στη μυρωδιά της φορμαλδεΰδης; Τι θα συμπεραίνατε από κάτι τέτοιο; Τι σας θυμίζει η μυρωδιά που προκύπτει τελικά από αυτήν την αντίδραση; Πώς δικαιολογείται την αλλαγή στο χρώμα του χάρτη του ηλιοτροπίου;
9. Οι ενώσεις με την ευχάριστη οσμή που σχηματίζονται στα στάδια 3, 4 και 5 του Δ μέρους, είναι γνωστές ως ***εστέρες***. Σχηματίζονται, όταν μια αλκοόλη αντιδρά με ένα οξύ. Γράψτε μια γενική εξίσωση, για να παραστήσετε αυτήν την αντίδραση, λαμβάνοντας υπόψη σας ότι σχηματίζεται επίσης νερό, κατά την επίδραση αυτήν, και παριστάνοντας την αλκοόλη με το ROH και το οξύ με το R΄COOH.

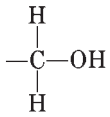
16.13 Αλδεΰδες.

Η ήπια οξείδωση μιας αλκοόλης που έχει την ομάδα –OH συνδεδεμένη σε ένα ακραίο άτομο άνθρακα δημιουργεί μια νέα ένωση, που ονομάζεται ***αλδεΰδη***. Αυτό το είδος της αντιδράσεως παριστάνεται από την οξείδωση της αιθανόλης με το διχρωμικό κάλιο:

$$CH_3CH_2OH + [O] \xrightarrow{\text{διχρωμικό κάλιο}} CH_3CHO + H_2O$$

Η εξίσωση αυτή δείχνει ότι το οξυγόνο από το $K_2Cr_2O_7$ αντιδρά με την αλκοόλη και σχηματίζει μια αλδεΰδη και νερό. Δεν δείχνει πώς μεταβάλλεται το $K_2Cr_2O_7$, αλλά αυτό είναι κάτι που δεν μας απασχολεί προς το παρόν.

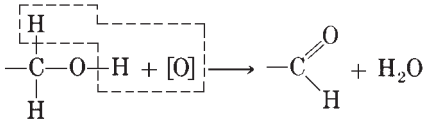
Αυτό που συμβαίνει στην πραγματικότητα είναι ότι η ομάδα αυτή



οξειδώθηκε σε αλδεϋδομάδα

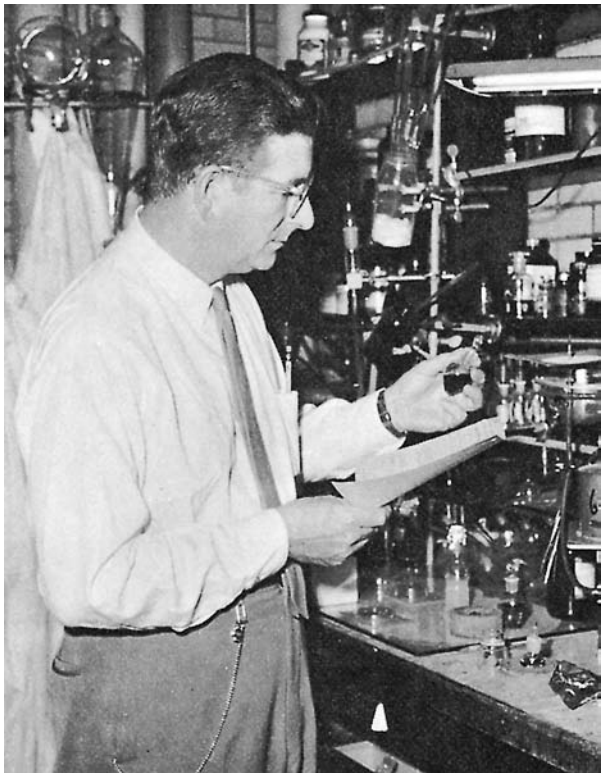


σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Βλέπετε ότι δύο άτομα υδρογόνου απομακρύνθηκαν από την αλκοόλη. Το όνομα αλδεΰδη προκύπτει από το αγγλικό όνομα της αφυδρογονωμένης αλκοόλης (***alcohol dehydro***).

Τα παλαιότερα ονόματα μερικών αλδεϋδών είναι τόσο πολύ διαδεδομένα, ώστε εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται αντί για τα νεότερα συστηματικά ονόματα. Έτσι, η αλδεΰδη με τον ένα άνθρακα είναι γνωστή με το εμπειρικό της όνομα φορμαλδεΰδη, ενώ αυτή με τους δύο άνθρακες είναι γνωστή με το εμπειρικό όνομα ακεταλδεΰδη. Παρ' όλα αυτά, τα ονόματα τώρα



Robert Burns Woodward (1917 - 1979)

Ο Robert Woodward τελείωσε τη βασική του εκπαίδευση σε χρόνο ρεκόρ. Απεφοίτησε από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασσαχουσέτης στα δεκαεννιά του χρόνια, πήρε το διδακτορικό του στα είκοσι και έγινε καθηγητής χημείας στο πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ στα είκοσι ένα του.

Η δράση πολλών ουσιών φυσικής προελεύσεως πάνω στους ζώντες οργανισμούς ήταν από καιρό γνωστές. Αν και πολλές από αυτές είναι δυνατόν να παραληφθούν από τις φυσικές τους πηγές με εκχύλιση, εν τούτοις η ποιότητα και η απόδοση ποικίλλει πολύ. Σκοπός των επιστημόνων ήταν να αναπτύξουν απλούς, οικονομικούς και αξιόπιστους τρόπους συνθετικής παρασκευής αυτών των ενώσεων, ξεκινώντας από απλά μόρια.

Η κινίνη χρησιμοποιείται εδώ και περισσότερα από τριακόσια χρόνια για τη θεραπεία της ελονοσίας. Παραλαμβανόταν με εκχύλιση από το φλοιό του δένδρου της κιγχόνης, που φύεται στη νότια Αμερική. Η κινίνη έχει πολύπλοκη δομή με αρκετούς αλληλοσυνδεόμενους δακτυλίους ατόμων άνθρακα. Ο Άγγλος χημικός William Perkin προσπάθησε να τη συνθέσει το 1870, αλλά αντί γι' αυτήν ανακάλυψε τον τρόπο συνθέσεως των πρώτων στον κόσμο χρωμάτων από λιθανθρακόπισσα. Η σύνθεση της κινίνης απεδείχθη πολύ δύσκολη, αλλά τελικά επετεύχθη από τον Robert Woodward και τον Doering, ένα συνεργάτη του χημικό, το 1944.

Το 1951, ο Woodward κατόρθωσε να συνθέσει, ξεκινώντας από απλές ενώσεις, τη χοληστερίνη, μια ουσία που φαίνεται να είναι κυρίως υπεύθυνη για τη σκλήρυνση των αρτηριών.

Ακολούθησε η σύνθεση μιας άλλης ανάλογης ουσίας, της κορτιζόνης, η χρήση της οποίας σε πρόγραμμα θεραπείας της ρευματοειδούς αρθρίτιδας και άλλων ασθενειών είχε εκπληκτικά αποτελέσματα. Συνέθεσε επίσης τη στρυχνίνη, η οποία είναι μια πολύπλοκη ένωση με δομή επτακυκλική, τη χλωροφύλλη, την πράσινη χρωστική ουσία των φυτών, καθώς επίσης δύο ουσίες με ασυνήθη και σημαντική δράση στον ανθρώπινο εγκέφαλο, το λυσεργικό οξύ και τη ρεζερπίνη.

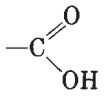
Ο Woodward με το σπουδαιότατο έργο του, πέραν του ότι προήγαγε την επιστήμη της χημείας και οι κατακτήσεις του βρήκαν πρακτικές εφαρμογές, χάραξε το δρόμο για τη σύνθεση ακόμη πιο πολυπλόκων ενώσεων στα χρόνια που ακολούθησαν.

σχηματίζονται από το όνομα του αντίστοιχου υδρογονάνθρακα με τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα με αυτόν της αλδεΰδης και την κατάληξη –αλη. Έτσι, η CH_3CH_2CHO ονομάζεται προπανάλη (από το προπάνιο), η $CH_3CH_2CH_2CHO$ ονομάζεται βουτανάλη κ.λ.π.

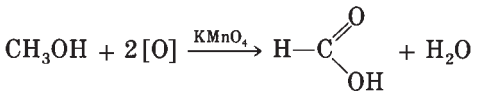
Οι συντακτικοί τύποι και τα μοριακά πρότυπα για τη φορμαλδεΰδη και την ακεταλδεΰδη δίνονται στο σχήμα 16-15.

16.14 Καρβοξυλικά οξέα.

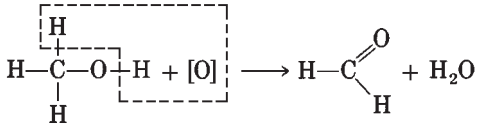
Μία οργανική αλκοόλη είναι δυνατόν να οξειδωθεί ακομή εντονότερα και να σχηματίσει έτσι μία ακόμη οικογένεια οργανικών ενώσεων, που έχει το όνομα ***καρβοξυλικά οξέα*** (οργανικά οξέα). Τα οξέα αυτά χαρακτηρίζονται από μία δραστική ομάδα με το όνομα ***καρβοξυλ***ομάδα, η οποία έχει την ακόλουθη δομή:



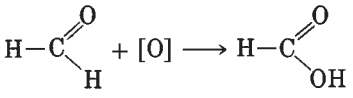
Προκειμένου να παραστήσομε την οξείδωση μιας αλκοόλης προς ένα καρβοξυλικό οξύ, γράφομε την ακόλουθη εξίσωση οξειδώσεως της μεθανόλης από το υπερμαγγανικό κάλιο:



Η αντίδραση αυτή στην πραγματικότητα συντελείται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο σχηματίζεται μια αλδεΰδη:



Στο δεύτερο στάδιο, ακόμη ένα άτομο οξυγόνου αντιδρά με την αλδεΰδη και σχηματίζει ένα οξύ:



Βέβαια, είναι δυνατόν να ξεκινήσομε από μία αλδεΰδη και να την οξειδώσομε προς ένα οξύ.

Το οξύ που λαμβάνεται από την προηγούμενη αντίδραση είναι το απλούστερο δυνατό καρβοξυλικό οξύ. Ονομάζεται μυρμηκικό οξύ.

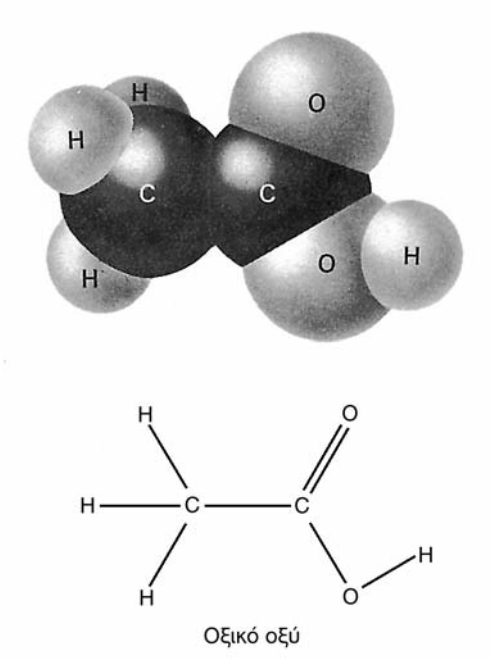
Οι αλκοόλες με περισσότερα από ένα άτομα άνθρακα μπορούν να οξειδωθούν επίσης προς τα αντίστοιχα καρβοξυλικά οξέα. Η αιθανόλη, για παράδειγμα, οξειδώνεται προς οξικό οξύ. Ο συντακτικός τύπος και το μοριακό πρότυπο του οξικού οξέος δίνονται στο σχήμα 16-16.

Ίσως να μην το γνωρίζετε, αλλά χωρίς αμφιβολία χρησιμοποιείτε καθημερινά μερικά σημαντικά καρβοξυλικά οξέα. Το ξύδι είναι ένα αραιωμένο, περίπου πέντε στα εκατό, διάλυμα οξικού οξέος σε νερό. Αν μυρίσατε ποτέ ταγγισμένο βούτυρο, θα θυμάστε ακόμη τη δυσάρεστη μυρωδιά. Η μυρωδιά αυτή οφείλεται στο βουτυρικό οξύ, $CH_3CH_2CH_2COOH$.

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των καρβοξυλικών οξέων είναι ότι ένα ή περισσότερα από τα άτομα της καρβοξυλομάδας μπορούν να αντικατασταθούν από άλλα άτομα ή ομάδες. Σε μερικές από τις επόμενες παραγράφους θα αναφερθούν κάποια σημαντικά είδη ενώσεων που είναι δυνατόν να προκύψουν κατ' αυτόν τον τρόπο.

16.15 Κετόνες.

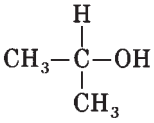
Όταν εξετάσθηκαν οι αλκοόλες, αναφέρθηκε ότι, αν η αλυσίδα του άνθρακα περιέχει τρία ή



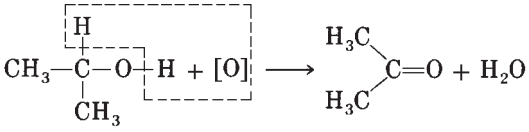
ΣΧΗΜΑ 16-16. *Στερεοχημικό πρότυπο και συντακτικός τύπος του οξικού οξέος.*

περισσότερα άτομα, δημιουργούνται ισομερή, επειδή η ομάδα –OH μπορεί να βρίσκεται πάνω σε ένα ακραίο άτομο ή πάνω σε ένα από τα ενδιάμεσα άτομα άνθρακα. Αναφέρθηκε στο σχήμα 16-12 ότι και η προπανόλη –1 (n–προπυλική αλκοόλη) και η προπανόλη –2 (ισοπροπυλική αλκοόλη ή ισοπροπανόλη) είναι παράγωγα του προπανίου. Όπως είδαμε, όταν μια αλκοόλη με ομάδα –OH σε κάποιο ακραίο άτομο άνθρακα οξειδώνεται ήπια, δημιουργείται μια αλδεΰδη.

Τι συμβαίνει όμως, όταν οξειδώνεται ήπια μια αλκοόλη σαν την προπανόλη –2; Προκειμένου να απαντήσετε σε αυτήν την ερώτηση, γράψτε πρώτα το συντακτικό τύπο της αλκοόλης, σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο:



Διαπιστώνετε έτσι ότι η οξείδωσή της, η οποία ακολουθεί, είναι όμοια με αυτήν που αναφέρεται στην παράγραφο 16.13.



Το οργανικό προϊόν της αντιδράσεως είναι μία ***κετόνη***, η οποία διαφέρει από μιαν αλδεΰδη ως προς το ότι η κετόνη δεν διαθέτει άτομο υδρογόνου συνδεδεμένο με το άτομο του άνθρακα που σχηματίζει το διπλό δεσμό με το άτομο του οξυγόνου, όπως συμβαίνει στις αλδεΰδες.

Και οι κετόνες αλλά και οι αλδεΰδες περιέχουν την ομάδα:



η οποία ονομάζεται ***καρβονυλική*** ομάδα. Και τα οργανικά οξέα περιέχουν, επίσης, αυτήν την ομάδα. Ο παράγοντας που διαφοροποιεί αυτές τις τρεις κατηγορίες ενώσεων είναι η φύση των ομάδων που συνδέονται με την καρβονυλική ομάδα. Στην κάθε περίπτωση υπάρχει στο κάθε άκρο μία αλυσίδα υδρογονανθράκων, την οποία συμβολίζομε με R. Στον πίνακα 16.6 αναφέρονται μερικά παραδείγματα, που δείχνουν πώς εξαρτάται το είδος της ενώσεως από τη φύση της άλλης ομάδας, X.

* *Σ.τ.Μ. Και τα φυτικά λίπη και λάδια.*

ΠΙΝΑΚΑΣ 16.6.

Μερικές ενώσεις που περιέχουν καρβονυλική ομάδα.

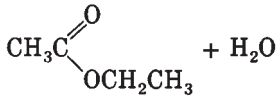
Το X στην ένωση 	Κατηγορία ενώσεως	Τύπος
Άλλη ομάδα υδρογονάνθρακα, R′	Κετόνη	
H	Αλδεΰδη	
OH	οξύ	

16.16 Εστέρες.

Όπως αναφέρθηκε, οι δραστικές ομάδες είναι σημαντικές, επειδή αποτελούν τμήματα ενός οργανικού μορίου το οποίο αντιδρά συνήθως ευκολότερα. Μία πολύ σημαντική αντίδραση ανάμεσα σε δυο είδη δραστικών ομάδων, την οποία έχομε κιόλας μελετήσει, αναφέρεται σε μια καρβοξυλική ομάδα και στην υδροξυ–ομάδα μιας αλκοόλης. Το αποτέλεσμα αυτής της αντιδράσεως, όπως φαίνεται και από την εξίσωση που ακολουθεί, είναι ένας ***εστέρας***:

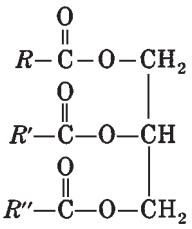


οξικό οξύ αιθανόλη

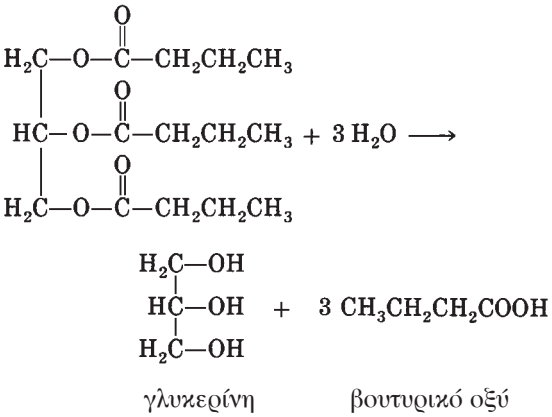


οξικός αιθυλεστέρας

Οι τριεστέρες της γλυκερίνης, που έχει τρεις αλκοολικές ομάδες, αποτελούν μια σημαντικότατη κατηγορία ενώσεων με το όνομα ***γλυκερίδια***. Πρακτικά, όλα τα ζωικά λίπη* αποτελούνται από γλυκερίδια. Οι όξινες ομάδες, δηλαδή τα τμήματα των γλυκεριδίων που προέρχονται από καρβοξυλικά οξέα, διαφέρουν από λίπος σε λίπος. Αν με RCOOH παραστήσομε το γενικό τύπο ενός καρβοξυλικού οξέος, τότε ένα γλυκερίδιο παριστάνεται με τον ακόλουθο γενικό τύπο:



Ένα από τα λιπαρά συστατικά του βουτύρου περιέχει ομάδες βουτυρικού οξέος. Το βούτυρο ταγγίζει, όταν κάποιοι μικροοργανισμοί αναγκάζουν τις ομάδες των εστέρων να διασπασθούν σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



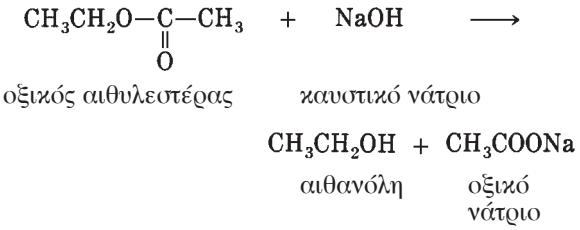
γλυκερίνη βουτυρικό οξύ

Έτσι, παράγεται βουτυρικό οξύ, με αποτέλεσμα τη χαρακτηριστική μυρωδιά του ταγγισμένου βουτύρου.

Στα γλυκερίδια που απαντούν στα περισσότερα ζωικά λίπη τα τμήματα του μορίου τους, που μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχονται από οξέα, έχουν πολύ μακριές αλυσίδες. Οι αλυσίδες αυτές περιέχουν συνήθως 15-17 άτομα άνθρακα.

16.17 Σαπούνια και απορρυπαντικά.

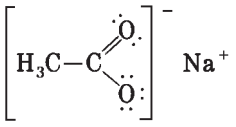
Όλοι οι εστέρες είναι δυνατόν, όταν τεθούν σε θερμά διαλύματα καυστικού νατρίου, να διασπασθούν στις αλκοόλες και τα οξέα από τα οποία αποτελούνται. Κατ' αυτόν τον τρόπο η μεν αλκοόλη λαμβάνεται ως έχει, το δε οξύ λαμβάνεται ως το μετά νατρίου άλας αυτού. Στην επόμενη εξίσωση φαίνεται μια χαρακτηριστική αντίδραση αυτού του τύπου:



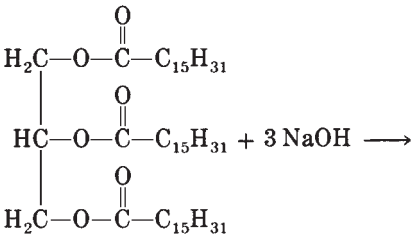
οξικός αιθυλεστέρας καυστικό νάτριο

αιθανόλη οξικό νάτριο

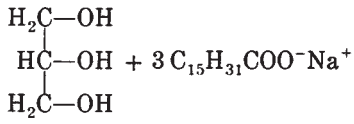
Το μετά νατρίου άλας διαφέρει από το καρβοξυλικό οξύ ως προς το ότι περιέχει ως τμήμα της καρβοξυλικής ομάδας του αντί για ένα άτομο υδρογόνου ένα άτομο νατρίου. Υπάρχει μια διαφορά ανάμεσα στο δεσμό με Na και στο δεσμό με Η. Ο δεσμός O–H είναι βασικά ομοιοπολικός, αν και έχει κάποιον ιοντικό χαρακτήρα. Ο δεσμός όμως O–Na έχει σχεδόν εξ ολοκλήρου ιοντικό χαρακτήρα. Το άλας του νατρίου παριστάνεται καλύτερα με το συνδυασμό δύο ιόντων:



Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα ζωικά λίπη είναι γλυκερίδια που περιέχουν ομάδες με μακρές αλυσίδες που προέρχονται από οξέα. Αν αυτά τεθούν σε θερμό διάλυμα καυστικού νατρίου διασπώνται σχηματίζοντας ως προϊόντα γλυκερίνη και τα μετά νατρίου άλατα των οξέων με μακρές αλυσίδες.



τριπαλμιτική γλυκερίνη
(κάποιο λίπος)



γλυκερίνη παλμιτικό νάτριο
(σαπούνι)

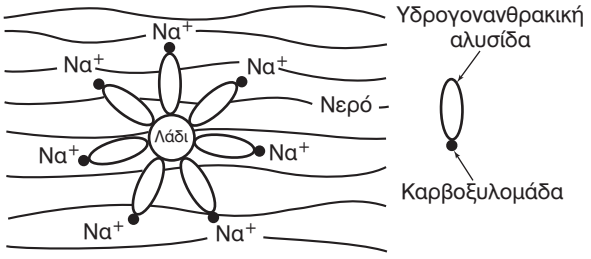
Έτσι, ***σαπούνια*** είναι τα μετά νατρίου (και μερικές φορές τα μετά καλίου) άλατα των οξέων, που έχουν μακρές αλυσίδες, από άτομα άνθρακα. Τι ακριβώς συμβαίνει με τα μόρια των σαπουνιών, ώστε αυτά να χρησιμοποιούνται ως υλικό καθαρισμού;

Η ιδιότητα ενός σαπουνιού να καθαρίζει εξαρτάται από το ότι το ένα άκρο του μορίου του μοιάζει πάρα πολύ με λιπαρό μόριο*, ενώ το άλλο άκρο του είναι ιοντικό. Τα λίπη και τα έλαια δεν

αναμιγνύονται και δεν διαλύονται στο νερό, αλλά τα διάφορα λίπη και έλαια αναμιγνύονται μεταξύ τους. Οι περισσότερες ιοντικές ενώσεις που περιέχουν ιόντα νατρίου διαλύονται στο νερό, αλλά δεν διαλύονται σε λίπη ή έλαια. Για παράδειγμα, το χλωριούχο νάτριο (μαγειρικό αλάτι) διαλύεται πολύ καλά στο νερό, αλλά καθόλου σε κάποιο λάδι όπως, π.χ. στο ελαιόλαδο. Το μόριο ενός σαπουνιού είναι αποτελεσματικό επειδή έχει την ιδιότητα να αλληλεπιδρά με τα λίπη, τα έλαια και το νερό. Η μακρά αλυσίδα των ατόμων άνθρακα που διαθέτει, εισχωρεί στα μόρια που συνιστούν τα λίπη και τα έλαια, ενώ το ιοντικό άκρο του εισχωρεί στο νερό. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 16-17, μικρά σωματίδια ή σταγονίδια λιπαρών ή ελαιωδών ουσιών, αντί να διαχωρίζονται από το νερό, διασκορπίζονται μέσα σε αυτό με τη βοήθεια των μορίων του σαπουνιού.

Θα σας εκπλήξει το γεγονός ότι οι χημικοί έμαθαν για τη δράση των σαπουνιών μόλις πριν μερικές δεκαετίες. Από τη στιγμή που κατενόησαν τον τρόπο δράσεως τους, αντελήφθησαν ότι και άλλα μόρια, μερικά από τα οποία δεν είχαν ακόμη καν παρασκευασθεί, θα είχαν τη δυνατότητα να επιτύχουν ακριβώς το ίδιο πράγμα. Αυτό που χρειαζόταν ήταν απλά ένα μόριο με μια μακρά αλυσίδα υδρογονάνθρακα και μια ιοντική ομάδα στην άκρη. Δεν ήταν απαραίτητο αυτή η ιοντική ομάδα να είναι η $-COO^-Na^+$. Οποιαδήποτε άλλη ομάδα, η οποία θα διαλυόταν στο νερό, θα μπορούσε να έχει την ίδια δράση. Αυτό που παρακινούσε τους χημικούς να ψάξουν και να συνθέσουν άλλα παράγωγα ήταν η ελπίδα να ανακαλύψουν ένα απορρυπαντικό, το οποίο θα είχε καλύτερα αποτελέσματα από ό,τι τα σαπούνια. Ήλπιζαν επίσης να ανακαλύψουν κάποια ουσία, η οποία θα μπορούσε να έχει τουλάχιστον την ίδια δράση με το σαπούνι, αλλά θα κόστιζε πολύ λιγότερο.

Έπειτα από πολλές ερευνητικές προσπάθειες βρέθηκε ότι ο καλύτερος τρόπος για την παρασκευή προϊόντος με καλές ιδιότητες και λογικό κόστος είναι η χρησιμοποίηση μορίων, τα οποία αντί για καρβοξυλική ομάδα περιέχουν θειική υδρόφιλο ομάδα $R-OSO_3^-Na^+$. Ουσίες



ΣΧΗΜΑ 16-17. *Διάγραμμα που παριστάνει τη δράση των σαπουνιών. Οι αλυσίδες του υδρογονάνθρακα έλκονται προς τη μεριά του ελαίου, ενώ οι ιοντικές ομάδες $CO_2^-Na^+$ προτιμούν το νερό.*

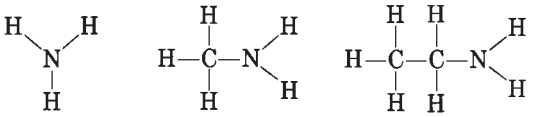
αυτού του τύπου ονομάζονται ***απορρυπαντικά***. Και τα σαπούνια είναι απορρυπαντικά, αλλά συνήθως ο όρος χρησιμοποιείται για τα νεότερα υλικά, ώστε να διακρίνονται από τα σαπούνια.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες** γίνεται μεγαλύτερη χρήση απορρυπαντικών παρά σαπουνιών. Τα απορρυπαντικά είναι σε πολλές περιπτώσεις φθηνότερα και, προκειμένου για ορισμένες εφαρμογές, καλύτερα από τα σαπούνια. Σημαντικότερο είναι το γεγονός ότι η πρώτη ύλη των σαπουνιών είναι περιορισμένη, επειδή όλα παρασκευάζονται από ζωικά λίπη***. Τα αποθέματα ζωικού λίπους είναι περιορισμένα, έστω και αν υπάρχει ανεπτυγμένη κτηνοτροφία. Τα περισσότερα απορρυπαντικά αντίστοιχα προέρχονται από προϊόντα πετρελαίου, τα οποία υπάρχουν γενικά σε μεγαλύτερες ποσότητες.

16.18 Δραστικές ομάδες που περιέχουν Άζωτο: Αμίνες και αμίδια.

Πολύ σημαντική δραστική ομάδα είναι η ***αμινο***–ομάδα, $-NH_2$. Όταν στο μόριο της αμμωνίας NH_3 αντικατασταθεί ένα υδρογόνο από ένα αλκύλιο, σχηματίζεται μια ένωση γνωστή ως ***αμίνη***. Για παράδειγμα, αν το αλκύλιο είναι μεθύλιο, σχηματίζεται η απλούστερη αμίνη, CH_3NH_2, γνωστή ως μεθυλαμίνη. Παρομοίως, και η ένωση $CH_3CH_2H_2$ είναι μια αμίνη, η αιθυλαμίνη. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι δύο ενώσεις χαρακτηρίζονται ως παράγωγα της αμμωνίας (στα λατινικά ονομάζεται ***αμίνη***).

* *Σ.τ.Μ. Μακρά αλυσίδα από άτομα άνθρακα.*
** *Σ.τ.Μ. Και σε πολλές άλλες χώρες.*
*** *Σ.τ.Μ. Και φυτικά.*

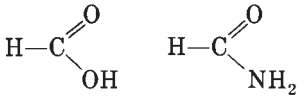


Αμμωνία (Αμίνη) | Μεθυλαμίνη (Αμινομεθάνιο) | Αιθυλαμίνη (Αμινοαιθάνιο)

Οι ανωτέρω ενώσεις θεωρούνται παράγωγα των υδρογονανθράκων και τους δίδονται ανάλογα ονόματα. Τα συστηματικά αυτά ονόματα, όπως αμινομεθάνιο και αμινοαιθάνιο, σπάνια χρησιμοποιούνται για τις κατώτερες αμίνες, αλλά γενικά χρησιμοποιούνται για τις πιο πολύπλοκες.

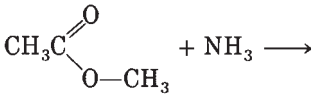
Προκειμένου για την ονοματολογία ή και για οποιονδήποτε άλλο λόγο, δεν έχει σημασία αν θα θεωρηθούν οι αμίνες ως παράγωγα των υδρογονανθράκων ή της αμμωνίας. Μια άλλη άποψη θα μπορούσε να θεωρηθεί χρήσιμη, όταν εξετάζει κάποιος τη δεύτερη σημαντική κατηγορία ενώσεων που περιέχουν την ομάδα $-NH_2$. Είναι η άποψη ότι οι αμίνες περιέχουν την ομάδα $-NH_2$, ενώ οι αντίστοιχες αλκοόλες περιέχουν την ομάδα $-OH$.

Όταν η ομάδα $-OH$, που αποτελεί μέρος της καρβοξυλομάδας, αντικατασταθεί με $-NH_2$, σχηματίζεται ένα ***αμίδιο***. Για παράδειγμα, αν αντικατασταθεί η ομάδα $-OH$ του μυρμηκικού οξέος με $-NH_2$, δίνει το απλούστερο αμίδιο, το φορμαμίδιο:

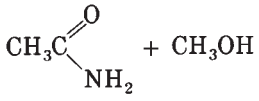


μυρμηκικό οξύ | φορμαμίδιο

Ένας τρόπος σχηματισμού ενός αμιδίου είναι να αντιδράσει ένας εστέρας με αμμωνία, όπως δείχνει η εξίσωση που ακολουθεί:

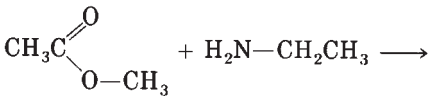


οξικός μεθυλεστέρας

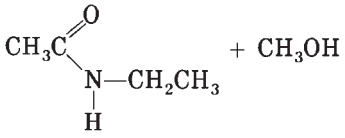


ακεταμίδιο

Αν χρησιμοποιηθεί μία αμίνη αντί για αμμωνία, πραγματοποιείται μία ανάλογη αντίδραση:

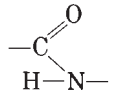


οξικός μεθυλεστέρας



N–αιθυλακεταμίδιο

Αυτού του είδους το παράγωγο ονομάζεται αζω–υποκατεστημένο αμίδιο. Ειδικά αυτό το οποίο αναφέρθηκε ονομάζεται N–αιθυλοακεταμίδιο (N σημαίνει ότι το αιθύλιο συνδέεται με το άτομο του αζώτου). Τα αμίδια έχουν ιδιαίτερη σημασία γιατί η ομάδα

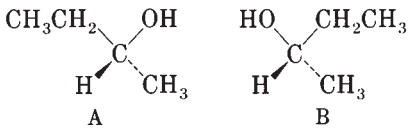


αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο των μεγάλων μορίων με το όνομα πρωτεΐνες, για τις οποίες θα γίνει λόγος στο κεφάλαιο 18.

Οι πίνακες 16.7 και 16.8 παρουσιάζουν τα ονόματα των διαφόρων ομάδων οργανικών ενώσεων, οι οποίες εξετάσθηκαν. Στους πίνακες συμπεριλαμβάνονται μερικά από τα σημαντικότερα μέλη της κάθε κατηγορίας, ταξινομημένα σύμφωνα με τον αριθμό ατόμων άνθρακα που περιέχουν.

16.19 Δεξιόστροφα και αριστερόστροφα μόρια.

Προηγουμένως εξετάσθηκαν δύο είδη ισομέρειας, η συντακτική και η γεωμετρική. Ένα τρίτο είδος ισομέρειας έχει μεγάλη σημασία. Έστω ότι δύο ουσίες, Α και Β, έχουν τις ακόλουθες δομές (το σχήμα 16–18 δείχνει επακριβώς τις δομές που αντιστοιχούν στους επόμενους τύπους):



A | B

Είναι άραγε οι ουσίες αυτές ισομερείς ή μήπως είναι όμοιες;

Σύμφωνα με τις δύο έννοιες τις οποίες ήδη μελετήσαμε, δεν είναι ισομερείς. Δεν είναι συντακτικώς ισομερείς, γιατί τα άτομά τους βρίσκονται διατεταγμένα κατά τον ίδιο τρόπο. Η

ΠίΝΑΚΑώ 16.7.

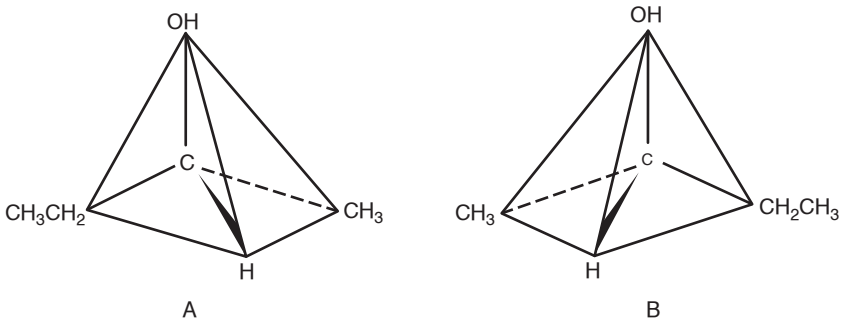
Ανάλογες ονοματολογίες στα αλκάνια, στις αλκοόλες και τις αμίνες.

Αριθμός ατόμων άνθρακα	Αλκάνια	Αλκοόλες	Αμίνες
1	CH_4 Μεθάνιο	CH_3OH Μεθανόλη Μεθυλική αλκοόλη	CH_3NH_2 Μεθυλαμίνη
2	CH_3CH_3 Αιθάνιο	CH_3CH_2OH Αιθανόλη Αιθυλική αλκοόλη	$CH_3CH_2NH_2$ Αιθαλομίνη
3	$CH_3CH_2CH_3$ Προπάνιο	$CH_3CH_2CH_2OH$ Προπανόλη–1 Προπυλική αλκοόλη	$CH_3CH_2CH_2NH_2$ Προπανολαμίνη–1
4	$CH_3CH_2CH_2CH_3$ Βουτάνιο	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ Βουτανόλη–1 Βουτυλική αλκοόλη	$CH_3CH_2CH_2CH_2NH_2$ Βουτυλαμίνη–1
8	$CH_3(CH_2)_6CH_3$ Οκτάνιο	$CH_3(CH_2)_6CH_2OH_2$ Οκτανόλη–1 Οκτυλική αλκοόλη	$CH_3(CH_2)_6CH_2NH_2$ Οκτυλαμίνη–1

ΠίΝΑΚΑώ 16.8.

Ονοματολογία οξέων, αμιδίων και εστέρων.

Αριθμός ατόμων άνθρακα	Αλκάνια	Αλκοόλες	Αμίνες
1	HCOOH Μυρμηκικό οξύ	$HCONH_2$ Φορμαμίδιο	$HCOOCH_3$ Μυρμηκικός μεθυλεστέρας
2	CH_3COOH Οξικό οξύ	CH_3CONH_2 Ακεταμίδιο	CH_3COOCH_3 Οξικός μεθυλεστέρας
3	CH_3CH_2COOH Προπιονικό οξύ	$CH_3CH_2CONH_2$ Πριπιοναμίδιο	$CH_3CH_2COOCH_3$ Προπιονικός μεθυλεστέρας
4	$CH_3CH_2CH_2COOH$ Βουτυρικό οξύ	$CH_3CH_2CH_2CONH_2$ Βουτυραμίδιο	$CH_3CH_2CH_2COOCH_3$ Βουτυρικός μεθυλεστέρας
8	$CH_3(CH_2)_6COOH$ Οκτανοϊκό οξύ Καπρυλικό οξύ	$CH_3(CH_2)_6CONH_2$ Οκταναμίδιο Καπρυλαμίδιο	$CH_3(CH_2)_6COOCH_3$ Οκτανοϊκός μεθυλεστέρας Καπρυλικός μεθυλεστέρας



ΣΧΗΜΑ 16-18. *Οι τρισδιάστατες δομές των μορίων των ουσιών Α και Β που αναφέρονται στο κείμενο.*

κάθε μία περιέχει υποομάδες συνδεδεμένες επίσης κατά τον ίδιο τρόπο. Αλλά δεν είναι ούτε γεωμετρικώς ισομερείς, επειδή σε αυτό το μόριο δεν υπάρχει δυνατότητα κάποιου *cis* ή *trans* χαρακτήρα.

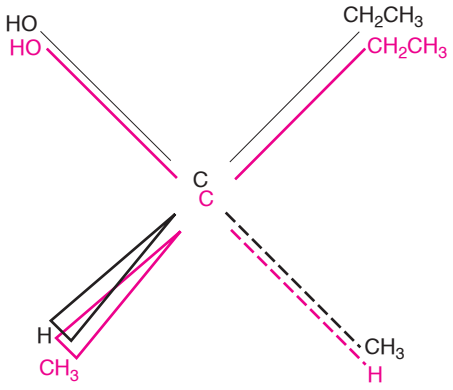
Επί πλέον, είναι αλήθεια ότι δείγματα καθαρών ουσιών Α και Β είναι όμοια ως προς όλες τις κοινές φυσικές ιδιότητές τους, όπως είναι το χρώμα, το σημείο τήξεως, το σημείο βρασμού, η διπολική ροπή, η πυκνότητα και η διαλυτότητα στο νερό. Οι κοινές χημικές ιδιότητες αυτών είναι επίσης όμοιες. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να οξειδωθούν προς την ίδια κετόνη $CH_3CH_2\overset{\overset{O}{||}}{C}CH_3$

Σε όλες τις κοινές αντιδράσεις τους αντιδρούν κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο και με την ίδια ακριβώς ταχύτητα. Αυτές οι ιδιότητες είναι πράγματι ίδιες και για την Α και για τη Β ουσία. Και οι ακριβέστερες μετρήσεις δεν έδειξαν καμιά διαφορά.

Στο σημείο αυτό θα ήταν κάποιος έτοιμος να υποθέσει ότι η Α και η Β είναι η ίδια ένωση. Κατ' αρχήν, διαπιστώνομε ότι δεν είναι ισομερείς με βάση τις έννοιες της ισομέρειας που εξετάσθηκαν προηγουμένως. Δεύτερον, δεν είναι δυνατή η διάκρισή τους, με βάση οποιαδήποτε φυσική ή χημική ιδιότητά τους. Τι άλλο χρειάζεται, για να αποδειχθεί ότι και οι δύο ουσίες είναι ίδιες;

Υπάρχει όμως ακόμη κάτι, το οποίο θα μπορούσε να εξετασθεί. Αν δύο ουσίες είναι πράγματι ίδιες, το μόριο της μιας θα πρέπει να εφαρμόζει απόλυτα πάνω στο μόριο της άλλης. Επιχειρήστε αυτήν τη δοκιμή και για τα μόρια των ουσιών Α και Β. Περιστρέψτε το μόριο της ουσίας Α έτσι, ώστε το κεντρικό άτομο άνθρακα, η κεντρική υδροξυ–ομάδα, και η αιθυλο–ομάδα αυτού να εφαρμόσουν πάνω στις αντίστοιχες ομάδες του μορίου της ουσίας Β. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο σχήμα 16-19. Όπως βλέπετε, όταν εφαρμόσουν οι τρεις αυτές ομάδες των δύο μορίων, οι άλλες δύο, δηλαδή τα άτομα του υδρογόνου και οι μεθυλο–ομάδες δεν συμπίπτουν. Βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές. Απλά σκεπτόμενοι θα συμπεραίνατε ότι μπορείτε να επιθέσετε τα κεντρικά άτομα άνθρακα των μορίων των ουσιών Α και Β και δύο από τις τέσσερες ομάδες που βρίσκονται γύρω τους, όποιες εσείς θέλετε. Οι άλλες δύο ομάδες όμως θα διατάσσονται πάντα αντίθετα.

Οι προηγούμενες συγκρίσεις των δύο μορίων ενισχύουν την άποψη ότι πρόκειται για ισομερή. Διαθέτουν ίδιους μοριακούς τύπους αλλά οι δομές τους δεν είναι απόλυτα ίδιες. Αυτό αποτελεί και το βασικό ορισμό των ισομερών. Βέβαια, αυτό που παρατηρείται εδώ είναι ένας νέος τύπος ισομέρειας, περισσότερο ***σκοτεινός*** από εκείνους με τους οποίους ήδη ασχοληθήκαμε. Τα ισομερή αυτού του τύπου ονομάζονται ***οπτικώς*** ισομερή. Η ερμηνεία αυτής της ονομασίας θα δοθεί σε άλλο σημείο.



ΣΧΗΜΑ 16-19. *Αν οι ομάδες $-OH$ και $-CH_2CH_3$ των δύο μορίων $C(CH_3)$ (C_2H_5) (H) (OH) τοποθετηθούν έτσι, ώστε να συμπέσουν, θα διαπιστωθεί ότι δεν συμπίπτουν οι ομάδες $-H$ και $-CH_3$.*

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΜΗ ΑΠΟΙΚΟΔΟΜΟΥΜΕΝΑ ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΑ

Τα εντομοκτόνα είναι χημικές ουσίες θανατηφόρες για τα έντομα, ενώ στους άλλους ζώντες οργανισμούς επιδιώκεται να προκαλούν όσο το δυνατόν, μικρότερες ζημιές. Μερικά έντομα είναι φορείς διαφόρων μικροβίων. Για παράδειγμα, τα κουνούπια προκαλούν την ελονοσία και οι μύγες τσετσέ την ασθένεια του ύπνου. Πολλά άλλα έντομα προκαλούν μεγάλες καταστροφές στις καλλιέργειες των δημητριακών, όπως και στην υπόλοιπη φυτική παραγωγή. Γι' αυτό, από τους χημικούς θεωρήθηκε χρήσιμη για την ανθρώπινη ευημερία η αναζήτηση χημικών ενώσεων, οι οποίες θα ήταν αποτελεσματικές και ασφαλείς ως εντομοκτόνα.

Μέχρι το 1939, τα γνωστά εντομοκτόνα ήταν λίγα και αυτά δεν χρησιμοποιούνταν σε ευρεία έκταση. Επρόκειτο κυρίως για ενώσεις που περιείχαν αρσενικό, φθοριούχο νάτριο και μερικές οργανικές ενώσεις. Έπρεπε, προκειμένου να δράσουν, να φαγωθούν από τα έντομα και γι' αυτό ήταν χρήσιμα μόνο σε μικρή κλίμακα, ώστε να αντιμετωπίζονται έντομα που τρώνε τα φύλλα των φυτών.

Η τεράστια αλλαγή στη φύση και στη χρήση των εντομοκτόνων χρονολογείται από το 1939, όταν ένας ελβετός χημικός, ονομαζόμενος Paul Hermann Muller, ανακάλυψε τις εντομοκτόνες ιδιότητες του DDT. Το DDT (Διχλωρο–Διφαινυλο–Τριχλωροαιθάνιο) χαρακτηρίζεται ως παράγωγο του αιθανίου. Ο συντακτικός τύπος που ακολουθεί θα σας βοηθήσει να κατανοήσετε το λόγο (οι βενζολικοί δακτύλιοι είναι γνωστοί και ως «φαινυλο»–ομάδες).

Το DDT υπήρξε το πρώτο, ***ευρέως-φάσματος*** εντομοκτόνο επαφής. Αυτό σημαίνει ότι είναι αποτελεσματικό σε μια μεγάλη ποικιλία εντόμων (στην πραγματικότητα σχεδόν σε όλα) και δρα εξ επαφής. Δεν χρειάζεται δηλαδή να φαγωθεί από τα έντομα, αλλά διεισδύει από την εξωτερική επιφάνεια του σώματός τους. Η τοξική δράση του DDT και άλλων εντομοκτόνων επαφής δεν έχει πλήρως προσδιορισθεί. Επηρεάζουν, πιθανότατα, το νευρικό τους σύστημα.

Με βάση το γεγονός ότι το DDT περιέχει πολλούς δεσμούς χλωρίου–άνθρακα, δοκιμάσθηκαν και πολλοί άλλοι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Μερικοί από αυτούς απεδείχθησαν αποτελεσματικά εντομοκτόνα και χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν στην ίδια έκταση, αλλά δεν έγιναν τόσο γνωστοί όσο το DDT. Για παράδειγμα, υπάρχει το χλωρδάνιο και το επταχλώριο (Chlordane, Heptachlor), των οποίων οι τύποι είναι επίσης γνωστοί.

Οι χλωριωμένες αυτές ουσίες είναι εντομοκτόνα επαφής και ευρέως φάσματος, και ανήκουν στην κατηγορία των ***μη αποικοδομουμένων***. Αυτό σημαίνει ότι βιο–αποικοδομούνται βραδέως ή ελάχιστα. Από τη στιγμή που θα εφαρμοσθούν παραμένουν στο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έστω και αν απομακρυνθούν με το χρόνο από τη βροχή, τα μόριά τους ή παραμένουν άθικτα ή διασπώνται μερικώς προς ουσίες, οι οποίες εξακολουθούν να είναι τοξικές για μερικά τουλάχιστον ζωικά είδη.

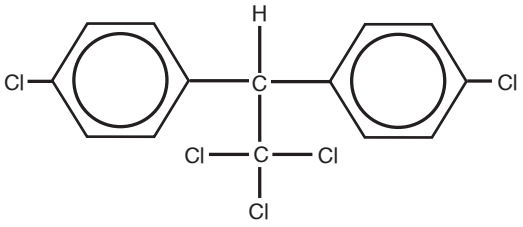
Έπειτα από μερικές δεκαετίες χρήσεως, το DDT και τα άλλα ανάλογα εντομοκτόνα απετέλεσαν αντικείμενο συγκρούσεων. Όπως και για πολλά άλλα θέματα που σχετίζονται άμεσα με το περιβάλλον, έτσι και για τα εντομοκτόνα τίθεται το ερώτημα, αν τα θετικά αποτελέσματά τους υπερτερούν των αρνητικών, και αν επιβάλλεται να υπάρξει κάποια αλλαγή στο σκεπτικό και στην πρακτική όσον αφορά στη χρήση τους*. Ας εξετάσομε μερικές από τις κύριες θετικές και αρνητικές συνέπειες της χρήσεως των εντομοκτόνων.

Πριν την ανακάλυψη του DDT και των άλλων συναφών εντομοκτόνων, εκατοντάδες χιλιάδες άτομα πέθαιναν κάθε χρόνο εξ αιτίας λιμών που οφείλονταν στις καταστροφές των καλλιεργιών από τα έντομα ή από ασθένειες που μεταδίδονταν από αυτά. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, αλλά αυτοί που υποστηρίζουν την εξακολούθηση της ευρείας χρήσεώς τους διατείνονται ότι χωρίς αυτά οι λιμοί και οι επιδημίες θα αυξηθούν πάλι σημαντικά σε πολλά μέρη του κόσμου.

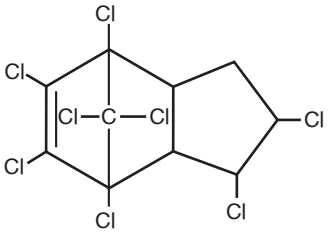
Η προστασία της ανθρώπινης ζωής είναι το προφανές και πραγματικό επιχείρημα που δύναται να προβληθεί υπέρ της εξακολουθήσεως της χρήσεως του DDT και των παρομοίων εντομοκτόνων. Υπάρχει όμως και μια άλλη διάσταση στο όλο θέμα. Πολλά από τα γεγονότα που στηρίζουν αυτήν την άλλη διάσταση, είδαν το φως της δημοσιότητας με την κυκλοφορία του περίφημου βιβλίου με τον τίτλο ***Σιωπηλή άνοιξη*** (***Silent Spring***) του Rachel Carson.

Το DDT και τα ανάλογα εντομοκτόνα είναι

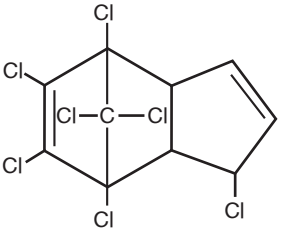
* *Σ.τ.Μ. Η χρήση του DDT έχει απαγορευθεί σχεδόν σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες του κόσμου. Και στην Ελλάδα η χρήση του απαγορεύθηκε από το 1972.*



DDT



Χλωρδάνιο



Επταχλώριο

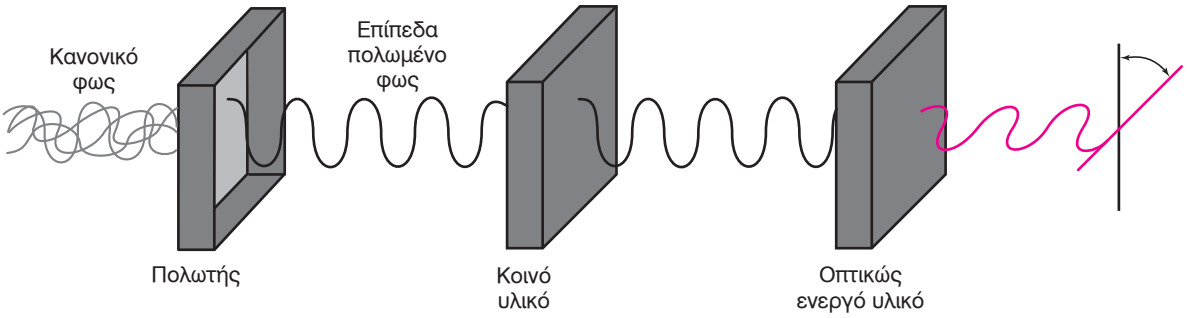
Συντακτικοί τύποι τριών ευρέως διαδεδομένων εντομοκτόνων

αναμφιβόλως, έντονα τοξικά όχι μόνο για τα έντομα, αλλά και για άλλους ζώντες οργανισμούς. Κατ' αυτήν την έννοια δεν πληρούν τις προϋποθέσεις ενός ιδανικού εντομοκτόνου. Όμως χρειάσθηκε χρόνος, για να φανούν τα αρνητικά αποτελέσματά τους στο ζωικό βασίλειο. Ο χρόνος αυτός ήταν απαραίτητος, ώστε να συμπυκνωθούν τα υπολείμματα αυτών των μη αποικοδομουμένων εντομοκτόνων και να μεταφερθούν στην ***τροφική αλυσίδα***. Κατώτερες μορφές ζωής που ζουν στο έδαφος, στις λίμνες, στα ποτάμια και στην υπό αποικοδόμηση φυτική ύλη, απορροφούν το DDT. Αυτοί οι κατώτεροι οργανισμοί τρώγονται στη συνέχεια από ανώτερους. Το DDT δεν μεταβολίζεται στο πεπτικό σύστημα των ζώων. Αντίθετα, συσσωρεύεται. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η συγκέντρωση του DDT στην τροφή, στην αρχή της τροφικής αλυσίδας, μπορεί να είναι χαμηλή, αλλά μετά από κάθε στάδιο συμπυκνώνεται. Έτσι, τα μεγαλύτερα ψάρια, τα πουλιά, και τα μικρά θηλαστικά μπορούν να απορροφήσουν αρκετά μεγάλες ποσότητες. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, όπως το DDT, αποτελούν ως γνωστόν ισχυρά δηλητήρια για τα ψάρια, τα πουλιά και τα μικρά θηλαστικά. Σήμερα, υπάρχει πληθώρα ενδείξεων ότι το DDT και τα ανάλογα με αυτό εντομοκτόνα δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στα ψάρια και τα πουλιά σε όλο τον κόσμο. Η αλήθεια είναι ότι δεν υπάρχει ακόμη κάποια άμεση ένδειξη ότι τα χλωριωμένα εντομοκτόνα έχουν πραγματικά βλάψει τους ανθρώπους*. Καλό είναι όμως να θυμόμαστε ότι βρισκόμαστε στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας και ότι η συγκέντρωση του DDT διά του εδάφους και των υπογείων υδάτων στην τροφική αλυσίδα εξακολουθεί να αυξάνεται.

Μέχρι πριν από μερικά χρόνια δεν υπήρχε ένδειξη ότι το DDT έβλαπτε τα πουλιά. Όμως οι ενδείξεις αυτές αυξήθηκαν σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Εισέρχεται στο συκώτι τους, και αν το ποσοστό συγκεντρώσεως είναι αυξημένο (αυτό ήδη αφορά πολλά είδη σε διάφορα σημεία της γης), επηρεάζει το σχηματισμό του κελύφους του αυγού. Το κέλυφος γίνεται λεπτότερο και στη χειρότερη των περιπτώσεων δεν σχηματίζεται καθόλου. Αυτά τα αυγά δεν μπορούν γενικά να διατηρηθούν και έτσι να γεννηθούν νεογνά. Επομένως, τα πουλιά δεν μπορούν να αναπαραχθούν και ορισμένα είδη σε πολλά μέρη έχουν εξαφανισθεί. Τα πουλιά βέβαια ελέγχουν τους πληθυσμούς των εντόμων καλύτερα από ό,τι τα εντομοκτόνα, με αποτέλεσμα η σημαντική μείωση του πληθυσμού τους να οδηγεί σε αύξηση του πληθυσμού των εντόμων που εξουδετερώνει τη μείωσή τους από τα εντομοκτόνα.

Σοβαρότερο πρόβλημα είναι το γεγονός ότι τα έντομα αναπτύσσουν βαθμιαία ανοσία στα εντομοκτόνα. Μακροπρόθεσμα η ευρεία χρήση των εντομοκτόνων δεν θα αποτελεί ίσως λύση στα προβλήματα που προκαλούν τα έντομα. Ίσως και να γίνουν τα πράγματα χειρότερα. Πιθανότατα θα αναπτυχθούν άλλες ασφαλέστερες μέθοδοι ελέγχου τους.

* *Σ.τ.Μ. Μετά τη συγγραφή αυτού του βιβλίου προέκυψαν όχι μόνο ενδείξεις, αλλά και αποδείξεις, για τη βλαπτική επίδραση του DDT στον ανθρώπινο οργανισμό.*



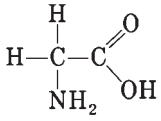
ΣΧΗΜΑ 16-20. *Το κανονικό φως (αριστερά), διέρχεται μέσα από ένα πολωσίμετρο και εξέρχεται πολωμένο σε ένα επίπεδο. Περνώντας μέσα από υλικό που δεν είναι οπτικώς ενεργό, το επίπεδο πολώσεως παραμένει αμετάβλητο. Περνώντας μέσα από οπτικώς ενεργό υλικό, το επίπεδο πολώσεως στρέφεται.*

Αν κοιτάξετε προσεκτικά τα δύο ισομερή μόρια Α και Β, όπως ήταν αρχικά σχεδιασμένα, θα διαπιστώσετε ότι το ένα ως προς το άλλο έχει την ίδια σχέση που έχει ένα αντικείμενο με το είδωλό του στον καθρέπτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα μόριο και το κατοπτρικό είδωλό του εφαρμόζουν, και γι' αυτό είναι ίδια. Στην προκειμένη περίπτωση όμως δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο. Τα πιο γνωστά σας ίσως αντικείμενα για τα οποία ισχύει επίσης αυτό, είναι τα χέρια σας. Στην πραγματικότητα δεν είναι ίδια. Το ένα είναι κατοπτρικό είδωλο του άλλου και δεν μπορούν να εφαρμόσουν διά επιθέσεως. Τα μόρια αυτά ονομάζονται εναντιοστερεοϊσομερή ή οπτικοί αντίποδες. Ονομάζονται επίσης και χειρόμορφες ενώσεις (chiral compounds) από την ελληνική λέξη χειρ-χειρός (χέρι).

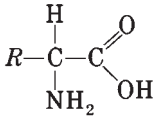
Η σημαντικότερη κατηγορία των οπτικώς ισομερών μορίων είναι αυτή την οποία εξετάσαμε, δηλαδή μόρια στα οποία τέσσερις διαφορετικές ομάδες είναι τοποθετημένες γύρω από ένα κεντρικό τετραεδρικό άτομο. Στα οργανικά μόρια το άτομο που έχει τέσσερις διαφορετικούς υποκαταστάτες είναι συνήθως ένα άτομο άνθρακα, το οποίο και ονομάζεται ***ασύμμετρο*** άτομο άνθρακα.

Γιατί αυτά τα ισομερή ονομάζονται οπτικώς ισομερή ή οπτικώς ενεργά; Γιατί ένας τρόπος για να τα διακρίνομε είναι με τη βοήθεια ενός οπτικού φαινομένου, δηλαδή ενός φαινομένου που έχει σχέση με το φως. Όταν το φως διέρχεται μέσα από κάποιες συσκευές που ονομάζονται ***πολωσίμετρα***, εξέρχεται έχοντας το ηλεκτρικό πεδίο ταλαντώσεώς του (σχ. 11-2) περιορισμένο σε ένα μόνο επίπεδο. Το φως, όπως λέμε, έχει υποσθεί ***επίπεδη πόλωση***. Όταν φως επίπεδα πολωμένο περάσει μέσα από οποιοδήποτε υλικό σώμα, το επίπεδο πολώσεως εισέρχεται και εξέρχεται με τον ίδιο προσανατολισμό, όπως φαίνεται και στο σχήμα 16-20. Ένα δείγμα όμως που περιέχει οπτικώς ισομερή μόρια προκαλεί τη στροφή του επιπέδου. Τα δεξιόστροφα μόρια το στρέφουν προς τη μία κατεύθυνση (δεξιά), ενώ τα αριστερόστροφα προς την άλλη (αριστερά).

Η σημασία της οπτικής ισομέρειας είναι μεγαλύτερη στη βιοχημεία. Στην παράγραφο 16.18, αναφέρθηκαν τα βασικά δομικά στοιχεία των πρωτεϊνών. Οι αλυσίδες αυτές δημιουργούνται από τη συνένωση των «αμινοξέων». Τα αμινοξέα περιέχουν και καρβοξυλο–ομάδα (οξύ) και αμινο–ομάδα. Η γλυκίνη, το απλούστερο αμινοξύ, έχει τον ακόλουθο τύπο:



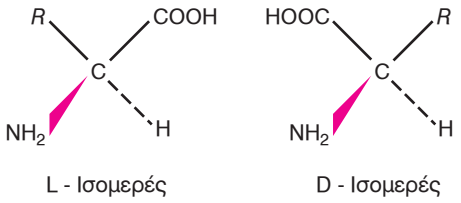
Άλλα αμινοξέα, αντί για άτομο υδρογόνου έχουν συνδεδεμένες πιο πολύπλοκες ομάδες. Αν παραστήσομε κάποια από αυτές τις ομάδες με R, τότε δημιουργείται ο ακόλουθος γενικός τύπος των αμινοξέων:



Όλα τα αμινοξέα, με εξαίρεση τη γλυκίνη, είναι οπτικώς ενεργά, όπως δείχνει και το σχήμα 16-21. Ο συμβολισμός D και L προέρχεται από το «dextro» και «laevo» που σημαίνουν αντίστοιχα δεξιόστροφα και αριστερόστροφα. Αρχικά ο χαρακτηρισμός σε D και L βασίσθηκε στην κατεύθυνση της περιστροφής του επιπέδου πολώσεως ορισμένου μήκους κύματος φωτός. Σήμερα όμως χρησιμοποιείται μια, ακριβέστερη



ΣΧΗΜΑ 16-22. *Η γλυκόζη υπάρχει σε πολλά φυτικά προϊόντα. Τα δημητριακά, όπως το ρύζι (εικονίζεται η συγκομιδή του), το καλαμπόκι, το σιτάρι, το κριθάρι και η βρώμη, είναι οι σημαντικότερες πηγές γλυκόζης.*

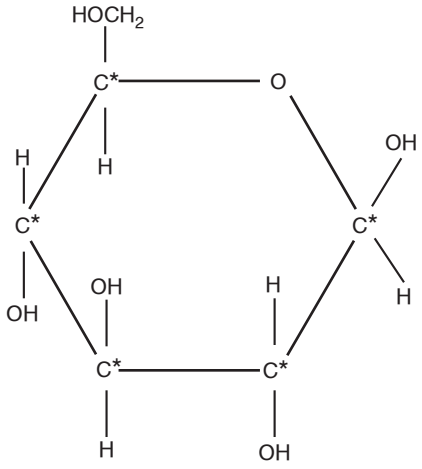


ΣΧΗΜΑ 16-21. *Τα δύο οπτικώς ισομερή ενός αμινοξέος.*

μέθοδος προκειμένου να καθορισθεί η πραγματική (ονομαζομένη και απόλυτη) διάταξη των ομάδων στο χώρο γύρω από ένα ασύμμετρο άτομο άνθρακα. Στο σχήμα 16-21 υπάρχουν παραδείγματα των διατάξεων D και L.

Όλα τα αμινοξέα που απαντούν στη φύση έχουν τη διάταξη L. Όλες οι βιοχημικές αντιδράσεις, στις οποίες δημιουργούνται ή συμμετέχουν κατά κάποιο τρόπο αμινοξέα, είναι ειδικές για τις L διατάξεις. Θα ήταν αδύνατον να διατραφούμε μόνο με D αμινοξέα, εκτός και αν το σώμα μας είχε τη δυνατότητα να τα διασπά, και με τα άτομα που τα συνιστούν να ανασυνθέτει L οξέα.

Πολλά άλλα μόρια που λαμβάνουν μέρος σε βιολογικές διαδικασίες περιέχουν ασύμμετρα άτομα άνθρακα (μερικά περιέχουν δύο ή και περισσότερα). Ως παράδειγμα λαμβάνομε το σάκχαρο γλυκόζη (σχ. 16-22). Ο συντακτικός της



ΣΧΗΜΑ 16-23. *Το μόριο της γλυκόζης περιέχει πέντε ασύμμετρα άτομα άνθρακα, που συμβολίζονται με έναν αστερίσκο.*

τύπος (σχ. 16-23) δείχνει ότι περιέχει πέντε ασύμμετρα άτομα άνθρακα. Προκειμένου να ταυτοποιηθεί ένα μόριο γλυκόζης, θα πρέπει η στροφική ικανότητα καθενός από αυτά να είναι σωστή. Για την κάθε θέση υπάρχουν δύο πιθανότητες και έτσι στο σύνολο υπάρχουν 32 πιθανότητες για ολόκληρο το μόριο. Από αυτές μόνο μία είναι σωστή.

Περίληψη.

Το πλήθος των πραγματικών υλικών που εξετάζονται από την οργανική χημεία, είναι δυνατόν να οργανωθεί έτσι ώστε να κατασθεί ευκολότερη η κατανόηση και η απομνημόνευσή τους, αν θεωρήσομε ότι τα μόρια αποτελούνται από δύο τμήματα. Τα τμήματα αυτά είναι: (1) η δραστική ομάδα και (2) η σχετικά αδρανής ομάδα του υδρογονάνθρακα. Οι δραστικές ομάδες αντιδρούν κατά χαρακτηριστικούς τρόπους. Κατά συνέπεια, όλες οι ενώσεις που περιέχουν μια ιδιαίτερη δραστική ομάδα έχουν ανάλογες (αλλά όχι ίδιες) χημικές ιδιότητες, ανεξάρτητα από την ιδιαίτερη ομάδα του υδρογονάνθρακα στην οποία βρίσκεται συνδεδεμένη. Οι ομάδες του υδρογονάνθρακα περιέχουν ένα άτομο υδρογόνου λιγότερο από ό,τι ο αρχικός υδρογονάνθρακας από τον οποίο προέρχονται, και έτσι επιτρέπουν τη σύνδεση μιας άλλης δραστικής ομάδας. Ενώσεις που περιέχουν την ίδια δραστική ομάδα αποτελούν μια οικογένεια. Για παράδειγμα, όλες οι αλκοόλες περιέχουν την ομάδα –OH, συνδεδεμένη κατευθείαν στην ομάδα του υδρογονάνθρακα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Τι εννοούμε λέγοντας ότι πρέπει να διατηρείται «η δομική ακεραιότητα» μιας ομάδας σε μια αντίδραση;
2. Να ονομάσετε τις τρεις ομάδες υδρογονανθράκων CH_3–, CH_3CH_2– και $CH_3CH_2CH_2$–.
3. Αναφέρατε μερικές από τις σημαντικές δραστικές ομάδες τις οποίες μάθατε.

Περίληψη κεφαλαίου

Οι ενώσεις που σχηματίζονται από το στοιχείο με το όνομα άνθρακας αποτελούν αντικείμενο της οργανικής χημείας. Μεγάλα αποθέματα άνθρακα, σε περισσότερο ή λιγότερο καθαρή μορφή, απαντούν στη φύση (γαιάνθρακας). Το πετρέλαιο είναι ένα πολύπλοκο μίγμα ενώσεων του άνθρακα που αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες. Τα μόρια που αποτελούν τους ζώντες οργανισμούς είναι κυρίως οργανικές ενώσεις.

Προκειμένου να οργανωθεί η θεωρία των πολυπλόκων ενώσεων του άνθρακα ώστε να είναι περισσότερο εύληπτη, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα σύστημα ταξινομήσεως και ονοματολογίας των ενώσεων. Για να ταξινομηθούν και να ονομασθούν τα οργανικά μόρια, δεχόμαστε ότι αποτελούνται από δύο τμήματα: (1) μια σχετικά αδρανή ομάδα υδρογονάνθρακα και (2) μία ή περισσότερες δραστικές ομάδες. Οι πιο κοινές δραστικές ομάδες περιέχουν άτομα οξυγόνου, αζώτου ή και των δύο στοιχείων, και καθορίζουν τα βασικά χαρακτηριστικά των ενώσεων στις οποίες ανήκουν. Με τη βοήθεια του *R* μπορούμε να παραστήσομε μια ομάδα υδρογονάνθρακα, όπως είναι ένα αλκύλιο. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι βασικοί, τύποι οργανικών μορίων είναι: *R*OH, αλκοόλες, *R*CHO, αλδεΰδες, *R*CO*R*′, κετόνες *R*COOH, καρβοξυλικά οξέα, *R*COO*R*′, εστέρες, RNH_2, αμίνες $RCONH_2$, ή *R*CONH*R*′, αμίδια.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Αναφέρατε τρεις σημαντικές πηγές άνθρακα φυσικής προελεύσεως .
2. Πώς διαχωρίζουν οι χημικοί πετρελαίου τα διαφορετικού μεγέθους μόρια που υπάρχουν στο αργό πετρέλαιο;
3. Η κατανομή των ενώσεων που περιέχουν μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μόρια σε ένα τυχαίο δείγμα πετρελαίου είναι δυνατόν να μην αντιστοιχεί στις απαιτήσεις της αγοράς για το συγκεκριμένο είδος των ενώσεων. Τι μπορεί να γίνει ώστε να τροποποιηθούν οι ενώσεις αυτές και να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της αγοράς;
4. Με ποιους τρόπους οι χημικοί κατεργάζονται τη βενζίνη, ώστε να περιορίσουν την τάση την οποία έχει να δημιουργεί κτυπήματα (πειράκια) μέσα στον κινητήρα των αυτοκινήτων; Πώς είναι δυνατόν να βλάψει το περιβάλλον μία από τις μεθόδους αυτές;
5. Σε τι διαφέρει η ανόργανη από την

οργανική χημεία;

6. Ποιες πληροφορίες εμπεριέχονται σε έναν εμπειρικό τύπο, σε ένα μοριακό τύπο και σε ένα συντακτικό τύπο; Να γράψετε αυτούς τους τρεις τύπους για το αιθάνιο.
7. ΄ Ενα δείγμα ενός αγνώστου υδρογονάνθρακα βάρους 0,29 g καίγεται τελείως σε οξυγόνο και παράγει 0,88 g διοξειδίου του άνθρακα και 0,45 g νερό. Να βρείτε τον εμπειρικό τύπο της αρχικής ενώσεως.
8. ΄Οταν 1,00 g δείγματος του υδρογονάνθρακα που χρησιμοποιήθηκε στην άσκηση 7 εξατμίζεται σε θερμοκρασία 100 ^{o}C και πίεση 1,00 ατμόσφαιρα, ο όγκος του βρίσκομε ότι είναι 0,527 του λίτρου. Να βρείτε τη μάζα του ενός mole της ενώσεως και το μοριακό της τύπο.
9. Ένα μόριο μη κυκλικού κορεσμένου υδρογονάνθρακα και ένα μόριο ενός ακόρεστου υδρογονάνθρακα έχουν και τα δύο τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα. Να συγκρίνετε τον αριθμό των ατόμων υδρογόνου και των δύο. Γιατί θα πρέπει οι ακόρεστες ενώσεις να έχουν πολλαπλούς δεσμούς;
10. Πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Br_2, ώστε να γίνει διάκριση ανάμεσα σε έναν ακόρεστο και έναν κορεσμένο υδρογονάνθρακα; Γράψτε ένα συντακτικό τύπο για το προπένιο, C_3H_6, και δείξτε ποια προϊόντα σχηματίζονται, όταν αντιδρά μαζί του το Br_2.
11. Γιατί ένας υδρογονάνθρακας που δεν αντιδρά εύκολα με το Br_2 μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι κορεσμένος;
12. Να γράψετε συντακτικούς τύπους για τρία ισομερή του πεντανίου, C_5H_{12} (να θυμάστε ότι κάμπτοντας την αλυσίδα των ανθράκων δεν δημιουργούνται νέα μόρια).
13. Να γράψετε συντακτικούς τύπους για όλα τα ισομερή του πεντενίου, C_5H_{10}. Γιατί αυτή η ένωση έχει περισσότερα ισομερή από όσα το πεντάνιο;
14. Αν και το βενζόλιο (C_6H_6) είναι ακόρεστη ένωση τι συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί για τη δομή του βάσει του γεγονότος ότι δεν αντιδρά με βρώμιο κατά τον ίδιο τρόπο με τον οποίο αντιδρά το αιθυλένιο;
15. Να εξηγήσετε γιατί χρησιμοποιείται το σχήμα



για να παρασταθεί το μόριο του βενζολίου;

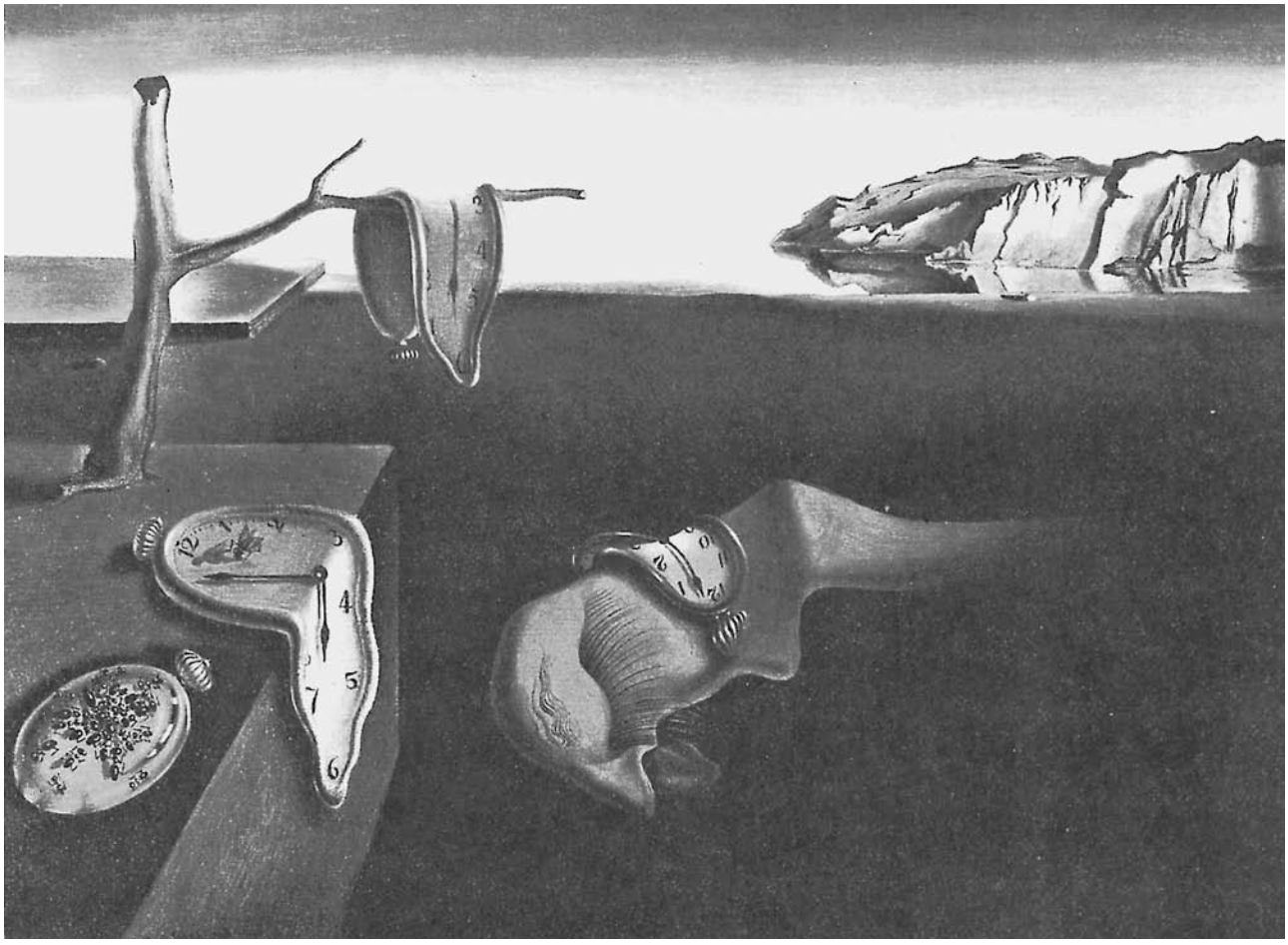
16. Να γράψετε μια εξίσωση, χρησιμοποιώντας συντακτικούς τύπους, για να παραστήσετε την αντίδραση του βενζολίου με χλώριο Cl_2 (αντίδραση αντικαταστάσεως).
17. Να γράψετε τους συντακτικούς τύπους όλων των ισομερών του διχλωροβενζολίου, $C_6H_4Cl_2$.
18. Να δοθούν απλοί συντακτικοί τύποι (α) μιας αλκοόλης, (β) μιας αλδεΰδης και (γ) ενός οξέος, τα οποία να προέρχονται από μεθάνιο. Να επαναληφθεί το ίδιο χρησιμοποιώντας για υδρογονάνθρακα το αιθάνιο, το βουτάνιο, και το οκτάνιο.
19. Να γράψετε συντακτικούς τύπους για όλες τις αλκοόλες με τύπο C_4H_9OH.
20. Με τη βοήθεια συντακτικών τύπων να δείξετε τι συμβαίνει, όταν ένα mole ατόμων οξυγόνου από το οξειδωτικό μέσο διχρωμικό κάλιο αντιδρά με προπανόλη–1.
21. Να γράψετε το συντακτικό τύπο της προπανόλης–2 και της ενώσεως που σχηματίζεται από την ήπια οξείδωσή της. Πόσα moles ατόμων οξυγόνου χρειάζονται, για να οξειδωθεί ένα mole προπανόλης–2;
22. Γράψτε μία εξίσωση, η οποία να παριστάνει την έντονη οξείδωση ενός mole προπανόλης–1 από άτομα οξυγόνου που προέρχονται από κατάλληλο οξειδωτικό μέσο.
23. Αν σας δοθεί ο συντακτικός τύπος ενός απλού εστέρα, να γράψετε τους τύπους του οξέος και της αλκοόλης, από τα οποία θα μπορούσε να σχηματισθεί κατευθείαν.
24. Ας υποτεθεί ότι έχετε τη δυνατότητα να σημαδέψετε με έναν αστερίσκο ένα άτομο οξυγόνου, όταν βρίσκεται σε ένα μόριο αιθανόλης, $C_2H_5O^*H$, ώστε να μπορείτε να παρακολουθείτε την πορεία του μέσα σε μιαν αντίδραση. Δείξτε πώς θα μπορούσατε να προσδιορίσετε πειραματικά εάν από το μόριο αιθανόλης που αντιδρά με οξικό οξύ, CH_3COOH, για να σχηματίσει κάποιον εστέρα, απομακρύνεται ολόκληρη η ομάδα –OH της αλκοόλης ή μόνο το άτομο υδρογόνου.
25. Να γράψετε μιαν εξίσωση με τη βοήθεια συντακτικών τύπων, η οποία να περιγράφει την αντίδραση ενός mole γλυκερίνης και τριών moles οξικού οξέος.
26. ΄Οταν εξατμισθούν 0,601 g δείγματος με εμπειρικό τύπο CH_2O στους 200 ^{o}C και πίεση 1,00 ατμοσφαίρας, καταλαμβάνουν χώρο 388 ml. Ο ίδιος όγκος καταλαμβάνεται από 0,301 g αιθανίου κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Ποιος

είναι ο μοριακός τύπος του CH_2O;

27. Ένα mole του δείγματος της ουσίας που αναφέρεται στην ερώτηση 26 αντέδρασε με ένα mole μεθανόλης και σχημάτισε εστέρα. Να γράψετε το συντακτικό τύπο του δείγματος.
28. Τι είδους οργανικές ενώσεις είναι δυνατόν να σχηματισθούν, όταν ένας εστέρας αντιδρά με αμμωνία;
29. Να γράψετε τους συντακτικούς τύπους για όλες τις ενώσεις με μοριακό τύπο $C_2H_3Cl_3$.
30. Τι σχέση έχει το μόριο ενός σαπουνιού με το μόριο του λίπους από το οποίο παρασκευάσθηκε;
31. Να συγκρίνετε τις δομές των αμινών, των αμιδίων και των Ν–υποκατεστημένων αμιδίων.
32. Η ανάλυση μιας καθαρής ενώσεως που χρησιμοποιείται συχνά ως αντιψυκτικό στα αυτοκίνητα, δείχνει ότι περιέχει άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο. Ένα δείγμα αυτής της ενώσεως βάρους 15,5 mg καίγεται και λαμβάνονται οι ακόλουθες ποσότητες CO_2 και H_2O:
μάζα δείγματος που κάηκε 15,5 mg
μάζα CO_2 που σχηματίσθηκε 22,0 mg

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

Στερεά, υγρά και διαλύματα



Το έργο του Salvador Dali «Η εμμονή της μνήμης» ανατρέπει την αίσθηση του θεατή για το τι είναι στερεό και τι όχι.

Είναι άραγε το γυαλί υγρό σώμα; Είναι ένα σκληρό κομμάτι παραφίνης στερεό; Αυτού του είδους οι ερωτήσεις ίσως φαίνεται ότι εύκολα μπορούν να απαντηθούν, όμως, στην πραγματικότητα δεν είναι έτσι. Η απάντηση πρέπει να αναζητηθεί στις δυνάμεις που δρουν ανάμεσα στα άτομα και τα μόρια. Μόνο έτσι είναι δυνατή η κατανόηση της επιστημονικής έννοιας των λέξεων στερεό και υγρό.

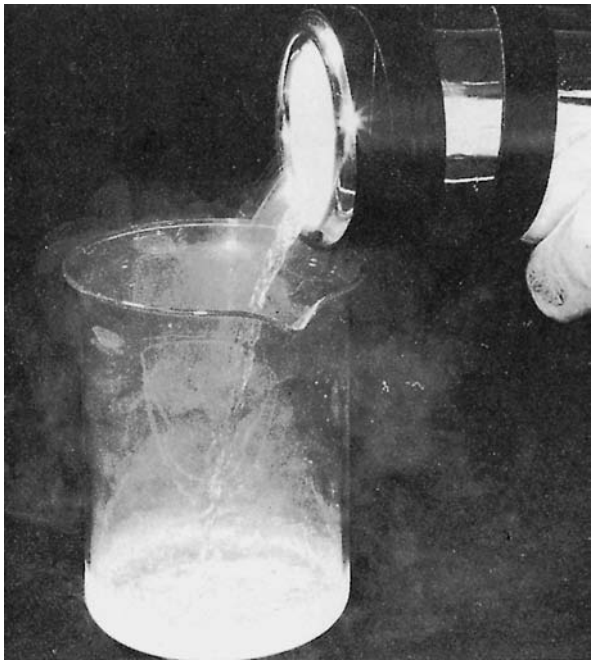
Μέχρις εδώ ασχοληθήκαμε σχεδόν αποκλειστικά με τα διάφορα άτομα ή μόρια, όπως και με τα αέρια. Στην αέρια φάση, τα άτομα και τα μόρια είναι σχεδόν το ένα ανεξάρτητο από το άλλο. Βρίσκονται σε αρκετή απόσταση και περιέχουν πολλή ενέργεια, ώστε να μην επηρεάζονται από τις σχετικά ασθενείς δυνάμεις έλξεως. Τα περισσότερα υλικά σώματα δεν είναι αέρια αλλά στερεά ή υγρά, και συνήθως είναι μίγματα δύο ή περισσοτέρων ειδών ατόμων και μορίων. Αυτού του είδους τα υλικά σώματα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα αέρια. Γι' αυτό και οι χημικοί τα αποκαλούν συμπυκνωμένες μορφές ύλης. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα διδαχθείτε για τις αλληλεπιδράσεις των ατόμων και των μορίων στις συμπυκνωμένες μορφές τους.

Τα στερεά, τα υγρά και τα διαλύματα έχουν ειδικές ιδιότητες

17.1 Οι δυνάμεις έλξεως προκαλούν τη συμπύκνωση των αερίων.

Κάθε καθαρό αέριο, όταν ψυχθεί αρκετά, θα συμπυκνωθεί προς υγρό (στο σχήμα 17-1 φαίνεται το υγρό άζωτο). Σε ακόμη χαμηλότερη θερμοκρασία θα μετατραπεί σε στερεό. Οι θερμοκρασίες στις οποίες πραγματοποιούνται αυτές οι μετατροπές διαφέρουν πάρα πολύ. Το φθοριούχο λίθιο, για παράδειγμα, το οποίο είναι αέριο σε πίεση μιας ατμόσφαιρας, συμπυκνώνεται προς υγρό, αν ψυχθεί πιο κάτω από τους 1949 K. Αν η θερμοκρασία κατέβει στους 1143 K, το υγρό σχηματίζει ένα διαυγή κρύσταλλο. Το αέριο λίθιο, για να υγροποιηθεί στην ίδια πίεση, πρέπει να ψυχθεί στους 1609 K. Το υγρό αυτό δεν στερεοποιείται, αν δεν κατέβει η θερμοκρασία του στους 459 K. Το στερεό αυτό είναι ένα λευκό, μαλακό μέταλλο, το οποίο δεν μοιάζει καθόλου με το κρυσταλλικό φθοριούχο λίθιο. Το αέριο φθόριο είναι εξίσου χαρακτηριστικό. Σε πίεση μιας ατμόσφαιρας πρέπει να ψυχθεί πολύ κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου, ώστε να συμπυκνωθεί (στους 85 K). Το υγρό στερεοποιείται στους 50 K. Γιατί αυτά τα τρία υλικά συμπεριφέρονται τόσο διαφορετικά; Η μελέτη της ενέργειας οδηγεί στις απαντήσεις αυτού του ερωτήματος.

Όπως γνωρίζετε, δύο άτομα παραμένουν το ένα κοντά στο άλλο επειδή οι ενέργειές τους ευνοούν αυτού του είδους τη διάταξη. Οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσά τους τα συγκρατούν σε κάποια θέση, όπου η συνολική ενέργεια είναι ελάχιστη.



ΣΧΗΜΑ 17-1. *Το υγρό άζωτο αφρίζει έντονα σε θερμοκρασία δωματίου και αναγκάζει τους υδρατμούς του αέρα να συμπυκνώνονται δημιουργώντας ένα είδος "καπνού" (το άζωτο βράζει στους 77 K).*

Αυτό συμβαίνει, ανεξάρτητα από το αν το σύμπλεγμα των ατόμων είναι ισχυρώς ή ασθενώς συνδεδεμένο, αν περιέχει λίγα ή 10^{23} άτομα*, αν η διάταξη είναι κανονική (όπως σε ένα κρύσταλλο) ή άμορφη (όπως σε ένα υγρό). Το σύμπλεγμα των ατόμων είναι σταθερό, αν και μόνο αν η συνολική

* *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για τον αριθμό του Avogadro, βλέπε στην παράγραφο 5.11 του 5ου κεφαλαίου.*

ενέργειά τους είναι χαμηλότερη όταν τα άτομα βρίσκονται κοντά παρά όταν είναι μακριά.

Οι ενέργειές τους είναι χαμηλότερες, επειδή τα ηλεκτρόνιά τους βρίσκονται ανάμεσα σε θετικούς πυρήνες και συγκρατούνται εκεί με δυνάμεις ηλεκτρικής έλξεως. Το μέγεθος των ελκτικών δυνάμεων ποικίλλει σημαντικά και εξαρτάται από το πόσο κοντά σε αυτούς τους θετικούς πυρήνες είναι δυνατόν να πλησιάσουν τα ηλεκτρόνια. Αυτή η απόσταση προσεγγίσεως καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο είναι τοποθετημένα τα ηλεκτρόνια στα τροχιακά σθένους.

Ο τρόπος πληρώσεως των τροχιακών σθένους από τα ηλεκτρόνια καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το είδος της συμπυκνωμένης ύλης που θα σχηματισθεί. Καθορίζει επίσης ιδιότητες των ουσιών, όπως είναι η σκληρότητα, η ευκολία τήξεως και η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

17.2 Η φύση των κρυσταλλικών στερεών.

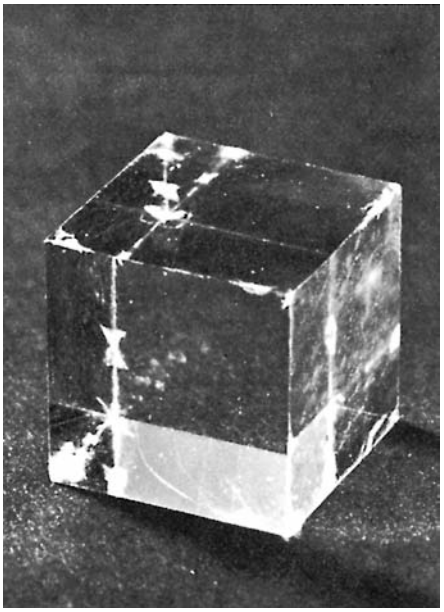
Όλες σχεδόν οι καθαρές στερεές ουσίες κανονικά υπάρχουν (ή μπορεί να υπάρξουν) σε κρυσταλλική μορφή. Μερικοί κρύσταλλοι διακρίνονται και με γυμνό μάτι. Άλλοι είναι τόσοι μικροί, ώστε για να τους δει κάποιος χρειάζεται μικροσκόπιο.

Στην πραγματικότητα, *ένας κρύσταλλος είναι μια κανονική επαναλαμβανόμενη στο χώρο διάταξη των σωματιδίων (ατόμων, μορίων ή ιόντων) από τα οποία αποτελείται.* Ειδικότερα ένας κρύσταλλος αποτελείται από μια από άκρου εις άκρον επανάληψη μιας ομάδας ατόμων, μορίων ή ιόντων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο κρύσταλλος, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός των επαναλήψεων αυτής της ομάδας.

Ας παρατηρήσομε, για παράδειγμα, έναν κρύσταλλο χλωριούχου νατρίου (το κοινό επιτραπέζιο αλάτι). Κάθε ένας από αυτούς τους κρυστάλλους είναι ένας μικροσκοπικός κύβος ακμής περίπου 0,5 mm, σαν αυτόν που δείχνει το σχήμα 17-2.

Η κυβική διάταξη δημιουργείται από την εναλλαγή των ιόντων Na^+ και Cl^-, όπως δείχνει το πρότυπο του σχήματος 17-3.

Η παράσταση αυτή αναφέρεται σε ένα στερεό που αποτελείται από ιόντα. Όμως, η βασική έννοια της δημιουργίας ενός κρυστάλλου με κανονική επανάληψη μιας μικρής ομάδας σωματιδίων είναι εντελώς γενική. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται όλα τα κρυσταλλικά



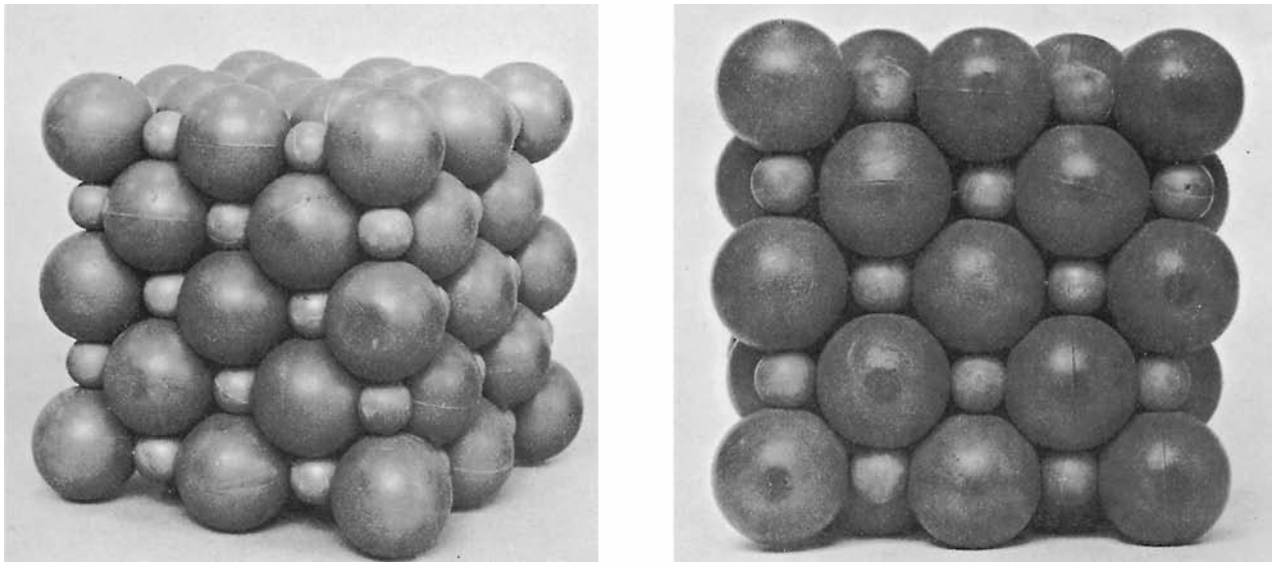
ΣΧΗΜΑ 17-2. *Κρύσταλλος χλωριούχου νατρίου, NaCl, με το χαρακτηριστικό κυβικό σχήμα του.*

στερεά. Αρκετά ακόμη παραδείγματα (μοριακά στερεά, συμπλέγματα στερεών και μέταλλα) θα εξετασθούν αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο.

Αρκετές ενώσεις θεωρούνται συνήθως στερεά, ενώ δεν εμφανίζουν δομή κρυσταλλικών στερεών. Τυπικά παραδείγματα αυτού του τύπου, είναι η παραφίνη και το κοινό γυαλί. Δεν έχουν σε μεγάλη έκταση κανονική διάταξη ατόμων ή μορίων ούτε σταθερό σημείο τήξεως. Με βάση αυτήν την περιγραφή, δεν θεωρούνται «πραγματικά» ή κρυσταλλικά στερεά. Χαρακτηρίζονται καλύτερα ως πολύ ιξώδη υγρά (ένα «ιξώδες» υγρό ρέει πολύ αργά, όπως ένα κρύο σιρόπι ή το μέλι.)

17.3 Η φύση των καθαρών υγρών.

Καθαρό υγρό είναι η υγρή φάση μιας μόνο καθαρής χημικής ενώσεως όπως π.χ. το νερό ή το βενζόλιο. Η δομή της δεν είναι ούτε τόσο κανονική ούτε τόσο άκαμπτη όσο ενός στερεού. Όταν ένα στερεό τήκεται και μετασχηματίζεται σε υγρό, τα μόρια (ή ιόντα, ή άτομα) παραμένουν το ένα κοντά στο άλλο, αλλά απαιτείται αρκετή ενέργεια, για να μετατοπισθεί το ένα ως προς το άλλο. Για σχετικά μικρές αποστάσεις συχνά διατηρούν μεταξύ τους τις θέσεις, τις οποίες κατέχουν στο κρυσταλλικό στερεό. Όταν οι αποστάσεις είναι μεγάλες, η αλληλεξάρτηση δεν



ΣΧΗΜΑ 17-3. *Η τοποθέτηση των ιόντων Na^+ και Cl^- στο αριστερό πρότυπο δείχνει ευκρινώς την κυβική γεωμετρία του NaCl. Παρατηρώντας από μικρή απόσταση τη μια πλευρά του κρυστάλλου (δεξιά) βλέπομε ότι το κάθε ιόν Na^+ (μικρή σφαίρα) περιβάλλεται από ιόντα Cl^- και το κάθε ιόν Cl^- περιβάλλεται ανάλογα από ιόντα νατρίου.*

είναι τόσο σταθερή ή ακριβής. Εξ αιτίας της ευχέρειας κινήσεως των μορίων, το υγρό δεν είναι άκαμπτο, αλλά ρέει (χύνεται).

Σε σχέση με αυτό ξανακοιτάξτε το σχήμα 7-2. Μπορείτε να διακρίνετε εύκολα μια αναπαράσταση της μοριακής κινήσεως στην υγρή φάση. Είναι σημαντικό να θυμάστε ότι τα μόρια των υγρών, όπως επίσης των στερεών και των αερίων, βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή ο βαθμός της μοριακής κινήσεως είναι το διακριτικό χαρακτηριστικό στην κάθε φάση της ύλης. Η κίνηση των μορίων ενός υγρού είναι ενδιάμεση, ανάμεσα σε αυτήν ενός στερεού και ενός αερίου.

Ανάμεσα στα κρυσταλλικά στερεά και τα υγρά υπάρχει ένα είδος υλικού που ονομάζεται ***υαλώδης*** ουσία. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του γυαλιού. Το γυαλί δεν έχει τη σαφή κανονική διάταξη ενός στερεού. Αν και ποτέ δεν είδατε ένα γυαλί να "ρέει" σε θερμοκρασία δωματίου, εν τούτοις μετά από πολλά χρόνια θα έχει ελαφρά "κυλήσει". Για παράδειγμα οι υαλοπίνακες στα πολύ παλαιά σπίτια έχουν γίνει παχύτεροι στο κάτω μέρος και λεπτότεροι στο πάνω, επειδή το γυαλί ρέει πολύ αργά εξαιτίας της βαρύτητας.

17.4 Η φύση των διαλυμάτων.

Ένα ***διάλυμα*** αποτελείται από δύο ή περισσότερες καθαρές ουσίες αναμεμιγμένες ***σε μοριακό επίπεδο***. Αν μικρά σωματίδια δύο ουσιών, όπως η λεπτή ζάχαρη και το λεπτόκοκκο αλάτι, αναμιχθούν, δεν σχηματίζουν διάλυμα. Δίνουν απλά ένα μίγμα.

Ένα διάλυμα έχει την ίδια εμφάνιση και σύσταση παντού. Οι ιδιότητές του όμως εξαρτώνται από τις σχετικές ποσότητες των καθαρών ουσιών σε αυτό. Για παράδειγμα, το διάλυμα που σχηματίζεται από τη διάλυση μικρής ποσότητας ζάχαρης στο νερό, ρέει εύκολα (έχει χαμηλό ιξώδες). Αν η αναλογία της ζάχαρης είναι μεγάλη, το διάλυμα θα είναι ιξώδες και κολλώδες, όπως το σιρόπι.

Πολλοί πιστεύουν ότι τα διαλύματα που είναι υγρά δημιουργούνται από τη διάλυση ενός στερεού σε ένα υγρό. Η αρχή όμως είναι πολύ γενικότερη. Πράγματι, υγρά διαλύματα είναι δυνατόν να σχηματισθούν από διάλυση αερίων ή υγρών σε κάποιο υγρό. Για παράδειγμα, η αμμωνία ή η αλκοόλη αν προστεθούν στο νερό, σχηματίζουν διαλύματα. Υπάρχουν όμως και στερεά διαλύματα. Το πιο γνωστό ίσως είδος στερεού διαλύματος αποτελείται από δύο ή περισσότερα είδη μεταλλικών ατόμων και ονομάζεται ***κράμα****.

* *Σ.τ.Μ. Ακριβέστερα, κράμα είναι ένα μίγμα δύο ή περισσοτέρων ουσιών, από τις οποίες η μία τουλάχιστον είναι μέταλλο.*

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

17.5 Η τοποθέτηση των ατόμων ή των ιόντων μέσα στους κρυστάλλους.

Η στερεά κατάσταση της ύλης χαρακτηρίζεται συνήθως από κανονική διάταξη των ατόμων, των μορίων ή των ιόντων. Αν παρασταθεί ο κάθε δομικός λίθος με ένα σημείο, τότε η κρυσταλλική δομή μπορεί να παρασταθεί από μια επαναλαμβανόμενη διάταξη, η οποία ονομάζεται ***κρυσταλλικό πλέγμα***. Το 1848, ένας επιστήμονας με το όνομα Bravais, χρησιμοποίησε επιχειρήματα βασισμένα εξ ολοκλήρου στη γεωμετρία, για να αποδείξει ότι μόνο δεκατέσσερα είδη απλών κρυσταλλικών πλεγμάτων είναι δυνατά.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Με τη βοήθεια σφαιρών από διογκωμένη πολυστερίνη, τις οποίες θα χρησιμοποιήσετε αντί για δομικούς λίθους, θα μελετήσετε μερικούς από τους τρόπους σχηματισμού των τυπικών μεταλλικών κρυστάλλων. Θα εξετασθούν τρεις τύποι δομής: η πυκνότατης διατάξεως εξαγωγική δομή, η πυκνότατης διατάξεως ή εδροκεντρωμένη κυβική δομή και η χωροκεντρωμένη κυβική δομή. Σε κάθε μία από αυτές τις δομές θα παρατηρήσετε τον αριθμό των πιο κοντινών «γειτόνων» του κάθε σωματιδίου (τον αριθμό συντάξεως).

Θα διερευνήσετε επίσης μερικές από τις δυνατότητες που υπάρχουν να τοποθετηθούν σφαίρες με διαφορετικές ακτίνες μέσα σε πλέγματα, τα οποία παριστάνουν ιοντικούς κρυστάλλους. Θα κατασκευάσετε το πλέγμα του ορυκτού άλατος, Na^+Cl^- (***στ***)*, και το πλέγμα του σφαλερίτη, $Zn^{2+}S^{2-}$ (***στ***). Ταυτόχρονα, θα παρατηρήσετε πώς προσδιορίζεται ο αριθμός συντάξεως από το λόγο των ακτίνων των κατιόντων (θετικά φορτισμένα ιόντα) και των ανιόντων (αρνητικά φορτισμένα ιόντα).

ΥΛΙΚΑ

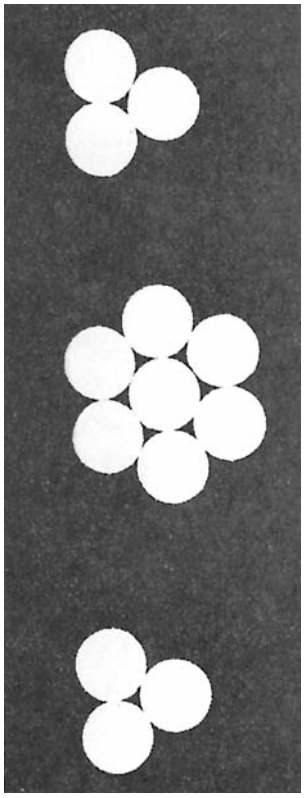
13 σφαίρες με διάμετρο 3 cm
13 σφαίρες με διάμετρο 2,5 cm
60 οδοντογλυφίδες (μήκους 3-6 cm)
36 σφαίρες από πολυστυρένιο διαμέτρου 6 cm (η μία πρέπει να είναι χρωματισμένη).

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

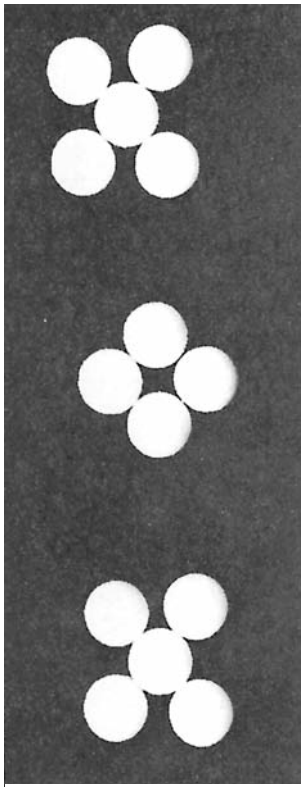
Μέρος Α. Μερικές γενικές παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των σφαιρών.

1. Να καθορίσετε πόσες σφαίρες των 6 cm μπορείτε να τοποθετήσετε πάνω στο ίδιο επίπεδο και τριγύρω από μια σημαδεμένη μονή σφαίρα. Νομίζετε ότι ο αριθμός αυτός θα εξαρτάται από το μέγεθος της σφαίρας; Να ελέγξετε την απάντησή σας.
2. Να τοποθετήσετε και άλλες ελεύθερες σφαίρες πάνω και κάτω από τη σημαδεμένη σφαίρα (η οποία εξακολουθεί να περιβάλλεται από άλλες σφαίρες), ώστε να την αγγίζουν όλες. Πόσες σφαίρες γειτνιάζουν άμεσα με τη σημαδεμένη σφαίρα; Με άλλα λόγια, ποιος είναι ο αριθμός συντάξεως γι' αυτό το είδος της πυκνοτάτης διατάξεως;
3. Αξίζει να προσέξετε ότι οι τρεις σφαίρες της επάνω στοιβάδας είναι

* *Σ.τ.Μ. (στ = στερεό).*



ΣΧΗΜΑ 17-4.



ΣΧΗΜΑ 17-5.

δυνατόν να καταλαμβάνουν μια θέση ακριβώς όμοια με τη στοιβάδα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο, ή να έχουν περιστραφεί κατά 60°. Και οι δύο θέσεις δίνουν τον ίδιο αριθμό συντάξεως.

Μέρος Β. Πρότυπο Ι. Η πυκνότατης διατάξεως ή εδροκεντρωμένη εξαγωνική δομή.

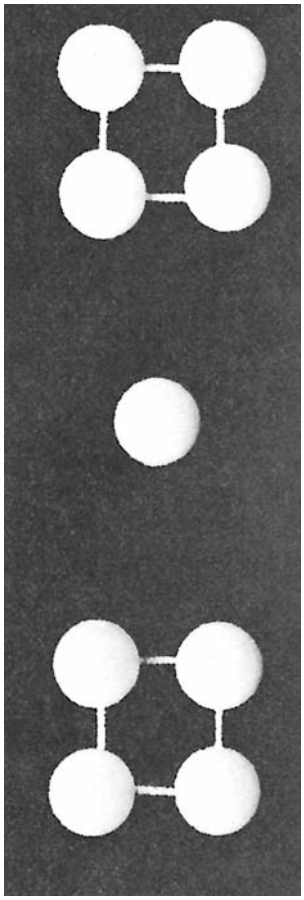
1. Συνδέστε τις ομάδες των σφαιρών που χρησιμοποιήσατε στο Μέρος Α με οδοντογλυφίδες, ώστε να σχηματισθούν οι στοιβάδες του σχήματος 17-4.
2. Τοποθετήστε τη στοιβάδα των τριών σφαιρών πάνω στο τραπέζι με την κορυφή του τριγώνου προς το μέρος σας.
3. Τοποθετήστε τώρα τη στοιβάδα των επτά σφαιρών πάνω από τις τρεις σφαίρες, ώστε η κεντρική σφαίρα να συμπίπτει με την κοιλότητα της πρώτης στοιβάδας.
4. Πάνω από την κεντρική σφαίρα της επάνω στοιβάδας τοποθετήστε μια ακόμη στοιβάδα τριών σφαιρών, ώστε να κατευθύνονται πάνω ακριβώς από εκείνες της πρώτης στοιβάδας. Ας υποτεθεί ότι ένα σχήμα όπως αυτό επεκτείνεται στο χώρο τόσο, όσο να περιλαμβάνει εκατομμύρια ατόμων. Το αποτέλεσμα θα είναι το πρότυπο ενός πολύ μικρού κρυστάλλου μεταλλικού μαγνησίου, ψευδαργύρου ή ενός από πολλά άλλα μέταλλα. Προσέξτε τον αριθμό συντάξεως. Κρατήστε το πρότυπο αυτό, για να το χρησιμοποιήσετε στο Δ Μέρος.

Μέρος Γ. Πρότυπο ΙΙ. Η πυκνότατης διατάξεως ή εδροκεντρωμένη κυβική δομή.

1. Κατασκευάστε τις διατάξεις του σχήματος 17-5, χρησιμοποιώντας, όπως και προηγουμένως, σφαίρες έξι εκατοστών και οδοντογλυφίδες.
2. Τοποθετήστε την πρώτη στοιβάδα πάνω στο τραπέζι. Τοποθετήστε πάνω της τη δεύτερη στοιβάδα με τις σφαίρες να στέκονται στα κενά ανάμεσα στις γωνιακές σφαίρες της πρώτης στοιβάδας. Προσθέστε τώρα την τρίτη στοιβάδα, ώστε οι σφαίρες της να βρίσκονται κατευθείαν πάνω από τις σφαίρες της πρώτης στοιβάδας. Μελετήστε προσεκτικά αυτό το πρότυπο. Γιατί ονομάζεται ***εδροκεντρωμένο*** κυβικό; Η διάταξη αυτή απαντά στο χαλκό, τον άργυρο, το αλουμίνιο και σε άλλα μέταλλα.

Μέρος Δ. Σύγκριση της πυκνότατης διατάξεως εξαγωνικής δομής με την πυκνότατης διατάξεως κυβική δομή.

1. Επιστρέψτε στο πρότυπο Ι, της πυκνότατης διατάξεως εξαγωνικής δομής. Τροποποιήστε το έτσι, ώστε η επάνω στοιβάδα να μην βρίσκεται ακριβώς πάνω από την κάτω στοιβάδα, αλλά να έχει στραφεί κατά 60° ως προς αυτήν.
2. Περιστρέψτε το πρότυπο ελαφρά και αναζητήστε τέσσερις σφαίρες, οι οποίες να σχηματίζουν μπροστά σας ένα τετράγωνο. Στη συνέχεια, αφαιρέστε την επάνω στοιβάδα του προτύπου ΙΙ και τοποθετήστε το υπόλοιπο πάνω από τις τέσσερις σφαίρες που είχατε εντοπίσει στο πρότυπο Ι. Οι σφαίρες της επάνω στοιβάδας θα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένες με αυτές της από κάτω στοιβάδας, δηλαδή τις τέσσερις σφαίρες του προτύπου Ι. Ας σημειωθεί ότι τώρα έχετε μια ***εδροκεντρωμένη*** κυβική δομή,



ΣΧΗΜΑ 17-6.

ακριβώς όμοια με του προτύπου ΙΙ, με τη διαφορά ότι γέρνει λίγο από την κατακόρυφη θέση.

3. Με βάση την προηγούμενη σύγκριση, υπάρχει κάποια διαφορά στον αριθμό συντάξεως ανάμεσα στα δύο είδη πυκνότατης δομής; Υπάρχει κάποια διαφορά στην πυκνότητα, αν το κάθε είδος δομής περιλαμβάνει σφαίρες ιδίου μεγέθους και μάζας; Τα περισσότερα μέταλλα σχηματίζουν κρυστάλλους με τη μία δομή και όχι και με τις δύο. Τι φανερώνει αυτό σχετικά με την προσανατολισμένη φύση των δεσμών που υπάρχουν ανάμεσα στα άτομα αυτών των μετάλλων;

Μέρος Ε. Πρότυπο ΙΙΙ. Η χωροκεντρωμένη κυβική δομή.

1. Κατασκευάστε τις στοιβάδες που φαίνονται στο σχήμα 17-6, με τη βοήθεια σφαιρών των 6 cm. Βεβαιωθείτε ότι ανάμεσα στις σφαίρες αφήσατε περίπου 1 εκατοστό κενό διάστημα, όπως φαίνεται και στο σχήμα.
2. Τοποθετήστε τη μονή σφαίρα στο κέντρο της πρώτης στοιβάδας και κατόπιν τοποθετήστε την τρίτη στοιβάδα έτσι, ώστε οι σφαίρες της να βρίσκονται ακριβώς πάνω από αυτές της πρώτης στοιβάδας. Μελετήστε τη συμμετρία αυτού του προτύπου και δικαιολογήστε το όνομά του. Αυτό το είδος δομής είναι χαρακτηριστικό των μετάλλων των αλκαλίων, όπως το νάτριο και το κάλιο. Μπορείτε, με βάση τους αριθμούς των ηλεκτρονίων σθένους να δικαιολογήσετε γιατί το Na και το K κρυσταλλώνουν σε αυτήν τη μορφή, ενώ τα περισσότερα από τα άλλα μέταλλα κρυσταλλώνουν με τη μορφή δομής πυκνότατης διατάξεως;
3. Ο μεταλλικός σίδηρος κρυσταλλώνει κάτω από τους 906 °C με τη μορφή εδροκεντρωμένης πυκνότατης διατάξεως δομής και ονομάζεται άλφα ***φερρίτης***. Πάνω από αυτήν τη θερμοκρασία η σταθερή μορφή είναι ο βήτα φερρίτης, με εδροκεντρωμένη κυβική διάταξη. Στους 1401°C αλλάζει η κρυσταλλική μορφή και έχομε πάλι ένα χωροκεντρωμένο κυβικό στερεό με το όνομα γάμμα φερρίτης. Ποιος είναι ο αριθμός συντάξεως του σιδήρου στην κάθε μία από αυτές τις μορφές; Μήπως είναι δυνατόν να δικαιολογηθούν αυτές οι μετατροπές με τη βοήθεια του αριθμού των ηλεκτρονίων που διατίθενται για τη δημιουργία δεσμών;

Μέρος ΣΤ. Το κρυσταλλικό πλέγμα του χλωριούχου νατρίου.

1. Οι ιοντικοί κρύσταλλοι σχηματίζονται από διαδοχική τοποθέτηση θετικών και αρνητικών ιόντων μέσα σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα. Τα ιόντα του νατρίου έχουν διάμετρο 1,90 Å, ενώ τα ιόντα του χλωρίου 3,62 Å. Χρησιμοποιήστε σφαίρες 3 cm για τα ιόντα Na^+ και σφαίρες 6 cm για τα ιόντα Cl^-, για να πλησιάσετε την πραγματική αναλογία μεγεθών σε αυτό το πρότυπο.
2. Χρησιμοποιήστε το πρότυπο ΙΙ με τις σφαίρες των 6 cm, για να έχετε την εδροκεντρωμένη κυβική διάταξη των ιόντων του χλωρίου. Τοποθετήστε τις δεκατρείς σφαίρες των τριών εκατοστών που παριστάνουν τα ιόντα του νατρίου στα διάκενα ανάμεσα στα ιόντα του χλωρίου της κάθε στοιβάδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κρυσταλλικό πλέγμα του Na^+Cl^- είναι ένα σύστημα αλληλοδιεισδύσεως κύβων εδροκεντρωμένης δομής. Ο ένας κύβος αποτελείται από ιόντα Na^+ και ο άλλος από ιόντα Cl^-.
3. Τι είδος ιόντων περιβάλλει το κάθε Na^+ και τι είδος ιόντων το κάθε Cl^-; Ποιος είναι ο αριθμός συντάξεως για τις σφαίρες που παριστάνουν το Na^+;

Ποιος για το Cl^-;

4. Σημειώστε ότι, για να δημιουργηθεί αυτό το είδος κρυσταλλικής δομής, πρέπει να υπάρχει μια ευνοϊκή σχέση ανάμεσα στις σχετικές ακτίνες των δύο σφαιρών, η οποία να επιτρέπει σε ορισμένη σφαίρα να εφαρμόζει σε ορισμένο διάκενο του κρυσταλλικού πλέγματος. Ποιος είναι ο λόγος των ακτίνων των ιόντων Na^+/Cl^-; Είναι δυνατόν να δικαιολογήσετε τη σταθερότητα αυτού του είδους δομής, με βάση τις δυνάμεις που εξασκούνται ανάμεσα στα ιόντα;

Μέρος Ζ. Το κρυσταλλικό πλέγμα του θειούχου ψευδαργύρου (σφαλερίτη).

1. Το ιόν του ψευδαργύρου έχει διάμετρο 1,5 Å ενώ η διάμετρος του ιόντος θείου είναι 3,7 Å. Χρησιμοποιήστε σφαίρες των 2,5 cm για τα ιόντα Zn^{2+} και σφαίρες των 6 cm για τα ιόντα S^{2-}, ώστε να προσεγγίσετε τα σχετικά μεγέθη.
2. Χρησιμοποιήστε το πρότυπο Ι, (πυκνότατης διατάξεως εξαγωνική δομή), για να παραστήσετε το κρυσταλλικό πλέγμα των μεγαλυτέρων ιόντων, των θειούχων (S^{2-}). Συνδέστε μία από τις μικρότερες σφαίρες (2,5 cm) που παριστάνουν τα ιόντα Zn^{2+} κατευθείαν πάνω από την κάθε μεγάλη σφαίρα στην καθεμία από τις τρεις στοιβάδες του προτύπου Ι (μεταχειριστείτε οδοντογλυφίδες).

   Τοποθετήστε τη μεγάλη στοιβάδα (αυτή που έχει προσκολλημένες πάνω της τις μικρές σφαίρες), πάνω στο τραπέζι, έτσι ώστε οι μικρές σφαίρες να βρίσκονται από την κάτω μεριά. Κατόπιν, τοποθετήστε μια μικρή στοιβάδα πάνω στη μεγάλη στοιβάδα έτσι ώστε οι μικρότερες σφαίρες να εφαρμόζουν στα διάφορα κοιλώματα. Αντιστρέψτε τις δύο στοιβάδες. Τέλος, προσθέστε την τρίτη στοιβάδα, με τις μικρές σφαίρες της να κατευθύνονται προς τα πάνω. Αυτή η τελευταία στοιβάδα να τοποθετηθεί έτσι, ώστε η κάθε σφαίρα της να βρίσκεται πάνω ακριβώς από μια σφαίρα της τελευταίας προς τα κάτω στοιβάδας.
3. Ποιος είναι ο αριθμός συντάξεως των σφαιρών που παριστάνουν τα ιόντα Zn^{2+};
4. Ποιος είναι ο λόγος των ακτίνων των ιόντων ψευδαργύρου και θείου;

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Περιγράψτε σύντομα (γραπτώς) τους τύπους δομής των μεταλλικών κρυστάλλων που εξετάσθηκαν.
2. Να απαντήσετε σε όλες τις ερωτήσεις που διατυπώθηκαν σε κάθε στάδιο (μέρη) της πειραματικής διαδικασίας. Να ονομάσετε την κάθε απάντηση με βάση το μέρος στο οποίο ανήκει κάθε ερώτηση και με βάση τον αριθμό που της έχει δοθεί, για παράδειγμα Απ. Α-1.
3. Στον έναν τύπο κυβικής δομής, οι σφαίρες καταλαμβάνουν τα δύο τρίτα περίπου του διαθέσιμου χώρου, ενώ στον άλλο περίπου τα τρία τέταρτα. Να προσδιορίσετε τον κάθε τύπο. Ποιος είναι πιο πυκνός; Ποιος έχει το μεγαλύτερο αριθμό δεσμών;
4. Από τη μελέτη των προτύπων που κατασκευάσθηκαν στο ΣΤ και στο Ζ μέρος, ποιο συμπέρασμα εξάγεται σχετικά με το λόγο των ακτίνων των ιόντων και τον αριθμό συντάξεως των κρυστάλλων; Σε ποια περίπτωση γύρω από κάθε ιόν οι έλξεις είναι εντονότερες με γειτονικά ιόντα;
5. Ας υποτεθεί ότι έχετε έναν κρύσταλλο ΧΥ με τη διάταξη της δομής του χλωριούχου νατρίου. Επίσης, ας υποτεθεί ότι τα ιόντα έχουν αντίστοιχα τα ίδια μεγέθη με τα Na^+ και Cl^-, αλλά διπλάσιο φορτίο. Πιστεύετε ότι

ο XY θα έχει μεγαλύτερο ή μικρότερο σημείο τήξεως από το NaCl; Προτείνατε ένα πραγματικό ζεύγος κρυστάλλων με τις πιο πάνω προδιαγραφές, δηλαδή να διαφέρουν μόνο στο ιοντικό φορτίο τους. Συγκρίνατε το σημείο τήξεως που έχουν, ώστε να ελέγξετε τις προβλέψεις σας.

6. Ας υποτεθεί ότι έχετε έναν κρύσταλλο AB με τη διάταξη της δομής του χλωριούχου νατρίου. Ας υποτεθεί επίσης, ότι το κάθε ιόν έχει το ίδιο φορτίο (A^+ και B^-) με τα ιόντα Na^+ και Cl^-, αλλά οι ακτίνες των A και B είναι αναλογικά μεγαλύτερες. Άραγε, ο κρύσταλλος AB θα έχει μεγαλύτερο ή μικρότερο σημείο τήξεως από το NaCl; Προτείνατε πάλι ένα πραγματικό ζεύγος κρυστάλλων με τις παραπάνω προδιαγραφές και μελετήστε τα σημεία τήξεώς τους.

Περίληψη.

Οι συμπυκνωμένες μορφές της ύλης (στερεά, υγρά και διαλύματα) δημιουργούνται, όταν άτομα, μόρια ή ιόντα πλησιάσουν σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να δράσουν ανάμεσά τους ελκτικές δυνάμεις μικρής κλίμακας. Αυτές οι δυνάμεις ποικίλλουν σημαντικά σε μέγεθος, δικαιολογώντας έτσι τη μεγάλη ποικιλία στα σημεία τήξεως και βρασμού των διαφόρων ουσιών.

Τα κρυσταλλικά στερεά σχηματίζονται από τη διαδοχική και κανονική επανάληψη μιας βασικής τοποθετήσεως μερικών ατόμων, μορίων ή ιόντων στο χώρο. Στα υγρά, υπάρχει πάντοτε πολύ μικρότερη τάξη. Τα σωματίδια μετακινούνται συνεχώς και σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι στα στερεά*. Τα διαλύματα είναι μίγματα ομοιόμορφης συστάσεως σε μοριακό επίπεδο. Αποτελούνται από καθαρά υγρά, στερεά ή αέρια. Τα διαλύματα είναι δυνατόν να υπάρχουν ως υγρά ή ως στερεά. Οι ιδιότητες ενός διαλύματος εξαρτώνται από τις αναλογίες υπό τις οποίες έχουν συνδυασθεί τα συστατικά του.

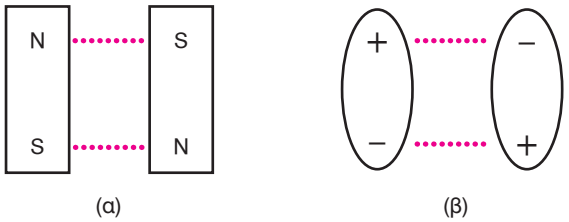
Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Τι συμβαίνει όταν συμπυκνώνεται ένα καθαρό αέριο;
2. Με βάση ποια ένδειξη θα ήταν δυνατόν να προβλέψετε αν μία ένωση έχει υψηλό ή χαμηλό σημείο τήξεως;
3. Αναφέρατε τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της κρυσταλλικής καταστάσεως.
4. Να γίνει η διάκριση σε μοριακό επίπεδο, ανάμεσα σε ένα κρυσταλλικό στερεό και σε ένα υγρό.
5. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα σε ένα διάλυμα και σε ένα φυσικό μίγμα;

Οι δυνάμεις ανάμεσα σε άτομα διαφέρουν σε ένταση

17.6 Δυνάμεις μεταξύ των ατόμων.

Σε προηγούμενο κεφάλαιο εξοικειωθήκατε με τον τρόπο με τον οποίο δύο μαγνητικές ράβδοι, μαγνητικά δίπολα, έλκονται μεταξύ τους. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 17-7α. Κατά τον ίδιο τρόπο έλκονται μεταξύ τους και τα ηλεκτρικά δίπολα (σχ. 17-7β), όταν πλησιάσουν τα αντίθετα φορτία τους. Αυτό το είδος της δυνάμεως ονομάζεται έλξη διπόλου από δίπολο.



ΣΧΗΜΑ 17-7. *Τα δύο είδη διπολικής έλξεως: (α) Μαγνητικά δίπολα, (β) ηλεκτρικά δίπολα.*

* *Σ.τ.Μ. Στα στερεά τα σωματίδια απλά δονούνται στις θέσεις που βρίσκονται.*

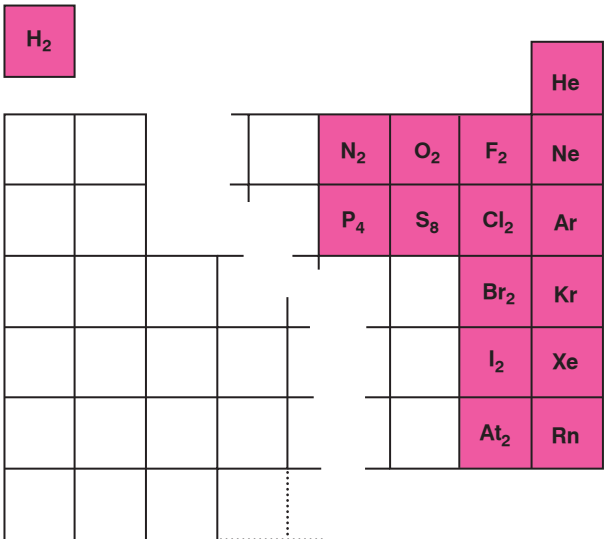
Για τα άτομα που έχουν σφαιρική συμμετρία και δεν έχουν μόνιμα διαμορφωμένες διπολικές ροπές, καθώς και για τα μη πολικά μόρια, αυτού του είδους οι δυνάμεις διπόλου προς δίπολο δεν είναι σημαντικές. Παίζουν όμως ρόλο κατά έμμεσο τρόπο.

Ανάμεσα στα άτομα των ευγενών αερίων, όπως το ήλιο, το νέο και το κρυπτό, υπάρχουν δυνάμεις. Δυνάμεις υπάρχουν επίσης ανάμεσα στα μόρια των στοιχείων, όπως το φθόριο, F_2, το χλώριο, Cl_2, και ο φωσφόρος, P_4, έστω και αν αυτά τα άτομα ή τα μόρια δεν έχουν μόνιμες διπολικές ροπές. Το γεγονός ότι όλα τα μόρια όλων αυτών των στοιχείων συμπυκνώνονται και σχηματίζουν υγρά και στερεά δείχνει ότι υφίστανται ***κάποιες*** δυνάμεις.

Οι δυνάμεις που αναγκάζουν για παράδειγμα τα ευγενή αέρια ή το F_2 να συμπυκνωθούν, ονομάζονται δυνάμεις ***van der Waals***, από το όνομα του Ολλανδού επιστήμονα που τις μελέτησε. Είναι πολύ ασθενείς δυνάμεις, τόσο που, όταν υπάρχουν μόνον αυτές, χρειάζονται πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να προκληθεί συμπύκνωση. Οι δυνάμεις van der Waals υπάρχουν πάντα, αλλά, όταν δρουν και άλλες ισχυρότερες δυνάμεις, οι van der Waals θεωρούνται κατά κανόνα αμελητέες.

Οι δυνάμεις van der Waals υφίστανται λόγω των ταλαντουμένων διπόλων. Καθώς κινούνται τα ηλεκτρόνια μέσα σε ένα άτομο ή μόριο, είναι δυνατόν κάποια στιγμή να διαταραχθεί η κατανομή τους, δηλαδή να μην είναι συμμετρική. Τότε δημιουργείται ένα μικρό δίπολο. Αυτό το στιγμιαίο δίπολο επηρεάζει την ηλεκτρονική κατανομή σε ένα διπλανό άτομο ή μόριο. Οδηγεί δηλαδή στο σχηματισμό ενός γειτονικού διπόλου. Όμως το γειτονικό δίπολο που δημιουργείται έχει τους πόλους αντίθετα τοποθετημένους και έτσι τα δύο δίπολα έλκονται μεταξύ τους, όσο υπάρχουν. Οι έλξεις αυτές είναι μικρές, επειδή τα δίπολα είναι ασθενή και μικρής διάρκειας. Ασκούνται επίσης σε πολύ μικρή περιοχή, γιατί το δίπολο ενός μορίου δεν μπορεί να επηρεάσει το δίπολο ενός άλλου μορίου, παρά μόνον αν τα δύο βρεθούν πολύ κοντά.

Γνωρίζετε τώρα έναν απλό κανόνα, για να προβλέπετε πότε ένα στοιχείο θα σχηματίσει ένα υγρό μοριακής συστάσεως με ασθενώς συνδεδεμένα μεταξύ τους τα μόρια ή έναν κρύσταλλο χαμηλού σημείου τήξεως. ***Αν ένα στοιχείο οδηγεί στο σχηματισμό μορίου, στο οποίο το κάθε άτομο διαθέτει την τροχιακή κάλυψη ενός ευγενούς αερίου, τότε υφίστανται, σε αυτά τα μόρια, μόνο αλληλεπιδράσεις van der Waals.*** Οι



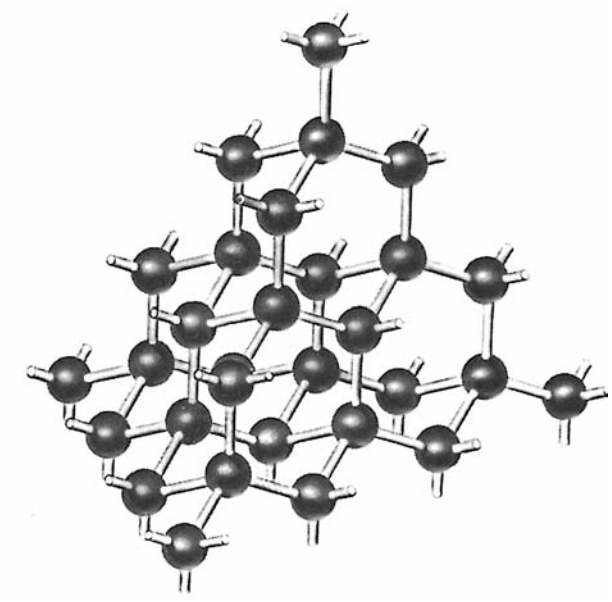
ΣΧΗΜΑ 17-8. *Τα στοιχεία που έχουν την τάση να σχηματίζουν υγρά και στερεά με την αλληλεπίδραση δυνάμεων van der Waals βρίσκονται συγκεντρωμένα στο επάνω δεξιό τμήμα του περιοδικού πίνακα.*

κρύσταλλοι με το χαμηλό σημείο τήξεως που σχηματίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο ονομάζονται ***μοριακοί κρύσταλλοι***, επειδή οι μικρότερες μονάδες στο κρυσταλλικό πλέγμα τους είναι μόρια.

Σε επόμενο σημείο αυτού του κεφαλαίου θα εξετασθούν οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος των δυνάμεων van der Waals. Προς το παρόν, αρκεί να παρατηρήσει κάποιος ότι τα στοιχεία που σχηματίζουν υγρά και στερεά με δυνάμεις van der Waals βρίσκονται συγκεντρωμένα στην επάνω δεξιά γωνία του περιοδικού πίνακα, όπως δείχνει το σχήμα 17-8. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να σχηματίσουν σταθερά μόρια, τα οποία ικανοποιούν πλήρως όλες τις δυνατότητες για σύνδεση του κάθε ατόμου.

17.7 Ομοιοπολικοί δεσμοί και στερεά πλέγματα.

Το φθόριο, F_2, το οξυγόνο, O_2, και το άζωτο, N_2, σχηματίζουν όλα μοριακούς κρυστάλλους. Όμως, το επόμενο μέλος αυτής της σειράς του περιοδικού πίνακα, ο άνθρακας, παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά. Δεν υπάρχει μικρό μόριο καθαρού άνθρακα που να ικανοποιεί πλήρως όλες τις δυνατότητες του κάθε ατόμου να σχηματίζει δεσμούς. Ως αποτέλεσμα, ο άνθρακας στον κρύσταλλό του περιβάλλεται από ένα πλέγμα



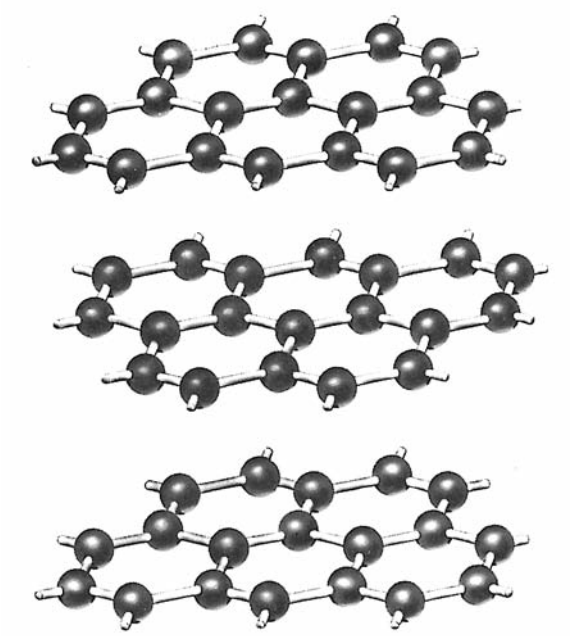
ΣΧΗΜΑ 17-9. *Το διαμάντι είναι μια καθαρή μορφή άνθρακα. Το δομικό του πλέγμα χαρακτηρίζεται από συμπαγή τετραεδρική διάταξη των ατόμων του.*

αλληλοσυνδεομένων χημικών δεσμών.

Με το ένα 2*s* και τα τρία 2*p* τροχιακά που διαθέτει ο άνθρακας για το σχηματισμό δεσμών, δημιουργεί ένα κρυσταλλικό πλέγμα, στο οποίο το κάθε άτομο σχηματίζει τέσσερις δεσμούς. Όπως είδατε στο σχήμα 15-10, ο σχηματισμός δεσμού sp^3 δημιουργεί τετραεδρικές γωνίες δεσμών. Αυτό το είδος δεσμού συμπίπτει με την πειραματικά προσδιορισθείσα δομή του διαμαντιού, η οποία φαίνεται στο σχήμα 17-9.

Το διαμάντι είναι μια φυσικής προελεύσεως καθαρή μορφή του κρυσταλλικού άνθρακα. Το κάθε άτομο άνθρακα περιβάλλεται από τέσσερα άλλα, τοποθετημένα τετραεδρικά. Αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί ένα συμπαγές δομικό ***πλέγμα*** (αλληλοσυνδεόμενο σύστημα) συνδεόμενο μόνο με χημικούς δεσμούς. Η διάταξη αυτή δικαιολογεί την εξαιρετική σκληρότητα και τη μεγάλη σταθερότητα αυτής της μορφής του άνθρακα.

Ο γραφίτης είναι μια άλλη στερεή μορφή του άνθρακα. Αντίθετα με την τρισδιάστατη δομή του κρυσταλλικού πλέγματος του διαμαντιού, ο γραφίτης έχει δομή επιπέδων στοιβάδων, όπως αυτή που δείχνει το σχήμα 17-10. Αν και μέσα σε κάθε επίπεδη στοιβάδα υπάρχουν ισχυροί δεσμοί, ανάμεσα σε δύο γειτονικές στοιβάδες υφίστανται μόνο ασθενείς δυνάμεις. Οι ασθενείς αυτές δυνάμεις κάνουν τον κρύσταλλο του γραφίτη να



ΣΧΗΜΑ 17-10. *Ο γραφίτης είναι μια καθαρή μορφή άνθρακα διαφορετική από το διαμάντι. Η διαφορά του από το διαμάντι οφείλεται στο δομικό του πλέγμα, το οποίο έχει δισδιάστατη επίπεδη διάταξη ατόμων άνθρακα.*

σχίζεται εύκολα και δικαιολογούν τη μαλακότητα και τις λιπαντικές του ιδιότητες.

Τα στοιχεία που σχηματίζουν στερεά πλέγματα βρίσκονται στο δεξιό μέρος του περιοδικού πίνακα. Συνορεύουν από τη μια μεριά με τα στοιχεία που σχηματίζουν μοριακούς κρυστάλλους και από την άλλη με εκείνα που έχουν μεταλλικό χαρακτήρα. Γι' αυτό, έχουν ιδιότητες που χαρακτηρίζουν και τα μέταλλα και τα αμέταλλα. Συνήθως, είναι δύσκολο να γίνουν κατατάξεις σε αυτήν την οριακή περιοχή. Ενώ μία ιδιότητα είναι δυνατόν να βοηθά σε κάποια ταξινόμηση, κάποια άλλη ίσως να οδηγεί σε διαφορετικό συμπέρασμα. Στο σχήμα 17-11 φαίνονται μερικά στοιχεία που σχηματίζουν στερεά, τα οποία δεν είναι ούτε απόλυτα μεταλλικοί ούτε απόλυτα μοριακοί κρύσταλλοι.

17.8 Μεταλλικοί δεσμοί.

Εξετάσθηκαν οι στερεές μορφές των στοιχείων φθόριο, οξυγόνο, άζωτο και άνθρακας. Στην κάθε περίπτωση, σχηματίζεται ένα στερεό, στο οποίο ικανοποιούνται πλήρως όλες οι δυνατότητες σχηματισμού δεσμών. Δύο στοιχεία της δεύτερης σειράς (το βηρύλλιο και το λίθιο) είναι μέταλλα.

H_2						He
	B	C	N_2	O_2	F_2	Ne
		Si	P_4	S_8	Cl_2	Ar
		Ge	As	Se	Br_2	Kr
			Sb	Te	I_2	Xe
			Bi	Po	At_2	Rn

ΣΧΗΜΑ 17-11. *Στοιχεία που σχηματίζουν πλέγματα στερεών μέσω ομοιοπολικών δεσμών βρίσκονται τοποθετημένα στη δεξιά πλευρά του περιοδικού πίνακα ανάμεσα στα μέταλλα και στα αμέταλλα στοιχεία.*

Δεν διαθέτουν όμως αρκετά ηλεκτρόνια, ώστε να τους επιτραπεί να χρησιμοποιήσουν όλα τα τροχιακά σθένους για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών. Επί πλέον, οι ενέργειες ιοντισμού αυτών των στοιχείων είναι πολύ χαμηλές. ***Δύο είναι οι απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία μεταλλικού δεσμού: Κενά τροχιακά σθένους και χαμηλές ενέργειες ιοντισμού.***

Χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων. Η πιο χαρακτηριστική ίσως ιδιότητα των μετάλλων είναι η ανακλαστικότητα ή λάμψη. Με μικρές εξαιρέσεις (χρυσός, χαλκός, βισμούθιο, μαγγάνιο) όλα τα μέταλλα έχουν χρώμα λευκό-ασημί. Το χρώμα αυτό είναι αποτέλεσμα της ανακλάσεως όλων των συχνοτήτων του φωτός. Όπως ορίστηκε στο κεφάλαιο 11, η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση μιας ουσίας καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο αυτή αλληλοεπιδρά με το φως. Έτσι, η χαρακτηριστική ανακλαστικότητα των μετάλλων δείχνει ότι όλα τα μέταλλα διαθέτουν έναν κοινό τύπο ηλεκτρονιακής διαμορφώσεως.

Μια δεύτερη χαρακτηριστική ιδιότητα των μετάλλων είναι η υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Προσδιορίζεται και πάλι κάποια μεταλλική συμπεριφορά που προϋποθέτει μια ειδική ηλεκτρονιακή διαμόρφωση.

Τα μέταλλα εμφανίζουν επίσης ασυνήθιστα υψηλή θερμική αγωγιμότητα, όπως θα μας διαβεβαιώσει όποιος έτυχε να πιει ποτέ καφέ σε μεταλλικό φλυντζάνι. Ανάμεσα στα μέταλλα, οι



ΣΧΗΜΑ 17-12. *Ένας αργυροχόος αναγκάζει το στερεό μέταλλο να μορφοποιηθεί σύμφωνα με το σχέδιο χρησιμοποιώντας το σφυρί του. Αυτό δείχνει ότι τα μέταλλα είναι ελατά.*

καλύτεροι ηλεκτρικοί αγωγοί είναι ταυτόχρονα και καλύτεροι θερμικοί αγωγοί. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι αυτές οι δύο ιδιότητες έχουν κάποια σχέση. Γι' άλλη μια φορά αποδεικνύεται ότι υπεύθυνη είναι η ηλεκτρονιακή διαμόρφωση.

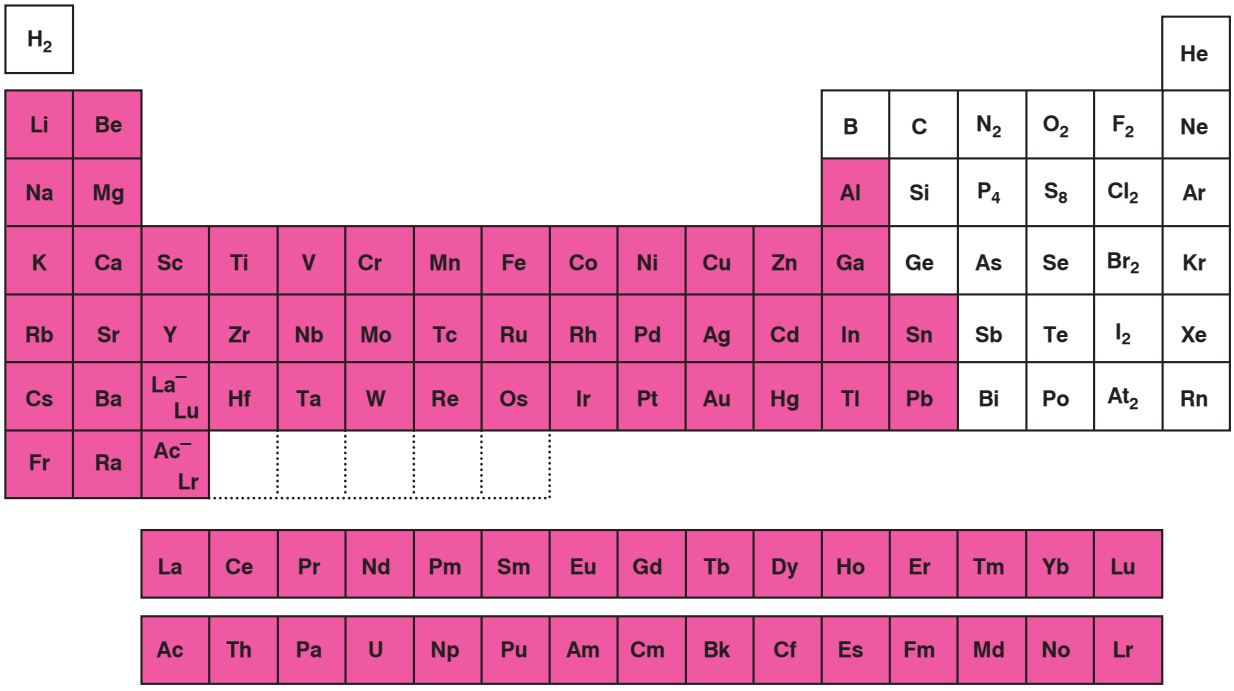
Αν και οι μηχανικές ιδιότητες των διαφόρων μετάλλων διαφέρουν, όλα τα μέταλλα μπορούν να μορφοποιηθούν σε σύρματα και να σφυρηλατηθούν ώστε να σχηματοποιηθούν σε λεπτά φύλλα (ελάσματα) χωρίς να σπάσουν. Έτσι λέμε ότι τα μέταλλα είναι όλκιμα* και ελατά. Η τέταρτη αυτή ιδιότητα των μετάλλων φαίνεται στο σχήμα 17-12.

Τοποθέτηση των μετάλλων στον περιοδικό πίνακα. Η τοποθέτηση των μετάλλων στον περιοδικό πίνακα φαίνεται στο σχήμα 17-13. Τα μέταλλα τοποθετούνται στην αριστερή πλευρά του πίνακα, ενώ τα αμέταλλα βρίσκονται αποκλειστικά στην επάνω δεξιά γωνία. Επί πλέον, τα στοιχεία της αριστερής πλευράς του πίνακα έχουν σχετικά χαμηλές ενέργειες ιοντισμού**. Θα διαπιστώσετε ότι οι χαμηλές ενέργειες ιοντισμού βοηθούν στην ερμηνεία πολλών από τα χαρακτηριστικά της μεταλλικής συμπεριφοράς.

Ηλεκτρονιακή συμπεριφορά των μετάλλων.

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή δύνανται να σφυρηλατηθούν και να κατεργασθούν.*

** *Σ.τ.Μ. Ενέργεια ιοντισμού ονομάζομε την ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από ένα άτομο που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση.*



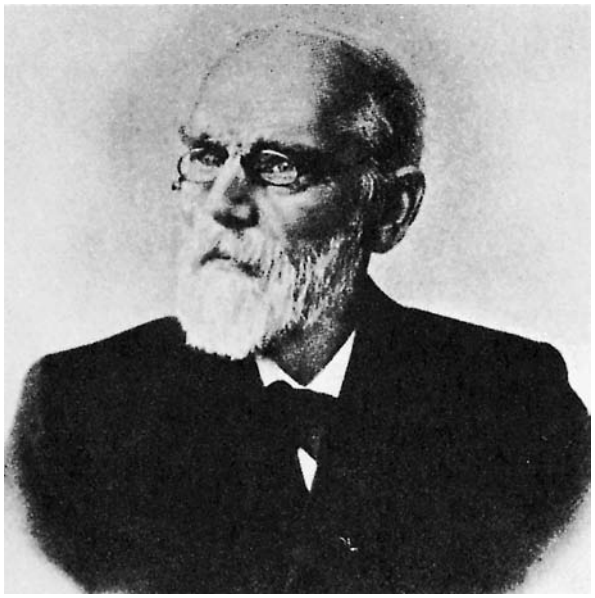
ΣΧΗΜΑ 17-13. *Τα μεταλλικά στοιχεία είναι τα πολυπληθέστερα. Εκτείνονται σε όλο το διάστημα από την άκρη της αριστερής πλευράς του περιοδικού πίνακα μέχρι τα στοιχεία εκείνα που σχηματίζουν στερεά κρυσταλλικά πλέγματα.*

Ποια είναι η φύση του μεταλλικού δεσμού; Ο δεσμός αυτός, όπως και όλοι οι άλλοι, σχηματίζεται επειδή τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινούνται ταυτόχρονα πλησιάζοντας δύο ή περισσότερους θετικούς πυρήνες. Πώς γίνεται αυτό από τα ηλεκτρόνια των μετάλλων;

Παρατηρήστε έναν κρύσταλλο μεταλλικού λιθίου. Στο κρυσταλλικό του πλέγμα, το κάθε άτομο λιθίου έχει γύρω του οκτώ γειτονικά άτομα. Επειδή το άτομο αυτό διαθέτει μόνο ένα ηλεκτρόνιο σθένους, δεν μπορεί να σχηματίσει κανονικούς δεσμούς ζεύγους ηλεκτρονίων με όλα τα γειτονικά του άτομα. Έχει όμως διαθέσιμα τέσσερα τροχιακά σθένους. Έτσι, το ηλεκτρόνιό του και τα ηλεκτρόνια σθένους των «γειτόνων» του μπορούν να πλησιάσουν πολύ κοντά στον πυρήνα του. Συμπέρασμα: Το κάθε άτομο του λιθίου έχει άφθονα τροχιακά σθένους αλλά λίγα ηλεκτρόνια διαθέσιμα για δεσμούς.

Ας μελετήσομε το δίλημμα που αντιμετωπίζει ένα ηλεκτρόνιο σθένους ενός ατόμου λιθίου. Συναντά οκτώ γειτονικούς πυρήνες πλάι του και έχει πλήρη ελευθερία κινήσεως στα κενά τροχιακά σθένους γύρω από το μητρικό του πυρήνα. Όπου και να κινηθεί το ηλεκτρόνιο, βρίσκεται πάντα ανάμεσα σε δύο θετικούς πυρήνες. Όλο το διάστημα του χώρου γύρω από ένα κεντρικό άτομο είναι μια σχεδόν ομοιόμορφη περιοχή χαμηλής δυναμικής ενέργειας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ένα ηλεκτρόνιο κινείται εύκολα από τη μια θέση στην άλλη. Το κάθε ηλεκτρόνιο σθένους είναι εντελώς ελεύθερο να ακολουθήσει το δρόμο του μέσα στον κρύσταλλο.

Οι διαπιστώσεις αυτές μας επιτρέπουν να φαντασθούμε ένα μέταλλο σαν να είναι μια περιοχή θετικών ιόντων τοποθετημένων στις πλευρές ενός κρυσταλλικού πλέγματος και βυθισμένων σε μια «θάλασσα» κινουμένων ηλεκτρονίων. Η έννοια μιας περισσότερο ή λιγότερο ομοιόμορφης ηλεκτρονιακής θάλασσας τονίζει ιδιαίτερα τη διαφορά ανάμεσα στο μεταλλικό δεσμό και τον κοινό ομοιοπολικό δεσμό. Στους μοριακούς ομοιοπολικούς δεσμούς τα ηλεκτρόνια είναι τοποθετημένα κατά τρόπο, ο οποίος καθορίζει τις θέσεις των ατόμων εντελώς αυστηρά. Οι δεσμοί λέγεται ότι έχουν προσανατολισμένο χαρακτήρα. Τα ηλεκτρόνια τείνουν να παραμείνουν συγκεντρωμένα σε κάποιες περιοχές του χώρου. Αντίθετα, σε ένα μέταλλο, τα ηλεκτρόνια σθένους κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα σε ολόκληρο τον κρύσταλλο. Για το λόγο αυτό ο μεταλλικός δεσμός δεν επηρεάζει την κατεύθυνση όπως κάνει ο κοινός ομοιοπολικός δεσμός.



Johannes Diderick van der Waals (1837-1923)

΄Οπως μάθαμε, ο συνδυασμός του νόμου του Boyle με το νόμο του Charles και την υπόθεση του Avogadro, οδηγεί στο γενικό νόμο των αερίων. Ο Johannes van der Waals δεν ήταν όμως ικανοποιημένος με αυτόν το νόμο, ο οποίος εκφράζεται με την εξίσωση $PV = nRT$, γιατί δεν παρείχε ακριβή αποτελέσματα για τα αέρια που βρίσκονται σε υψηλές πιέσεις.

Αφού μελέτησε το πρόβλημα πολύ καιρό, συμπέρανε ότι ο νόμος αυτός δεν είχε ισχύ σε όλες τις συνθήκες, για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι το μέγεθος των μορίων των αερίων. Σε χαμηλές πιέσεις τα μόρια είναι τόσο απομακρυσμένα, ώστε το μέγεθός τους είναι αμελητέο, σε σύγκριση με το συνολικό όγκο που καταλαμβάνεται από το αέριο. Σε υψηλές όμως πιέσεις ο συνολικός όγκος είναι πολύ μικρότερος και ο χώρος που καταλαμβάνουν τα μόρια αντιστοιχεί σε σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου. Δηλαδή ο χώρος που μένει για να κινηθούν είναι πολύ μικρότερος. Ο δεύτερος λόγος, σύμφωνα με τον van der Waals, είναι η πιθανότητα τα μόρια να εμφανίζουν μια ελαφρά έλξη μεταξύ τους, όταν βρίσκονται πολύ κοντά. Αυτή η αμοιβαία έλξη θα είχε την ίδια επίδραση στο συνολικό όγκο με εκείνη που θα είχε κάποια αύξηση της πιέσεως.

Ο van der Waals, προκειμένου να διορθώσει τον αρχικό νόμο των αερίων προσθέτοντας συντελεστές για το μέγεθος και την αμοιβαία έλξη, ανέπτυξε μία εξίσωση, η οποία είχε τη δυνατότητα να προβλέπει με μεγάλη ακρίβεια τη συμπεριφορά των αερίων σε υψηλές πιέσεις. Για ένα mole αερίου, η εξίσωσή του γράφεται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$\left(P+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=RT$$

Σε αυτήν την εξίσωση το «*a*» είναι μία σταθερά, η οποία έχει σχέση με την ελκτική δύναμη ανάμεσα στα μόρια, ενώ το «*b*» είναι μία άλλη σταθερά, η οποία εξαρτάται από το μέγεθος των μορίων του υπό εξέταση αερίου.

Από τότε που αναγνωρίσθηκε η σημασία της εξισώσεως του van der Waals, επεκτάθηκε η έννοια των ασθενών ελκτικών δυνάμεων ανάμεσα στα μόρια, γνωστών σήμερα ως δυνάμεων van der Waals, κατά τρόπο που να βοηθά στην ερμηνεία ορισμένων ιδιοτήτων των υγρών και των στερεών. Ο van der Waals τιμήθηκε το 1910 με το βραβείο Nobel στη Φυσική για τη συμβολή του στην ανάπτυξη της παραπάνω εξισώσεως.

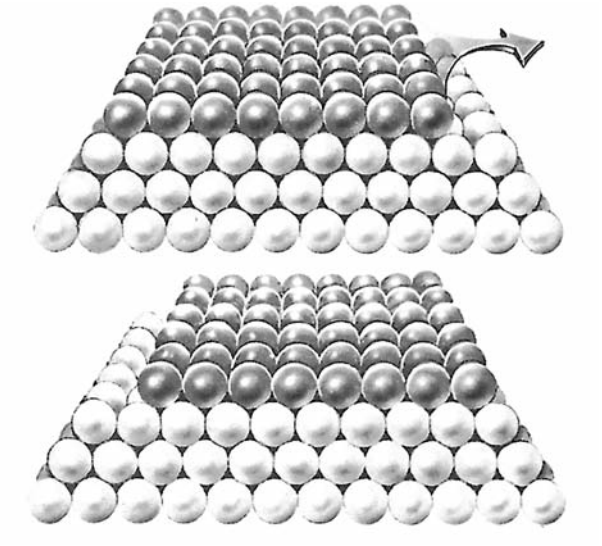
Πόσο αποτελεσματικά συνδέει αυτή η ηλεκτρονιακή θάλασσα τα άτομα μεταξύ τους; Η απάντηση μπορεί να δοθεί, αν γίνει σύγκριση της ενέργειας που χρειάζεται για να εξατμισθεί ένα mole του μετάλλου προς ελεύθερα άτομα, με την ενέργεια που χρειάζεται για να διασπασθεί ένα mole κοινών ομοιοπολικών δεσμών. Η ενέργεια εξατμίσεως ενός mole ενός από τα μέταλλα των αλκαλίων, είναι μόνο το ένα τέταρτο ή ένα τρίτο της ενέργειας που χρειάζεται, για να σπάσει ένα γραμμομόριο κοινών ομοιοπολικών δεσμών. Αυτό δεν εκπλήσσει ιδιαίτερα. Θυμηθείτε ότι η ενέργεια ιοντισμού ενός ελεύθερου ατόμου κάποιου μετάλλου της ομάδας των αλκαλίων είναι μικρή. Άρα, και το ηλεκτρόνιο σθένους στο ελεύθερο άτομο δεν υφίσταται ισχυρή έλξη προς τον πυρήνα. Αφού το ηλεκτρόνιο δεν έλκεται ισχυρά από ένα άτομο αλκαλίων, δεν θα έλκεται ισχυρά ούτε από δύο ή τρία τέτοια άτομα στο μεταλλικό κρύσταλλο. Για το λόγο αυτό, η ενέργεια των δεσμών ανάμεσα στα ηλεκτρόνια και τον πυρήνα, στους κρυστάλλους των αλκαλίων, είναι μάλλον μικρή. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό σχετικά ασθενών μεταλλικών δεσμών. Θα περιμένατε ίσως ότι ο μεταλλικός δεσμός θα γινόταν ισχυρότερος στα στοιχεία εκείνα που περιέχουν μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρονίων σθένους και μεγαλύτερο πυρηνικό φορτίο. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχουν περισσότερα ηλεκτρόνια στη «θάλασσα» και κάθε ηλεκτρόνιο συγκρατείται ισχυρότερα, εξ αιτίας του αυξημένου πυρηνικού φορτίου. Ο συλλογισμός αυτός συμφωνεί και με τις πειραματικά προσδιορισμένες θερμότητες εξατμίσεως, οι οποίες αναφέρονται στον πίνακα 17.1.

Ένα πιο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η σύγκριση των θερμοκρασιών εξατμίσεως του μαγνησίου και του αλουμινίου (αργιλίου). Η υψηλότερη τιμή που αντιστοιχεί στο αλουμίνιο δείχνει ότι ο μεταλλικός δεσμός είναι ισχυρότερος όταν αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων σθένους και το φορτίο του πυρήνα. Έτσι, η ένταση του μεταλλικού δεσμού έχει την τάση να αυξάνεται, καθώς πηγαίνομε από τα αριστερά προς τα δεξιά μιας περιόδου του περιοδικού πίνακα.

Επεξήγηση των ιδιοτήτων των μετάλλων. Τα μη σταθεροποιημένα ή κινούμενα ηλεκτρόνια ευθύνονται για πολλές από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των μετάλλων. Επειδή οι μεταλλικοί δεσμοί δεν έχουν αυστηρά προσανατολισμένο χαρακτήρα, πολλά μέταλλα μπορούν να παραμορφώνονται εύκολα, χωρίς να καταστρέφεται η κρυσταλλική δομή τους. Υπό την επίδραση μιας δυνάμεως, το ένα επίπεδο των ατόμων ολισθαίνει ως προς το άλλο (σχ. 17-14). Καθώς γίνεται αυτό, τα ηλεκτρόνια έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σε κάποιο βαθμό τη σύνδεση ανάμεσα στα δύο επίπεδα. Τα μέταλλα μπορούν να σκληρύνουν αν αναμιχθούν με στοιχεία, τα οποία έχουν την ιδιότητα να

ΠίΝΑΚΑώ 17.1.
Θερμότητες εξατμίσεως των μετάλλων.

Θέση στον περιοδικό πίνακα	Μέταλλο	Θερμότητα εξατμίσεως (kcal/mole)
Δεύτερη περίοδος	Li	32,2
	Be	53,5
	B	129
Τρίτη περίδος	Na	23,1
	Mg	31,5
	Al	67,9
Τέταρτη περίοδος	K	18,9
	Ca	36,6
	Sc	73
Πέμπτη περίοδος	Rb	18,1
	Sr	33,6
	Y	94
Έκτη περίοδος	Cs	16,3
	Ba	35,7



ΣΧΗΜΑ 17-14. *Η διολίσθηση των επιπέδων των μεταλλικών ατόμων βοηθά στην ερμηνεία μερικών από τις μοναδικές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα μεταλλικά στοιχεία.*

σχηματίζουν προσανατολισμένους ομοιοπολικούς δεσμούς. Συχνά αρκούν ίχνη άνθρακα, φωσφόρου ή θείου, για να μετατρέψουν ένα σχετικά μαλακό και ελάσιμο μέταλλο σε ένα πολύ εύθραυστο στερεό.

Τα μέταλλα άγουν τον ηλεκτρισμό, επειδή μερικά ηλεκτρόνια σθένους κινούνται ελεύθερα στο εσωτερικό του στερεού. Ταυτόχρονα, αυτά τα ηλεκτρόνια κατορθώνουν να συγκρατούν τον κρύσταλλο ενωμένο. Και αυτό συμβαίνει, επειδή, όπου και αν κινηθούν, βρίσκονται συγχρόνως κοντά σε δύο ή περισσότερους πυρήνες. Σε ομοιοπολικώς συνδεδεμένα στερεά τα ηλεκτρόνια βρίσκονται σταθερά τοποθετημένα στο χώρο ανάμεσα σε συγκεκριμένα ζεύγη ατόμων. Προκειμένου αυτές οι ουσίες να άγουν τον ηλεκτρισμό, πρέπει να τους προσφερθεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας, ώστε να μετακινήσει τα ηλεκτρόνια από την περιοχή ανάμεσα στα δύο άτομα. Η ποσότητα αυτή της ενέργειας δεν προσφέρεται από τα συνήθη ηλεκτρικά πεδία και έτσι οι ομοιοπολικές ουσίες κανονικά δεν άγουν τον ηλεκτρισμό.

Η εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται επίσης στα ευκίνητα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια στις περιοχές της υψηλής θερμοκρασίας απορροφούν μεγάλες ποσότητες κινητικής ενέργειας. Τα ηλεκτρόνια αυτά κινούνται πολύ γρήγορα μέσα στο μέταλλο και προσφέρουν την κινητική τους ενέργεια, για να θερμανθούν οι ψυχρότερες περιοχές του κρυσταλλικού πλέγματος. Οι ουσίες εκείνες, στις οποίες τα ηλεκτρόνια είναι εντελώς ακίνητα, άγουν τη θερμότητα με τη μορφή μικρών ποσοτήτων ενέργειας, η οποία μεταφέρεται από το ένα άτομο στο αμέσως γειτονικό του. Κάτι τέτοιο όμως αποτελεί βραδύτερη διαδικασία από την αγωγή της ενέργειας που πραγματοποιείται από την κίνηση των ηλεκτρονίων.

Τέλος, είναι απαραίτητο να εξηγήσομε γιατί οι μεταλλικές ιδιότητες πρακτικά εξαφανίζονται, καθώς προχωρεί κάποιος από τα αριστερά προς στα δεξιά, κατά μήκος μιας περιόδου του περιοδικού πίνακα. Αναφέρθηκε ότι δύο είναι οι κύριοι λόγοι της κινητικότητας των ηλεκτρονίων στα μέταλλα. (1) Τα ηλεκτρόνια αποσπώνται εύκολα από το άτομο (η ενέργεια ιοντισμού είναι χαμηλή). (2) Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται συνήθως κοντά σε δύο ή περισσότερους θετικούς πυρήνες σε οποιαδήποτε θέση μέσα στον κρύσταλλο (υπάρχει πληθώρα κενών τροχιακών σθένους). Καθώς αυξάνεται το πυρηνικό φορτίο των ατόμων, συμπληρώνονται τα κενά τροχιακά. Αμέσως οι περιοχές ανάμεσα σε δύο πυρήνες γίνονται σχετικά λιγότερο δελεαστικές για το ηλεκτρόνιο, σε σύγκριση με όλες τις άλλες περιοχές. Τα ηλεκτρόνια τείνουν να περιορίζονται όλο και περισσότερο σε αυτές τις περιοχές. Κάτι τέτοιο όμως οδηγεί στο σχηματισμό κανονικών ομοιοπολικών δεσμών με προσανατολισμένο χαρακτήρα.

Με άλλα λόγια, ο ***μεταλλικός δεσμός*** είναι ένα είδος μη προσανατολισμένου ομοιοπολικού δεσμού. Δημιουργείται μόνο όταν τα άτομα διαθέτουν κενά τροχιακά και χαμηλές ενέργειες ιοντισμού.

Περίληψη.

Τα στοιχεία σχηματίζουν τρεις γενικές κατηγορίες στερεών. (1) Τα μοριακά στερεά είναι αυτά στα οποία υπάρχουν μόνο ασθενείς δυνάμεις van der Waals, οι οποίες συγκρατούν τα μόρια μεταξύ τους. Οι ουσίες αυτές, που δημιουργούνται από τα στοιχεία της επάνω δεξιάς γωνίας του περιοδικού πίνακα έχουν χαμηλά σημεία τήξεως και βρασμού. (2) Τα στερεά πλέγματα σχηματίζονται από στοιχεία που βρίσκονται λίγο πιο αριστερά στον περιοδικό πίνακα. Τα στοιχεία αυτά δεν μπορούν να σχηματίσουν μικρά μόρια που να ικανοποιούν όλες τις κανονικές απαιτήσεις του σθένους τους. Αντίθετα, δημιουργούν τα ατελείωτα δίκτυα που είναι υπεύθυνα για φυσικές ιδιότητες όπως η μεγάλη αντοχή, η σκληρότητα και τα υψηλά σημεία τήξεως. (3) Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία είναι περισσότερο ή λιγότερο μεταλλικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά των μετάλλων είναι οι λαμπερές επιφάνειες, η μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και η ευκολία παραμορφώσεως ή κατεργασίας. Όλες αυτές οι ιδιότητες δικαιολογούνται με βάση τη συστηματική τοποθέτηση των θετικών ιόντων μέσα σε μία «θάλασσα» ευκινήτων ηλεκτρονίων.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γιατί το διαμάντι είναι πολύ σκληρό, ενώ ο γραφίτης είναι μαλακός και ολισθηρός;
2. Ποιες είναι οι δύο απαραίτητες προϋποθέσεις για τη δημιουργία μεταλλικού δεσμού;
3. Με ποιο τρόπο το πρότυπο της «θάλασσας των ηλεκτρονίων» δικαιολογεί το γεγονός ότι ένα μέταλλο άγει τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό;

Πολύπλοκες δυνάμεις συγκρατούν τις χημικές ενώσεις ενωμένες μεταξύ τους

17.9 Πρόσθετες δυνάμεις στις χημικές ενώσεις.

Προηγουμένως μάθαμε ότι τα καθαρά στοιχεία μπορούν να στερεοποιηθούν με τη μορφή μοριακών στερεών, στερεών πλεγμάτων ή μεταλλικών στερεών. Και οι χημικές ενώσεις έχουν επίσης τη δυνατότητα να συμπυκνωθούν σε αυτούς τους τρεις τύπους στερεών. Υπάρχει όμως μια βασική διαφορά ανάμεσα στα στοιχειακά στερεά και αυτά των χημικών ενώσεων. Σε ένα καθαρό στοιχείο, οι ενέργειες ιοντισμού όλων των ατόμων είναι ίδιες και τα ηλεκτρόνια είναι συμμετρικώς κατανεμημένα. Στις χημικές ενώσεις, η πιο σταθερή ηλεκτρονιακή διάταξη δεν συνδυάζεται πάντα με την ίση κατανομή τους. Γι' αυτό εμφανίζονται ηλεκτρικά δίπολα. Επειδή δύο συνδεόμενα άτομα συχνά έχουν διαφορετικές ενέργειες ιοντισμού, τα ηλεκτρόνια πολλές φορές βρίσκονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πλησιέστερα προς τον ένα θετικό πυρήνα από ό,τι στον άλλο. Ο διαχωρισμός αυτός του φορτίου οδηγεί σε ισχυρές ενδομοριακές δυνάμεις που όμοιές τους δεν απαντούν σε μόρια αποτελούμενα μόνο από καθαρά στοιχεία.

17.10 Δυνάμεις van der Waals και μοριακές χημικές ενώσεις.

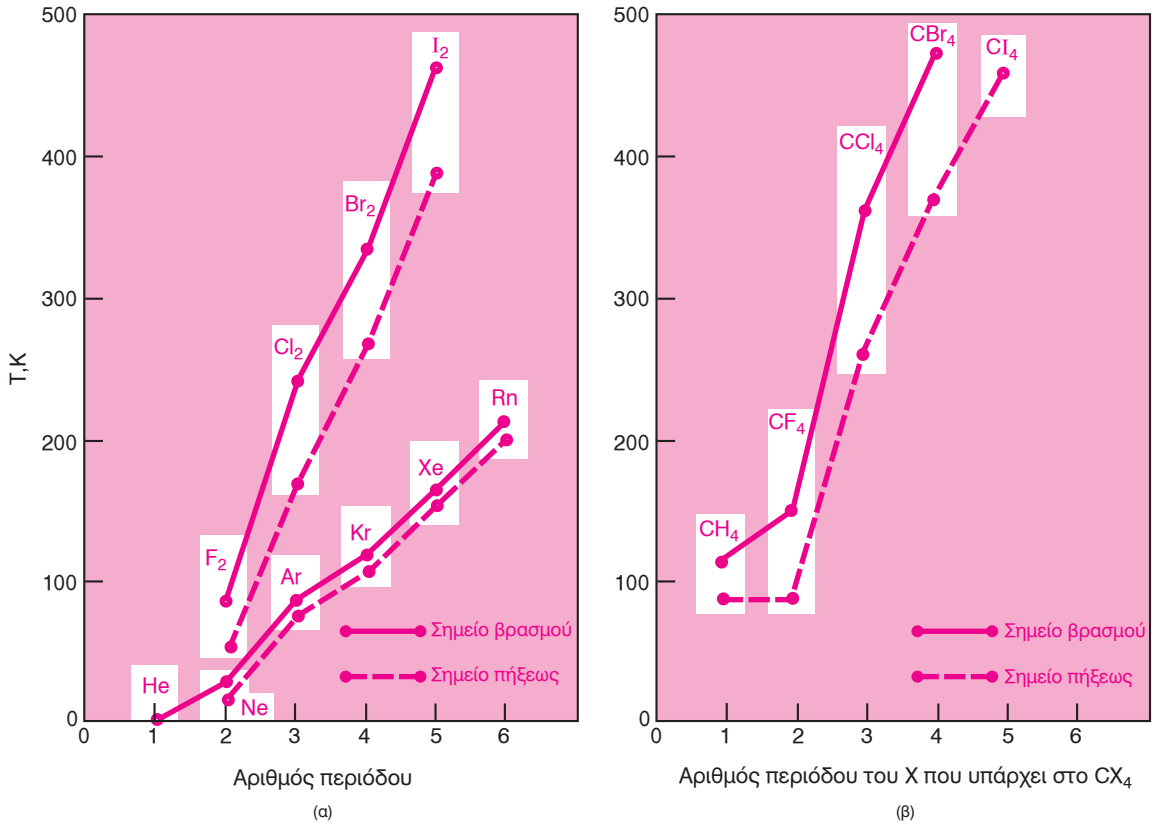
Αν και οι διαχωρισμοί των φορτίων είναι πιθανοί στις χημικές ενώσεις, υπάρχουν πολλές μοριακές ενώσεις στις οποίες δεν υπάρχουν εμφανώς ηλεκτρικά δίπολα. Κατά την ψύξη, τα μόρια αυτά συμπεριφέρονται μάλλον ως μόρια καθαρών στοιχείων. Στην περίπτωση που έχει πληρωθεί απόλυτα η ικανότητα σχηματισμού δεσμού του κάθε ατόμου, τότε οι μόνες δυνάμεις που απομένουν ανάμεσα στα μόρια είναι οι ασθενείς δυνάμεις van der Waals. Αυτές οι ασθενείς αλληλεπιδράσεις οδηγούν στο σχηματισμό στερεών χαμηλού σημείου τήξεως και υγρών χαμηλού σημείου βρασμού, τα οποία διατηρούν πολλές από τις ιδιότητες των αερίων μορίων.

Τρεις φαίνεται να είναι οι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τα μεγέθη των δυνάμεων van der Waals: (1) Ο αριθμός των ηλεκτρονίων, (2) το μέγεθος του μορίου και (3) το μοριακό σχήμα. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν και τα στοιχεία, αλλά και τις χημικές ενώσεις. Έχουν όμως μεγαλύτερη δράση στις ενώσεις.

Δυνάμεις van der Waals και αριθμός ηλεκτρονίων. Όπως είδαμε στον πίνακα 8.5, τα σημεία τήξεως και βρασμού* των ευγενών αερίων αυξάνονται, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων. Στοιχεία και χημικές ενώσεις με ομοιοπολικό δεσμό συμπεριφέρονται ανάλογα. Παραστατικά φαίνεται αυτό στο σχήμα 17-15. Το σχήμα 17-15α δείχνει τις μεταβολές των σημείων τήξεως και βρασμού των ευγενών αερίων και των αλογόνων. Στον οριζόντιο άξονα αναγράφεται ο αριθμός της περιόδου στον περιοδικό πίνακα, ο οποίος αποτελεί ένδειξη του συνολικού αριθμού των ηλεκτρονίων των αντιστοίχων στοιχείων. Το σχήμα 17-15β αναφέρεται σε χημικές ενώσεις με τύπο CX_4. Στην περίπτωση αυτή ο οριζόντιος άξονας δείχνει τον αριθμό της περιόδου στην οποία ανήκουν τα εξωτερικά άτομα του μορίου. Αυτά είναι τα άτομα, τα οποία εφάπτονται ή «συνάπτουν σχέσεις» με τα γειτονικά μόρια. Σε σχέση με τις δυνάμεις van der Waals, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι το CBr_4 έχει στην «επιφάνεια» του μορίου του άτομα από την τέταρτη περίοδο του περιοδικού πίνακα. Μικρότερης σημασίας είναι το γεγονός ότι το κεντρικό άτομο, ο άνθρακας, προέρχεται από τη δεύτερη περίοδο. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα εξωτερικά άτομα επιδρούν περισσότερο στον καθορισμό των ενδομοριακών δυνάμεων. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, στις μοριακές χημικές ενώσεις, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι δυνάμεις van der Waals.

Δυνάμεις van der Waals και μέγεθος μορίου. Οι επιστήμονες έχουν βρει ότι προκειμένου για ανάλογα μόρια, όσο μεγαλύτερο είναι το μόριο, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το σημείο τήξεώς του. Ας συγκρίνομε για παράδειγμα το μεθάνιο, CH_4 και το αιθάνιο, C_2H_4. Τα εξωτερικά τους άτομα είναι τα ίδια, δηλαδή άτομα υδρογόνου. Επί πλέον, το σημείο βρασμού του αιθανίου, 185 K, είναι υψηλότερο από αυτό του μεθανίου, 112 K.

* *Σ.τ.Μ. Το σημείο βρασμού λέγεται και σημείο ζέσεως.*



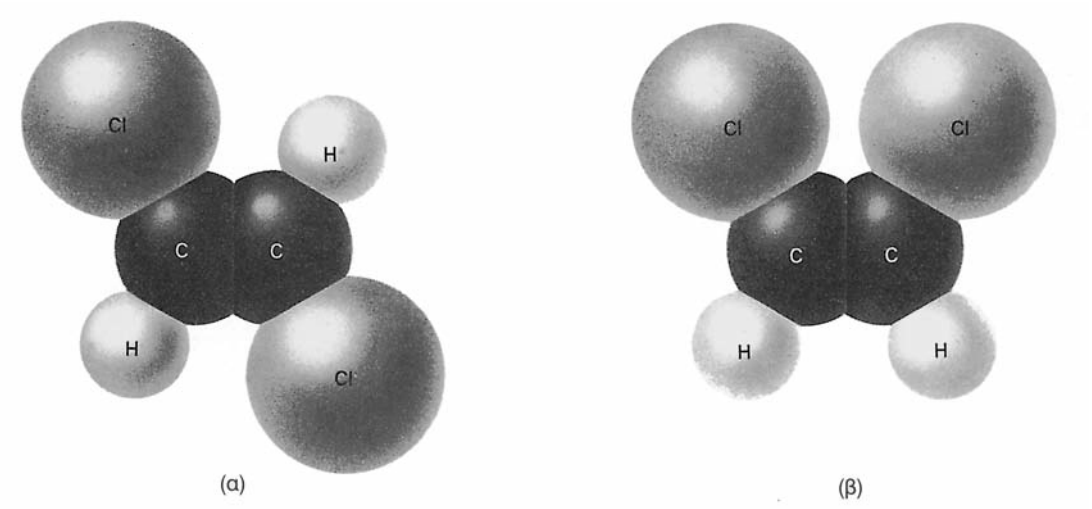
ΣΧΗΜΑ 17-15. *Τα σχεδιαγράμματα αυτά δείχνουν τη σχέση ανάμεσα στους αριθμούς της περιόδου στον περιοδικό πίνακα και τα σημεία τήξεως και βρασμού (α) των ευγενών αερίων και των αλογόνων και (β) των ενώσεων του άνθρακα με τύπο CX_4.*

Ανάλογες διαφορές επισημαίνονται και κατά τη σύγκριση του C_2F_6 (σημείο βρασμού 195 K) με το CF_4 (σημείο βρασμού 145 K), όπως και του C_2Br_6 (η ουσία αυτή αποσυντίθεται στους 483 K, πριν φθάσει στο σημείο βρασμού της), με το CBr_4 (σημείο βρασμού 463 K).

Οι διαφορές αυτές στα σημεία βρασμού είναι δυνατόν να δικαιολογηθούν. Όπως μάθαμε στην παράγραφο 17.6, οι δυνάμεις van der Waals είναι ασθενείς. Αυτές οι ασθενείς δυνάμεις είναι αποτελεσματικές μόνο ανάμεσα στα τμήματα των διαφόρων μορίων που βρίσκονται σε στενή επαφή. Δηλαδή, οι δυνάμεις van der Waals δρουν κυρίως ανάμεσα στις επιφάνειες των μορίων. Γι' αυτό προκειμένου για ανάλογα μόρια, όσο μεγαλύτερο είναι το μόριο – και κατά συνέπεια όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδόν της επιφάνειάς του – τόσο μεγαλύτερες είναι και οι δυνάμεις van der Waals.

Δυνάμεις van der Waals και μοριακό σχήμα. Ουσίες με δομές οι οποίες χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο βαθμό συμμετρίας έχουν γενικά υψηλότερα σημεία τήξεως από ό,τι παρόμοιες ουσίες, οι οποίες στερούνται αυτής της συμμετρίας. Ανάμεσα στις χημικές ενώσεις με διπλό δεσμό υπάρχουν εντυπωσιακά παραδείγματα αυτού του είδους. Τα ισομερή *cis* και *trans* πολλών ενώσεων αυτού του είδους έχουν σημεία τήξεως διαφορετικά, εξαιτίας της διαφοράς τους στο μοριακό σχήμα. Για παράδειγμα, το *trans* 1,2-διχλωροαιθυλένιο έχει υψηλότερο σημείο τήξεως από ό,τι το ισομερές του *cis* 1,2-διχλωροαιθυλενίου. Η εξήγηση αυτού του γεγονότος είναι εύκολη. Η συμμετρική μορφή *trans* μπορεί να διαταχθεί μέσα σε ένα κανονικό κρυσταλλικό πλέγμα κατά τρόπο πιο τακτικό και συμπαγή από ό,τι η «μονόπλευρη» *cis* μορφή των μορίων (σχ. 17-16). Αυτό μαζί με άλλα δύο παραδείγματα δίνονται στον πίνακα 17.2.

Ένα ακόμη παράδειγμα της επιδράσεως της μοριακής συμμετρίας στις φυσικές ιδιότητες αποτελεί η περίπτωση των συντακτικών ισομερών με τύπο C_5H_{12}. Οι ενώσεις αυτές, με το όνομα *κανονικό πεντάνιο* και *νεοπεντάνιο*, έχουν πολύ



ΣΧΗΜΑ 17-16. *Γεωμετρικά ισομερή του 1,2–διχλωροαιθυλενίου. Το ισομερές trans (α) είναι περισσότερο συμμετρικό από το «μονόπλευρο» cis ισομερές (β).*

ΠίΝΑΚΑώ 17.2.
Η επίδραση του μοριακού σχήματος στο σημείο τήξεως: Ισομερή cis και trans.

Όνομα	Τύπος	Σ.ζ. cis–(°C)	Σ.β. trans–(°C)
1,2–διχλωροαιθυλένιο	ClCH = CHCl	–80	–50
Βουτενοϊκό οξύ	CH_3CH = CHCOOH	15	72
Φουμαρικό, μηλονικό οξύ	HOOCCH = CHCOOH	130	290

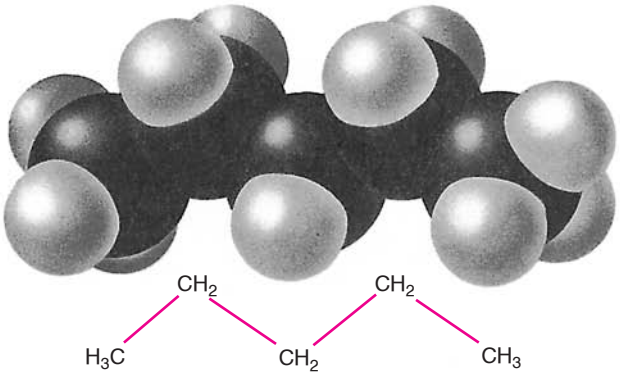
διαφορετικά σχήματα μορίων, όπως βλέπομε και στο σχήμα 17-17.

Το χωρίς διακλάδωση μόριο του *n*-πεντανίου έχει σχήμα τεθλασμένης γραμμής (ζικ-ζακ). Οι δυνάμεις van der Waals δρουν ανάμεσα στα εξωτερικά άτομα υδρογόνου του ενός μορίου με αυτά των γειτονικών του. Η μεγάλη επιφάνεια επαφής δημιουργεί σχετικά μεγάλες δυνάμεις van der Waals. Αυτό οδηγεί και σε σχετικά υψηλό σημείο βρασμού. Επίσης, το οφιοειδές μόριο, δεν διατάσσεται εύκολα μέσα σε ένα κανονικό κρυσταλλικό πλέγμα. Γι' αυτό, οι κρύσταλλοί του έχουν χαμηλό σημείο τήξεως.

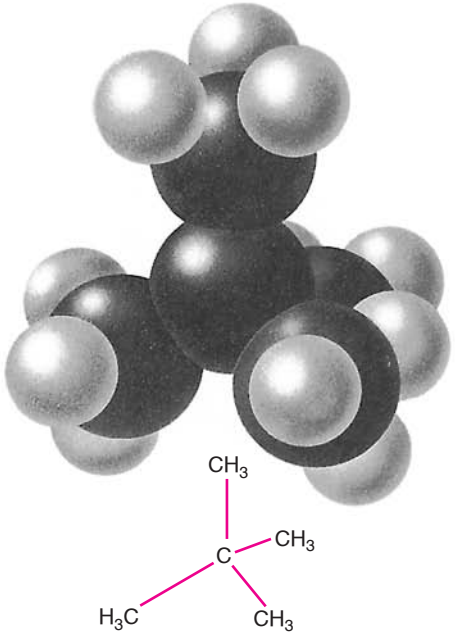
Διαφορετική είναι η περίπτωση του εξαιρετικά συμπαγούς νεοπεντανίου. Το μόριο αυτό μοιάζει με μπάλα και στοιβάζεται εύκολα μέσα σε ένα κανονικό κρυσταλλικό πλέγμα. Ως αποτέλεσμα της σταθερότητας που το χαρακτηρίζει, έχει μάλλον υψηλό σημείο τήξεως. Όταν λιώσει, όμως το νεοπεντάνιο, σχηματίζει ένα υγρό το οποίο βράζει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο βρασμού του *n*-πεντανίου. Το μόριο του νεοπεντανίου έχει μικρότερη επιφάνεια επαφής με τα γειτονικά του και γι' αυτό είναι περισσότερο πτητικό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες ενώσεις του άνθρακα συμπυκνώνονται προς μοριακά υγρά και στερεά. Έχουν γενικά σημεία τήξεως χαμηλά (περίπου κάτω από τους 573 K). Στην πραγματικότητα, πολλές ενώσεις του άνθρακα βράζουν κάτω από τους 373 K. Η παρόμοια χημική συμπεριφορά των υγρών και των στερεών φάσεων υποδηλώνει τη διατήρηση των μοριακών ιδιοτήτων.

Μερικά μοριακά στερεά, όπως το HCl και το SO_2, έχουν διπολικές ροπές. Σε αυτά, μαζί με τις δυνάμεις van der Waals, υπάρχουν και δυνάμεις ανάμεσα στα μοριακά δίπολα. Επί πλέον, δυνάμεις όπως αυτές, αυξάνουν συνήθως τη σταθερότητα του στερεού, αλλά δεν είναι εύκολο να γίνουν συγκρίσεις.



Κανονικό πεντάνιο
σ.τ. 36 °C σ.ζ. –130 °C

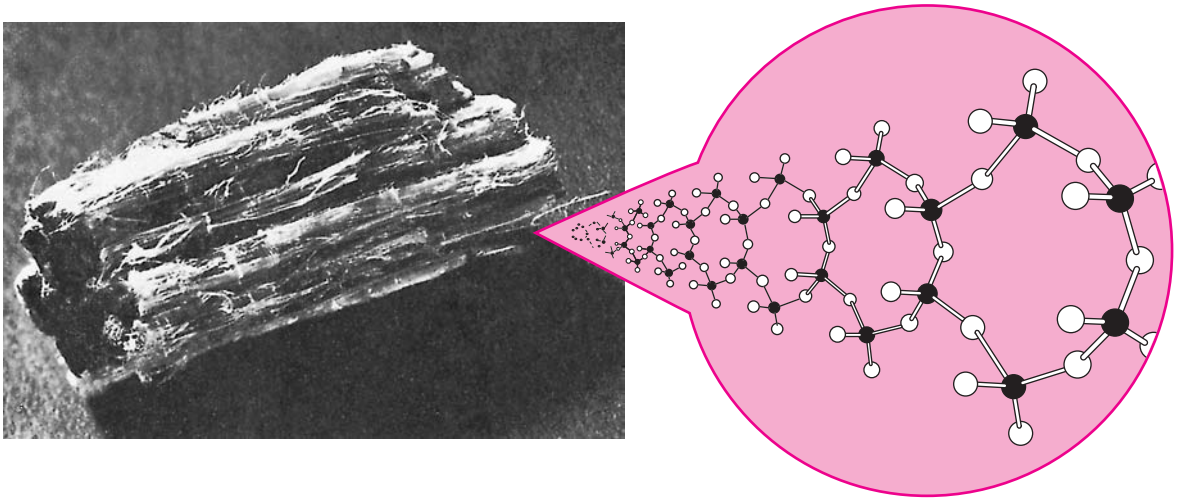


Νεοπεντάνιο
σ.τ. 9 °C σ.ζ. –20 °C

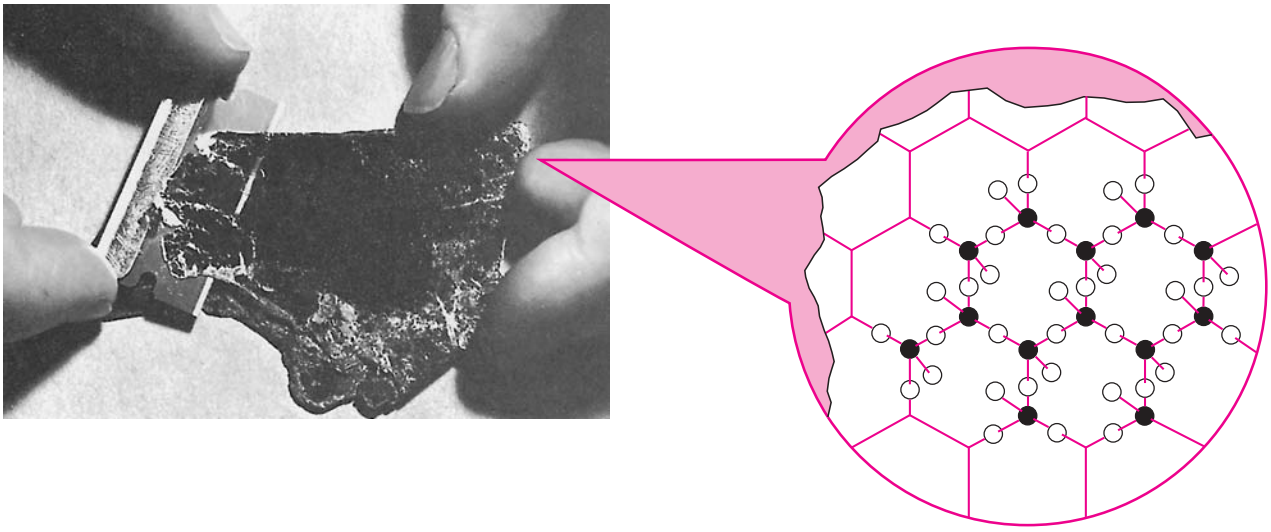
ΣΧΗΜΑ 17-17. *Δύο συντακτικά ισομερή του πεντανίου, C_5H_{12}. Οι διαφορετικές δομές των μορίων τους ευθύνονται για τις διαφορετικές τιμές των ιδιοτήτων*

17.11 Ομοιοπολικοί δεσμοί και χημικές ενώσεις στερεού πλέγματος.

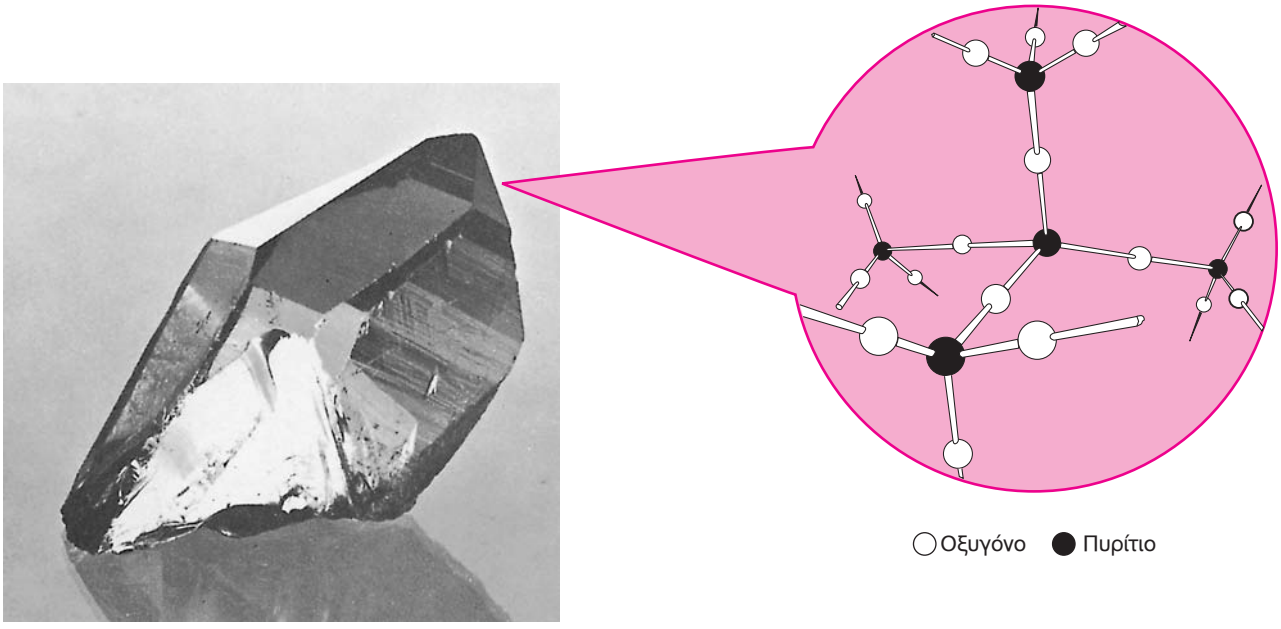
Οι χημικές ενώσεις σχηματίζουν στερεά πλέγματα. Επειδή σ' αυτές συμμετέχουν δύο ή περισσότερα διαφορετικά άτομα, υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία ανάμεσα στις ενώσεις στερεού πλέγματος έναντι των στοιχείων στερεού πλέγματος. Το διοξείδιο του πυριτίου (silica), με εμπειρικό τύπο SiO_2, σχηματίζει ένα στερεό πλέγμα. Το διοξείδιο του πυριτίου μαζί με άλλες ενώσεις πυριτίου–οξυγόνου αποτελούν το 87% του φλοιού της γης. Όλα σχεδόν τα γνωστά ορυκτά περιέχουν αξιόλογες ποσότητες πυριτικών ορυκτών (έτσι γενικώς ονομάζομε τις ενώσεις πυριτίου–οξυγόνου· στην πραγματικότητα, τα πυριτικά ορυκτά περιέχουν πολύ μικρές



ΣΧΗΜΑ 17-18. *Ο αμίαντος, ένα ορυκτό, έχει "μονοδιάστατο" πλέγμα ατόμων.*



ΣΧΗΜΑ 17-19. *Η μίκα σχηματίζει ένα "δισδιάστατο" πλέγμα, στο οποίο τα φύλλα των ατόμων συγκρατούνται μεταξύ τους χαλαρά.*



ΣΧΗΜΑ 17-20. *Ο χαλαζίας αποτελείται από ένα πλέγμα ατόμων "τρισδιάστατο", όπως αυτό που έχει το διαμάντι.*

ποσότητες και άλλων στοιχείων, με τα οποία δεν θα ασχοληθούμε εδώ). Όλα αυτά είναι στερεά πλέγματα και εμφανίζουν ενδιαφέρουσες και σημαντικές παραλλαγές. Τα σχήματα 17-18, 17-19 και 17-20 δείχνουν με συστηματικό τρόπο τους τρεις τύπους των στερεών πλεγμάτων που σχηματίζει το πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι πάντα τετρασθενές. Παρ' όλα αυτά, σε μερικές από τις ενώσεις του σχηματίζει πολύ μακρές αλυσίδες πυριτίου–οξυγόνου–πυριτίου. Σε άλλες σχηματίζει μεγάλα συνδεόμενα φύλλα, ενώ σε άλλες σχηματίζει επίσης πολύ μεγάλα τρισδιάστατα πλέγματα στερεών.

Πολλές από τις ιδιότητες των πυριτικών ορυκτών δικαιολογούνται με τη βοήθεια, του είδους του κρυσταλλικού πλέγματος που σχηματίζουν. Στο σχήμα 17-18 φαίνεται το "μονοδιάστατο" πλέγμα. Σε αυτό, τα άτομα της κάθε αλυσίδας συνδέονται ισχυρώς μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Βέβαια, οι αλυσίδες

αλληλοεπιδρούν με πολύ ασθενέστερες δυνάμεις. Κάτι τέτοιο συμφωνεί και με τις ιδιότητες ινώδους σώματος που παρουσιάζουν πολλά πυριτικά ορυκτά.

Κατ' αναλογία, τα φύλλα του "δισδιάστατου" πυριτικού πλέγματος (σχ. 17-19) συγκρατούνται ασθενώς μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό τα εν λόγω ορυκτά σχίζονται εύκολα σε λεπτά, γερά φύλλα. Η μίκα και ο πηλός έχουν αυτό το είδος δομής.

Το τρισδιάστατο πλέγμα του σχήματος 17-20 είναι ο χαλαζίας (quartz). Όπως και το διαμάντι, είναι σκληρός και έχει υψηλό σημείο τήξεως. Τα διάφορα ορυκτά που συνιστούν το γρανίτη είναι αυτού του τύπου.

Περίληψη.

Οι χημικές ενώσεις, όπως και τα στοιχεία, σχηματίζουν μοριακά στερεά, πλέγματα στερεών ή μεταλλικά στερεά, ανάλογα με την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση των ατόμων που τις αποτελούν. Μερικές σημαντικές ιδιότητες των ενώσεων που σχηματίζουν μοριακά στερεά εξαρτώνται από την ένταση των δυνάμεων van der Waals. Μαζί με τις δυνάμεις van der Waals είναι δυνατόν να υπάρχουν και ελκτικές δυνάμεις, οι οποίες δρουν ανάμεσα στα μοριακά δίπολα. Η ένταση των δυνάμεων van der Waals αυξάνεται, καθώς αυξάνονται οι αριθμοί των ηλεκτρονίων και τα μεγέθη των μορίων. Τα πιο συμμετρικά μόρια σχηματίζουν στερεά υψηλότερου σημείου τήξεως αλλά χαμηλότερου σημείου βρασμού. Παραδείγματα ενώσεων με στερεά πλέγματα είναι ο αμίαντος, η μίκα και ο χαλαζίας.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Σε τι διαφέρουν οι δυνάμεις που ασκούνται στα μόρια των καθαρών στοιχείων από εκείνες που ασκούνται σε χημικές ενώσεις;
2. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στις δυνάμεις van der Waals και: α) το μέγεθος του μορίου, β) τον αριθμό των ηλεκτρονίων;
3. Συγκρίνατε ενώσεις στερεού πλέγματος με στοιχεία στερεού πλέγματος.

Απλή ερμηνεία των ιοντικών στερεών

17.12 Παράγοντες που ευνοούν το σχηματισμό ιόντων.

Πολλές ενώσεις σχηματίζουν στερεά που αποτελούνται από ιόντα. Τέτοια στερεά δεν σχηματίζονται ποτέ από ένα μόνο στοιχείο. Συχνά προηγουμένως αναφέρθηκαν ιοντικές ουσίες. Η δομή μάλιστα μιας χαρακτηριστικής ουσίας αυτού του είδους, NaCl, χρησιμοποιήθηκε στην παράγραφο 17.2 ως παράδειγμα της κανονικής δομής ενός κρυσταλλικού στερεού.

Η πρώτη ερώτηση που θα μπορούσε ίσως να τεθεί σχετικά με τα ιοντικά στερεά είναι η εξής: Ποιες ενώσεις και γιατί θα σχηματίσουν ιοντικά στερεά; Οι απαντήσεις είναι μάλλον απλές ή τουλάχιστον έχουν αναφερθεί κατά κάποιο τρόπο κατά την εξέταση των ιδιοτήτων των αλογόνων και των αλκαλίων, που έγινε στο κεφάλαιο 8. Τα αλογονίδια των αλκαλίων αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα ιοντικών ενώσεων. Έτσι, το LiF αποτελείται από ιόντα Li^+ και F^-, το CsI αποτελείται από ιόντα Cs^+ και I^- κ.ο.κ

Μια ιοντική ένωση σχηματίζεται, όταν ένα μέταλλο, το οποίο μπορεί εύκολα να χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, συνδέεται με ένα αμέταλλο, το οποίο έχει τη μεγάλη τάση να προσλάβει ένα ή δύο ηλεκτρόνια. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ηλεκτρονιακή διαμόρφωση ευγενούς αερίου.

Τα αμέταλλα, τα οποία προσλαμβάνουν πολύ εύκολα ηλεκτρόνια και σχηματίζουν αρνητικά ιόντα με ηλεκτρονιακή διαμόρφωση ευγενούς αερίου, είναι αυτά που βρίσκονται στην πάνω δεξιά γωνία του περιοδικού πίνακα. Πρόκειται για τα επόμενα:

F, το οποίο δίνει F^-
Cl, το οποίο δίνει Cl^-
Br, το οποίο δίνει Br^-
O, το οποίο δίνει O^-

Όλα τα φθορίδια, τα χλωρίδια, τα βρωμίδια και τα οξείδια που σχηματίζονται με τα περισσότερο μεταλλικά στοιχεία είναι ιοντικές

ενώσεις. Για παράδειγμα, το οξείδιο του μαγνησίου, MgO, αποτελείται από ιόντα Mg^{2+} και O^{2-}, ενώ το χλωριούχο σκάνδιο, $ScCl_3$, αποτελείται από ιόντα Sc^{3+} και Cl^-. Παράλληλα όμως, ενώσεις όπως ο τριχλωριούχος φωσφόρος, PCl_3, και το μονοξείδιο του άνθρακα, CO, δεν είναι ιοντικές. Δεν σχηματίζονται ιόντα επειδή τα στοιχεία P και C δεν έχουν σε καμία περίπτωση την τάση να χάσουν ηλεκτρόνια. Δεν πρόκειται για μεταλλικά στοιχεία.

Μια άλλη γενική κατηγορία ιοντικών ενώσεων είναι εκείνη που περιέχει πολυατομικά ιόντα. Πρόκειται για ιόντα που διαθέτουν μια πολύ σταθερή ομάδα ατόμων και, –ως ομάδα που είναι–, έχουν φορτίο. Πολλά από τα κοινά πολυατομικά ιόντα είναι αρνητικά ιόντα. Ακολουθούν μερικά σημαντικά παραδείγματα:

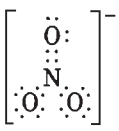
CO_3^{2-}	ανθρακικό ιόν
NO_3^-	νιτρικό ιόν
SO_4^{2-}	θειικό ιόν

Το πιο γνωστό πολυατομικό θετικό ιόν είναι το ιόν του αμμωνίου NH_4^+.

Υπάρχουν ιοντικές ενώσεις που περιέχουν ή πολυατομικά αρνητικά ή πολυατομικά θετικά ιόντα ή και τα δύο. Στα επόμενα παραδείγματα φαίνεται καθαρά αυτό:

Χημική ένωση	Ιόντα
Na_2SO_4	$2Na^+ + SO_4^{2-}$
$Fe(NO_3)_3$	$Fe^{3+} + 3NO^{3-}$
NH_4Cl	$NH_4 + Cl^-$
$(NH_4)_2SO_4$	$2NH_4^+ + SO_4^{2-}$

Τα πολυατομικά ιόντα είναι σταθερά για τον ίδιο βασικό λόγο που είναι και τα μονοατομικά ιόντα. Όταν υπάρχει φορτίο σε αυτά τα πολυατομικά ιόντα σημαίνει ότι το κάθε άτομο έχει αποκτήσει τον αριθμό των ηλεκτρονίων του ευγενούς αερίου. Για παράδειγμα, ας εξετάσομε το νιτρικό ιόν. Στην παράγραφο 15.8, είδαμε με αρκετές λεπτομέρειες το ιόν αυτό, γιατί διευκρίνιζε την έννοια του συντονισμού. Παρακάτω ακολουθεί ένας από τους τρεις ισοδύναμους ηλεκτρονιακούς τύπους που συμμετέχουν στην περιγραφή του υβριδίου συντονισμού της ηλεκτρονικής κατανομής του:



Όπως βλέπετε, υπάρχουν συνολικά 24 ηλεκτρόνια. Το κάθε ένα από τα τέσσερα άτομα περιβάλλεται από μια διάταξη οκτώ ηλεκτρονίων σθένους (δομή όμοια με αυτήν του στοιχείου νέο). Αυτό όμως είναι δυνατόν να συμβεί μόνο με την παρουσία ενός επί πλέον ηλεκτρονίου. Αυτό το ηλεκτρόνιο αναγκάζει ολόκληρο το νιτρικό ιόν να έχει φορτίο 1–. Χωρίς αυτό θα υπήρχαν μόνο 23 ηλεκτρόνια σθένους (6 από το κάθε άτομο O και 5 από το άτομο N). Το πρόσθετο ηλεκτρόνιο χρησιμεύει για να συμπληρώσει η μονάδα αυτή γύρω από όλα τα άτομά τις διατάξεις με ηλεκτρονική δομή όμοια με του στοιχείου νέο. Γι' αυτό το συγκρατεί πολύ ισχυρά και το ιόν NO_3^- είναι πολύ σταθερό.

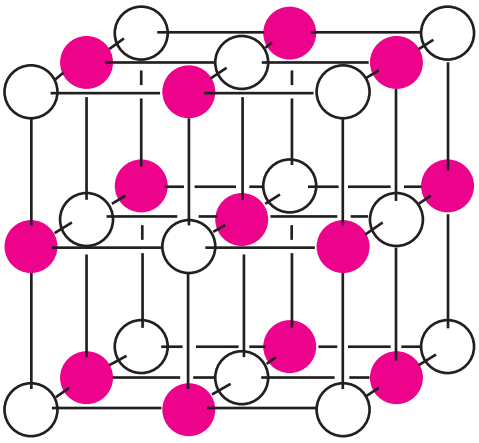
17.13 Δομές των ιοντικών χημικών ενώσεων.

Οι ιοντικές ενώσεις σχηματίζονται από ιόντα τοποθετημένα μαζί σε μια συμπαγή, συστηματική διάταξη. Για την ακρίβεια, ο τρόπος που θα τοποθετηθούν τα ιόντα στην κάθε ένωση εξαρτάται από μερικούς παράγοντες. Στους παράγοντες αυτούς συμπεριλαμβάνονται τα σχετικά τους μεγέθη και τα φορτία τους. Πάντως, η αρχή που υπερισχύει είναι ότι θα πρέπει η δομή να φέρνει κοντά ιόντα αντιθέτου φορτίου και να διατηρεί χωριστά ιόντα του ιδίου φορτίου.

Η δομή του χλωριούχου νατρίου, δείχνει αυτήν την αρχή. Το πρότυπο με τις μπάλες και τις οδοντογλυφίδες του σχήματος 17-21 δείχνει με σαφήνεια τις σχέσεις που υπάρχουν στον τρισδιάστατο χώρο. Μια πιο προσεκτική παρατήρηση της δομής αυτής αποκαλύπτει ότι το κάθε ιόν Na^+ περιβάλλεται από ένα σύνολο έξι ιόντων Cl^-. Μόνο έξω από αυτό το σύνολο των αντίθετα φορτισμένων ιόντων μπορεί να βρεθούν πάλι μερικά ιόντα Na^+. Η δομή γύρω από το κάθε ιόν Cl^- είναι ακριβώς η ίδια, αλλά αντεστραμμένη. Το κάθε ιόν Cl^- περιβάλλεται εξ ολοκλήρου από ένα σύνολο έξι ιόντων Na^+. Μόνο έξω από αυτά μπορούν να υπάρξουν πάλι ιόντα Cl^-.

Το οξείδιο του μαγνησίου έχει ακριβώς την ίδια δομή, όπου τα ιόντα Mg^{2+} αντικαθιστούν τα ιόντα Na^+, και τα ιόντα O^{2-} αντικαθιστούν τα ιόντα Cl^-.

Άλλο παράδειγμα ιοντικής δομής αποτελεί το ανθρακικό ασβέστιο, $CaCO_3$. Μια κοινή μορφή αυτής της ουσίας είναι ο γνωστός ασβεστόλιθος. Εδώ τα ιόντα Ca^{2+} εναλλάσσονται με τα ιόντα CO_3^{2-}. Ποτέ δύο ιόντα του ιδίου είδους δεν



ΣΧΗΜΑ 17-21. *Το πρότυπο αυτό με τις μπάλες και τις οδοντογλυφίδες δείχνει τη δομή του χλωριούχου νατρίου, NaCl. Οι ανοικτόχρωμοι κύκλοι παριστάνουν ιόντα του ενός τύπου, ενώ οι σκουρόχρωμοι του άλλου. Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο αριθμητήριο.*

έρχονται σε άμεση επαφή.

Ένα ακόμη παράδειγμα ιοντικής δομής αποτελεί ο σφαλερίτης, ZnS, τον οποίο κατασκευάσατε προηγουμένως (παράγρ. 17.5).

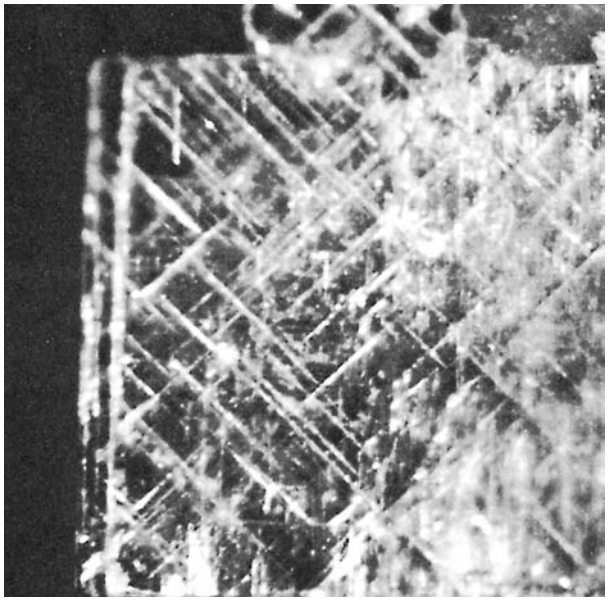
17.14 Ιδιότητες των ιοντικών ενώσεων.

Όπως γνωρίζετε, οι ιοντικές ενώσεις αποτελούνται από φορτισμένα σωματίδια. Για το λόγο αυτό έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες που τις κάνουν να ξεχωρίζουν από τα άλλα είδη στερεών (μεταλλικά στερεά, στερεά πλέγματα και μοριακά στερεά). Οι ιδιότητες αυτές γίνονται κατανοητές, με βάση την ιοντική φύση των υλικών.

Τα ιοντικά στερεά είναι κατά κανόνα σκληρά, όχι όμως ανθεκτικά, και έχουν υψηλά σημεία τήξεως. Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στις ηλεκτρικές δυνάμεις έλξεως ανάμεσα στα αντιθέτως φορτισμένα ιόντα. Αυτές οι δυνάμεις έλξεως είναι πολύ ισχυρές, επειδή τα ιόντα μέσα σε έναν ιοντικό κρύσταλλο βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους (θυμηθείτε το νόμο του Coulomb, παράγρ. 9.2). Η δομή ενός ιοντικού κρυστάλλου δημιουργείται με βάση τη μεγιστοποίηση αυτών των ελκτικών δυνάμεων και την ελαχιστοποίηση των απωστικών ανάμεσα στα ιόντα με όμοια φορτία.

Αν και πολλές ιοντικές ενώσεις είναι το ίδιο σκληρές με τα μέταλλα, στερούνται της αντοχής των μετάλλων. Ο εύθραυστος χαρακτήρας των ιοντικών ενώσεων (θυμηθείτε πόσο εύκολα τρίβεται το μαγειρικό αλάτι) δικαιολογείται με βάση τις δυνάμεις που ασκούνται μέσα σε αυτές. Αν ασκηθεί πίεση σε ένα κομμάτι μετάλλου, η μία στοιβάδα ατόμων μπορεί να ολισθήσει ως προς μια άλλη. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η κινούμενη θάλασσα των ηλεκτρονίων μετακινείται επίσης κατά τρόπο που να διατηρεί τη συνεκτική δύναμη ανάμεσα στις δύο στοιβάδες. Όταν όμως μετακινηθούν μεταξύ τους, δύο στοιβάδες μέσα σε έναν ιοντικό κρύσταλλο, η διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι διαφορετική. Οι στοιβάδες καταλήγουν σε μια κατάσταση, όπου όλα τα θετικά ιόντα της μιας βρίσκονται ακριβώς απέναντι από τα θετικά ιόντα της άλλης. Παράλληλα, και τα αρνητικά ιόντα της κάθε στοιβάδας καταλαμβάνουν αντικριστές μεταξύ τους θέσεις. Στο σημείο αυτό υπάρχουν πολύ μεγάλες απωστικές δυνάμεις, οι οποίες οδηγούν στο διαχωρισμό των δύο τμημάτων του κρυστάλλου κατά μήκος του επιπέδου των δύο στοιβάδων που ολισθαίνουν. Το αποτέλεσμα είναι να σπάσει ο κρύσταλλος, όπως δείχνει και το σχήμα 17-22.

Ενώ τα ιοντικά στερεά δεν άγουν τον ηλεκτρισμό, γίνονται καλοί αγωγοί του



ΣΧΗΜΑ 17-22. *Όπως αναφέρθηκε, οι ιοντικοί κρύσταλλοι τείνουν να σπάσουν κατά μήκος συγκεκριμένων γραμμών. Αυτό συμβαίνει, γιατί στοιβάδες ιόντων του ιδίου φορτίου υποχρεώθηκαν να*

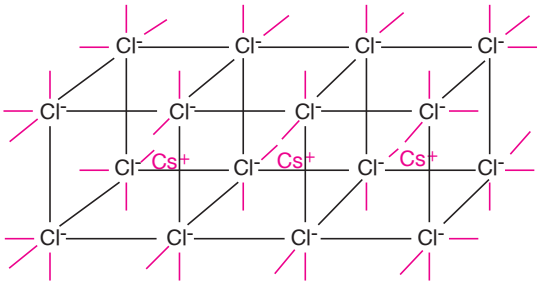
ηλεκτρισμού, όταν βρίσκονται στη μορφή *«τήγματος»*. Μέσα σε μια στερεά ιοντική ένωση, το κάθε ιόν συγκρατείται ισχυρά από τις δυνάμεις που ασκούν όλα τα άλλα ιόντα πάνω του. Γι' αυτό δεν είναι δυνατή η μετακίνηση φορτίων, ακόμη και αν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί υψηλή τάση. Επί πλέον, μέσα στο κάθε ιόν όλα τα ηλεκτρόνια συγκρατούνται ισχυρά. Γι' αυτό και δεν είναι επίσης δυνατόν να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Σημαντική αλλαγή όμως πραγματοποιείται, όταν η ιοντική ουσία μετατραπεί σε υγρό. Τότε τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα γίνονται ευκίνητα και αποκτούν τη δυνατότητα να μετακινηθούν, αν εφαρμοσθεί κάποια τάση (διαφορά δυναμικού). Ως αποτέλεσμα το ηλεκτρικό ρεύμα ***θα*** διέλθει μέσα από το υλικό.

Η τελευταία κύρια ιδιότητα των ιοντικών ενώσεων είναι ότι διαλύονται σε κατάλληλους διαλύτες. Τα λαμβανόμενα ***ιοντικά διαλύματα*** περιέχουν ξεχωριστά θετικά και αρνητικά ιόντα. Τα διαλύματα αυτά άγουν τον ηλεκτρισμό κατά τον ίδιο τρόπο που τον άγουν οι τετηγμένες ιοντικές ουσίες. Και πάλι όταν εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού, υπάρχει κίνηση των θετικών και των αρνητικών ιόντων. Μια ιοντική ένωση, όπως το NaCl, η οποία διαλύεται στο νερό και σχηματίζει αγώγιμα διαλύματα, ονομάζεται ***ηλεκτρολύτης***. Η φύση των ηλεκτρολυτών και των ιοντικών διαλυμάτων θα εξετασθεί με περισσότερες λεπτομέρειες αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο.

17.15 Μερικές ποσοτικές έννοιες σχετικά με τους ιοντικούς κρυστάλλους.

Προηγουμένως ασχοληθήκαμε με τις βασικές ποιοτικές ιδιότητες της δομής των ιοντικών στερεών. Σε αυτά θετικά και αρνητικά ιόντα στοιβάζονται μεταξύ τους έτσι, ώστε να μεγιστοποιούνται οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα στα αντίθετα φορτισμένα ιόντα και να ελαχιστοποιούνται οι απωστικές δυνάμεις ανάμεσα στα ιόντα του ιδίου φορτίου.

Μέσα σε ένα ιοντικό στερεό το κάθε θετικό ιόν έχει ως άμεσα γειτονικά του, ένα σύνολο από αρνητικά ιόντα, τα οποία το περιβάλλουν κατά έναν ομοιόμορφο, συμμετρικό τρόπο. Το κάθε αρνητικό ιόν περιβάλλεται από ένα σύνολο θετικών ιόντων. Η δομή του χλωριούχου νατρίου, την οποία εξετάσαμε, το δείχνει αυτό



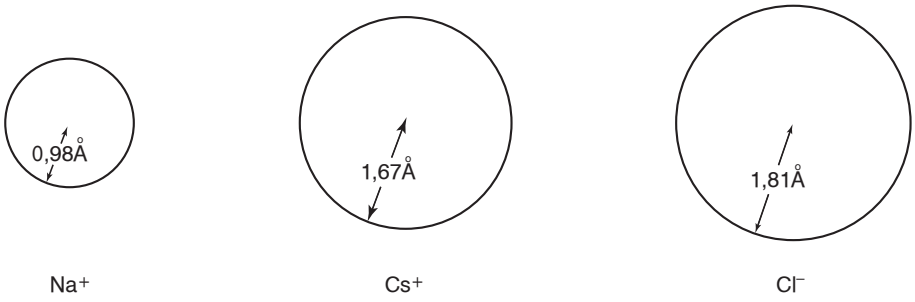
ΣΧΗΜΑ 17-23. *Στη δομή του χλωριούχου κεσίου, τα ιόντα Cl^- σχηματίζουν μια διάταξη συνδεομένων κύβων, στο κέντρο των οποίων υπάρχει ένα ιόν Cs^+.*

κατ' άριστο τρόπο. Το κάθε ιόν Na^+ περιβάλλεται από έξι ιόντα Cl^-. Η διάταξη των έξι ιόντων Cl^-, όπως θα θυμάστε, είναι οκταεδρική. Δηλαδή, εάν συνδέονταν με γραμμές, οι γραμμές θα αποτελούσαν τις ακμές ενός οκταέδρου, με τα ιόντα Na^+ στο κέντρο του. Τα έξι ιόντα Na^+ που περιβάλλουν το κάθε ιόν Cl^- έχουν επίσης οκταεδρική διάταξη.

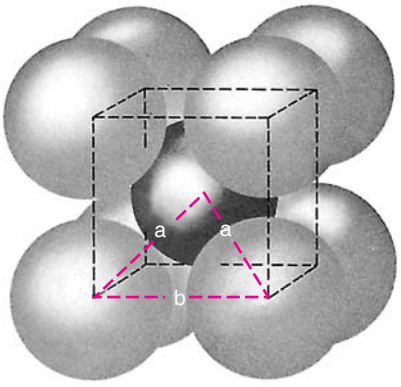
Ένα άλλο χλωρίδιο της ομάδας των αλκαλίων είναι το χλωριούχο κέσιο, CsCl. Έχει διαφορετική δομή από του NaCl, όπως δείχνει και το σχήμα 17-23. Είναι προφανής η ίδια ποιοτική έννοια. Το κάθε ιόν περιβάλλεται από τόσα ιόντα αντιθέτου φορτίου, όσα είναι τα αμέσως γειτονικά του. Η λεπτομερής όμως τοποθέτηση είναι διαφορετική. Στη δομή του CsCl, το κάθε ιόν περιβάλλεται από ***οκτώ*** ιόντα αντιθέτου φορτίου σύμφωνα με μια κυβική διάταξη. Γιατί αυτές οι δύο ενώσεις έχουν διαφορετικές δομές;

Το ιόν Cs^+ είναι πολύ μεγαλύτερο από το ιόν Na^+. Αυτό είναι κάτι που αναμένεται, γιατί το στοιχείο κέσιο βρίσκεται κοντά στο τέρμα της ομάδας των αλκαλίων, ενώ το στοιχείο νάτριο είναι κοντά στην αρχή. Οι ακτίνες των ιόντων Na^+ και Cs^+, καθώς και η ακτίνα του ιόντος Cl^- απεικονίζονται στο σχήμα 17-24.

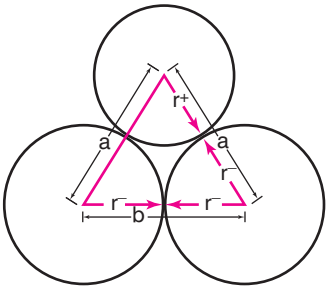
Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αρνητικών ιόντων που μπορούν να συνδεθούν με κάποιο θετικό ιόν, τόσο οι συνθήκες σχηματισμού ιοντικού κρυστάλλου είναι, ηλεκτροστατικά, ευνοϊκότερες. Ο αριθμός όμως των ανιόντων που μπορούν να έρθουν σε επαφή με το κάθε κατιόν περιορίζεται από το μέγεθος του ανιόντος. Μόλις αρχίσουν τα ανιόντα να επικαλύπτονται μεταξύ τους, θα εμφανισθούν ισχυρές απωστικές δυνάμεις ανιόντος–ανιόντος. Η ιδανική περίπτωση είναι να υπάρχει ο



ΣΧΗΜΑ 17-24. *Οι ακτίνες των ιόντων Na^+, Cs^+ και Cl^-.*



(α)



(β)

ΣΧΗΜΑ 17-25. *Η γεωμετρία της δομής του χλωριούχου κεσίου, CsCl. Τα ιόντα Cl^- όπως φαίνεται στο σχήμα (α), θα πρέπει στην πραγματικότητα μόλις να εφάπτονται μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στο σχήμα (β). Επάνω διαχωρίζονται λίγο, για να φανεί σαφέστερα η γεωμετρία της δομής του.*

μεγαλύτερος δυνατός αριθμός ανιόντων γύρω από κάθε κατιόν, χωρίς να υπάρχει επικάλυψη ανιόντων.

Η προσοχή μας εστιάζεται στην ερώτηση ποιος αριθμός ανιόντων μπορεί να τοποθετηθεί γύρω από ένα κατιόν, και όχι αντίθετα, επειδή το κατιόν είναι, σχεδόν πάντα, μικρότερο ιόν. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση του NaCl και του CsCl. Η τοποθέτηση των ιόντων εξαρτάται από τον αριθμό των μεγαλυτέρων ιόντων που είναι δυνατόν να πάρουν θέσεις γύρω από το μικρότερο ιόν.

Ας παρατηρήσομε τώρα τις γεωμετρικές σχέσεις ανάμεσα στις δομές του NaCl και του CsCl. Η βασική ερώτηση είναι η εξής: Ποια είναι η μέγιστη δυνατή ακτίνα του ανιόντος, σχετικά με το κατιόν, η οποία να επιτρέπει το σχηματισμό της κάθε δομής, χωρίς όμως να επικαλύπτονται ανιόντα μεταξύ τους; Το σχήμα 17-25 εμφανίζει το γεωμετρικό πρόβλημα για την περίπτωση της δομής του CsCl.

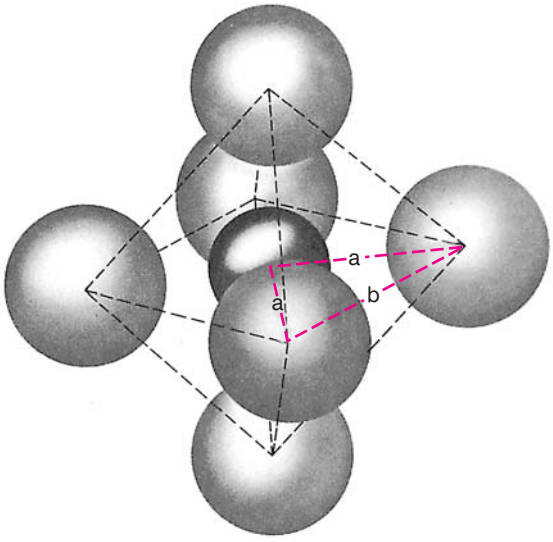
Η απόσταση a ισούται με το μισό του μήκους της διαγωνίου d ενός κύβου. Η απόσταση b ισούται με το μήκος της ακμής του κύβου. Με τη βοήθεια του Πυθαγορείου θεωρήματος (δύο φορές), αποδεικνύεται ότι:

$$d = \sqrt{3b^2} = \left(\sqrt{3}\right) b$$

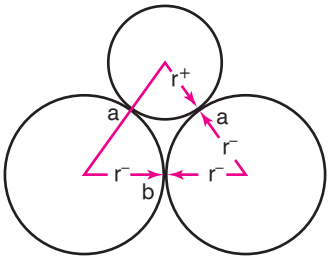
Επειδή $d = 2a$, προκύπτει η ακόλουθη σχέση ανάμεσα σε a και b:

$$a = \frac{\sqrt{3}}{2} b$$

Αν αντικατασταθούν τώρα στις σχέσεις του σχήματος 17-25β, οι οποίες περιέχουν τις ακτίνες r^+ και r^- του κατιόντος και του ανιόντος αντίστοιχα, τα a και b με τις παραπάνω ισότητες και αν εκτελεσθούν στη συνέχεια μερικές αλγεβρικές πράξεις, λαμβάνεται το ακόλουθο αποτέλεσμα:



(α)



$a = r^- + r^+$
$b = 2r^-$

ΣΧΗΜΑ 17-26. *Η γεωμετρία του NaCl. Αν υποτεθεί ότι τα ιόντα που φαίνονται στο (α) μόλις εφάπτονται μεταξύ τους, τότε οι αποστάσεις a και b είναι δυνατόν να εκφρασθούν σε συνάρτηση με τις ακτίνες των ιόντων (β).*

$$a = \frac{\sqrt{3}}{2} b$$

$$r^+ + r^- = \frac{\sqrt{3}}{2}(2r^-)$$

$$r^+ = \sqrt{3}r^- - r^-$$

$$r^+ = r^-(\sqrt{3} - 1)$$

$$\frac{r^-}{r^+} = \frac{1}{\sqrt{3} - 1} = \frac{1}{1{,}732 - 1{,}000}$$

$$= \frac{1}{0{,}732} = 1{,}37$$

Αυτό σημαίνει ότι, όταν ο λόγος των ακτίνων r^-/r^+, είναι ίσος με 1,37, τα ανιόντα στη συγκεκριμένη δομή του CsCl μόλις που θα εφάπτονται μεταξύ τους και μόλις που θα εφάπτονται επίσης με το κατιόν. Αν μεγαλώσει το ανιόν σε σχέση με το κατιόν, η δομή του CsCl δεν μπορεί να σχηματισθεί παρά μόνο αν (1) αν επικαλύπτονται τα ανιόντα μεταξύ τους όταν όλα τα ανιόντα εφάπτονται με το κατιόν, ή αν (2) γίνει η απόσταση του ανιόντος από το κατιόν μεγαλύτερη από $r^+ + r^-$, ώστε να αποφεύγεται η επικάλυψη ανιόντος–ανιόντος. Και στις δύο περιπτώσεις η δομή που σχηματίζεται είναι λιγότερο σταθερή.

Οι ακτίνες που αναφέρονται στο σχήμα 17-24 οδηγούν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

CsCl $r^-/r^+ = 1{,}08 (< 1{,}37)$
NaCl $r^-/r^+ = 1{,}85 (\gg 1{,}37)$

Επειδή το 1,85 είναι πολύ μεγαλύτερο από το 1,37, το NaCl δεν μπορεί να αποκτήσει τη δομή του CsCl. Οκτώ άτομα Cl^- δεν μπορούν να ταιριάξουν γύρω από το ιόν του Na^+. Στην περίπτωση όμως του CsCl, ο λόγος των ακτίνων είναι μικρότερος από 1,37, και γι' αυτό η δομή αυτή είναι δυνατή.

Το γεωμετρικό πρόβλημα για τον τύπο της δομής του NaCl, παρουσιάζεται στο σχήμα 17-26. Εκτελώντας τις ίδιες πράξεις όπως προηγουμένως λαμβάνεται τελικά το ακόλουθο αποτέλεσμα:

$$b = (\sqrt{2})a$$

$$2r^- = \sqrt{2}(r^+ + r^-)$$

$$2r^- - \sqrt{2}r^- = \sqrt{2}r^+$$

$$(2 - \sqrt{2})r^- = \sqrt{2}r^+$$

$$\frac{r^-}{r^+} = \frac{\sqrt{2}}{2 - \sqrt{2}} = \frac{1{,}414}{0{,}586}$$

$$= 2{,}41$$

Επειδή για το NaCl το $r^-/r^+ = 1{,}85$, το είδος της δομής που δημιουργείται είναι γεωμετρικά ικανοποιητικό. Σε αυτήν τη δομή, έξι ιόντα Cl^- τοποθετούνται γύρω από το Na^+. Οκτώ ιόντα Cl^- δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν γύρω από το Na^+.

Είναι αλήθεια ότι, από γεωμετρικής απόψεως, το CsCl θα μπορούσε να αποκτήσει τη δομή του NaCl. Η δομή αυτή όμως, δεν θα ήταν σταθερή σε σύγκριση με την πραγματική δομή, επειδή δημιουργούνται λιγότερες επαφές ανάμεσα στα αντιθέτως φορτισμένα ιόντα.

Περίληψη.

Οι ιοντικές χημικές ενώσεις αποτελούνται από θετικά και αρνητικά ιόντα τοποθετημένα μαζί έτσι, ώστε να σχηματίζουν ένα κρυσταλλικό στερεό. Σε αυτήν την κατάσταση, οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα σε αντίθετα φορτία μεγιστοποιούνται, ενώ οι απωστικές ανάμεσα σε ομώνυμα φορτία ελαχιστοποιούνται. Κάτι τέτοιο σημαίνει ότι κατά μήκος οποιασδήποτε κατευθύνσεως μέσα σε μια ουσία αυτού του είδους, τα θετικά ιόντα εναλλάσσονται με τα αρνητικά. Τα ιόντα μπορεί να είναι ή μονοατομικά, όπως το Na^+, το Ca^{2+}, το Al^{3+}, το Cl^-, το O^{2-}, ή πολυατομικά, όπως το NH_4^+, το NO_3^- και το SO_4^{2-}. Ιοντικές ενώσεις σχηματίζονται γενικά από το συνδυασμό των εντόνου μεταλλικού χαρακτήρα στοιχείων με εκείνα των εντόνου αμετάλλου χαρακτήρα. Πρόκειται για σκληρές κατά κανόνα ενώσεις, εύθραυστες και με υψηλά σημεία τήξεως Τα τήγματα και τα διαλύματά τους άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιες είναι οι ιδιότητες των ιοντικών ενώσεων;
2. Ποια στοιχεία μπορούν να σχηματίσουν ιοντικές ενώσεις; Σε ποια θέση του περιοδικού συστήματος βρίσκεται τοποθετημένη αυτή η ομάδα;
3. Να περιγράψετε σε γενικές γραμμές το σχηματισμό της ιοντικής δομής.
4. Να γράψετε έναν ηλεκτρονικό τύπο για το θειικό ιόν και να εξηγήσετε γιατί έχει φορτίο 2^-.

Τα μόρια αναμιγνύονται και σχηματίζουν διαλύματα

17.16 Ιδιότητες των διαλυτών.

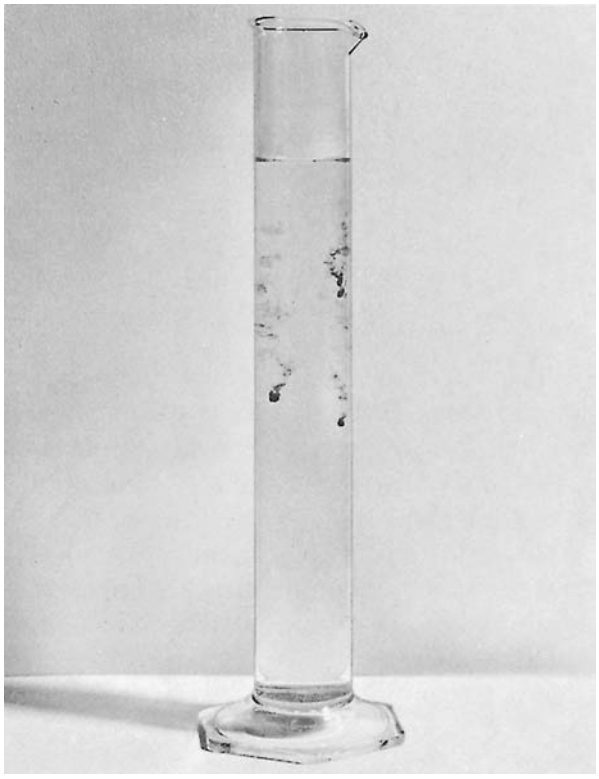
Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 17.4, ένα διάλυμα αποτελείται από δύο ή περισσότερες ουσίες αναμεμιγμένες σε μοριακό επίπεδο. Υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος τύπος διαλυμάτων, ο οποίος είναι πιο γνωστός και συνηθισμένος. Στον τύπο αυτόν, ένας σχετικά μικρός όγκος κάποιας ουσίας, η οποία αποκαλείται ***εν διαλύσει ουσία (ή διαλυμένη ουσία)***, διαλύεται μέσα σε πολύ μεγαλύτερο όγκο κάποιας άλλης, που λέγεται ***διαλύτης***. Τις περισσότερες φορές ο διαλύτης είναι ένα υγρό. Η διαλυμένη ουσία τις περισσότερες φορές είναι κάποιο στερεό, σύμφωνα και με το σχήμα 17-27, αλλά είναι δυνατόν να είναι και κάποιο υγρό ή κάποιο αέριο. Μπορεί να υπάρχουν δύο ή περισσότερες διαλυμένες ουσίες μέσα στο ίδιο διάλυμα. Μια σημαντική ερώτηση που θα μπορούσε να τεθεί είναι η εξής: Γιατί ένας ορισμένος διαλύτης διαλύει κάποιες ουσίες αλλά όχι όλες; Η μελέτη μερικών χαρακτηριστικών των υγρών θα βοηθήσει στην απάντηση του ερωτήματος σχετικά με τις ***διαλυτικές ικανότητες*** της κάθε χημικής ουσίας.

Στην παράγραφο 15.11 μάθαμε γιατί τα μόρια μπορεί να έχουν διπολική ροπή. Το χλωροφόρμιο, $CHCl_3$, είναι ένα από αυτά τα ***πολικά*** μόρια. Έχει περίπου τις ίδιες γωνίες δεσμών με το μεθάνιο, CH_4, και τον τετραχλωράνθρακα, CCl_4. Σύμφωνα με όσα μάθαμε, ο άνθρακας με τα sp^3 που διαθέτει για το σχηματισμό δεσμών, σχηματίζει τέσσερις δεσμούς σε τετραεδρική διάταξη. Εξουδετέρωση των διπόλων των τεσσάρων δεσμών λαμβάνει χώρα, όταν όλα τα άτομα που συνδέονται με το κεντρικό άτομο άνθρακα είναι του ιδίου στοιχείου. Δημιουργείται δηλαδή ένας μη πολικός δεσμός. Ας υποθέσομε ότι ένα από τα άτομα του χλωρίου στον CCl_4 αντικαθίσταται από ένα άτομο υδρογόνου. Αφού τώρα δεν εξουδετερώνονται οι τέσσερις διπολικοί δεσμοί, σχηματίζεται το πολικό μόριο του $CHCl_3$.

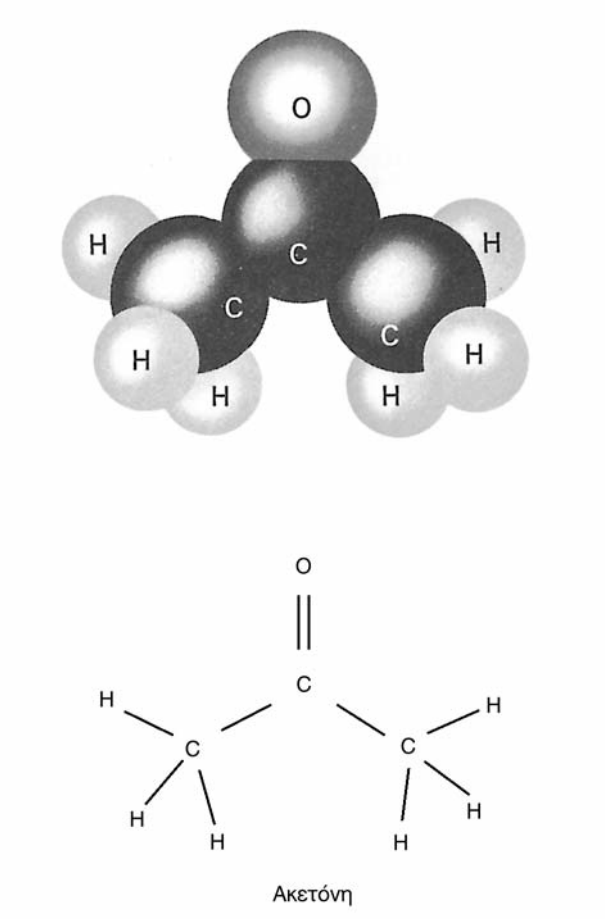
17.17 Μοριακά δίπολα.

Οι δυνάμεις ανάμεσα στα μόρια επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία μοριακών διπόλων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, δύο μόρια που διαθέτουν μοριακά δίπολα έχουν την τάση να έλκονται μεταξύ τους ισχυρότερα από ό,τι τα μόρια που δεν διαθέτουν δίπολα. Ένα από τα σημαντικότερα αποτελέσματα αυτού του φαινομένου έχει σχέση με τις ιδιότητες των διαλυμάτων.

Στον πίνακα 17.3 αναφέρεται η διαλυτότητα διαφόρων ουσιών σε δύο διαλύτες, τον



ΣΧΗΜΑ 17-27. *Ο πιο συνηθισμένος τύπος διαλύματος σχηματίζεται, όταν ένα στερεό (διαλυμένη ουσία) διαλύεται μέσα σε ένα υγρό (διαλύτης). Στην προκειμένη περίπτωση, κρύσταλλοι υπερμαγγανικού καλίου διαλύονται μέσα σε νερό.*



ΣΧΗΜΑ 17-28. *Στερεοχημικό πρότυπο στο χώρο και ο συντακτικός τύπος της ακετόνης, CH_3COCH_3. Η δομή της δικαιολογεί την πολικότητα του μορίου*

τετραχλωράνθρακα και την ακετόνη, CH_3COCH_3. Αυτοί οι δύο διαλύτες διαφέρουν ως προς τις πολικές τους ιδιότητες. Σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, στον CCl_4 το κεντρικό άτομο του άνθρακα περιβάλλεται από τέσσερις δεσμούς που σχηματίζουν ένα κανονικό τετράεδρο. Με αυτό το μοριακό σχήμα, ο CCl_4 εμφανίζει μηδενική μοριακή ροπή. Όμως η ακετόνη έχει δομή κεκαμμένη, όπως δείχνει και το σχήμα 17-28. Ως αποτέλεσμα αυτής της δομής, η πολικότητα του δεσμού άνθρακα–οξυγόνου, έχει σημαντική ηλεκτρική διπολική ροπή.

Ας συγκρίνομε τώρα τις διαλυτότητες του πίνακα 17.3. Οι πρώτες δύο ουσίες, CH_4 και C_2H_6, δεν σχηματίζουν μοριακά δίπολα. Και στις δυο περιπτώσεις, η διαλυτότητα στον CCl_4 ξεπερνά τη διαλυτότητα στην CH_3COCH_3. Οι επόμενες δύο ουσίες, CH_3Cl και CH_3OCH_3, σχηματίζουν μοριακά δίπολα. Και στις δυο περιπτώσεις υπερέχει η διαλυτότητα σε ακετόνη.

Υπάρχει εύλογη ερμηνεία των δεδομένων του πίνακα 17.3. Όταν μια ουσία διαλύεται, θα πρέπει τα μόριά της να διαχωρίζονται μεταξύ τους και στη συνέχεια να περιστοιχίζονται από μόρια του διαλύτη. Επί πλέον, θα πρέπει και τα μόρια του διαλύτη να αφήνουν μεταξύ τους χώρο για τα μόρια της διαλυόμενης ουσίας. Τα δίπολα αλληλεπιδρούν ισχυρά μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, ένα πολικό μόριο, όπως το CH_3Cl, είναι από ενεργειακής απόψεως σταθερότερο, όταν περιβάλλεται από μόρια επίσης πολικού διαλύτη. Έτσι, το CH_3Cl εμφανίζει μεγαλύτερη διαλυτότητα στον πολικό διαλύτη ακετόνη από ό,τι στο μη πολικό διαλύτη τετραχλωράνθρακα. Εξάλλου, ένα μη πολικό μόριο, όπως το CH_4, δεν διαλύεται εξίσου καλά μέσα σε έναν πολικό διαλύτη. Η δυσχέρεια είναι μεγαλύτερη προκειμένου να διεισδύσει ανάμεσα στα ισχυρώς αλληλοσυγκρατούμενα μόρια του πολικού διαλύτη. Γι' αυτό το CH_4 έχει μεγαλύτερη

ΠίΝΑΚΑώ 17.3.
Διαλυτότητες σε τετραχλωράνθακα CCl_4 και σε ακετόνη CH_3COCH_3 στους 25°C. (moles ανά λίτρο).

Διαλυόμενη ουσία	Πολικότητα διαλυόμενης ουσίας	Διαλυτότητα σε διαλύτη	
		CCl_4 (μη πολικός)	CH_3COCH_3 (πολικός)
CH_4, μεθάνιο	μη πολική	0,029	0,025
C_2H_6, αιθάνιο	μη πολική	0,22	0,13
CH_3OCl χλωρομεθάνιο	πολική	1,7	2,8
CH_3OCH_3, διμεθυλοαιθέρας	πολική	1,9	2,2

διαλυτότητα στο μη πολικό διαλύτη, δηλαδή τον CCl_4.

Η παλαιά (και σωστή) άποψη ότι το λάδι και το νερό δεν αναμιγνύονται αποτελεί ένα καλό παράδειγμα για τη σχέση της διαλυτότητας με την πολικότητα του μορίου. Τα μόρια του λαδιού πρακτικά είναι μη πολικά, ενώ τα μόρια του νερού είναι εξαιρετικώς πολικά. Το μη πολικό υγρό δεν διαλύει σημαντική ποσότητα του ισχυρώς πολικού, και αντίστροφα.

17.18 Διαλυτότητα των ηλεκτρολυτών στο νερό.

Η διάλυση των ηλεκτρολυτών στο νερό είναι από τις σημαντικότερες συνέπειες των ηλεκτρικών διπόλων. Το κρυσταλλικό χλωριούχο νάτριο είναι πολύ σταθερό, όπως εξάλλου δείχνει και το υψηλό σημείο τήξεώς του. Διαλύεται επίσης εύκολα στο νερό. Για να καταστραφεί η σταθερή κρυσταλλική δομή, θα πρέπει να υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση ανάμεσα στα μόρια του νερού και τα ιόντα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις εξηγούνται, με τη βοήθεια των ιδιοτήτων των μορίων του νερού.

Καθώς ένα ηλεκτρικό δίπολο πλησιάζει ένα ιόν, η ενέργεια αυξάνεται, όταν το δίπολο προσανατολίζεται κατά τρόπο ο οποίος φέρνει τα ανόμοια (ετερώνυμα) φορτία κοντά. Με βάση αυτήν την ιδιότητα, και τα μόρια του νερού τείνουν να προσανατολισθούν γύρω από τα ιόντα. Το θετικό άκρο (υδρογόνο) του διπόλου του νερού κατευθύνεται προς ένα ιόν που έχει αρνητικό φορτίο. Αντίθετα, το αρνητικό άκρο (οξυγόνο) κατευθύνεται προς ένα ιόν με θετικό φορτίο. Στο σχήμα 17-29 φαίνεται σχηματικά αυτή η διαδικασία η οποία ονομάζεται ***ενυδάτωση***.

17.19 Σημεία βρασμού και τήξεως των διαλυμάτων.

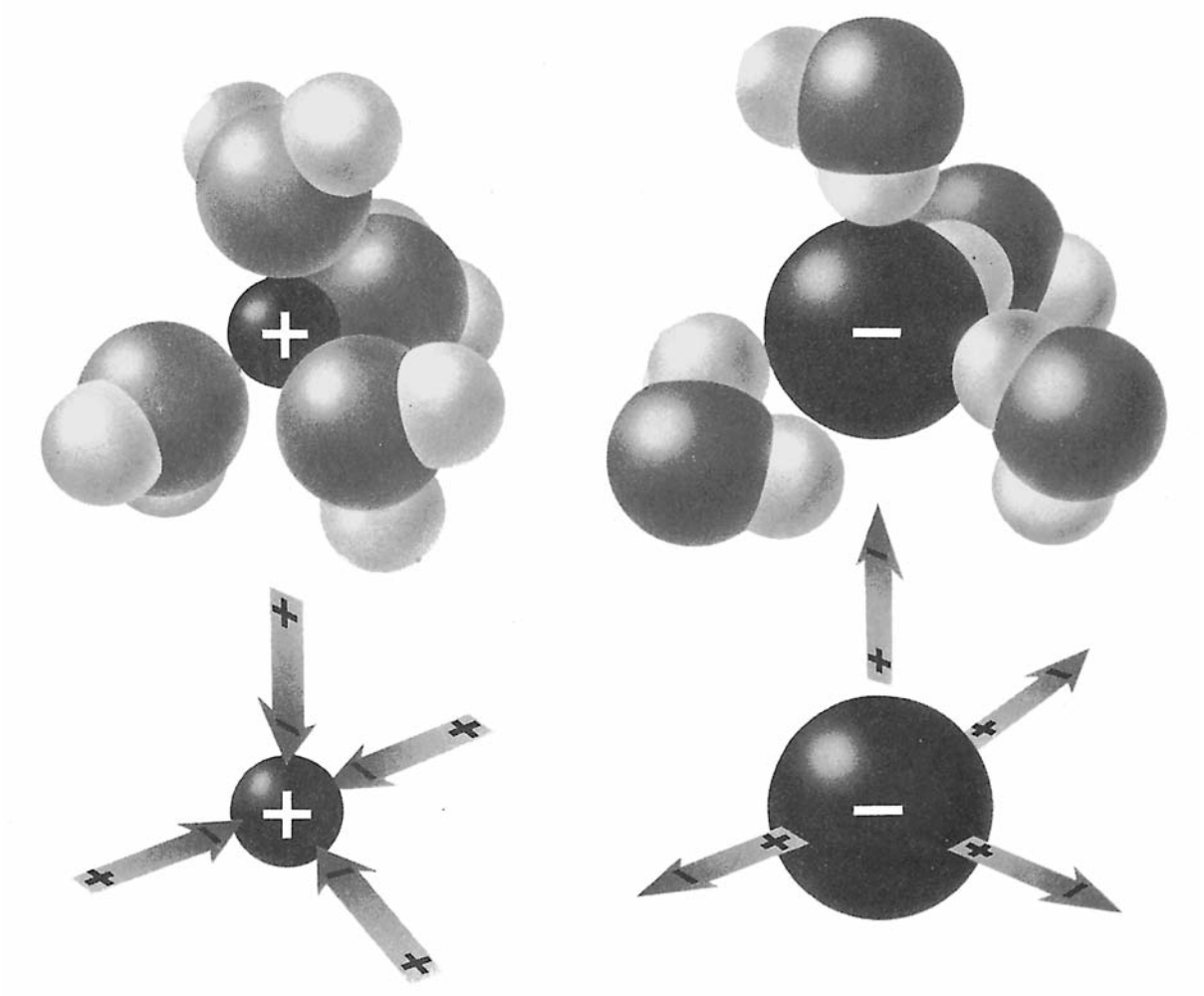
Δύο ιδιότητες ως προς τις οποίες τα διαλύματα διαφέρουν από τις ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες μέσα σε αυτά, είναι οι θερμοκρασίες τήξεως και βρασμού. Κατά κανόνα, όταν ένα στερεό διαλύεται μέσα σε ένα υγρό, το σημείο τήξεως χαμηλώνει, ενώ το σημείο βρασμού ανέρχεται. Στο σχήμα 17-30, δίνεται ένα παράδειγμα της ανυψώσεως του σημείου βρασμού.

Τα θερμικά αυτά φαινόμενα έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους χημικούς. Προκειμένου για διαλύματα που περιέχουν σχετικά μικρή ποσότητα διαλυμένης ουσίας, οι θερμικές συνέπειες είναι ανάλογες με τον αριθμό των διαλυμένων σωματιδίων (μορίων ή ιόντων). Είναι όμως ανεξάρτητες από τη φύση των διαλυμένων σωματιδίων.

Για να γίνει κατανοητό αυτό, ας εξετάσομε πώς μεταβάλλει η κοινή ζάχαρη το σημείο πήξεως του νερού. Η ζάχαρη αποτελείται από μόρια, τα οποία σε αραιά διαλύματα ούτε διασπώνται αλλά ούτε συνδυάζονται μεταξύ τους. Πειράματα έδειξαν ότι ένα διάλυμα που αποτελείται από ένα mole ζάχαρης διαλυμένο σε 1000 g (1 kg) νερού έχει σημείο πήξεως –1,86°C. Αυτό γενικά εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta t = 1{,}86\, m$$

όπου, με Δt παριστάνεται η μείωση του σημείου τήξεως και με m ο αριθμός των moles της



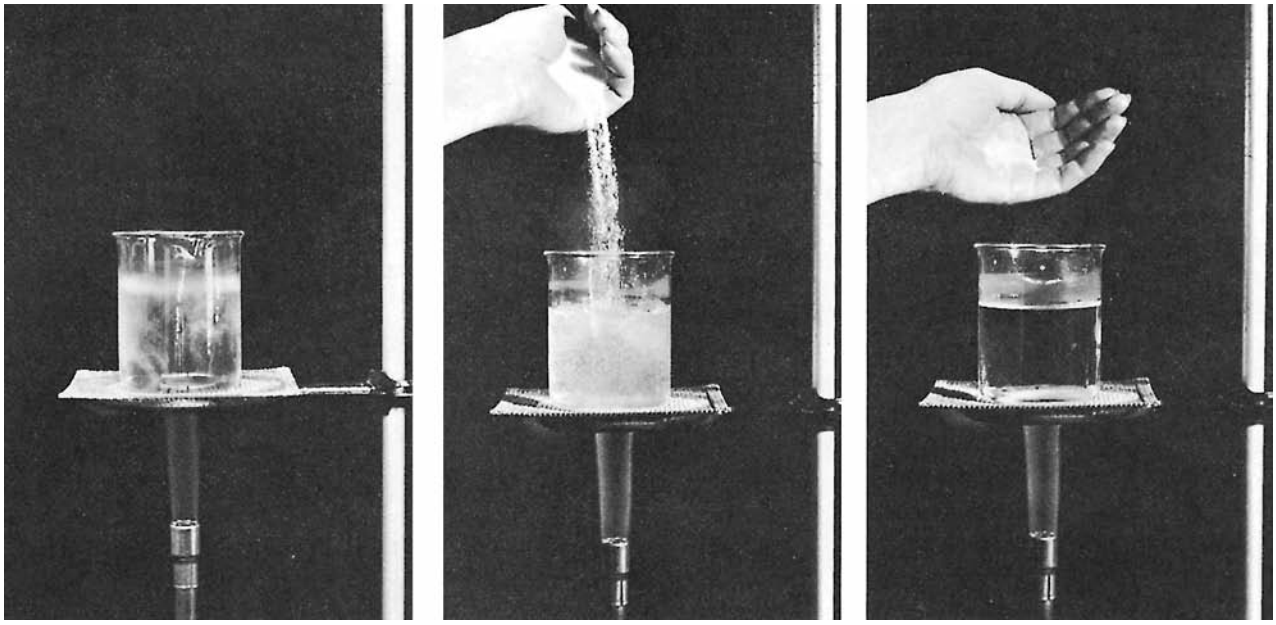
ΣΧΗΜΑ 17-29. *Μέσα στο υδατικό διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη, τα μόρια του νερού, τα οποία είναι ηλεκτρικά δίπολα, περιστοιχίζουν τα ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα. Ο αρνητικός πόλος του μορίου του νερού (οξυγόνο) έλκεται προς το θετικό ιόν (αριστερά) και ο θετικός πόλος (υδρογόνο) έλκεται προς το αρνητικό ιόν (δεξιά).*

διαλυμένης ουσίας ανά 1000 γραμμάρια νερού. Ένα διάλυμα που περιέχει μόνο το ένα τρίτο του mole ζάχαρης ανά κιλό νερού θα έχει:

$$\frac{1,86}{3} = -0,62^{\circ}C$$

Η μείωση αυτή του σημείου πήξεως έχει δύο σημαντικές εφαρμογές: (1) στον προσδιορισμό της μοριακής μάζας και (2) στον προσδιορισμό του αριθμού των ιόντων που σχηματίζει μια ιοντική ένωση, όταν διαλύεται.

Το παράδειγμα που ακολουθεί δείχνει τον προσδιορισμό της μοριακής μάζας. Έστω ότι έχομε την ουσία ουρία με εμπειρικό τύπο CH_4N_2O και μοριακή μάζα 60,0. Είναι όμως αυτή και η πραγματική μοριακή της μάζα; Ίσως το μόριο να έχει τον τύπο $C_2H_8N_4O_2$, δηλαδή να έχει το διπλάσιο εμπειρικό τύπο. Στην περίπτωση αυτήν η μοριακή μάζα θα ήταν 120,0. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, παρασκευάζεται ένα διάλυμα, που περιέχει 60,0 g ουρίας σε 1000 g νερού (ή 6,00 g ουρίας σε 100 g νερού). Στη συνέχεια προσδιορίζεται το σημείο πήξεως αυτού του διαλύματος. Αν η πραγματική μοριακή μάζα είναι 60,0 g, το σημείο πήξεως θα είναι –1,86°C. Αν η πραγματική μοριακή μάζα είναι 120,0, το προηγούμενο διάλυμα θα περιέχει μόνο το μισό mole της ουσίας ανά λίτρο διαλύτη. Το σημείο πήξεως θα μειωθεί μόνο κατά 1,86/2=0,93°C κάτω από το 0°C. Πειραματικά αποδεικνύεται ότι η ουρία στην πραγματικότητα έχει μοριακό τύπο CH_4N_2O.



ΣΧΗΜΑ 17-30. *Αν προστεθεί σε νερό που βράζει (αριστερά) κάποια ουσία (κέντρο), ανυψώνεται το σημείο βρασμού. Αυτό οδηγεί σε μια σύντομη ανακοπή του βρασμού (δεξιά), μέχρι η θερμοκρασία του διαλύματος να φθάσει στο νέο υψηλότερο σημείο βρασμού.*

Ας μελετήσομε τώρα ένα διάλυμα μιας τυπικής ιοντικής ουσίας, του NaCl, στο νερό. Ως γνωστόν, η ουσία αυτή αποτελείται από διάταξη ιόντων Na^+ και Cl^-, τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους, όταν η ουσία διαλυθεί σε νερό. Κατ' αυτόν τον τρόπο δικαιολογείται η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος.

Σύμφωνα με αυτήν τη διατύπωση εξηγείται και η μείωση του σημείου τήξεως αυτού του διαλύματος.

Η μοριακή μάζα του NaCl είναι 23,0+35,5=58,5. Γι' αυτό ένα διάλυμα, στο οποίο 5,85 g είναι διαλυμένα σε 100 g νερού, θα είχε σημείο πήξεως –1,86°C, εάν η ουσία ήταν το χλωριούχο νάτριο και βρισκόταν με τη μορφή ακεραίων μονάδων NaCl. Στην πραγματικότητα, το σημείο πήξεως ενός τέτοιου διαλύματος είναι περίπου –3,70°C. Δηλαδή η μείωση του σημείου πήξεως, Δt, είναι περίπου διπλάσια. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει διπλάσιος αριθμός διαλυμένων σωματιδίων από τον αριθμό των moles της ατόφιας ενώσεως NaCl. Πράγματι, κάθε μόριο της ενώσεως NaCl παράγει δύο σωματίδια. Αυτό συμφωνεί και με τις γνώσεις μας σχετικά με το στερεό NaCl και τα διαλύματά του στο νερό. Έτσι, εξάγεται το συμπέρασμα ότι αυτά τα σωματίδια είναι ιόντα Na^+ και Cl^-.

Όπως θα υποθέσατε ίσως, υπάρχει, αντίστοιχα, μια μαθηματική σχέση για την ανύψωση του σημείου βρασμού. Η σχέση αυτή όμως δεν θα εξετασθεί σε αυτό το βιβλίο.

17.20 Μονάδες για την έκφραση της συγκεντρώσεως: Μοριακή συγκέντρωση κατ' όγκο (molarity).

Συγκέντρωση ονομάζομε την ποσότητα μιας ουσίας που βρίσκεται μέσα σε ορισμένη ποσότητα μιας άλλης ουσίας. Όσο περισσότερη ουσία διαλύεται μέσα σε σταθερή ποσότητα διαλύτη, τόσο πιο ***πυκνό*** γίνεται το διάλυμα. Αντίστοιχα, όσο περισσότερος διαλύτης προστίθεται σε σταθερή ποσότητα μιας ουσίας, τόσο πιο ***αραιό*** διάλυμα σχηματίζεται. Όταν ένα διάλυμα συμπυκνώνεται, τότε ο λόγος των διαλυμένων σωματιδίων προς τα σωματίδια του διαλύτη αυξάνεται. Όταν ένα διάλυμα αραιώνεται, ο λόγος αυτός ελαττώνεται.

Επειδή οι ιδιότητες ενός διαλύματος εξαρτώνται από τη συγκέντρωσή του, είναι σημαντικό να υπάρχουν σαφείς και εύχρηστες μονάδες εκφράσεως της συγκεντρώσεως. Πρακτικά, υπάρχουν αρκετοί χρήσιμοι τρόποι, για να γίνει αυτό. Ο καθένας πλεονεκτεί σε ορισμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, στην προηγούμενη παράγραφο χρησιμοποιήσαμε για τη μέτρηση της συγκεντρώσεως τον αριθμό των

moles μιας ουσίας που διαλύονται σε 1000 γραμμάρια ενός διαλύτη.

Ο πιο χρήσιμος γενικά τρόπος εκφράσεως των συγκεντρώσεων στα περισσότερα προβλήματα τα σχετικά με τη χημεία είναι με τη βοήθεια της ***μοριακής συγκεντρώσεως***. Ένα διάλυμα με μοριακή συγκέντρωση 1, περιέχει ένα mole ουσίας διαλυμένο σε ένα λίτρο διαλύματος. Για συντομία, η μοριακή συγκέντρωση κατ' όγκο παριστάνεται με *M*. Έτσι, αν ένα λίτρο διαλύματος περιέχει *x* moles ουσίας, λέγεται ότι είναι ένα διάλυμα *x M*.

Η μονάδα αυτή είναι πολύ χρήσιμη. Με τη βοήθειά της, μπορούμε να υπολογίσομε μια συγκεκριμένη μάζα ή ένα συγκεκριμένο αριθμό moles μιας ουσίας, μετρώντας ορισμένο όγκο διαλύματος. Είναι, κάτι που συχνά γίνεται ευκολότερα και σε λιγότερο χρόνο από ό,τι η πραγματική ζύγιση της καθαρής ουσίας.

Ας υποτεθεί, για παράδειγμα, ότι κάποιος χημικός χρειάζεται να χρησιμοποιεί συχνά 0,15 moles καυστικού νατρίου* σε 100 ml περίπου νερό**. Η μοριακή μάζα του καυστικού νατρίου, NAOH, είναι 40,0 και ένα mole αυτού έχει μάζα 40,0 g. Θα πρέπει συνέχεια να ζυγίζει 0,150 x 40,0 = 6,00 g στερεού καυστικού νατρίου, να τα διαλύει σε 100 ml νερό, και κατόπιν να το προσθέτει στην αντίδρασή του.

Θα ήταν απλούστερο όμως να ζυγίσει 1,50 x 40,0 = 60,0 g και να τα διαλύσει σε αρκετό νερό, ώστε να πάρει ακριβώς ένα λίτρο. Έχει έτσι ένα λίτρο διαλύματος 1,50 *M*. Κάθε φορά που χρειάζεται 0,15 moles φθάνει μόνο να μετρήσει ακριβώς 100 ml από αυτό το διάλυμα. Επειδή το ένα λίτρο περιέχει 1,50 moles NaOH, το ένα δέκατο του λίτρου (0,100 l = 100 ml) περιέχει ένα δέκατο αυτού του αριθμού των moles, δηλαδή, 0,100 x 1,500 = 0,15 moles.

Περίληψη.

Οι διαλυτικές ικανότητες των υγρών εξαρτώνται άμεσα από την πολικότητα των μορίων τους. Υγρά με πολικά μόρια είναι καλύτεροι διαλύτες για διάφορες πολικές ουσίες και χειρότεροι διαλύτες για μη πολικές ουσίες. Αντίθετα, μη πολικά υγρά διαλύουν μη πολικές ουσίες καλύτερα, ενώ δεν διαλύονται ευχερώς σε αυτά οι πολικές. Σε ακραίες περιπτώσεις μάλιστα, όπως αυτές του νερού και του λαδιού, η διαλυτότητα της πολικής ουσίας στην μη πολική και αντίστροφα είναι ασήμαντη. Για τη διάλυση ιοντικών ενώσεων χρειάζονται διαλύτες υψηλής πολικότητας, όπως το νερό.

Η συγκέντρωση είναι μια σημαντική ιδιότητα των διαλυμάτων. Για τις δικές μας τις μελέτες, οι συγκεντρώσεις εκφράζονται σε μονάδες μοριακών συγκεντρώσεων. Ένα διάλυμα με μοριακή συγκέντρωση κατ' όγκον 1, περιέχει ένα mole διαλυμένης ουσίας σε ένα λίτρο διαλύματος.

Οι διαλυμένες ουσίες ανυψώνουν το σημείο βρασμού και χαμηλώνουν το σημείο πήξεως ενός διαλύματος κατά τρόπο ευθέως ανάλογο προς την υπάρχουσα ποσότητά τους σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη. Η αναλογία αυτή είναι χρήσιμη για τη μέτρηση της μοριακής μάζας και τον προσδιορισμό του αριθμού των ιόντων προς τα οποία διασπάται μια ιοντική ουσία, όταν βρίσκεται σε διάλυμα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Αναφέρατε τις διαφορές πολικών και μη πολικών ουσιών.
2. Να προβλέψετε τη σειρά αυξήσεως της διαλυτότητας των ακολούθων μορίων στο νερό: ακετόνη, CH_3COCH_3, χλωρομεθάνιο, CH_3Cl, τετραχλωράνθρακας, CCl_4.
3. Ποια πορεία θα ακολουθούσατε, για να παρασκευάσετε ένα λίτρο διαλύματος 0,50 *M* NaCl;

---

* *Σ.τ.Μ. Λέγεται και υδροξείδιο του νατρίου.*

** *Σ.τ.Μ. Ακριβέστερα, σε τόσο νερό ώστε να σχηματισθούν 100 ml διαλύματος.*

Το υδρογόνο έχει μοναδικές ιδιότητες για να σχηματίζει δεσμούς

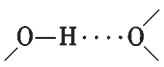
17.21 Δεσμοί υδρογόνου.

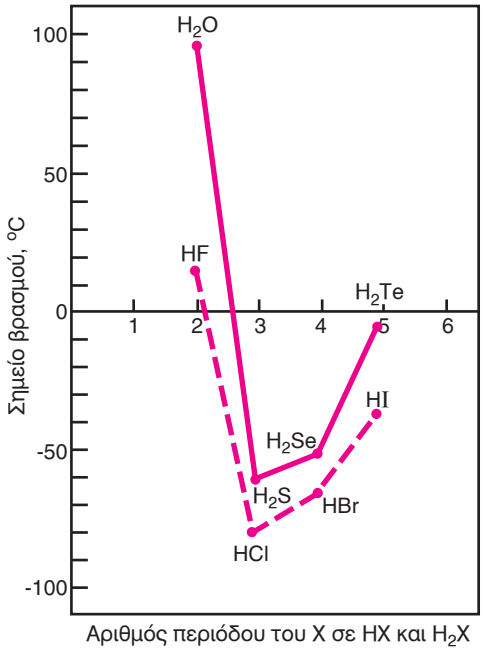
Στο σχήμα 17-15 είδαμε ότι τα σημεία βρασμού των συμμετρικών μορίων αυξάνονται κανονικά, όπως προχωρούμε προς το κάτω μέρος του περιοδικού πίνακα. Το σχήμα 17-31 δείχνει τις αντίστοιχες καμπύλες για μερικά μόρια που έχουν χαρακτήρα ηλεκτρικών διπόλων.

Ας εξετάσομε πρώτα τα σημεία βρασμού των HI, HBr, HCl, και HF. Το τελευταίο, το υδροφθόριο, βρίσκεται πολύ έξω από τη γραμμή, με σημείο βρασμού τους 19,9°C αντί για την τιμή κάτω των –95°C, που θα προέβλεπε η επέκταση της καμπύλης, σύμφωνα με τη συμπεριφορά των υπολοίπων τριών αλογόνων. Μια ακόμη μεγαλύτερη αντίφαση υπάρχει ανάμεσα στο σημείο βρασμού του H_2O και στην τιμή που θα προβλεπόταν με βάση τη συμπεριφορά των H_2Te, H_2Se, και H_2S.

Είναι δυνατόν αυτά τα υψηλά σημεία βρασμού του HF και του H_2O να οφείλονται στο γεγονός ότι αυτά είναι τα μόρια που σχηματίζονται με τα στοιχεία που έχουν τα μικρότερα άτομα, τα οποία υπάρχουν στις αντίστοιχες σειρές του περιοδικού πίνακα; Δεν φαίνεται όμως να είναι αυτή η εξήγηση, γιατί δεν υπάρχουν ανάλογες ανωμαλίες στο σχήμα 17-15. Κάπου αλλού θα πρέπει να αναζητηθεί η αιτία αυτών των εξαιρέσεων των σημείων βρασμού. Θα πρέπει να υπάρχει ένα νέο είδος δυνάμεως ανάμεσα στα μόρια του H_2O και του HF.

Η ίδια αυτή δύναμη ανιχνεύεται και σε στερεές ενώσεις. Το πιο γνωστό παράδειγμα είναι το H_2O στη στερεά μορφή του, δηλαδή ο πάγος. Ο πάγος έχει μια κρυσταλλική δομή, στην οποία τα άτομα του οξυγόνου και του υδρογόνου κατανέμονται σε ένα κανονικό εξαγωνικό κρυσταλλικό πλέγμα. Η δομή αυτή μοιάζει λίγο με τη δομή του κρυσταλλικού πλέγματος του διαμαντιού. Ένα πρότυπο της δομής του πάγου φαίνεται στο σχήμα 17-32. Το κάθε άτομο οξυγόνου περιβάλλεται από τέσσερα άλλα άτομα σε μια τετραεδρική διάταξη. Τα άτομα υδρογόνου βρίσκονται στις γραμμές που συνδέουν δύο άτομα οξυγόνου, κατά το ακόλουθο σχήμα:





ΣΧΗΜΑ 17-31. *Το σχεδιάγραμμα αυτό δείχνει την τάση των σημείων βρασμού των υδραλογόνων (HX) και των υδριδίων των στοιχείων της έκτης ομάδας (H_2X).*

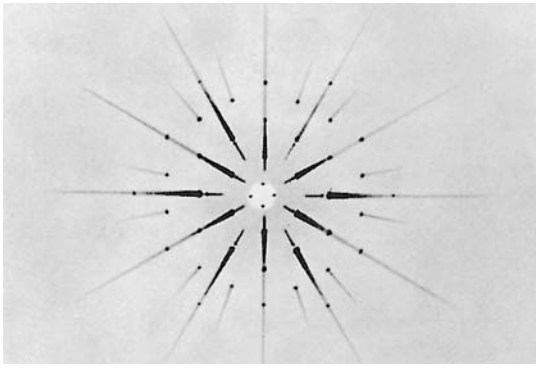
Οι ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα σε –OH και O θα πρέπει να είναι ένα δείγμα του νέου είδους δυνάμεων ή δεσμού, που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Ο δεσμός αυτός ενώνει τα μόρια του νερού μεταξύ τους στο κρυσταλλικό πλέγμα του πάγου. Το είδος αυτό του δεσμού ονομάζεται ***δεσμός υδρογόνου***. Συνήθως, στους τύπους παριστάνεται από μια διακεκομμένη γραμμή, όπως και προηγουμένως.

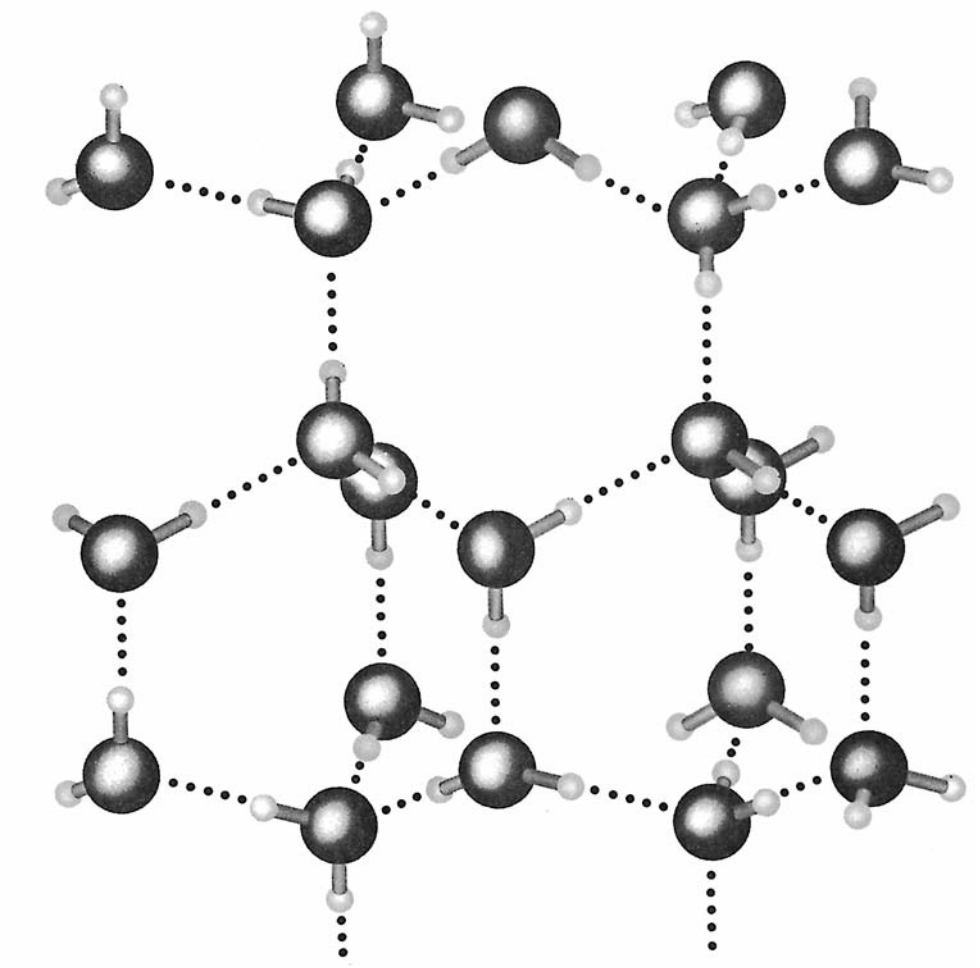
17.22 Ενέργεια των δεσμών υδρογόνου.

Ο δεσμός υδρογόνου, όπως αναφέρθηκε, παριστάνεται συνήθως από μια διακεκομμένη γραμμή, για να φαίνεται ότι πρόκειται για έναν πολύ ασθενέστερο δεσμό από το συνήθη ομοιοπολικό. Η μελέτη των σημείων βρασμού των ουσιών του σχήματος 17-31 μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι αλληλεπιδράσεις είναι ισχυρότερες από τις δυνάμεις van der Waals. Τα πειράματα δείχνουν ότι οι περισσότεροι δεσμοί υδρογόνου ελευθερώνουν, κατά το σχηματισμό τους, περίπου 3 kcal/mole μέχρι και 10 kcal/mole. Η ενέργεια των δεσμών αυτών βρίσκεται ανάμεσα σ' εκείνες των δυνάμεων van der Waals

και των ομοιοπολικών δεσμών. Οι ενέργειες των δεσμών έχουν, κατά προσέγγιση, την παρακάτω αναλογία:

έλξεις van der Waals	δεσμοί υδρογόνου	ομοιοπολικοί δεσμοί
1	10	100





ΣΧΗΜΑ 17-32. *Επάνω εικονίζεται η περίθλαση των ακτίνων–Χ από ένα μόνο κρύσταλλο πάγου. Κάτω φαίνεται το πρότυπο της δομής του πάγου, όπου οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν τους δεσμούς υδρογόνου. Αυτή συμφωνεί με τα πειραματικά αποτελέσματα.*

17.23 Πού απαντούν οι δεσμοί υδρογόνου;

Οι δεσμοί υδρογόνου απαντούν ανάμεσα σε λίγα μόνο άτομα του περιοδικού πίνακα. Οι συνηθέστεροι είναι εκείνοι, στους οποίους το υδρογόνο ενώνει δύο άτομα από την ομάδα F, O και N.

Ο δεσμός υδρογόνου με το φθόριο είναι προφανής στις περισσότερες από τις ιδιότητες του υδροφθορίου. Το υψηλό σημείο βρασμού του HF, σε σύγκριση με εκείνα των άλλων αλογόνων, οφείλεται σε δεσμούς υδρογόνου. Είναι μία από τις ενδείξεις ότι το HF δεν υφίσταται στην υγρή φάση με τη μορφή απλών και ξεχωριστών μορίων

HF. Αντίθετα, υπάρχουν συσσωματώματα μορίων, τα οποία περιγράφονται με το γενικό τύπο $(HF)_2$. Το αέριο υδροφθόριο περιέχει τα μοριακά είδη H_2F_2, H_3F_3, κ.ο.κ μέχρι το H_6F_6. Υπάρχουν επίσης μερικά μεμονωμένα μόρια HF.

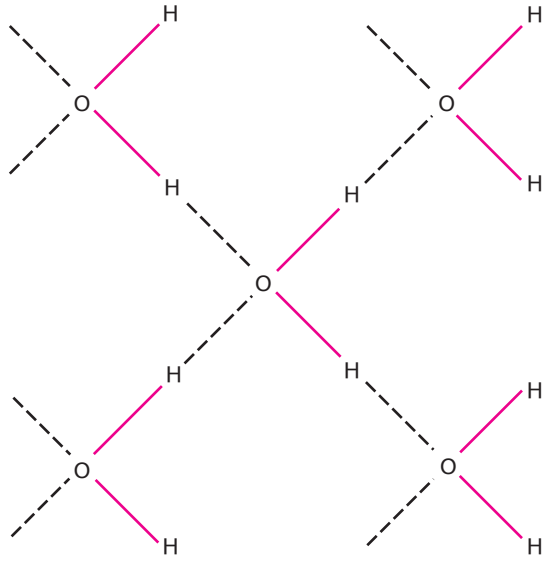
Τα είδη αυτά παριστάνονται με ένα συνοπτικό τύπο όπως αυτός που ακολουθεί:

$$H-F\cdots H-F\cdots H-F\cdots H-F$$

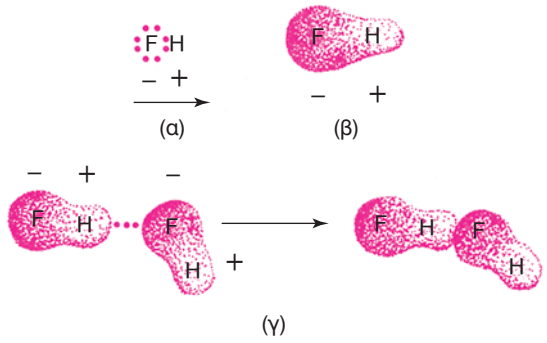
Μια από τις σημαντικότερες περιπτώσεις δεσμού υδρογόνου απαντά στο νερό. Στο υγρό, όπως και στο στερεό νερό, το κάθε μόριο συνδέεται μέσω δεσμού υδρογόνου με τα γειτονικά του μόρια, σχηματίζοντας έτσι μέχρι και τέσσερις δεσμούς υδρογόνου. Η περίπτωση αυτή φαίνεται στο σχήμα 17-33. Το κάθε μόριο του νερού παρέχει τα άτομα υδρογόνου για το σχηματισμό δύο δεσμών υδρογόνου. Αλληλεπιδρά επίσης με άτομα υδρογόνου άλλων μορίων, για να συμπληρώσει δύο ακόμη δεσμούς υδρογόνου. Σε αυτόν τον εκτεταμένο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου οφείλει το νερό πολλές από τις μοναδικές του ιδιότητες.

17.24 Η φύση του δεσμού υδρογόνου.

Στο δεσμό υδρογόνου το άτομο υδρογόνου συνδέεται με άλλα δύο άτομα. Επί πλέον, σύμφωνα με τους κανόνες των δεσμών, φαίνεται



ΣΧΗΜΑ 17-33. *Δεσμοί υδρογόνου ανάμεσα σε μόρια νερού.*



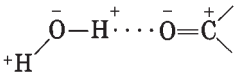
ΣΧΗΜΑ 17-34. *Δεσμοί υδρογόνου ανάμεσα σε μόρια HF.*

ότι το άτομο υδρογόνου, διαθέτοντας μόνο το *1s* τροχιακό του για σχηματισμό δεσμού, δεν μπορεί να σχηματίσει δύο ομοιοπολικούς δεσμούς. Πώς εξηγείται ο δεύτερος αυτός δεσμός;

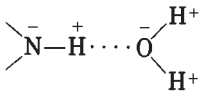
Η καλύτερη ερμηνεία των δεσμών υδρογόνου βασίζεται στην πολική φύση των δεσμών F–H, O–H και N–H. Στον καθένα από αυτούς τους τρεις δεσμούς, το ζεύγος ηλεκτρονίων συγκρατείται πλησιέστερα προς το άτομο F, O, ή N από ό,τι προς το άτομο H. Γι' αυτό ο δεσμός έχει διπολικό χαρακτήρα με το άτομο F, O, ή N αρνητικό και το άτομο H θετικό. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολο για το θετικό άτομο H ενός μορίου να πλησιάσει το ελεύθερο ζεύγος ηλεκτρονίων ενός αρνητικά φορτισμένου ατόμου σε ένα άλλο μόριο. Η έλξη ανάμεσα στα αντίθετα φορτία οδηγεί στο σχηματισμό δεσμού υδρογόνου, όπως δείχνει και το σχήμα 17-34 για την περίπτωση του HF.

17.25 Η σημασία του δεσμού υδρογόνου.

Οι δεσμοί υδρογόνου παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό ιδιοτήτων, όπως η διαλυτότητα, τα σημεία τήξεως και τα σημεία βρασμού. Επίσης, επηρεάζουν το σχήμα και τη σταθερότητα των κρυσταλλικών δομών και επηρεάζουν αποφασιστικά τα βιολογικά συστήματα. Παράδειγμα αυτού του ρόλου αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο το νερό επηρεάζει τη χημική συμπεριφορά πολλών βιολογικών μορίων. Τα μόρια του νερού μπορούν να συνδεθούν με άλλα μόρια και να σχηματίσουν δεσμούς υδρογόνου, σύμφωνα με έναν από τους ακόλουθους τρόπους. Το μόριο του νερού προσφέρει το θετικά φορτισμένο άτομο υδρογόνου, όπως στο επόμενο παράδειγμα:



Μπορεί επίσης να προσφέρει το αρνητικά φορτισμένο άτομο οξυγόνου και αυτό στη συνέχεια να αλληλεπιδράσει με ένα θετικά φορτισμένο άτομο υδρογόνου από άλλο μόριο, όπως πιο κάτω:



Περίληψη.

Ουσίες που περιέχουν δεσμούς O – H, N – H και F – H σχηματίζουν συχνά δεσμούς υδρογόνου. Πρόκειται για ασθενείς συνδέσεις (περίπου 5 kcal/mole). Οι δεσμοί υδρογόνου σχηματίζονται, επειδή οι δεσμοί O – H, N – H και F – H είναι εξαιρετικά πολικοί. Το άτομο H έχει σημαντικό θετικό φορτίο, ενώ το άλλο άτομο έχει επίσης σημαντικό αρνητικό φορτίο. Υπάρχει έτσι μια επί πλέον έλξη ανάμεσα στο H του ενός μορίου και στο O,N, και F του άλλου.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Συγκρίνατε τα σημεία βρασμού των HI, HBr, HCl και HF και δώστε εξηγήσεις για τυχόν ανωμαλίες.
2. Να περιγράψετε τις σχετικές ενέργειες των έλξεων van der Waals, των δεσμών υδρογόνου και των ομοιοπολικών δεσμών.
3. Πώς παριστάνετε τους δεσμούς σε έναν κρύσταλλο πάγου;

Περίληψη κεφαλαίου

Οι δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα και τα μόρια ενωμένα μέσα στα υγρά, στα στερεά και στα διαλύματα είναι διαφόρων τύπων. Στην κάθε περίπτωση, το είδος του δεσμού εξαρτάται από τις ιδιότητες των ατόμων ή των μορίων που συνιστούν την ουσία. Τα κρυσταλλικά στερεά σχηματίζονται από την κανονική και συστηματική επανάληψη βασικών διατάξεων λίγων ατόμων, μορίων ή ιόντων.

Μερικά στερεά περιέχουν εκτεταμένα πλέγματα ή άτομα επί επιπέδων, που συγκρατούνται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Παραδείγματα αυτών των στερεών αποτελούν το στοιχείο άνθρακας και η ένωση διοξείδιο του πυριτίου. Άλλα στερεά και υγρά σχηματίζονται από διακεκριμένα μόρια (όπως F_2, P_4, CH_4, SO_2), μέσα στα οποία το κάθε άτομο αξιοποιεί όλες τις δυνατότητές του για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών. Τα μόρια έλκονται μεταξύ τους με ασθενείς δυνάμεις van der Waals, εντάσεως περίπου 1 kcal ανά mole. Μοριακές ουσίες αυτού του είδους έχουν χαμηλότερα σημεία τήξεως και βρασμού. Στην περίπτωση των πολικών μορίων, τόσο οι δυνάμεις van der Waals όσο και οι δυνάμεις ανάμεσα στα μοριακά δίπολα προκαλούν την έλξη των μορίων.

Μεγάλος αριθμός στοιχείων με χαμηλές ενέργειες ιοντισμού σχηματίζουν την ομάδα των μετάλλων. Τα μέταλλα αποτελούνται από κανονικές διατάξεις ατόμων, τα οποία συγκρατούνται ενωμένα από μια θάλασσα κινουμένων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια αυτά προέρχονται από τα εξωτερικά τροχιακά των ατόμων. Τα μέταλλα διαθέτουν χαρακτηριστική λάμψη και μπορούν να κατεργασθούν (ελατά και όλκιμα), ενώ ταυτόχρονα είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού.

Τα ιοντικά στερεά αποτελούνται από διατάξεις ιόντων που στοιβάζονται μαζί, κατά έναν εναλλασσόμενο τρόπο. Τα ιόντα μπορεί να είναι μονοατομικά (όπως το Ca^{2+}, Cl^-) ή πολυατομικά (όπως η NH_4^+, το SO_4^{2-}). Τα ιοντικά στερεά είναι σκληρά, με υψηλό σημείο τήξεως και εύθραυστα. Όταν τήκονται ή διαλύονται, άγουν τον ηλεκτρισμό μέσω της κινήσεως των ιόντων τους.

Ένα διάλυμα αποτελείται από δύο ή περισσότερες καθαρές ουσίες που έχουν αναμιχθεί σε μοριακό επίπεδο. Ο συνηθέστερος τύπος διαλύματος αποτελείται από μια μικρότερη ποσότητα υγρού ή στερεού διαλυμένη σε μια μεγαλύτερη ποσότητα ενός υγρού (διαλύτη). Η ικανότητα ενός υγρού να διαλύσει οποιαδήποτε άλλη ουσία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό αν και όχι απόλυτα, από τον πολικό χαρακτήρα των δύο ουσιών.

Ο βαθμός μειώσεως του σημείου πήξεως ενός διαλύτη από την παρουσία μιας διαλυμένης ουσίας, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό (της μοριακής μάζας) και του βαθμού του ιοντισμού της διαλυμένης ουσίας.

Ο δεσμός υδρογόνου είναι σημαντικός σε μερικά στερεά και διαλύματα που περιέχουν ομάδες

– O – H, – N – H, και – F – H.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Να εξηγήσετε γιατί ένα υγρό εξακολουθεί να έχει τις ιδιότητές του ως ρευστού σε θερμοκρασίες ανάμεσα στο σημείο τήξεως και βρασμού του, αλλά μετατρέπεται σε αέριο σε υψηλότερες θερμοκρασίες και σε στερεό σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.
2. Ποια είναι η μέγιστη διαφορά ανάμεσα στην τοποθέτηση των σωματιδίων στα υγρά και τα κρυσταλλικά στερεά; Σε τι διαφέρουν οι υαλώδεις ουσίες από αυτές τις δύο μορφές;
3. Αν αναμιχθεί προσεκτικά πολύ λεπτή σκόνη τάλκ με έναν καθαρό υδρογονάνθρακα, όπως π.χ. το *n*–πεντάνιο, πώς είναι δυνατόν να προσδιορισθεί αν σχηματίζεται ένα πραγματικό διάλυμα ή ένα μίγμα;
4. Τι είναι κρυσταλλικό πλέγμα; Τι σημαίνει ο αριθμός συντάξεως ενός σωματιδίου μέσα σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα;
5. Με τη βοήθεια απλών σχεδιαγραμμάτων να δείξετε τη διαφορά ανάμεσα σε χωροκεντρωμένη και εδροκεντρωμένη κυβική τοποθέτηση μέσα σε ένα κρυσταλλικό στερεό.
6. Τι οδηγεί στη δημιουργία των δυνάμεων van der Waals ανάμεσα στα μόρια; Ποια είναι η απαραίτητη προϋπόθεση που πρέπει να ικανοποιείται, προκειμένου τα μόρια να συγκρατούνται μεταξύ τους μόνο με δυνάμεις van der Waals;
7. Να συγκρίνετε τους δεσμούς ανάμεσα σε άτομα μετάλλων, μοριακών στερεών και στερεών πλεγμάτων ως προς (α) την ένταση του δεσμού, (β) τον προσανατολισμό τους στο χώρο και (γ) τον αριθμό των τροχιακών που προσφέρονται για το σχηματισμό δεσμών.
8. Το αλουμίνιο, το πυρίτιο και το θείο βρίσκονται κοντά στην ίδια περίοδο του περιοδικού πίνακα, ενώ οι ηλεκτρικές αγωγιμότητές τους είναι πολύ διαφορετικές. Το αλουμίνιο είναι μέταλλο. Το πυρίτιο έχει πολύ μικρότερη αγωγιμότητα και ονομάζεται ημιαγωγός. Το θείο έχει τόσο μικρή αγωγιμότητα, ώστε ονομάζεται μονωτής. Να εξηγήσετε αυτές τις διαφορές, με τη βοήθεια του τρόπου πληρώσεως των τροχιακών σθένους.
9. Το θείο απαντά σε αρκετές μορφές, (αλλοτροπικές μορφές), ανάλογα με τη θερμοκρασία, και μερικές φορές, με την προϊστορία του δείγματος. Ακολουθούν περιγραφές αυτών των τριών μορφών, οι οποίες συμβολίζονται με Α, Β και Γ. Α είναι η μορφή της θερμοκρασίας δωματίου. Η Α μετατρέπεται στη Β πάνω από το σημείο τήξεως, τους 113˚C. Η Β μετατρέπεται στη Γ κατά τη θέρμανση πάνω από 160˚C.

(Α)
(θερμοκρασία δωματίου)
Κρυσταλλικό στερεό
Χρώμα κίτρινο, χωρίς μεταλλική λάμψη
σ.τ.= 113˚C
Διαλύεται σε CS_2, αδιάλυτο σε νερό
Ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες

(Β)
(113˚C με 160˚C)
Υγρό
Διάφανο, κιτρινωπό
Ιξώδες περίπου ίδιο με του νερού
Ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες

(Γ)
(γύρω στους 200˚C)
Υγρό
Σκούρο χρώμα
Πολύ ιξώδες (σαν σιρόπι)
Ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες

Ποια από τις ακόλουθες δομές θα δικαιολογούσε καλύτερα τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν για την κάθε μία από τις προηγούμενες τρεις μορφές;

(α) Ένας μεταλλικός κρύσταλλος ατόμων θείου.
(β) Ένα στερεό πλέγμα ατόμων θείου.

(γ) Ένα ιοντικό στερεό ιόντων S^+ και S^-.
(δ) Ένας μοριακός κρύσταλλος μορίων S_8.
(ε) Ένα μεταλλικό υγρό, όπως ο υδράργυρος.
(στ) Ένα μοριακό υγρό μορίων S_8.
(ζ) Ένα μοριακό υγρό αλυσίδων S_n, όπου ο ***n*** είναι ένας πολύ μεγάλος αριθμός ατόμων θείου.
(η) Ένα ιοντικό υγρό αποτελούμενο από ιόντα S^+ και S^-.

10. Το στερεό θείο αποτελείται από μόρια S_8. Το κάθε μόριο έχει μια κυκλική δομή. Ο φώσφορος περιέχει μόρια P_4 και το κάθε μόριο έχει τετραεδρική δομή. Με βάση τη συμπλήρωση των τροχιακών σθένους, να δικαιολογήσετε την ύπαρξη αυτών των μοριακών δομών λαμβάνοντας υπόψη ότι στην περίπτωση του φθορίου υπάρχει μόνο η μορφή F_2. Συγκρίνοντας το μοριακό μέγεθος και το σχήμα των μορίων του θείου και του φωσφόρου, ποιο νομίζετε ότι θα έχει υψηλότερο σημείο τήξεως; Τι είδους έλξη υπάρχει ανάμεσα σε αυτά τα μόρια;
11. Να αναφέρετε τους τρόπους με τους οποίους διαδίδεται η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός από το χαλκό (ένα μέταλλο) και το γυαλί (ένα στερεό πλέγμα), με τη βοήθεια της συμπληρώσεως των τροχιακών σθένους και της ευκινησίας των ηλεκτρονίων.
12. Τα στοιχεία άνθρακας και πυρίτιο σχηματίζουν οξείδια με ανάλογους εμπειρικούς τύπους: CO_2 και SiO_2. Το πρώτο εξαχνούται (αλλάζει από στερεό σε αέριο) στους –78,5°C. Το δεύτερο τήκεται στους 1700°C περίπου και βράζει στους 2200°C περίπου. Με βάση αυτές τις μεγάλες διαφορές, να προτείνετε τους τύπους των σχηματιζομένων στερεών. Να σχεδιάσετε έναν ηλεκτρονικό τύπο ή μιαν απεικόνιση τροχιακών για τους δεσμούς στο CO_2 και στο SiO_2, τα οποία να συμφωνούν με τις απαντήσεις σας.
13. Ας υποτεθεί ότι σας δίνεται ένα δείγμα ενός λευκού στερεού. Να περιγράψετε μερικά απλά πειράματα που θα μπορούσατε να εκτελέσετε, για να προσδιορίσετε αν πρόκειται για ουσία κυρίως με ομοιοπολικούς δεσμούς, ιοντικούς δεσμούς ή δυνάμεις van der Waals.
14. Ας υποτεθεί ότι τα στοιχεία Α, Δ, Ε και Κ έχουν αντίστοιχους ατομικούς αριθμούς 6, 9, 10 και 11. Να γράψετε τον τύπο μιας ουσίας που θα ήταν δυνατόν να σχηματισθεί ανάμεσα στο καθένα από τα ακόλουθα:
(α) Δ και Κ, (β) Α και Δ, (γ) Δ και Δ, (δ) Ε και Ε, (ε) Κ και Κ. Στην κάθε περίπτωση να περιγράψετε και τις δυνάμεις που δημιουργούνται ανάμεσα στους δομικούς λίθους της στερεάς μορφής.
15. Πώς θα δικαιολογούσατε τις ακόλουθες ιδιότητες με βάση τη δομή των στερεών;
(α) Ο γραφίτης και το διαμάντι περιέχουν και τα δύο άνθρακα. Και τα δύο έχουν υψηλό σημείο τήξεως, ενώ το διαμάντι είναι πολύ σκληρό και ο γραφίτης είναι μαλακό, και ολισθηρό στην αφή στερεό.
(β) Όταν κρύσταλλοι χλωριούχου νατρίου θραύονται, δημιουργούνται επίπεδες επιφάνειες πάνω στα θραύσματα.
(γ) Το καρβίδιο του πυριτίου (carborundum) είναι μια σκληρή ουσία με πολύ υψηλό σημείο τήξεως, που χρησιμοποιείται ως λειαντικό.
16. Έστω ότι σας δίνονται οι ακόλουθες στερεές ουσίες: νάτριο, γερμάνιο, μεθάνιο, νέο, χλωριούχο κάλιο, νερό. Ποια από τις ακόλουθες διατυπώσεις περιγράφει την κάθε μία από αυτές τις ουσίες;
(α) Ένα στερεό συγκρατούμενο από δυνάμεις van der Waals, το οποίο τήκεται σε θερμοκρασία κατώτερη της θερμοκρασίας δωματίου.
(β) Ένα στερεό με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, το οποίο τήκεται κοντά στους 200°C.
(γ) Ένα υψηλού σημείου τήξεως στερεό πλέγμα, που περιέχει άτομα ομοιοπολικώς συνδεδεμένα.
(δ) Ένα μη αγώγιμο στερεό, το οποίο γίνεται καλός αγωγός, όταν τήκεται.
(ε) Μία ουσία, μέσα στην οποία είναι έντονη η παρουσία δεσμών υδρογόνου.
17. Να προβλέψετε τη σειρά αυξήσεως των σημείων τήξεως των παρακάτω ουσιών, η κάθε μία από τις οποίες περιέχει χλώριο: HCl, Cl_2, NaCl, CCl_4. Να εξηγήσετε τη βάση των προβλέψεών σας.
18. Να προσδιορίσετε ***όλους*** τους τύπους δεσμών που θα περιμένατε να συναντήσετε σε κρυστάλλους της καθεμιάς από τις ακόλουθες ουσίες: (α) Ar, (β) H_2O, (γ) CH_4, (δ) CO_2, (ε) Si, (στ) Al, (ζ) $CaCl_2$, (η) $KClO_3$, (θ) NaCl, (ι) HCN.

19. Ένα διάλυμα που περιέχει 2,40 g NaH_2PO_4 σε 100 g νερό, έχει σημείο πήξεως τους –0,74°C. Τι μοιάζουν να είναι τα σωματίδια της διαλυμένης ουσίας;
20. Ένα σάκχαρο με το όνομα γλυκόζη έχει τον εμπειρικό τύπο CH_2O. Ένα διάλυμα 6,00 g γλυκόζης διαλυμένης σε 100 g νερού χαμηλώνει το σημείο πήξεως στους 0,59 ± 0,05°C σύμφωνα με μία πραγματική μέτρηση. Αν είναι γνωστό ότι η γλυκόζη δεν διασπάται προς οποιοδήποτε ιόν όταν διαλύεται στο νερό, να υπολογίσετε το μοριακό τύπο της γλυκόζης, ο οποίος θα συμφωνούσε καλύτερα με τα πειραματικά δεδομένα.
21. Να εκφράσετε τη συγκέντρωση καθενός από τα διαλύματα που αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί με τη βοήθεια των μοριακών συγκεντρώσεών τους.

Διαλυμένη ουσία	Μάζα διαλυμένης ουσίας (g)	Όγκος διαλύματος (ml)
$AgNO_3$	17,0	1000
$AgNO_3$	34,0	500
$AgNO_3$	340,0	3000
NaOH	50,0	600
NaOH	0,200	10

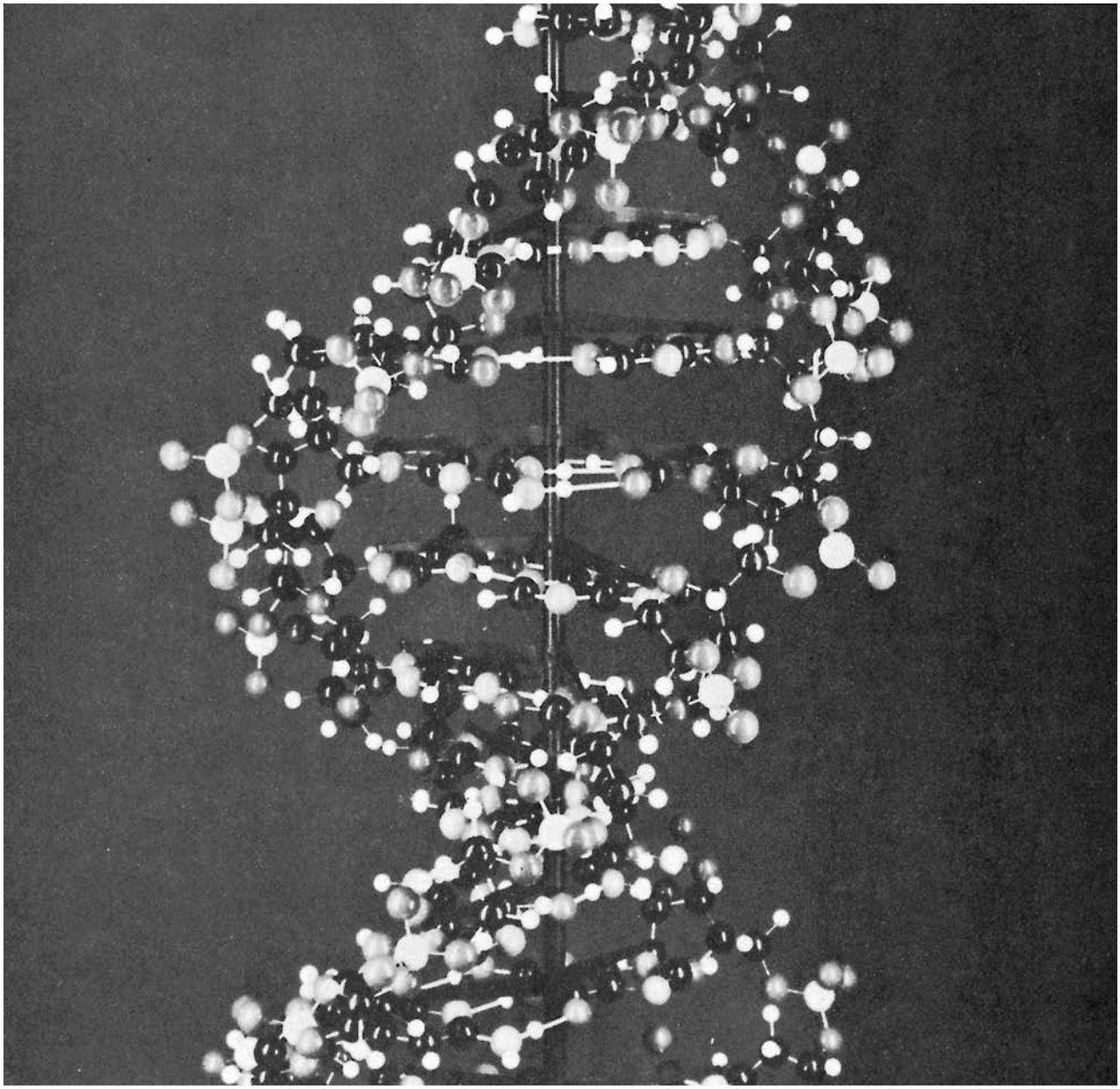
22. Αν προστεθεί αρκετό νερό σε 300 ml διαλύματος 0,200 M NaCl, ώστε να αυξηθεί ο όγκος στο ένα λίτρο, ποια θα είναι η μοριακή κατ' όγκο συγκέντρωση του νέου διαλύματος; Πόσα γραμμάρια NaCl περιέχονται στα αρχικά 300 ml; Πόσα γραμμάρια NaCl περιέχονται στα 300 ml του τελικού διαλύματος;
23. Αν αναμιχθούν 500 ml διαλύματος 1,00 M KOH με 1500 ml διαλύματος 2,00 M KOH και συμπληρωθεί ο όγκος με ακρίβεια στα 2500 ml με την προσθήκη νερού, ποια θα είναι η μοριακή κατ' όγκο συγκέντρωση του τελικού διαλύματος; Πόσα γραμμάρια KOH περιέχουν 250 ml αυτού του τελικού διαλύματος;
24. Τρεις φιάλες εργαστηρίου είναι σημειωμένες με τα γράμματα Α, Β και Γ. Η καθεμία περιέχει ένα άχρωμο υγρό. Οι ετικέτες, οι οποίες έχουν ξεκολλήσει από τις φιάλες, έγραφαν τα εξής:
Ετικέττα No 1
n–βουτανόλη
$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
Ετικέττα No 2
n–πεντάνιο
$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$
Ετικέττα No 3
Διαιθυλαιθέρας
$CH_3CH_2OCH_2CH_3$

Μια σειρά μετρήσεων που έγιναν στα τρία αυτά υγρά έδωσε τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα. Σε ποιο υγρό αντιστοιχεί η ετικέτα No 1, η ετικέτα No 2 και η ετικέτα No 3; Να εξηγήσετε με ποιο τρόπο επηρεασθήκατε από το κάθε είδος μετρήσεως.

	Υγρό		
Μετρήσεις	Α	Β	Γ
σ.τ. (°C)	131,5	–116	–89,2
σ.β. (°C)	36,2	34,6	117,7
Πυκνότητα (g/ml)	0,63	0,71	0,81
Θερμότητα εξατμίσεως (cal/g)	85	89,3	141
Διαλυτότητα στο νερό (g/100 ml)	0,036	7,5	7,9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

Γιγαντιαία μόρια



΄Ενα από τα γιγαντιαία μόρια που εξετάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι το μόριο του DNA (Deoxyribo nucleic Acid = Δεσοξυριβονουκλεϊνικό οξύ), ένα τμήμα του οποίου εικονίζεται εδώ.

Τα μόρια που εξετάσθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια ήταν όλα μικρά. Τα περισσότερα μόρια είναι σχετικά μικρά, με μοριακές μάζες μικρότερες του 1000. Υπάρχουν όμως μερικές εξαιρετικά σημαντικές ουσίες, οι οποίες περιέχουν μόρια με μοριακές μάζες 1.000.000 ή και περισσότερο. Ανάμεσα σε αυτές είναι οι πρωτεΐνες και τα άμυλα, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας συστατικά των ζωντανών οργανισμών, τα πλαστικά και οι ίνες, τόσο σημαντικά για την καθημερινή ζωή, και μερικά ορυκτά, όπως ο αμίαντος. Για την κατανόηση της χημείας είναι απαραίτητη η κατανόηση τόσο των μεγάλων όσο και των μικρών μορίων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετασθούν οι τρόποι με τους οποίους δημιουργούνται μερικοί από τους σημαντικούς τύπους γιγαντιαίων μορίων· επίσης, θα μάθετε για ποιο λόγο έχουν χρήσιμες ιδιότητες.

Τα γιγαντιαία μόρια αποτελούνται από μικρότερες μονάδες

18.1 Τα γιγαντιαία μόρια είναι συνήθως πολυμερή.

Τα γιγαντιαία μόρια βρίσκονται παντού γύρω μας. Άλλα απαντούν στη φύση και άλλα παρασκευάζονται από τον άνθρωπο. Αυτά τα πολύ μεγάλα μόρια δομούνται κατά ένα συστηματικό και οργανωμένο τρόπο. Ένας τύπος μικρών μονάδων ή πολύ λίγοι τύποι μικρών μονάδων συνδυάζονται σχηματίζοντας ένα μεγάλο σύνολο του απαιτούμενου μεγέθους. Οι οικοδομές κατασκευάζονται κατ' ανάλογο τρόπο. Προκειμένου να φτιάξομε τοίχους, πατώματα και στέγες, τοποθετούνται μαζί σύμφωνα με έναν καθορισμένο τρόπο πολλά τούβλα, πολλές πέτρες και πολλές σανίδες. Διαλέγοντας ένα ορισμένο είδος τούβλου ή ξύλου ή πέτρας μπορούμε να κατασκευάσομε έναν τοίχο ή ένα πάτωμα με μια ιδιαίτερη σύνθεση, χρώμα ή άλλες ιδιότητες. Κατά βάση, το ίδιο συμβαίνει και με τα γιγαντιαία μόρια. Αποτελούνται από πολλές όμοιες μικρές μονάδες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους όχι με καρφιά ή λάσπη, αλλά με χημικούς δεσμούς. Η φύση των μικρών μονάδων που χρησιμοποιούνται και ο τρόπος συνδέσεώς τους είναι αυτή που καθορίζει τις ιδιότητες των γιγαντιαίων μορίων.

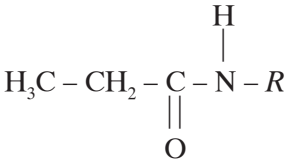
Ένα μεγάλο μόριο που αποτελείται από επαναλαμβανόμενες διατάξεις μικρών μορίων ονομάζεται ***πολυμερές***. Το κάθε μικρό μόριο ονομάζεται ***μονομερές***. Τα πολυμερή περιέχουν μερικές εκατοντάδες μέχρι και μερικές χιλιάδες μονομερών. Γενικά τα μονομερή μοιάζουν με τους κρίκους μιας αλυσίδας. Υπάρχουν μερικές εξαιρέσεις στον κανόνα αυτό αλλά για την πλειοψηφία των πολυμερών η παραπάνω περιγραφή θεωρείται σωστή.

Μια ερώτηση που λογικό είναι να προκύψει έχει ως εξής: Πώς συνδέονται τα μικρά μόρια κατά κανονικό τρόπο και σχηματίζουν τα γιγαντιαία μόρια; Στις επόμενες δύο παραγράφους θα εξετασθεί η απάντηση σε αυτήν την ερώτηση.

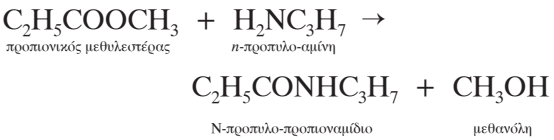
18.2 Πολυμερισμός συμπυκνώσεως.

Το νάυλον είναι μια συνθετική ίνα, την οποία πιθανόν να γνωρίζετε. Οι χημικοί την ανακάλυψαν βασιζόμενοι στη γνώση του τρόπου με τον οποίο αντιδρούν μεταξύ τους διάφορα είδη οργανικών δραστικών ομάδων.

Για να κατανοήσομε τον τρόπο σχηματισμού του νάυλον θα πρέπει να θυμηθούμε το είδος της ενώσεως που ονομάζεται αμίδιο και που πρωτοαναφέρθηκε στην παράγραφο 16.18. Περιέχει τη σύνδεση του αμιδικού δεσμού, όπου το R παριστάνει ένα H ή μια ομάδα υδρογονάνθρακα:



Αναφέρθηκε επίσης προηγουμένως ότι ένας τρόπος παρασκευής αμιδίων είναι η αντίδραση ενός εστέρα με μία αμίνη, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί:



Κατά την αντίδραση αυτή σχηματίζεται μεθανόλη. Μια άλλη ανάλογη αντίδραση που

δίνει αμίδια είναι αυτή των καρβοξυλικών οξέων με μιαν αμίνη. Στην αντίδραση που ακολουθεί δίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα:

$$\underset{\text{προπιονικό οξύ}}{C_2H_5COOH} + \underset{\text{n-προπυλο-αμίνη}}{H_2NC_3H_7} \rightarrow \underset{\text{N-προπυλο-προπιοναμίδιο}}{C_2H_5CONHC_3H_7} + H_2O$$

Η σύνθεση του νάυλον επιτυγχάνεται με μια αντίδραση του προηγούμενου τύπου. Γενικά, μια ομάδα μορίων, η οποία αποτελείται από αλυσίδα ανθράκων με μια καρβοξυλική ομάδα στο κάθε άκρο της (διοξύ ή δικαρβονικό οξύ), μπορεί να αντιδράσει με κάποια άλλη ομάδα μορίων, η οποία αποτελείται πάλι από αλυσίδα ανθράκων αλλά με μια αμινο-ομάδα στο κάθε άκρο της (διαμίνη).

Ειδικότερα, στα χημικά εργαστήρια το αδιπικό οξύ

$$HOOC–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–COOH$$

αντιδρά με διαμινο–1,6–εξάνιο (ή εξαμεθυλενο–διαμίνη–1–6)

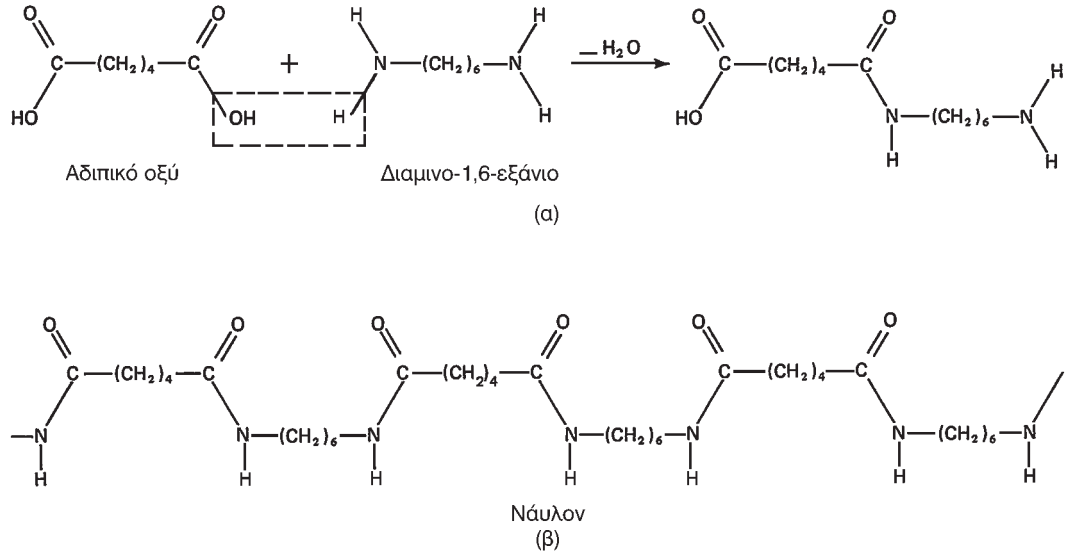
$$H_2N–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–NH_2$$

Προκειμένου να συνδεθούν μεταξύ τους τα μονομερή και να σχηματίσουν μια πολυμερισμένη αλυσίδα όπως αυτήν του σχήματος 18-1, θα πρέπει να επαναληφθεί πολλές φορές η αντίδραση αυτή. Κάθε φορά που αντιδρούν τα μόρια, αποσπάται ένα μόριο νερού από τις δραστικές ομάδες του οξέος και της αμίνης. Στα άκρα των μορίων σχηματίζεται ένας αμιδικός δεσμός. Γι' αυτό ακριβώς και χρειάζονται σε αυτήν την αντίδραση μόρια με δραστικές ομάδες και στα δύο άκρα τους.

Η συνθετική παρασκευή του νάυλον γίνεται με μια αντίδραση που ονομάζεται ***πολυμερισμός συμπυκνώσεως***. Σε όλες τις αντιδράσεις αυτού του είδους μονομερή μόρια συνδέονται μεταξύ τους με σύγχρονη απόσπαση ορισμένων απλών μορίων, συνήθως νερού. Με τον τύπο αυτό αντιδράσεως είναι δυνατόν να σχηματισθούν εκτός από το νάυλον και άλλα πολυμερή αμίδια, τα ***πολυαμίδια***. Τα πολυαμίδια αυτά σχηματίζονται με την κατάλληλη επιλογή των μορίων των χρησιμοποιουμένων δικαρβονικών οξέων και διαμινών. Κατ' αυτόν τον τρόπο παρασκευάζονται πολυαμίδια με διαφορετικές ιδιότητες.

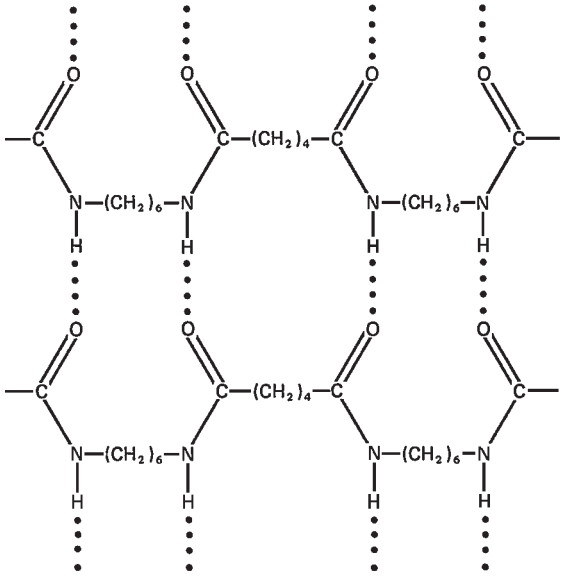
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το νάυλον είναι ένα ινώδες υλικό, γιατί τα μακρά μόρια του πολυαμιδίου είναι σχεδόν παράλληλα μεταξύ τους. Η παράλληλη αυτή διάταξη οφείλεται στο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου ανάμεσα στις αλυσίδες, όπως φαίνεται στο σχήμα 18-2.

Μέχρι το σημείο αυτό εξετάσθηκε ο πολυμερισμός συμπυκνώσεως των διοξέων και των διαμινών. Με αυτό το είδος της αντιδράσεως, σχηματίζονται πολυμερή με αμιδικές συνδέσεις. Κατά ανάλογο τρόπο είναι δυνατόν να



ΣΧΗΜΑ 18-1. *Η συμπύκνωση του αδιπικού οξέος με το διαμινο–1,6– εξάνιο οδηγεί πρώτα στο σχηματισμό ενός διμερούς (α) και τελικά ενός πολυμερούς μακράς αλυσίδας (β), το οποίο ονομάζεται νάυλον.*

αντιδράσουν δικαρβονικά οξέα και διαλκοόλες

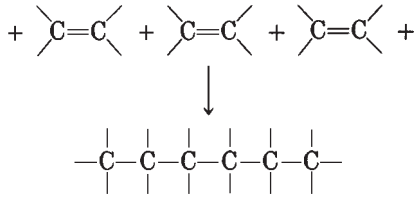


ΣΧΗΜΑ 18-2. *Η ινώδης δομή και η αντοχή του νάυλον οφείλεται στο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου ανάμεσα στις παράλληλες αλυσίδες.*

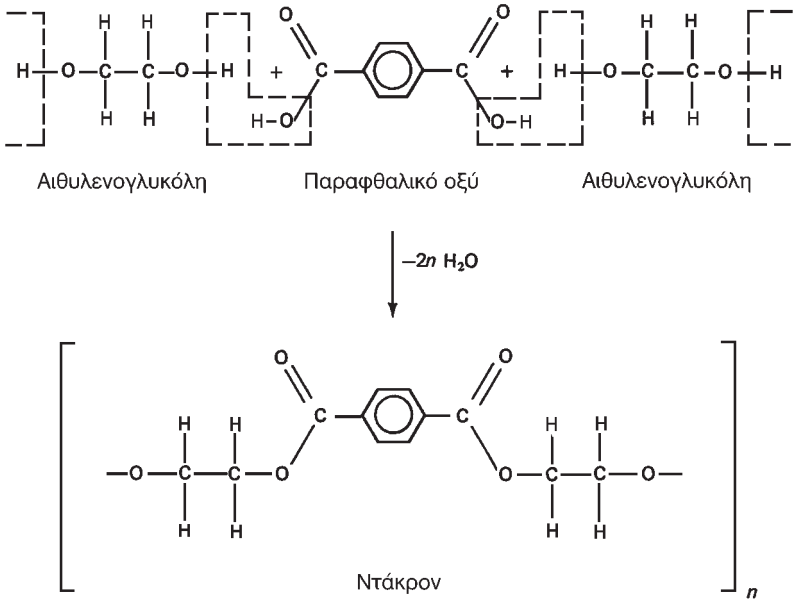
και να σχηματίσουν πολυμερή με εστερικούς δεσμούς. Και πάλι, αυτό βασίζεται σε αντίδραση πολυμερισμού συμπυκνώσεως. Συγκεκριμένα, όταν το δικαρβονικό οξύ που ονομάζεται ***τερεφθαλικό*** ή παραφθαλικό οξύ, αντιδράσει με μια διαλκοόλη, π.χ. την αιθυλενογλυκόλη, σχηματίζονται πολύ μακρά ***πολυεστερικά*** μόρια. Η πολυεστερική αυτή ένωση είναι η πολύ γνωστή συνθετική ίνα με το όνομα Dacron (ή polyester). Ο σχηματισμός της φαίνεται στο σχήμα 18-3.

18.3 Πολυμερισμός προσθήκης.

Τα μικρά μόρια, εκτός από τις αντιδράσεις πολυμερισμού με συμπύκνωση, είναι δυνατόν να αντιδράσουν και να σχηματίσουν γιγαντιαία μόρια με μια διαδικασία που ονομάζεται ***πολυμερισμός προσθήκης***. Ο πιο γνωστός τύπος αντιδράσεως πολυμερισμού προσθήκης είναι αυτός που ακολουθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, διανοίγεται ο διπλός δεσμός των αλκενίων και σχηματίζονται νέοι απλοί δεσμοί ανάμεσα στα άτομα του άνθρακα:



Σε αυτόν τον τύπο αντιδράσεως δεν υπάρχει απομάκρυνση ατόμων*. Πλήθος από τα πιο

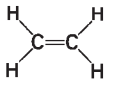
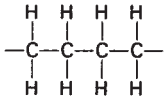
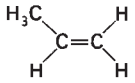
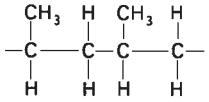
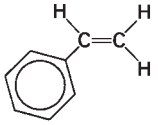
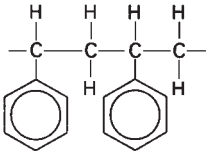
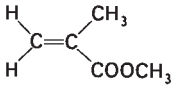
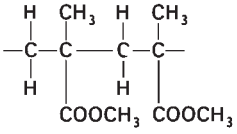


ΣΧΗΜΑ 18-3. *Ο πολυμερισμός συμπυκνώσεως της αιθυλενο-γλυκόλης, μιας διαλκοόλης, με τερεφθαλικό οξύ, ένα δικαρβονικό οξύ, οδηγεί στο γνωστό πολυμερές Ντάκρον (Dacron). (Στις ευρωπαϊκές χώρες είναι γνωστό και ως Tery-*

* *Σ.τ.Μ. Όπως π.χ. H_2O στην περίπτωση συμπυκνώσεως.*

ΠίΝΑΚΑώ 18.1

Μερικά γνωστά πολυμερή προσθήκης.

Μονομερές	Τμήμα πολυμερούς αλυσίδας	Κοινό όνομα
		Πολυαιθυλένιο
		Πολυπροπυλένιο
		Πολυστυρένιο
		Πλεξιγκλάς

γνωστά και χρήσιμα πολυμερή κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο. Διαφέρουν στο είδος των ομάδων που είναι προσκολλημένες στη μακρά αλυσίδα των ατόμων του άνθρακα. Όταν όλες οι προσκολλημένες ομάδες είναι άτομα υδρογόνου, το πολυμερές ονομάζεται πολυαιθυλένιο. Το μονομερές που χρησιμοποιείται είναι το μικρό μόριο αλκενίου με το όνομα αιθυλένιο, $H_2C = CH_2$. Αν τη θέση του μονομερούς έχει το τετραφθοροαιθυλένιο, $F_2C = CF_2$, τότε σχηματίζεται ως πολυμερές η ένωση με το γνωστό όνομα Teflon. Στον πίνακα 18.1, αναφέρονται μερικά από τα πιο γνωστά πολυμερή που παράγονται με πολυμερισμό προσθήκης.

Πολλά άλλα συνθετικά πολυμερή, καθώς και άλλα γιγαντιαία μόρια, χρησιμοποιούνται καθημερινώς σε μια βιομηχανική κοινωνία. Πιθανότατα, γνωρίζετε τα ονόματα μερικών από αυτά. Προχωρώντας στα στάδια του επόμενου πειράματος, θα εξοικειωθείτε άμεσα με μερικά πολυμερή.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

18.4 Η παρασκευή μερικών πολυμερών.

Για την παρασκευή πολλών πολυμερών υψηλής ποιότητας και μεγάλης μοριακής μάζας, απαιτούνται συνθήκες ελεγχόμενης θερμοκρασίας και πιέσεως που δεν υπάρχουν συνήθως στα εργαστήρια των λυκείων. Οι αντιδράσεις που θα λάβουν χώρα όμως κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος, δείχνουν το σχηματισμό των χαρακτηριστικών ενώσεων πολλών κοινών πολυμερών, τα οποία έχουν εμπορικές εφαρμογές.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα παρασκευάσετε πολυμερή συμπυκνώσεως και προσθήκης και θα μάθετε πώς επηρεάζονται οι ιδιότητες των πολυμερών από τις διασυνδέσεις ανάμεσα στις αλυσίδες τους.

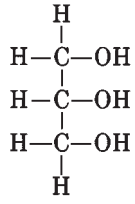
ΥΛΙΚΑ

5 ml γλυκερίνης
3 g κονιοποιημένου φθαλικού ανυδρίτη
10 ml 40% διάλυμα φορμαλδεΰδης
4 g αδιπικού οξέος
3 ml αιθυλενογλυκόλης
10-15 ml μεθυλικού μεθακρυλεστέρα
Ποτήρι βρασμού 50 ml (ή μικρό κουτί κονσέρβας)
ράβδος αναδεύσεως
Γουδί και γουδοχέρι
Γυαλί ρολογιού
Δακτύλιος και ορθοστάτης
Ηλεκτρική εστία (ή λύχνος)
Δοκιμαστικός σωλήνας
Ζυγός
Μικρό γυάλινο δοχείο
Ενισχυμένο αλουμινόχαρτο
Χάρτινο ποτήρι
Ελαστική ταινία
Κομμάτι ξύλου (ή μετάλλου)
10 ml από κάθε διαλύτη (οξικό αιθυλεστέρα, μεθυλο-αιθυλο-κετόνη, ακετόνη)
10 ml κορεσμένου διαλύματος υδροχλωρικής ανιλίνης σε νερό
4 σταγόνες πυκνού θειικού οξέος
3-4 σταγόνες βενζοϋλο-υπεροξειδίου σε διαιθυλο- ή βουτυλο-βενζυλο-φθαλικό ανυδρίτη
20-30 ml διαυγές πολυεστερικό προπολυμερές
2-3 σταγόνες υπεροξείδιο της μεθυλο-αιθυλο-κετόνης

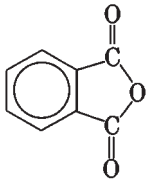
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Παρασκευή γλυπτάλης (μιας ρητίνης).

Η συμπύκνωση αλκοολών που περιέχουν περισσότερες από μία ομάδα –OH με τις ενώσεις που ονομάζονται ανυδρίτες οδηγεί στο σχηματισμό πολυεστέρων, γνωστών με το όνομα αλκιδικές ρητίνες. Χρησιμεύουν στην παραγωγή συγχρόνων χρωμάτων και βερνικιών. Γνωστό μέλος της σειράς αυτής είναι η ρητίνη γλυπτάλη, η οποία σχηματίζεται από γλυκερίνη και φθαλικό ανυδρίτη.



γλυκερίνη

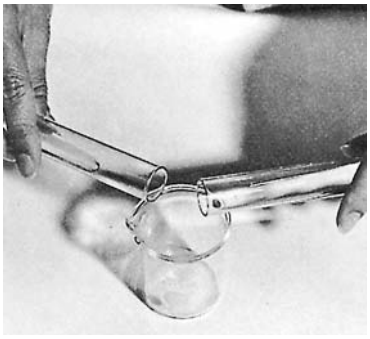


φθαλικός ανυδρίτης



ΣΧΗΜΑ 18-4.

1. Τοποθετήστε 2 g γλυκερίνης και 3 g κονιοποιημένου φθαλικού ανυδρίτη μέσα σε ένα ποτήρι βρασμού των 50 ml ή σε ένα μεταλλικό κουτί κονσέρβας. Αναμίξτε με μια γυάλινη ράβδο τις δύο ουσίες. Σκεπάστε το ποτήρι (ή το κουτί κονσέρβας) με ένα γυαλί ρολογιού και θερμάνατε αυτό προσεκτικά πάνω σε μια ηλεκτρική εστία ή σε μια πολύ χαμηλή φλόγα λύχνου (βεβαιωθείτε ότι φοράτε τα προστατευτικά γυαλιά· προσοχή, η ρητίνη αναφλέγεται). Εξακολουθήστε να θερμαίνετε, μέχρι να εμφανισθούν μεγάλες φυσαλίδες και να φουσκώσει το μίγμα. Αφήστε τη ρητίνη να ψυχθεί.
2. Απομακρύνατε τη ρητίνη από το δοχείο και λειοτριβήστε την με το γουδοχέρι μέσα σε ένα γουδί, όπως στο σχήμα 18-4. Προσπαθήστε να διαλύσετε ένα μέρος της μέσα σε κάποιο διαλύτη που θα σας προτείνει ο καθηγητής σας. ***Μην*** τη θερμάνετε πάνω από φλόγα. Όταν παρασκευάσετε ένα διάλυμα της ρητίνης, αδειάστε ένα μέρος του πάνω σε ένα κομμάτι μέταλλο ή ξύλο και αφήστε το να στεγνώσει. Να σημειώσετε στο τετράδιό

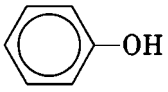


ΣΧΗΜΑ 18-5.

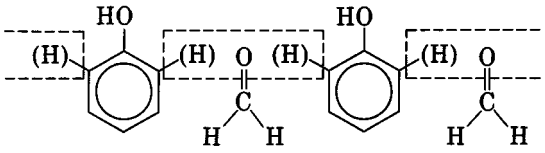
σας ποια η φύση του υπολείμματος. Να προτείνετε μια πρακτική εφαρμογή αυτού του είδους της ρητίνης.

Μέρος Β. Παρασκευή ενός πολυμερούς του τύπου αμίνης-αλδεΰδης.

Το 1909, ο L. Baekeland, προσδιόρισε τις δυνατότητες σχηματισμού πλαστικών με φορμαλδεΰδη, HCHO, χρησιμοποιώντας αρωματικές ενώσεις, όπως η φαινόλη,



Πολυμερή αυτού του τύπου ονομάζονται πλαστικά βακελίτη. Ακολουθεί το πρώτο στάδιο της αντιδράσεως συμπυκνώσεως ανάμεσα στη φαινόλη και τη φορμαλδεΰδη. Αξίζει να προσέξετε την απομάκρυνση του νερού.



Αντί για φαινόλη θα χρησιμοποιήσετε μια αρωματική αμίνη, που ονομάζεται ανιλίνη, $C_6H_5NH_2$. Η ανιλίνη αντιδρά με φορμαλδεΰδη κατά τρόπο ανάλογο με τη συμπύκνωση φαινόλης-φορμαλδεΰδης.

Μετρήστε 10 ml 40% διαλύματος φορμαλδεΰδης, που ονομάζεται φορμόλη, και αδειάστε τα μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, καθώς επίσης και 10 ml κορεσμένου υδατικού διαλύματος υδροχλωρικής ανιλίνης, που θα τοποθετήσετε σε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα. Αδειάστε τα διαλύματα των δύο δοκιμαστικών σωλήνων ταυτόχρονα μέσα σε ένα ποτήρι των 50 ml ή σε ένα μικρό μεταλλικό κουτί κονσέρβας ώστε να αναμιχθούν, όπως δείχνει το σχήμα 18-5. Σημειώστε αν κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως ελευθερώνεται ή απορροφάται θερμότητα. Εξετάστε το προϊόν και καταγράψτε τις ιδιότητές του στο τετράδιό σας.

Μέρος Γ. Εξέταση των αποτελεσμάτων των διακλαδιζομένων αλυσίδων.

Οι γειτονικές αλυσίδες ατόμων, όπως των πολυμερών, συνδέονται συχνά μεταξύ τους με χημικούς δεσμούς. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται ***πολυμερισμός με διακλαδιζόμενες αλυσίδες***. Για παράδειγμα, οι δεσμοί υδρογόνου του σχήματος 18-2 διασυνδέουν τα μόρια του νάυλον.

Ειδικές προφυλάξεις. Η θέρμανση των μιγμάτων στα στάδια 2 και 3 θα πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά, για να περιορισθεί ο σχηματισμός ατμών γλυκερίνης και αιθυλενογλυκόλης.

1. Κόψτε ένα τετράγωνο κομμάτι ανθεκτικού αλουμινόχαρτου πλευράς περίπου 16 cm. Στερεώστε ένα σιδερένιο δακτύλιο σε ένα κατάλληλο στήριγμα (ορθοστάτη). Σχηματίστε ένα ρηχό δοχείο τοποθετώντας το αλουμινόχαρτο πάνω στο στήριγμα, πιέζοντάς το μαλακά κάτω, μέσα στο κέντρο του δακτυλίου και τυλίγοντας αυτό που περισσεύει γύρω από το δακτύλιο, ώστε να στερεωθεί σε αυτήν τη θέση. Προσέξτε να μην τρυπήσετε το αλουμινόχαρτο καθώς θα το τοποθετείτε.

2. Προσθέστε στο κέντρο του αλουμινόχαρτου του δακτυλίου 2 g περίπου αδιπικού οξέος. Προσθέστε επίσης στο αδιπικό οξύ περίπου 40-50 σταγόνες γλυκερίνης και 2 σταγόνες πυκνού θειικού οξέος. Αναμίξτε ελαφρά με μια γυάλινη ράβδο μέχρι να δημιουργηθεί ένα κολλώδες μίγμα. Τοποθετήστε ένα λύχνο κάτω από το αλουμινόχαρτο και θερμάνατε πολύ προσεκτικά με χαμηλή φλόγα για 4-5 λεπτά. Να σημειώσετε όλες τις μεταβολές στη συνοχή του μίγματος κατά τη θέρμανση. Προσέξτε να μην ξεροψήσετε ή απανθρακώσετε το προϊόν κατά τη διάρκεια των τελικών σταδίων της θερμάνσεως. Αφήστε το μίγμα να κρυώσει και εξετάστε τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Φυλάξτε το προϊόν, για να το συγκρίνετε με το προϊόν που θα παρασκευασθεί στο στάδιο 3.
3. Τοποθετήστε ένα καινούργιο κομμάτι αλουμινόχαρτου πάνω στο σιδερένιο στήριγμα. Προσθέστε περίπου, 2 g αδιπικού οξέος, 40-50 σταγόνες αιθυλενογλυκόλης και 2 σταγόνες πυκνού θειικού οξέος. Αναδεύσατε ελαφρά για να σχηματισθεί ένα κολλώδες μίγμα. Θερμάνατε προσεκτικά για μερικά λεπτά και σημειώστε όλες τις μεταβολές που δημιουργούνται. Αφήστε το μίγμα να κρυώσει και συγκρίνετέ το με το προϊόν που σχηματίσθηκε στο στάδιο 2.

Μέρος Δ. Παρασκευή ενός πολυμερούς προσθήκης.

1. Τοποθετήστε 10 ml μεθυλικού μεθακρυλεστέρα μέσα σε ένα μικρό γυάλινο δοχείο (όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για τις παιδικές τροφές) και προσθέστε μερικές σταγόνες βενζοϋλο-υπεροξειδίου διαλυμένου σε φθαλικό διαιθυλεστέρα ή φθαλικό βουτυλο-βενζυλεστέρα. Σκεπάστε το με ένα κομμάτι αλουμινόχαρτου, το οποίο θα γυρίσετε στην άκρη του δοχείου και θα στερεώσετε με ένα λαστιχάκι. Τοποθετήστε το δοχείο μέσα σε θερμό υδρόλουτρο και διατηρήστε τη θερμοκρασία του ακριβώς κάτω από το σημείο βρασμού του νερού για 30 περίπου λεπτά ή μέχρι να ολοκληρωθεί ο πολυμερισμός. Αφήστε το πολυμερές να κρυώσει. Να καταγράψετε τις ιδιότητές του στο τετράδιό σας.
2. Εναλλακτική διαδικασία. Τοποθετήστε 20-30 ml ενός προπολυμερούς εμπορικού τύπου* μέσα σε ένα χάρτινο ποτήρι. Προσθέστε 2-3 σταγόνες υπεροξειδίου της μεθυλο-αιθυλο-κετόνης και αναδεύστε ζωηρά με μια γυάλινη ράβδο. Κατασκευάστε ένα καλούπι σχήματος μικρού δοχείου από ενισχυμένο αλουμινόχαρτο. Αδειάστε το μίγμα μέσα στο καλούπι και αφήστε το να παραμείνει μέσα στον απαγωγό (του εργαστηρίου σας) ή σε άλλο καλά αεριζόμενο μέρος για είκοσι τέσσερις ώρες. Αφαιρέστε το αλουμινόχαρτο και καταγράψτε στο τετράδιό σας τις ιδιότητες του λαμβανομένου προϊόντος.

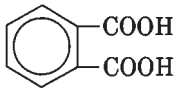
Με αυτόν τον τρόπο, αν προστεθούν μικρές ποσότητες χρώματος στο μίγμα πριν την ανάδευση, μπορούν να γίνουν πολύχρωμα καλλιτεχνικά αντικείμενα. Στην περίπτωση αυτήν μπορείτε να αδειάσετε το μίγμα σε καλούπια από κερί παραφίνης. Αδειάζοντας αρκετές ποσότητες διαφορετικά χρωματισμένων μιγμάτων μαζί πάνω σε ένα φύλλο από αλουμινόχαρτο γυρισμένο στις άκρες, ώστε να εμποδίζεται η εκροή, μπορείτε να φτιάξετε πολύχρωμα φύλλα πλαστικών.

---

* *Σ.τ.Μ. Όπως είναι το διάφανο υλικό που πωλείται στα καταστήματα καλλιτεχνικών κατασκευών ή ερασιτεχνικών απασχολήσεων (χόμπυ) και χρησιμεύει για την (ερασιτεχνική) κατασκευή ενός είδους βιτρώ.*

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Η αντίδραση ανάμεσα σε γλυκερίνη και φθαλικό ανυδρίτη προκειμένου να παρασκευασθεί η ρητίνη γλυπτάλη παριστάνεται δυσκολότερα στο χαρτί από την αντίδραση ανάμεσα σε γλυκερίνη και ***ορθο***φθαλικό οξύ, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό ενός προϊόντος με τον ίδιο ακριβώς τύπο.



ορθοφθαλικό οξύ

Να σχεδιάσετε τέσσερις συντακτικούς τύπους για τα μόρια της γλυκερίνης τοποθετημένους σε τυχαίες θέσεις πάνω σε ένα κομμάτι χαρτί και σε απόσταση αρκετών εκατοστών μεταξύ τους. Να δείξετε με ποιο τρόπο είναι δυνατόν να συνδεθούν τα μόρια του ορθοφθαλικού οξέος με τα διάφορα μόρια της γλυκερίνης προκειμένου έτσι να σχηματισθούν εστερικοί δεσμοί προς διάφορες κατευθύνσεις.

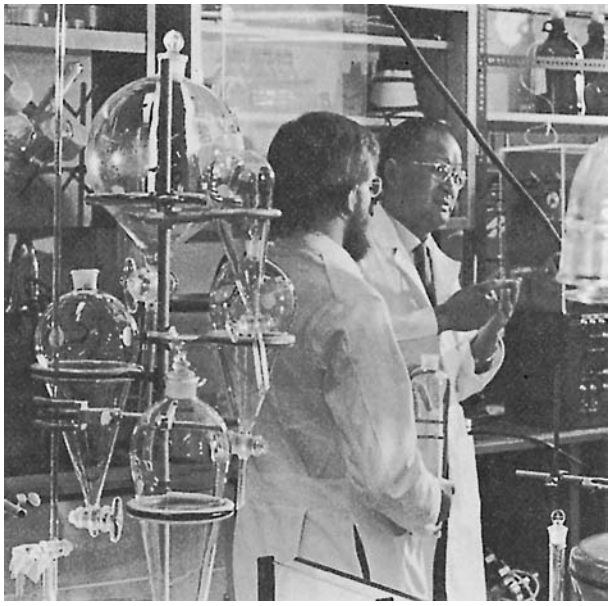
2. Να γράψετε το συντακτικό τύπο της ανιλίνης, όπου θα φαίνονται όλα τα άτομα υδρογόνου του βενζολικού δακτυλίου. Ας υποτεθεί ότι δύο άτομα υδρογόνου, που είναι γειτονικά προς την ομάδα NH_2, καθώς και το ακριβώς απέναντι προς αυτήν αντιδρούν με μόρια φορμαλδεΰδης (παρατήρησε την ανάλογη αντίδραση που αναφέρεται στο Β΄ Μέρος και αφορά στα άτομα υδρογόνου που γειτνιάζουν προς τη δραστική ομάδα της φαινόλης). Δείξτε πώς είναι δυνατόν μερικά μόρια ανιλίνης και φορμαλδεΰδης να σχηματίσουν ένα σώμα με δομή κρυσταλλικού πλέγματος.
3. Πώς εξηγείται η διαφορά ανάμεσα σε ένα πολυμερές αδιπικού οξέος-αιθυλενογλυκόλης και ενός πολυμερούς αδιπικού οξέος γλυκερίνης;
4. Κατά το σχηματισμό του πολυμερούς προσθήκης του Δ΄ Μέρους, εκτός από το κύριο προϊόν, μήπως σχηματίσθηκε και κάποιο άλλο προϊόν; Θα περιμένατε το τελικό προϊόν να είναι περισσότερο ή λιγότερο ακόρεστο από το αρχικό προϊόν;

Περίληψη.

Τα πλαστικά και οι συνθετικές ίνες αποτελούνται από γιγαντιαία μόρια, που ονομάζονται πολυμερή. Τα πολυμερή δημιουργούνται από τη σύνδεση πολλών μικρών μορίων, δηλαδή των μονομερών, μεταξύ τους. Η σύνδεση αυτή γίνεται με δύο βασικούς τρόπους. Η μία μέθοδος ονομάζεται πολυμερισμός συμπυκνώσεως. Κατ' αυτήν δύο διαφορετικά είδη μικρών μορίων αντιδρούν μεταξύ τους και αποβάλλοντας συνήθως νερό συνδέονται σε πολύ μακρές αλυσίδες. Η άλλη μέθοδος ονομάζεται πολυμερισμός προσθήκης, και πρόκειται για τη διαδικασία κατά την οποία οι διπλοί δεσμοί μικρών αλκενίων ανοίγουν και σχηματίζονται νέοι δεσμοί C – C ανάμεσα στα μονομερή.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να δείξετε με τύπους πώς συνδέεται ένα δικαρβονικό οξύ και μια διαμίνη, για να σχηματισθεί ένα πολυαμίδιο ανάλογο με το νάϋλον.
2. Να σχεδιάσετε το πολυμερές που είναι δυνατόν να σχηματισθεί από το μονομερές $F_2C = CF_2$. Να ονομάσετε το πολυμερές. Ποια είναι μια κοινή του χρήση;



Choh Hao Li

Ο Choh Hao Li αφιέρωσε το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής του σταδιοδρομίας στην εξέταση των ορμονών της υποφύσεως. Πήρε το πτυχίο του χημικού το 1933 από το Πανεπιστήμιο Nanking της Κίνας. Δύο χρόνια αργότερα πήγε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 1938 απέκτησε το διδακτορικό του από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Μπέρκλεϋ, με το οποίο και συνέχισε να συνεργάζεται. Το 1950 έγινε τακτικός καθηγητής και διευθυντής του εργαστηρίου ορμονολογικών ερευνών. Το 1955 πολιτογραφήθηκε Αμερικανός πολίτης.

Πώς είναι δυνατόν να ασχολείται κάποιος τόσα πολλά χρόνια μόνο με έναν αδένα; Η απάντηση βρίσκεται στην πολυπλοκότητα του οργάνου και στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Η υπόφυση βρίσκεται στο κέντρο του κεφαλιού και ελέγχει πολλούς άλλους αδένες του σώματος. Ο καθένας από τους τρεις λοβούς της υποφύσεως επιτελεί ειδικές λειτουργίες και παράγει διαφορετικές ορμόνες.

Ο Li και οι συνάδελφοί του στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας απομόνωσαν αρκετές ορμόνες από την υπόφυση και μελέτησαν τη δομή και τη δράση τους. Ανακάλυψαν ότι μερικές ορμόνες ενεργοποιούν το θυρεοειδή, ελέγχουν την παραγωγή των σεξουαλικών ορμονών, τη λειτουργία των επινεφριδίων αδένων και ενεργοποιούν την παραγωγή του γάλακτος. Διαπίστωσαν ότι άλλες ελέγχουν την πίεση του αίματος, την ισορροπία του ύδατος στο σώμα και την ταχύτητα μεταβολισμού μέσα στα κύτταρα.

Μια από τις γνωστότερες ορμόνες που απομόνωσε ο Li είναι η αδρενοκορτικοτρόπος ορμόνη ή για συντομία ACTH. Όταν, σε ασθενείς που πάσχουν από ρευματοειδή αρθρίτιδα χορηγηθεί ACTH, ενεργοποιούνται τα επινεφρίδια και παράγουν κορτιζόνη, η οποία καταπραΰνει σε σημαντικό βαθμό τον πόνο που οφείλεται στην ασθένεια.

Ο Li βρήκε ότι πολλές από τις ορμόνες της υποφύσεως είναι περισσότερο πολύπλοκες από τις ορμόνες που παράγονται σε άλλα σημεία του σώματος. Εφαρμόζοντας μεθόδους τις οποίες ανέπτυξε ο τιμηθείς με βραβείο Νόμπελ Frederick Sanger, από το Κέιμπριτζ, αυτός και οι συνεργάτες του άρχισαν να διαχωρίζουν τα μόρια των διαφόρων ορμονών μεταξύ τους, εξετάζοντας τη δομή των κλασμάτων.

Το 1965 ο Li και οι συνεργάτες του είχαν προσδιορίσει ότι η ACTH είναι μια πολύπλοκη πρωτεΐνη, που αποτελείται από 39 αμινοξέα τοποθετημένα κατά ορισμένη αλληλουχία. Τον ίδιο χρόνο οι ερευνητές ανακάλυψαν ότι η ανθρώπινη αυξητική ορμόνη, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε γίγαντες ή νάνους ανάλογα με την ποσότητά της στο σώμα, είναι ένα μόριο πρωτεΐνης που περιέχει 256 αμινοξέα.

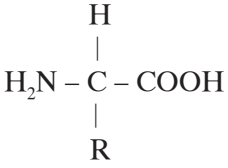
Με βάση το έργο του Li και των συνεργατών του, πολλοί ερευνητές μελετούν τους μηχανισμούς με τους οποίους οι ορμόνες της υποφύσεως ασκούν τον έλεγχο των βιολογικών λειτουργιών. Οι γνώσεις αυτές θα βοηθήσουν τους γιατρούς στην αναζήτηση καλυτέρων τρόπων εξασφαλίσεως της άριστης λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος και της αντιμετωπίσεως των ασθενειών που συναντούν.

Τα γιγαντιαία μόρια που απαντούν στη φύση

18.5 Πρωτεΐνες.

Οι περισσότερες από τις ουσίες του σώματός μας, ανάμεσα στις οποίες είναι οι μύες, τα μαλλιά, τα νύχια και η επιδερμίδα, αποτελούνται από γιγαντιαία μόρια που ονομάζονται πρωτεΐνες. Οι ***πρωτεΐνες*** είναι ένα είδος πολυαμιδίων. Διαφέρουν όμως από τα συνθετικά πολυαμίδια, όπως είναι το νάυλον, σε μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά.

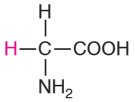
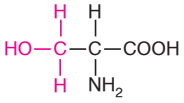
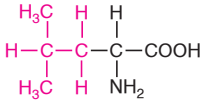
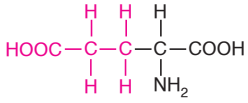
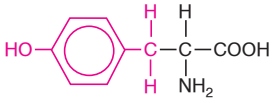
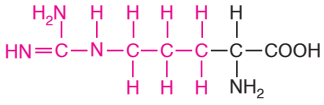
Τα μικρά μόρια από τα οποία σχηματίζονται οι πρωτεΐνες ονομάζονται ***αμινοξέα***. Ονομάζονται έτσι γιατί περιέχουν μια αμινομάδα ($-NH_2$) και μια καρβοξυλομάδα (–COOH). Σχεδόν όλα τα αμινοξέα έχουν την παρακάτω δομή:

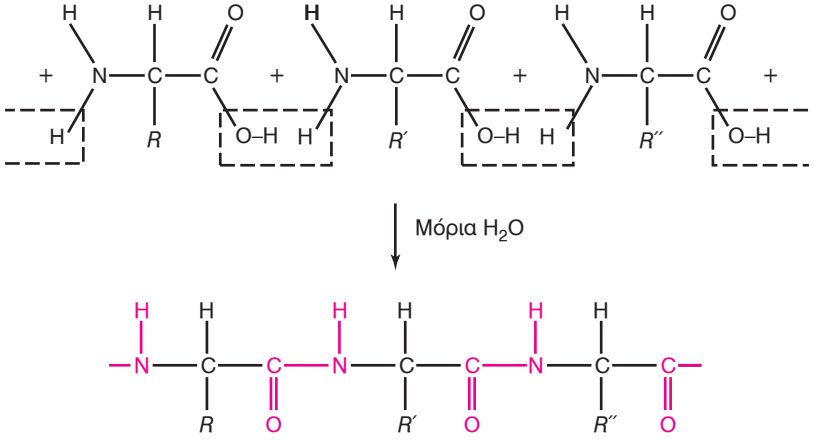


Τα αμινοξέα διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ομάδα–***R***. Υπάρχουν περίπου είκοσι αμινοξέα, τα οποία σχηματίζουν σχεδόν όλες τις σημαντικές πρωτεΐνες. Βέβαια, υπάρχουν και άλλα λιγότερο συνηθισμένα αμινοξέα. Στον πίνακα 18.2 αναφέρονται μερικά από τα σημαντικά αμινοξέα.

Μια πρωτεΐνη σχηματίζεται από πολυμερισμό συμπυκνώσεως πολλών αμινοξέων. Στο σχήμα 18-6 αξίζει να σημειωθεί η παρουσία των ομάδων αμιδίων. Γενικά, όλα τα μόρια μιας πρωτεΐνης περιέχουν και τα 20 αμινοξέα (ή σχεδόν όλα). Η ακριβής σειρά με την οποία είναι τοποθετημένα καθορίζει την ταυτότητα της πρωτεΐνης. Ας σκεφθούμε τώρα πόσες πιθανότητες συνδυασμών υπάρχουν, αν σε ένα μόριο που μπορεί να περιέχει

ΠΙΝΑΚΑΣ 18.2.
Μερικά σημαντικά αμινοξέα.

Τύπος	Όνομα
	Γλυκίνη ή Γλυκόκολλα
	Σερίνη
	Λευκίνη
	Γλουταμινικό οξύ
	Τυροσίνη
	Αργινίνη



ΣΧΗΜΑ 18-6. *Οι πρωτεΐνες, όπως φαίνεται εδώ, είναι πολυμερή συμπυκνώσεως, που σχηματίζονται με σύνδεση του τύπου κεφαλής-ουράς των αμινοξέων. (Δηλαδή, σύνδεση της αμινομάδας του ενός με την καρβοξυλική ομάδα ενός άλλου κ.ο.κ.).*

συνολικά από 100 μέχρι 1000 αμινοξέα γνωρίζομε ότι απαντούν 20 διαφορετικά είδη αμινοξέων. Αυτό μας βοηθά να κατανοήσομε γιατί είναι δυνατόν να σχηματισθούν τόσες πολλές διαφορετικές πρωτεΐνες, που εξυπηρετούν τόσους πολλούς διαφορετικούς σκοπούς στο σώμα. Σε ένα μόριο πρωτεΐνης που περιέχει 100 αμινοξέα με μια επιλογή ανάμεσα σε 20 δυνατότητες για την κάθε θέση της αλυσίδας, είναι δυνατόν να σχηματισθούν 20^{100} διαφορετικά μόρια. Πρόκειται για έναν ασύλληπτο αριθμό και μόνο ένας από τους πιθανούς συνδυασμούς βρίσκεται σε κάποια πρωτεΐνη.

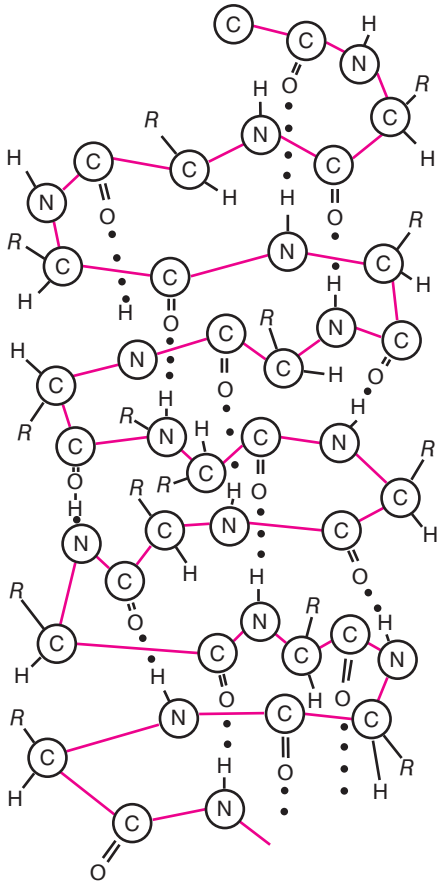
Ο τρόπος με τον οποίο ένας οργανισμός κατορθώνει να συνθέτει την κάθε μία από τις εκατοντάδες πρωτεΐνες που χρειάζεται το σώμα με το σωστό συνδυασμό αμινοξέων, αποτελεί ένα συναρπαστικό πρόβλημα. Χημικοί και βιολόγοι τώρα αρχίζουν να κατανοούν το μηχανισμό αυτόν. Η έρευνα αυτού του προβλήματος αποτελεί τον πιο ελκυστικό τομέα της επιστήμης*.

Όπως μάθατε μόλις πριν, τα πρωτεϊνικά μόρια διαφέρουν στη σειρά ή στην αλληλουχία των αμινοξέων μέσα στις αλυσίδες τους (στην πραγματικότητα, διαφέρουν στη σειρά αυτών των τμημάτων των μορίων που απομένουν από τα αμινοξέα, δηλαδή των τμημάτων που απομένουν μετά την απομάκρυνση των μορίων του νερού). Μία από τις κυριότερες αιτίες που τα μόρια με διαφορετικές αλληλουχίες έχουν και διαφορετικές ιδιότητες είναι η διαφορετική διάταξή τους στο χώρο. Το σχήμα ενός μορίου πρωτεΐνης επηρεάζεται σημαντικά από το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μέσα στο μόριο. Στο σχήμα 18-7 φαίνεται ένα από τα σημαντικά σχήματα που συχνά επιλέγουν τα μόρια ή τμήματα των μορίων πρωτεΐνης. Όπως διακρίνετε, η αλυσίδα της πρωτεΐνης περιτυλίγεται λαμβάνοντας ελικοειδές σχήμα, το οποίο διατηρείται με τη βοήθεια πολλών δεσμών υδρογόνου. Η έλικα μοιάζει με το σχήμα μιας ελικοειδούς κλίμακας. Κατά τη θέρμανση των πρωτεϊνών, αυτές οι ελικοειδείς δομές διασπώνται, γιατί διασπώνται οι δεσμοί υδρογόνου. Έτσι, το κρέας, το οποίο περιέχει πρωτεΐνες, κατά το μαγείρευμα μαλακώνει, ενώ η ζελατίνη λιώνει όταν θερμαίνεται, και "στερεοποιείται" πάλι όταν ψύχεται.

Στο σχήμα 18-8, φαίνεται μια άλλη σταθερή διάταξη που απαντά στα μόρια των πρωτεϊνών και ονομάζεται μορφή αναδιπλουμένων φύλλων. Δημιουργείται από το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου. Τα αναδιπλούμενα φύλλα είναι η πιο χαρακτηριστική διάταξη που απαντά στις ίνες του μεταξιού, γεγονός που καθορίζει και την ινώδη δομή του. Μήπως αυτό σας θυμίζει το νάυλον; Θα έπρεπε. Αν και στις λεπτομέρειες υπάρχουν πολλές διαφορές, τόσον το μετάξι όσο και το νάυλον έχουν ξεχωριστά νήματα, τα οποία συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου. Γι' αυτό το λόγο και το νάυλον έχει πολλές ιδιότητες ανάλογες με αυτές του μεταξιού.

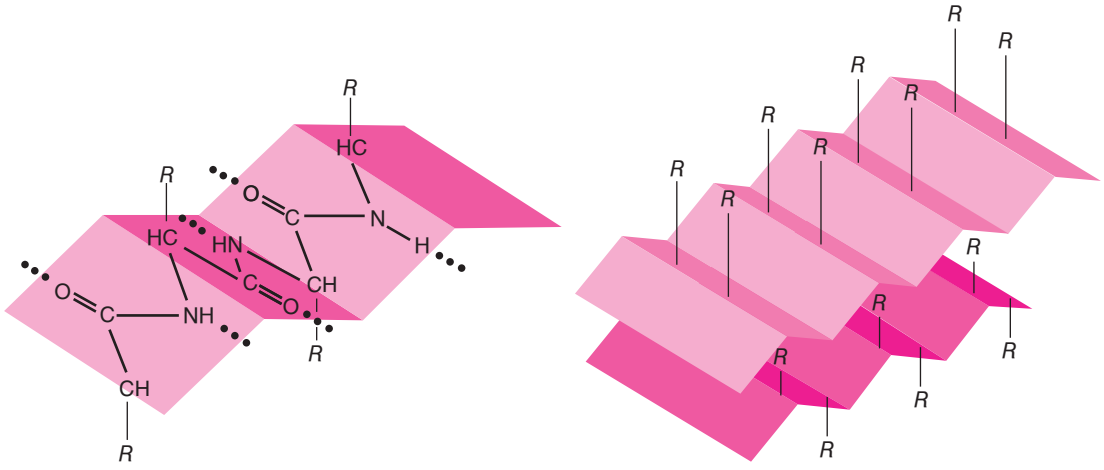
18.6 Άμυλο και κυτταρίνη.

Η κυτταρίνη είναι η σημαντικότερη δομική ύλη



ΣΧΗΜΑ 18-7. *Μια αλυσίδα πρωτεΐνης συγκρατείται σταθερά με δεσμούς υδρογόνου ανάμεσα σε ομάδες N – H και C = O. Οι δεσμοί που εμφανίζονται χρωματισμένοι δίνουν ένα ελικοειδές*

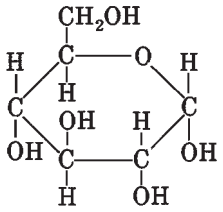
* *Σ.τ.Μ. Από την εποχή της συγγραφής αυτού του βιβλίου έχουν επιτευχθεί πολύ σημαντικές πρόοδοι στον τομέα αυτό. Εν τούτοις, η έρευνα αυτού του προβλήματος εξακολουθεί πάντα να είναι ένας από τους προκλητικότερους τομείς της επιστήμης.*



ΣΧΗΜΑ 18-8. *Ένας άλλος τρόπος διατάξεως των αλυσίδων των πρωτεϊνών είναι κατά παράλληλες σειρές τεθλασμένες (ζικ-ζακ) σχηματίζοντας "αναδιπλούμενα φύλλα", τα οποία πάλι συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου.*

των φυτών*. Σε αυτήν οφείλεται η σκληρότητα και το σχήμα όλων των ειδών των φυτών. Αποτελεί επίσης το κυριότερο συστατικό του ξύλου. Διάφορες μορφές αμύλου αντίστοιχα απαντούν τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα. Συνήθως όμως ο όρος "άμυλο" αφορά στα φυτά. Οι πατάτες κατά κύριο λόγο περιέχουν κόκκους αμύλου.

Το μονομερές από το οποίο δομείται το μόριο του αμύλου και η κυτταρίνη είναι το κυκλικό μόριο που ονομάζεται γλυκόζη. Η δομή της γλυκόζης είναι η ακόλουθη:



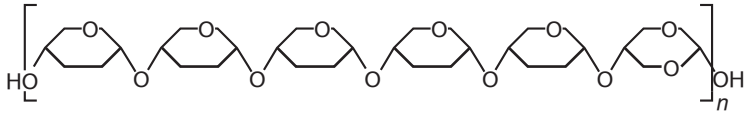
Η γλυκόζη είναι ένα σημαντικό σάκχαρο. Τα μόρια της γλυκόζης μπορούν να πολυμερισθούν μέσω μιας διαδικασίας συμπυκνώσεως, κατά την οποία από δύο μόρια γλυκόζης αποσπάται ένα μόριο νερού. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται τα γιγαντιαία μόρια της κυτταρίνης και του αμύλου. Τα μόρια κυτταρίνης και αμύλου διαφέρουν, γιατί τα άτομα του οξυγόνου που συνδέουν μεταξύ τους τα μόρια της γλυκόζης έχουν διαφορετική διάταξη στο χώρο. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 18-9. Θα πρέπει να κοιτάξετε προσεκτικά, για να διαπιστώσετε ότι υπάρχει μια διαφορά. Ίσως φαίνεται σχετικά μικρή, αλλά εξαιτίας αυτής διαφοροποιούνται οι γευστικές τηγανητές πατάτες από το ξύλινο κάθισμα που καθόσαστε, όταν τρώτε τις τηγανητές πατάτες.

18.7 Καουτσούκ.

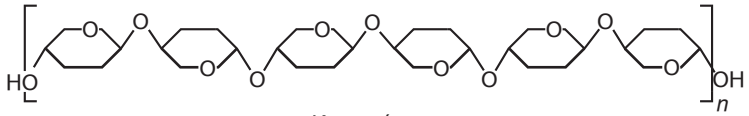
Το φυσικό καουτσούκ είναι ένα ελαστικό στερεό, που λαμβάνεται κυρίως από το γαλακτώδη χυμό του καουτσουκόδενδρου. Ελαστικό υλικό είναι αυτό που μπορεί να λυγίσει, να τεντωθεί ή και να συμπιεστεί· όμως όταν η δύναμη που προκάλεσε την παραμόρφωση πάψει να υφίσταται, ανακτά το αρχικό του σχήμα. Το φυσικό καουτσούκ περιέχει κυρίως έναν πολυμερισμένο υδρογονάνθρακα, που προέρχεται από το μονομερές με το όνομα ισοπρένιο. Το πολυμερές που λέγεται πολυισοπρένιο, έχει μοριακή μάζα περίπου 300.000. Στο σχήμα 18-10 φαίνεται η δομή του μονομερούς και του πολυμερούς.

Το πολυισοπρένιο είναι μαλακό, κολλώδες και όχι πολύ ελαστικό. Αυτό που κάνει το καουτσούκ ελαστικό είναι η διαδικασία που ονομάζεται ***βουλκανισμός***. Κατά τη διαδικασία αυτή, προστίθεται στο πολυισοπρένιο ένα μέχρι και οκτώ τοις εκατό κατά βάρος θείο. Το μίγμα θερμαίνεται στη συνέχεια, ώστε με τη βοήθεια των ατόμων του θείου δημιουργούνται διακλαδιζόμενες αλυσίδες

* *Σ.τ.Μ. Είναι η πλέον διαδεδομένη οργανική ουσία στη φύση.*

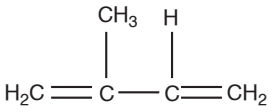


Άμυλο

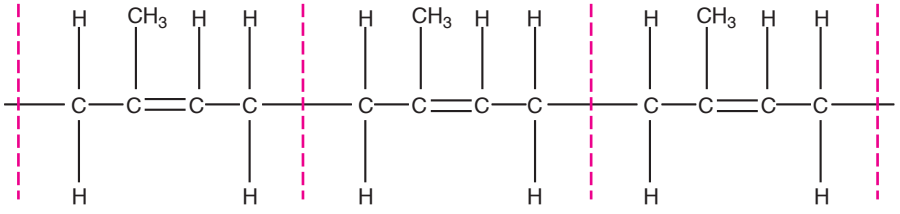


Κυτταρίνη

ΣΧΗΜΑ 18-9. *Τόσο το άμυλο όσο και η κυτταρίνη είναι πολυμερή της γλυκόζης. Διαφέρουν μόνο ως προς τη διάταξη στο χώρο, των ατόμων οξυγόνου που τα συνδέουν.*

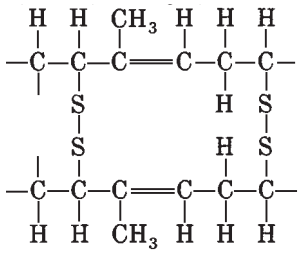


Ισοπρένιο



Πολυισοπρένιο

ΣΧΗΜΑ 18-10. *Το φυσικό καουτσούκ αποτελείται από ένα πολυμερές προσθήκης του ισοπρενίου, το οποίο ονομάζεται πολυισοπρένιο.*



Αυτή η κατεργασία οδηγεί σε σκλήρυνση του υλικού. Όταν το βουλκανισμένο καουτσούκ παραμορφώνεται, οι ενδο-συνδέσεις του θείου δεν επιτρέπουν μεγάλες μετακινήσεις των αλυσίδων. Συγκεκριμένα, οι αλυσίδες παραμένουν «δεμένες μαζί». Όταν η δύναμη που προκαλεί την παραμόρφωση απομακρυνθεί, εμφανίζουν μια ισχυρή τάση να επανέλθουν απόλυτα στις αρχικές τους θέσεις. Αν χρησιμοποιηθεί 30 μέχρι και 50 τοις εκατό κατά βάρος θείο, σχηματίζονται πάρα πολλές ενδο-συνδέσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός υλικού, το οποίο δεν μπορεί πια να παραμορφωθεί. Το υλικό αυτό ονομάζεται σκληρό καουτσούκ και χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, στα δοχεία των συσσωρευτών.

Από τη στιγμή που οι χημικοί κατενόησαν τη μοριακή δομή του φυσικού καουτσούκ, κατόρθωσαν να επινοήσουν διάφορους τύπους συνθετικών καουτσούκ. Τα συνθετικά καουτσούκ είναι ελαστικά, γιατί η δομή τους μοιάζει με αυτήν του φυσικού. Οι χημικοί κατόρθωσαν επίσης να

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΤΟ ΧΑΡΤΙ

Το χαρτί στις διάφορες μορφές του, από την εφημερίδα μέχρι το πεπιεσμένο χαρτί, είναι μια από τις γνωστότερες σε μας ουσίες, που έχει κατασκευασθεί από τον άνθρωπο. Μαζί με άλλα βιομηχανικά υλικά που παίζουν σημαντικό ρόλο στην καθημερινή μας ζωή, η παραγωγή, χρήση και διάθεση του χαρτιού μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα. Ας ρίξομε μια ματιά στη φύση του χαρτιού, και των προϊόντων του και στον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν το περιβάλλον.

Το χαρτί αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη. Πηγή της κυτταρίνης είναι τα φυτά, ειδικά τα δένδρα, τα οποία προμηθεύουν το 90% περίπου της κυτταρίνης που χρησιμοποιείται για χαρτί. Σε αυτήν τη φάση έχομε το πρώτο πρόβλημα που δημιουργείται στο περιβάλλον από τις ανάγκες μας σε χαρτί. Μόνο στις ΗΠΑ και στον Καναδά, περισσότερα από ένα δισεκατομμύριο δένδρα κόβονται κάθε χρόνο για την παραγωγή χαρτοπολτού. Έχει σημασία το να γίνεται αυτή η κοπή κατά τρόπο που να αποτρέπεται η καταστροφή του εδάφους από τη διάβρωση. Επίσης, είναι απαραίτητο να φροντίζομε να διατηρούνται τα δασικά αποθέματα με αναδασώσεις.

Το ξύλο τυπικά αποτελείται από 60% περίπου κυτταρίνη, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό είναι κυρίως κάποιο πολύπλοκο πολυμερές, που ονομάζεται ***λιγνίνη.*** Η κυτταρίνη υπάρχει στο ξύλο με τη μορφή ινών, οι οποίες είναι δεμένες μεταξύ τους με τη βοήθεια της λιγνίνης. Προκειμένου να παρασκευασθεί το χαρτί, είναι απαραίτητο να μετατραπεί το ξύλο σε πολτό. Ο ***χαρτοπολτός*** είναι ένα είδος «σούπας» ινών κυτταρίνης σε νερό. Ο πιο οικονομικός τρόπος παρασκευής της είναι με μηχανικό τεμαχισμό του ξύλου. Με τον τρόπο αυτό δεν απομακρύνεται η λιγνίνη και το χαρτί που παράγεται είναι δεύτερης ποιότητας. Το δημοσιογραφικό χαρτί, δηλαδή το χαρτί που χρησιμοποιείται για την εκτύπωση των εφημερίδων, προέρχεται σχεδόν όλο από το μηχανικά παρασκευαζόμενο πολτό.

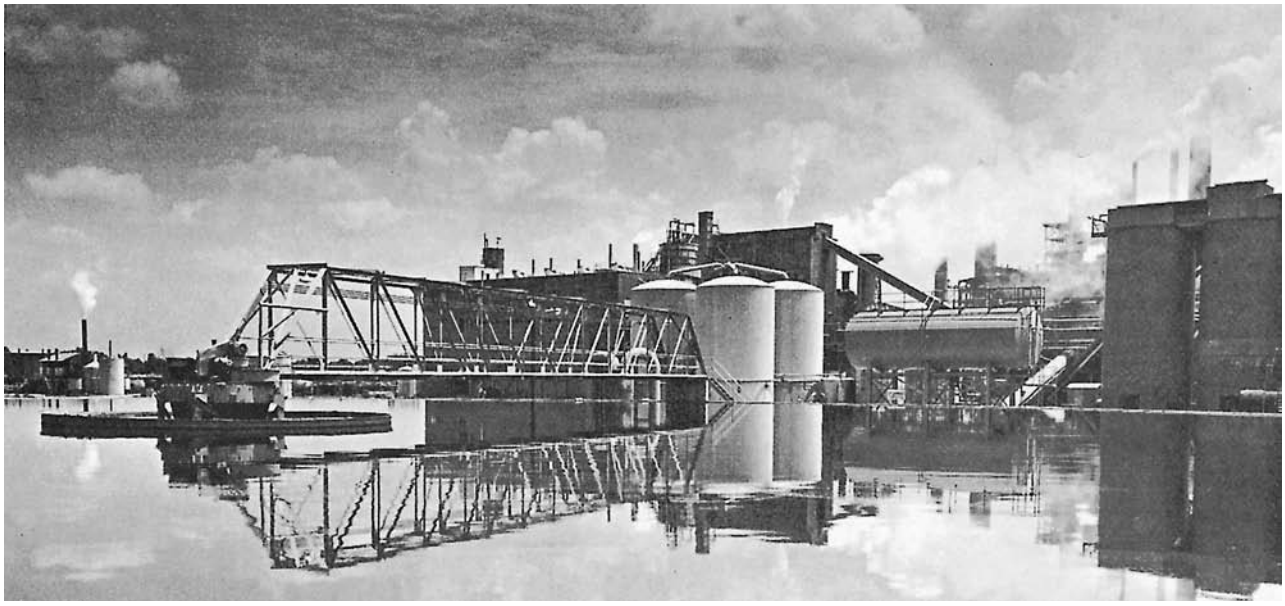
Αν τεμαχισθεί το ξύλο σε μικρά κομμάτια και στη συνέχεια υποσθεί χημική κατεργασία, ώστε να διαλυθεί η λιγνίνη, λαμβάνεται καλύτερης ποιότητας χαρτοπολτός. Τα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι διαλύματα θειωδών αλάτων, όπως το $Mg(HSO_3)$, ή το καυστικό νάτριο. Προκειμένου να δράσουν τα διαλύματα αυτά γρήγορα ως διαλύτες της λιγνίνης και άλλων μη κυτταρινικών συστατικών του ξύλου, βράζονται μέσα σε κάδους. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται στεγανοί αντιδραστήρες, που λειτουργούν υπό υψηλή πίεση*.

Η χημική διαδικασία της παρασκευής του πολτού είναι η δεύτερη σοβαρή αιτία ρυπάνσεως του περιβάλλοντος από τη χαρτοβιομηχανία. Προκαλείται ρύπανση τόσο στο υγρό στοιχείο όσο και στον αέρα. Τα υγρά απόβλητα, όταν χύνονται κατευθείαν στα ποτάμια, όπως δυστυχώς συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις, αποτελούν τους κυριότερους ρυπαντές των υδάτων. Οι αναθυμιάσεις που περιέχουν θείο (κυρίως SO_2) και τα σωματίδια που δημιουργούνται από μια μεγάλη μονάδα παραγωγής χαρτιού είναι δυνατόν να αποτελέσουν σοβαρούς ατμοσφαιρικούς ρυπαντές. Μια μεγάλη εγκατάσταση παραγωγής χαρτιού μπορεί να απελευθερώσει στον αέρα εκατομμύρια λίτρα SO_2 μέσα σε ένα χρόνο. Πρόσφατα η χαρτοβιομηχανία άρχισε να ελέγχει την εκπομπή ρυπαντών, αλλά βρίσκεται ακόμη σχεδόν στην αρχή.

Ο χαρτοπολτός διαμορφώνεται σε χαρτί με μεγάλες μηχανές συνεχούς λειτουργίας. Με αυτές, μετασχηματίζεται σε λεπτές στοιβάδες, οι οποίες στη συνέχεια στύβονται και ξηραίνονται. Το χαρτί στη συνέχεια κατεργάζεται με άλλα υλικά (αυτό συμβαίνει τις περισσότερες φορές), ώστε να γίνει καταλληλότερο για τις διάφορες εφαρμογές. Το χαρτί που προορίζεται για τύπωμα, διαφορετικό από αυτό των εφημερίδων, επικαλύπτεται με σκόνη καολίνης (είδος καθαρής αργίλλου), ή άλλο ορυκτό υλικό, και μία κόλλα. Το χαρτί που προορίζεται για συσκευασία τροφίμων επιστρώνεται με κερί ή άλλο αδιαβροχοποιητικό υλικό (λαδόχαρτο κλπ.).

Από τη στιγμή που θα κατασκευασθούν και θα χρησιμοποιηθούν τα χαρτικά προϊόντα εμφανίζεται ο τρίτος παράγοντας περιβαλλοντικής ρυπάνσεως: Τα απορρίμματα από χαρτί. Ποσοστό μεγαλύτερο του πενήντα τοις εκατό των απορριμμάτων που παράγονται στην Αμερική, αποτελούν απορρίμματα αυτού του είδους. Αρκεί να σκεφθείτε τα απορρίματα του σπιτιού σας, του σχολείου σας ή μιας χαρακτηριστικής τοπικής επιχειρήσεως. Τι

* *Σ.τ.Μ. Όπως για παράδειγμα οι χύτρες ταχύτητας της κουζίνας.*



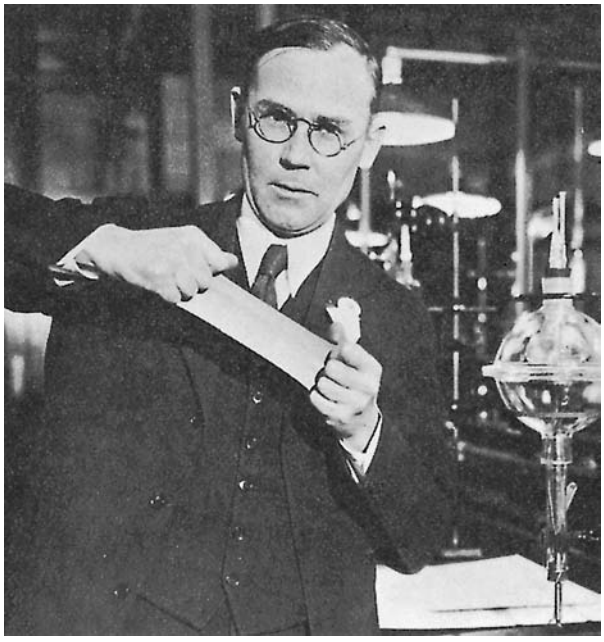
Η βιομηχανία χαρτιού που εικονίζεται, περιλαμβάνει ένα προκαταρκτικό καθαριστήρα των υπολειμμάτων του νερού (αριστερά μπροστά), για να περιορίζει τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τα άχρηστα συστατικά συγκρατούνται στη δεξαμενή, ενώ τα αιωρούμενα στερεά καταβυθίζονται στον πυθμένα. Στη συνέχεια, τα στερεά απομακρύνονται. Μετά την προκαταρκτική επεξεργασία, τα απόνερα υφίστανται και δεύτερη επεξεργασία.

μπορεί να γίνει με όλο αυτό το άχρηστο χαρτί; Στο παρελθόν ή το πέταγαν ή το έκαιγαν. Καθώς όμως τόσο ο συνολικός όγκος των χαρτικών απορριμμάτων όσο και οι ανάγκες σε χαρτί αυξήθηκαν, άρχισε να εμφανίζεται μια άλλη απάντηση στο πρόβλημα: Η ανακύκλωση.

Στις αρχές της δεκαετίας του 80, στις ΗΠΑ καταναλώνονταν περίπου 60 εκατομμύρια τόνοι χαρτιού και διαφόρων χαρτικών προϊόντων το χρόνο και προβλεπόταν να διπλασιασθεί η κατανάλωση το 1985. Αν έστω και σε περιορισμένη έκταση γινόταν ανακύκλωση, αυτό θα οδηγούσε σε σημαντική μείωση της ρυπάνσεως (και από τις βιομηχανίες χαρτοπολτού και από τα χαρτικά απορρίμματα). Το είκοσι περίπου τοις εκατό του παραγομένου χαρτιού ήδη ανακυκλώνεται. Ένας τόνος ανακυκλωμένου χαρτιού σημαίνει ότι σώζονται 17 δένδρα. Σήμερα πολύ περισσότερα από 200 εκατομμύρια δένδρα σώζονται κάθε χρόνο λόγω της ανακυκλώσεως. Η ανακύκλωση απαιτεί μεγάλες και δαπανηρές εγκαταστάσεις. Θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε, εκτός από τις ίνες κυτταρίνης που πρέπει να ανακτηθούν, θα πρέπει να αξιοποιούνται τα πολλά άλλα υλικά που υπάρχουν στα χρησιμοποιημένα χαρτικά προϊόντα.

Τα χαρτικά απορρίμματα αναμιγνύονται με νερό που βράζει του οποίου το βάρος είναι 30 περίπου φορές το βάρος τους και αναδεύονται μέσα σε μια τεράστια δεξαμενή με μια διάταξη που θυμίζει γιγαντιαίο αναδευτήρα αυγών. Η δύναμη της αναδεύσεως είναι τόσο μεγάλη, ώστε σε λίγη ώρα το χαρτί μετατρέπεται σε λάσπη που ρέει έξω από τον πυθμένα περνώντας από τρύπες του μισού περίπου εκατοστού. Ο χώρος της αναδεύσεως είναι σχεδιασμένος και εξοπλισμένος κατάλληλα ώστε να απομακρύνει πολλές από τις προσμίξεις, όπως σπάγγους, υφάσματα και κομμάτια μετάλλου. Η λάσπη στη συνέχεια περνά από αρκετά στάδια μηχανικού και χημικού καθαρισμού και χρησιμοποιείται κυρίως για την παρασκευή βιομηχανικού χαρτιού.

Μεγάλο μέρος του άχρηστου χαρτιού περιέχει σημαντικές προσμίξεις από υλικά επικαλύψεων και μελάνι. Αυτό καθιστά δύσκολη την ανακύκλωση. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, ώστε να απομακρύνονται μερικές από αυτές τις προσμίξεις. Αν όμως υπάρχει προοπτική να αυξηθεί η ποσότητα του χαρτιού που πηγαίνει για ανακύκλωση, θα πρέπει να τροποποιηθούν οι υπάρχουσες τεχνικές παρασκευής πολλών τύπων χαρτιού και χαρτικών προϊόντων ώστε να γίνει η ανακύκλωση ευκολότερη και πιο συμφέρουσα.



Wallace Hume Carothers (1896 – 1937)

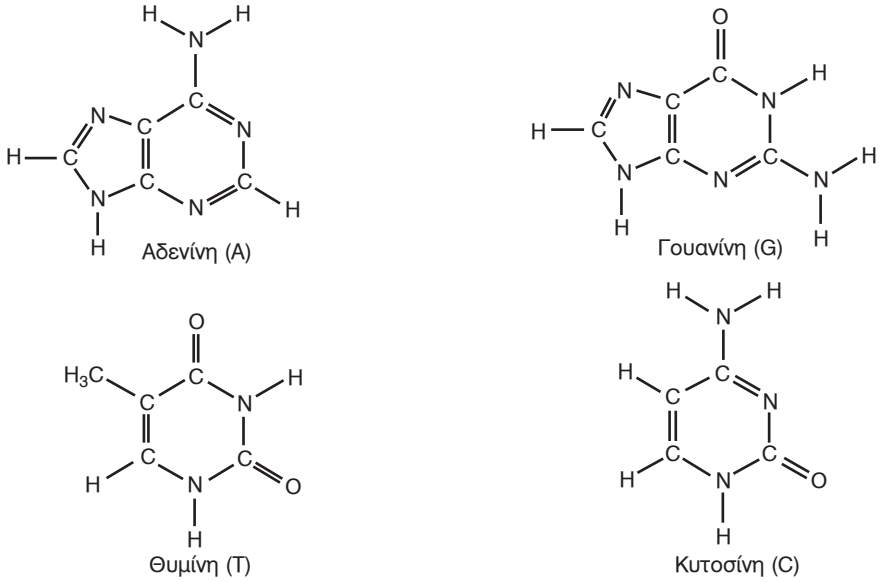
Η σπουδαία και ευρύτατη εφαρμογή των συνθετικών πολυμερών (υφάνσιμες ίνες, φιλμ, πλαστικά και ελαστομερή) μπορούμε να πούμε ότι οφείλεται στις πρωτοπορειακές ερευνητικές προσπάθειες του Wallace Carothers κατά το διάστημα 1928-1937.

Ο Carothers, αφού πήρε το διδακτορικό του στη χημεία από το πανεπιστήμιο του Ιλλινόις το 1924, καθιερώθηκε σύντομα ως λαμπρός ερευνητής, πρώτα στο Ιλλινόις και μετά στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ. Το 1928 επελέγη να διευθύνει ένα ερευνητικό πρόγραμμα για την εταιρεία DuPont.

Έχοντας αρχίσει να ενδιαφέρεται για τα γιγαντιαία μόρια, αποφάσισε να ασχοληθεί συστηματικά αυτός και η ερευνητική του ομάδα με την αναζήτηση όλων όσων είχαν σχέση με τη δομή και τη σύνθεση αυτού του είδους των ενώσεων. Από το 1871 είχαν αρχίσει να υποπτεύονται την ύπαρξη μεγάλων μορίων με επαναλαμβανόμενες ομάδες, αλλά προς αυτήν την κατεύθυνση η επιστημονική έρευνα δεν είχε προχωρήσει πολύ.

Ο Carothers διερεύνησε πρώτος τα πολυμερή προσθήκης. Ψάχνοντας στη βιβλιογραφία, ανακάλυψε ότι ο Julius A. Nieuwland, χημικός στο πανεπιστήμιο της Notre Dame και ειδικός στη χημεία του ακετυλενίου, είχε ανακαλύψει τον τρόπο να σχηματίζει μεγάλα μόρια από ακετυλένιο. Συνεργαζόμενος με το Nieuwland, βρήκε ότι δύο μόρια ακετυλενίου θα μπορούσαν να συνδεθούν και να σχηματίσουν το βινυλο–ακετυλένιο. Αυτό αν κατεργασθεί με υδροχλωρικό οξύ, δίνει ένα προϊόν γνωστό ως χλωροπρένιο. Περίπου ένα χρόνο αργότερα, ο Carothers και η επιστημονική του ομάδα ήταν σε θέση να πολυμερίσουν το χλωροπρένιο και να δημιουργήσουν ένα νέο συνθετικό ελαστομερές με το όνομα νεοπρένιο.

Στρεφόμενος προς τα πολυμερή συμπυκνώσεως, αρχικά εργάσθηκε με αρκετούς πολυεστέρες και αργότερα με πολυαμίδια. Το γνωστότερο πολυαμίδιο ονομάσθηκε αρχικά ένωση–66, επειδή το καθένα από τα δύο διαφορετικά μόρια εκκινήσεως περιείχε έξι άτομα άνθρακα. Γρήγορα όμως η ένωση αυτή που ανακαλύφθηκε το 1934, ονομάσθηκε νάυλον. Ήταν πολύ ανθεκτικό υλικό και έγινε ακόμη ανθεκτικότερο, όταν οι ψυχρές ίνες του επιμηκύνονταν αρκετές φορές περισσότερο από το αρχικό τους μήκος. Το νάυλον, που διοχετεύθηκε στο εμπόριο για πρώτη φορά το 1940, είχε τεράστια επιτυχία. Ο Carothers όμως δεν έζησε για να δει πόσο αξιόλογο προϊόν είχε ανακαλύψει. Σήμερα, διάφορες μορφές του νάυλον, πολυεστέρες και πολλά άλλα πολυμερή συμπυκνώσεως και προσθήκης αποτελούν προϊόντα ενός μεγάλου τμήματος της σύγχρονης χημικής βιομηχανίας.



ΣΧΗΜΑ 18-11. *Οι τέσσερις βάσεις που απαντούν στο DNA: Αδενίνη (A), θυμίνη (T), γουανίνη (G) και κυτοσίνη (C).*

επιφέρουν μικρές αλλαγές στα μόρια που αποτελούν τα συνθετικά καουτσούκ. Κατ' αυτόν τον τρόπο το συνθετικό υλικό απέκτησε ιδιότητες που διαφέρουν από αυτές του φυσικού. Για παράδειγμα, το φυσικό καουτσούκ έχει την τάση να μαλακώνει και να διασπάται κατά την παρατεταμένη επαφή με τη βενζίνη. Το συνθετικό καουτσούκ με το όνομα ***νεοπρένιο*** είναι πολύ πιο ανθεκτικό στην επίδραση της βενζίνης. Κατασκευάζεται από το μονομερές που λέγεται ***χλωροπρένιο***. Το μονομερές αυτό έχει άτομα χλωρίου εκεί όπου το ισοπρένιο έχει μεθυλο– ομάδες. Με βάση την ιδιότητά του να είναι ανθεκτικό στη βενζίνη, το νεοπρένιο χρησιμοποιείται όταν μια τέτοια επαφή είναι πιθανή.

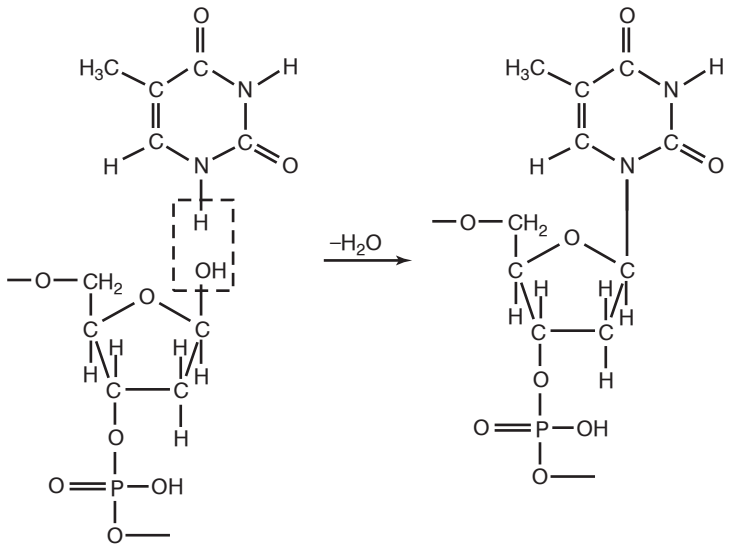
18.8 Νουκλεϊνικά οξέα, DNA και RNA.

Κληρονομικότητα είναι η μεταφορά των χαρακτηριστικών τόσο των φυτών όσο και των ζώων από τη μια γενιά στην επόμενη. Ελέγχεται από γιγαντιαία μόρια, τα οποία ονομάζονται νουκλεϊνικά οξέα· το όνομά τους οφείλεται στο γεγονός ότι βρέθηκαν για πρώτη φορά στους πυρήνες των κυττάρων*. Υπάρχουν δύο τύποι νουκλεϊνικών οξέων, (1) το ***δεσοξυριβονουκλεϊνικό οξύ***, DNA, και (2) το ***ριβονουκλεϊνικό οξύ***, RNA. DNA είναι η ουσία που μεταφέρει τα κωδικοποιημένα μηνύματα, τα οποία καθοδηγούν την ανάπτυξη του κάθε οργανισμού. Αυτός ο κώδικας βασίζεται στη σειρά με την οποία ορισμένες χημικές ομάδες απαντούν κατά μήκος της αλυσίδας των γιγαντιαίων μορίων. Το RNA έχει πολύ μεγάλη σχέση με το DNA και χρησιμεύει, εκτός των άλλων λειτουργιών, ως ο αγγελιοφόρος για τη διαβίβαση των κωδικοποιημένων μηνυμάτων του DNA. Το RNA διαφέρει από το DNA, εκτός των άλλων, και ως προς την παρουσία μιας ακόμη ομάδας –OH στο μόριο του κάθε σακχάρου (ριβόζης)**. Η αναφορά, όμως, στη φύση του DNA και στον τρόπο με τον οποίο δρα προκειμένου να μεταφέρει γενετικές πληροφορίες ισχύει το ίδιο καλά και για το RNA και για το DNA, αν και υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Στην παράγραφο 18.10 θα εξηγηθούν εκτενέστερα οι διαφορές ανάμεσα στο DNA και στο RNA.

Το μόριο του DNA αποτελείται από δύο μέρη. Το ένα μέρος είναι ο ***σκελετός (ραχοκοκκαλιά)***. Πρόκειται για μια μακρά αλυσίδα εναλλασσομένων μορίων σακχάρου

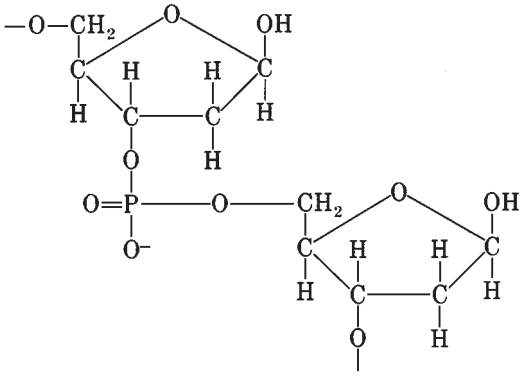
* *Σ.τ.Μ. Ο πυρήνας στα λατινικά λέγεται nucleus.*

** *Σ.τ.Μ. Δεσοξύ (De oxy) σημαίνει μείον οξυγόνο. Η δεσοξυριβόζη διαφέρει κατά ένα –OH από τη ριβόζη.*



ΣΧΗΜΑ 18-12. *Μια βασική ομάδα συνδέεται με το σκελετό του μορίου του DNA.*

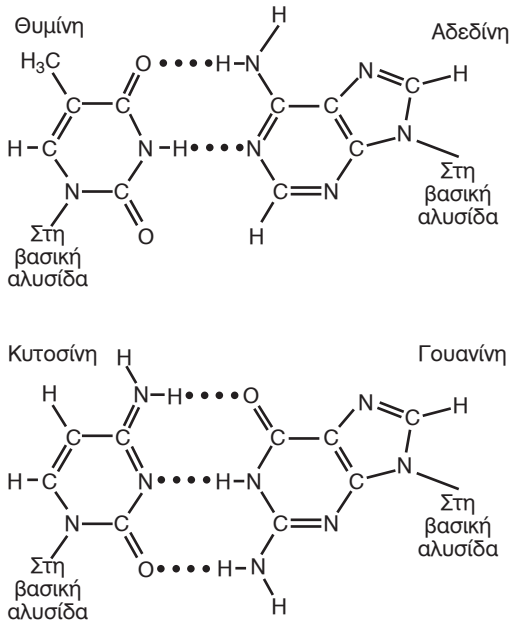
(



Το δεύτερο μέρος συνίσταται από ομάδες που ονομάζονται βάσεις. Μία από τις τέσσερις βάσεις που εικονίζονται στο σχήμα 18-11 συνδέεται με κάθε μονάδα δεσοξυριβόζης. Η σύνδεση αυτή γίνεται με αντίδραση του δεσμού N–H της βάσεως με την ομάδα –OH του μορίου της δεσοξυριβόζης, όπως δείχνει το σχήμα 18-12. (Στο κεφάλαιο 23, θα εξετασθούν οι βάσεις· όμως, για την παρούσα αναφορά στα νουκλεϊνικά οξέα, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζετε τις γενικές τους ιδιότητες).

Με ποιο τρόπο η τοποθέτηση αυτών των βάσεων σχηματίζει έναν κώδικα για τη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών, τον επονομαζόμενο ***γενετικό κώδικα***; Αν και απομένουν πολλά ακόμη άγνωστα σχετικά με αυτόν, οι επιστήμονες έχουν ανακαλύψει μερικές από τις βασικότερες ιδιότητες του κώδικα. Για παράδειγμα, ένα μόριο DNA μπορεί, με κωδικοποιημένο τρόπο, να καθορίσει τη σειρά με την οποία πρέπει να συνδεθούν τα αμινοξέα προκειμένου να σχηματίσουν μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη. Αυτό το κατορθώνει, καθορίζοντας ότι μια ιδιαίτερη αλληλουχία των τριών βάσεων αντιστοιχεί σε μια ιδιαίτερη σειρά αμινοξέων. Υπάρχουν 64 διαφορετικοί τρόποι για να συνδυασθούν οι τέσσερις βάσεις A, T, G και C. Πρώτη στη σειρά μπορεί να είναι οποιαδήποτε από τις 4 βάσεις, το ίδιο η δεύτερη και η τρίτη. Έτσι, 4 x 4 x 4 = 64. Δεν χρησιμοποιούνται όλες αυτές οι σειρές. Στην πραγματικότητα, μόνο 20 περίπου συνδυασμοί από τους 64 χρησιμεύουν, για να σχηματισθούν κωδικές λέξεις για τα 20 αμινοξέα. Επί πλέον, μερικοί από αυτούς τους συνδυασμούς χρησιμοποιούνται για να δείξουν πού αρχίζει και πού τελειώνει το διάβασμα του κώδικα, και όχι ως κωδικές λέξεις αμινοξέων. Οι επιστήμονες γνωρίζουν σήμερα τις κωδικές λέξεις για όλα τα σημαντικά αμινοξέα.

Γεννάται όμως τώρα το ερώτημα πώς μεταφέρεται η κωδικοποιημένη πληροφορία από τη μια γενιά κυττάρων στην επόμενη; Η απάντηση βρίσκεται στη δομή του μορίου του DNA, η οποία εξετάζεται στην επόμενη παράγραφο.



ΣΧΗΜΑ. 18-13. *Μερικά ζεύγη βάσεων. Οι βάσεις θυμίνη/αδενίνη και κυτοσίνη/γουανίνη ταιριάζουν πολύ καλά και συνδεόμενες με δεσμούς υδρογόνου σχηματίζουν ζεύγη βάσεων στο DNA.*

18.9 Η διπλή έλικα και η έννοια του προτύπου.*

Όλες οι βάσεις που απαντούν στο DNA έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν στο σχηματισμό δεσμών υδρογόνου. Στην πραγματικότητα, αυτές οι βάσεις έχουν μεγάλη εκλεκτική ικανότητα όταν συνδέονται μεταξύ τους. Όπως δείχνει το σχήμα 18-13, η θυμίνη συνδέεται με την αδενίνη (AT), ενώ η κυτοσίνη συνδέεται με την γουανίνη (GC). Αυτοί είναι οι μόνοι δυνατοί και επιτρεπόμενοι συνδυασμοί**.

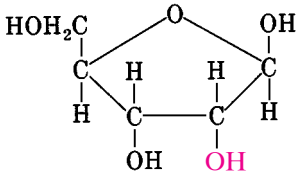
Επειδή σχηματίζονται ζεύγη βάσεων, τα μόρια του DNA έχουν δομή διπλής έλικας. Αυτό φαίνεται στη σχηματική περιγραφή του σχήματος 18-14α και στο πραγματικό μοριακό πρότυπο του σχήματος 18-14β. Στο διάγραμμα, η κάθε ταινία παριστάνει το σκελετό που αποτελείται από διαδοχικές μονάδες δεσοξυριβόζης και φωσφορικών ομάδων. Οι τελείες συμβολίζουν τα ζεύγη των βάσεων που συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου.

Εξ αιτίας της πολύ εκλεκτικής ***συμπληρωματικής*** φύσεως των ζευγών των βάσεων, η διαδοχή των βάσεων στην κάθε μία από τις περιελιγμένες αλυσίδες ή νήματα, προκαθορίζει αυστηρά τη διαδοχή στην άλλη. Για παράδειγμα, άν έχομε τη διαδοχή ...TGATCCG... στη μια αλυσίδα, στο αντίστοιχο τμήμα της άλλης θα πρέπει να υπάρχει η διαδοχή ...ACTAGGC.... Η σειρά με την οποία βρίσκονται συνδεδεμένες σε μια αλυσίδα οι βάσεις, δρα ως ***χνάρι*** (δηλαδή ως πρότυπο–καλούπι ή οδηγός) για την άλλη.

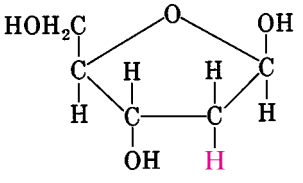
Με βάση το μηχανισμό του προτύπου, είναι δυνατόν να κατασκευασθούν αντίγραφα των μορίων του DNA. Για να γίνει αυτό, πρώτα εκδιπλώνονται και διαχωρίζονται οι δύο έλικες ενός μορίου DNA. Στη συνέχεια, η κάθε μια δημιουργεί πάνω της μια νέα συμπληρωματική αλυσίδα, η οποία είναι πιστό αντίγραφο και αντικαθιστά την αλυσίδα την οποία ήταν προηγουμένως συμπληρωματική. Εν τω μεταξύ, η προηγούμενη συμπληρωματική αλυσίδα αποκτά επίσης ένα νέο συμπληρωματικό "σύντροφο" περιελιγμένο γύρω της. Κατ' αυτόν τον τρόπο, από ένα μόριο DNA δημιουργούνται δύο πανομοιότυπα. Το κάθε ένα από τα δύο μόρια περιλαμβάνει μια αλυσίδα από το "μητρικό" μόριο του DNA, και έχει την ίδια σύσταση με το μητρικό.

18.10 RNA.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 18.8, το RNA έχει στενή σχέση με το DNA. Η δομή του διαφέρει από του DNA σε τρία σημεία. Περιέχει πρώτα το σάκχαρο ριβόζη.

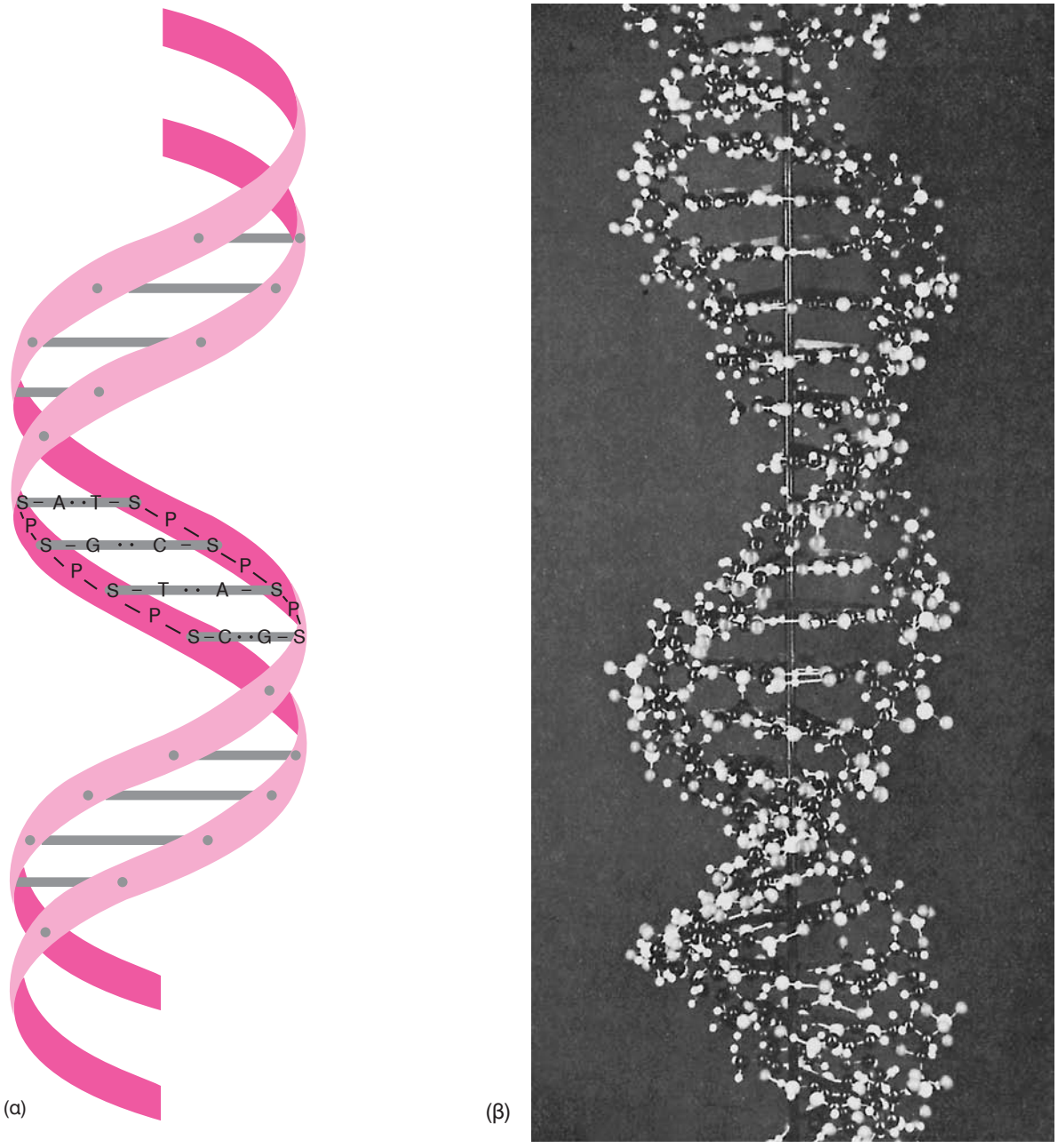


Αντίθετα, το DNA περιέχει το σάκχαρο δεσοξυριβόζη.



Αξίζει να σημειωθεί ότι το σάκχαρο δεσοξυριβόζη περιέχει ένα οξυγόνο λιγότερο από τη ριβόζη. Στην πραγματικότητα, το πρόθεμα

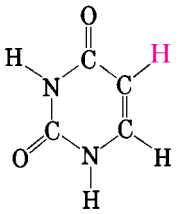
* *Σ.τ.Μ. Ο τρόπος που "φωτοαντιγράφεται" το μόριο του DNA.*
** *Σ.τ.Μ. Κάθε άλλη σύνδεση, π.χ. A–G ή C–T, δεν νομιμοποιείται.*



ΣΧΗΜΑ 18-14. *Απλοποιημένο πρότυπο της δομής της διπλής έλικας του DNA (α). Τα γράμματα S και P παριστάνουν τις ομάδες των σακχάρων (sugar) και τις φωσφορικές (phosphate) πάνω στο σκελετό. Τα γράμματα A, T, C, και G παριστάνουν τις βάσεις που αναφέρονται και στο σχήμα 18-11. Ένα πραγματικό ατομικό πρότυπο της δομής του DNA*

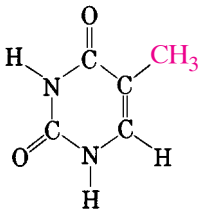
"δεσοξυ" σημαίνει ότι κάποιο μόριο περιέχει λιγότερο οξυγόνο από κάποιο άλλο ανάλογο. Ο σκελετός του RNA αποτελείται από ριβόζη που εναλλάσσεται με φωσφορικές μονάδες. Όπως και στο DNA, στο σκελετό είναι συνδεδεμένες βάσεις.

Δεύτερον, στο RNA απαντά η βάση ουρακίλη (U).



Η βάση αυτή αντικαθιστά τη βάση της θυμίνης

(T) που υπάρχει στο DNA.



Η θυμίνη έχει μια μεθυλο–ομάδα εκεί όπου η ουρακίλη έχει ένα υδρογόνο. Αυτό φαίνεται καθαρά αν συγκριθεί το σχεδιάγραμμα της θυμίνης με της ουρακίλης. Στο DNA με την αδενίνη συνδέεται η θυμίνη (AT), ενώ στο RNA με την αδενίνη συνδέεται η ουρακίλη (AU).

Τρίτον, το RNA απαντά συνήθως με τη μορφή μονής έλικας. Η δομή αυτή φυσικά διαφέρει από τη δομή της διπλής έλικας που απαντά στο DNA.

Όπως μάθαμε, η μια έλικα του DNA χρησιμεύει ως πρότυπο για τη δημιουργία μιας συμπληρωματικής έλικας DNA, αλλά όχι μιας πανομοιότυπης με αυτήν. Μια έλικα όμως κάποιου DNA χρησιμεύει ως πρότυπο για μια έλικα RNA. Κατ' αναλογία, μια έλικα RNA λειτουργεί ως πρότυπο για τη δημιουργία άλλων αντιγράφων από την πρώτη έλικα του DNA.

Περίληψη.

Γιγαντιαία μόρια απαντούν στη φύση και στα συνθετικά καουτσούκ. Αποτελούν επίσης ένα σημαντικό τμήμα των ζώντων οργανισμών. Οι κύριοι τύποι των φυσικών γιγαντιαίων μορίων είναι οι πρωτεΐνες, το άμυλο και η κυτταρίνη, και τα νουκλεϊνικά οξέα (DNA και RNA). Οι πρωτεΐνες είναι μακρές αλυσίδες ομάδων αμινοξέων συνδεδεμένων μεταξύ τους με αμιδικούς δεσμούς. Το άμυλο και η κυτταρίνη είναι μακρές αλυσίδες μορίων γλυκόζης, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με απόσπαση μορίων νερού ανάμεσα σε ζεύγη ομάδων –OH. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία δεσμών οξυγόνου. Το άμυλο και η κυτταρίνη διαφέρουν ως προς την ακριβή δομή γύρω από κάθε οξυγόνο που συμμετέχει στο δεσμό*. Τα νουκλεϊνικά οξέα είναι τα μόρια που μεταφέρουν το γενετικό κώδικα. Περιέχουν ένα σκελετό εναλλασσομένων φωσφορικών ομάδων και ομάδων ριβόζης ή δεσοξυριβόζης με μια βάση προσκολλημένη στο κάθε σάκχαρο ριβόζη ή δεσοξυριβόζη. Ο γενετικός κώδικας βασίζεται στην αλληλουχία των βάσεων κατά μήκος της αλυσίδας του σκελετού. Η σειρά των βάσεων χρησιμεύει ως πρότυπο για τη δημιουργία νέων μορίων νουκλεϊνικών οξέων με την ίδια ακριβώς σειρά βάσεων.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Γράψτε το γενικό τύπο ενός αμινοξέος. Στη συνέχεια, δείξτε πώς ενώνονται δύο εξ αυτών, ώστε να αρχίσει να σχηματίζεται ένα μόριο πρωτεΐνης.
2. Σχεδιάστε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα της αλυσίδας με τις μονάδες γλυκόζης που υπάρχουν στην κυτταρίνη.

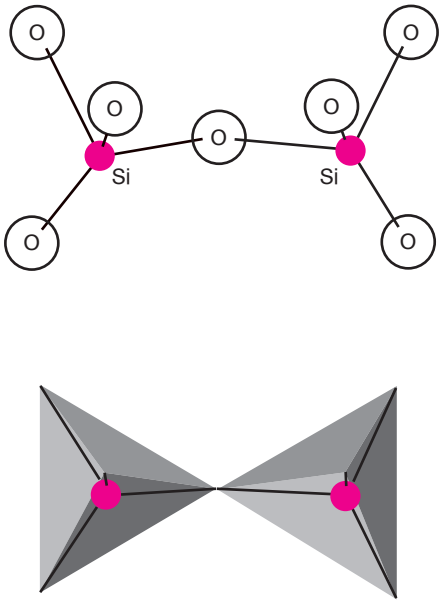
Τα πυριτικά ορυκτά είναι ανόργανα γιγαντιαία μόρια

18.11 Πυριτικά ορυκτά.

Τα πυριτικά ορυκτά είναι ουσίες που περιέχουν πυρίτιο και οξυγόνο ενωμένα έτσι, ώστε να σχηματίζουν πολύπλοκα ανιόντα. Τα κατιόντα που συνοδεύουν αυτά τα ανιόντα προέρχονται γενικά από τις ομάδες των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών, αν και πολλά σημαντικά πυριτικά περιέχουν και κατιόντα από τα στοιχεία μεταπτώσεως.

Η απλούστερη μορφή των πυριτικών ορυκτών είναι τα ορθοπυριτικά. Περιέχουν μόνο ανεξάρτητα τετραεδρικά ανιόντα SiO_4^{4-}. Τα ορθοπυριτικά είναι σπάνια. Η επόμενη πιο πολύπλοκη μορφή πυριτικής δομής είναι αυτή που περιέχει το ανιόν $[O_3Si–O–SiO_3]^{6-}$. Σχηματίζεται από δύο τετράεδρα, που μοιράζονται ένα άτομο οξυγόνου (σχ. 18-15). Και αυτή η μάλλον απλή

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή ως προς τη στερεοχημική δομή.*



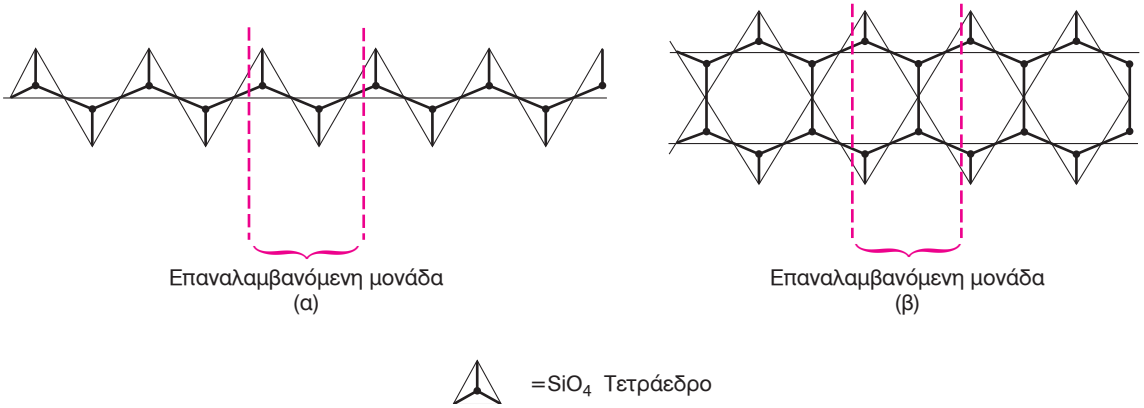
ΣΧΗΜΑ 18-15. *Όταν δύο τετράεδρα SiO_4 μοιράζονται ένα άτομο οξυγόνου, σχηματίζεται το διπυριτικό ανιόν $Si_2O_7^{6-}$.*

δομή είναι επίσης σπάνια. Οι μορφές των πυριτικών δομών που έχουν και τη μεγαλύτερη σημασία είναι πολύ περισσότερο πολύπλοκες. Αποτελούνται από αλυσίδες, ταινίες και φύλλα που σχηματίζονται από τετράεδρα SiO_4, τα οποία μοιράζονται δύο ή περισσότερα άτομα οξυγόνου.

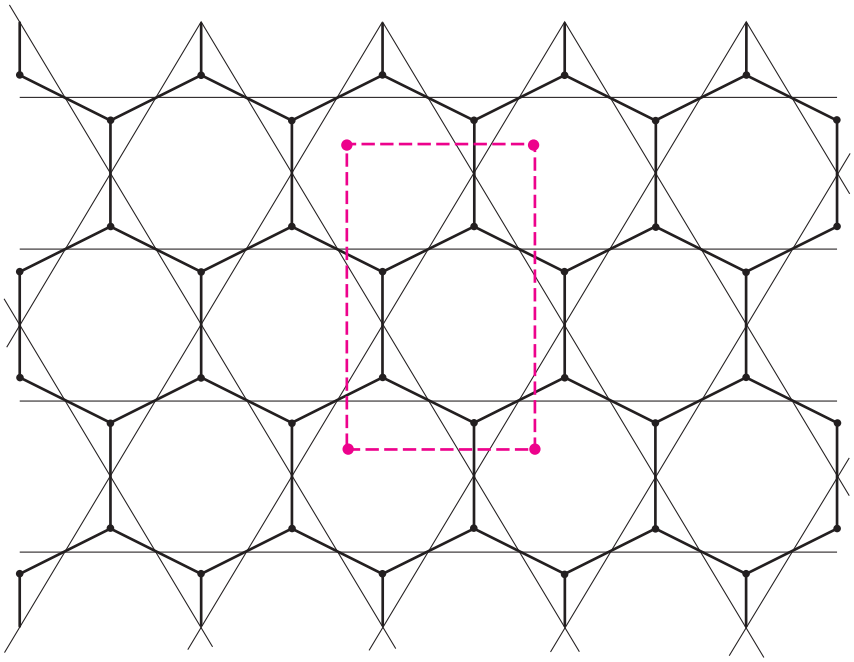
Στο σχήμα 18-16α φαίνεται μια αλυσίδα πυριτικού ανιόντος. Σε κάθε άτομο πυριτίου υπάρχουν συνδεδεμένα δύο άτομα οξυγόνου τα οποία ανήκουν εξ ολοκλήρου σε αυτό το άτομο πυριτίου και δύο ακόμη που μοιράζονται και στα γειτονικά. Το κάθε άτομο πυριτίου μπορεί να θεωρηθεί ότι διαθέτει το μισό από το κοινό άτομο οξυγόνου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, στο κάθε άτομο πυριτίου αυτής της αλυσίδας αντιστοιχούν 2+½+½=3 άτομα οξυγόνου. Ο εμπειρικός τύπος της ανιοντικής αλυσίδας είναι SiO_3^{2-}. Το φορτίο 2– προέρχεται από τους αριθμούς οξειδώσεως 2- για το οξυγόνο και 4+ για το πυρίτιο (κεφάλαιο 24 παράγρ. 24.10). Ένας άλλος τρόπος για να φθάσομε στο ίδιο συμπέρασμα είναι να εξετάσομε τις επαναλαμβανόμενες μονάδες μέσα σε αυτήν την αλυσίδα. Πρόκειται για τη μικρότερη μονάδα που μπορεί να επιλεγεί, ώστε η συνολική δομή να σχηματίζεται από σύνδεση ομοίων ομάδων από τη μια άκρη στην άλλη. Η επαναλαμβανόμενη αυτή ομάδα παρουσιάζεται στο σχήμα 18-16. Αν μετρήσομε τον αριθμό των ατόμων Si και O στην επαναλαμβανόμενη αυτή ομάδα, βρίσκομε 2 άτομα Si και 6 άτομα O. Διαιρώντας διά δύο προκύπτει SiO_3^{2-}. Το φορτίο υπολογίζεται πάλι λαμβάνοντας υπ' όψη 2– για κάθε άτομο οξυγόνου και 4+ για κάθε άτομο Si.

Στο σχήμα 18-16β φαίνεται ένας σημαντικός τύπος ανιόντος σε σχήμα ταινίας. Εδώ, ο εμπειρικός τύπος προσδιορίζεται ευκολότερα με μέτρηση όλων των ατόμων πυριτίου και οξυγόνου στην επαναλαμβανόμενη μονάδα. Η μονάδα αυτή φαίνεται στο σχήμα 18-16β. Όπως βλέπετε, υπάρχουν 4 άτομα Si και 11 άτομα οξυγόνου ανάμεσα στις κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές. Επειδή το 4 και το 11 δεν έχουν κοινό διαιρέτη, οδηγούμαστε κατευθείαν στον εμπειρικό τύπο $Si_4O_{11}^{6-}$.

Κάθε ταινία μπορεί να θεωρηθεί αποτέλεσμα της συνδέσεως δύο αλυσίδων, οι οποίες



ΣΧΗΜΑ 18-16. *Τα τετράεδρα του SiO_4 μπορούν να συνδεθούν με τη διαμεσολάβηση ατόμων οξυγόνου. Έτσι, σχηματίζονται είτε αλυσίδες ανιόντων $(SiO_3^{2-})_n$ είτε ταινίες ανιόντων $(Si_4O_{11}^{6-})_n$.*



ΣΧΗΜΑ 18-17. *Τα τετράεδρα του SiO_4 μπορούν να συνδεθούν και να σχηματίσουν ένα φύλλο ανιόντων. Ο τύπος της μονάδας που επαναλαμβάνεται, και ο οποίος περικλείεται από τις διακεκομμένες γραμμές, είναι $Si_4O_{10}^{4-}$.*

μοιράζονται τα άτομα οξυγόνου. Ας υποτεθεί τώρα ότι τοποθετούνται οι ταινίες δίπλα δίπλα και συνδέονται μοιραζόμενες επί πλέον άτομα οξυγόνου. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα ανιόν σε σχήμα φύλλου, όπως δείχνει και το σχήμα 18-17. Ο εμπειρικός τύπος ενός ανιόντος σε σχήμα φύλλου εξάγεται από τα άτομα που συμμετέχουν στην επαναλαμβανόμενη μονάδα, η οποία είναι περιγεγραμμένη. Σε αυτήν τη μονάδα υπάρχουν 4 άτομα Si και 10 άτομα O. Απλοποιώντας με το 2 λαμβάνομε ως εμπειρικό τύπο τον τύπο $Si_2O_5^{2-}$.

18.12 Αμίαντος, μίκα και γυαλί.

Αμίαντος είναι το όνομα που δίνεται στα πυριτικά ορυκτά, τα οποία έχουν ινώδη δομή. Η πλειοψηφία των πυριτικών αυτών ορυκτών αποτελείται από ταινίες ανιόντων. Κάθε ταινία έχει ένα αρνητικό φορτίο. Οι ταινίες συγκρατούνται μαζί σε παράλληλες δέσμες με θετικά ιόντα, όπως τα Na^+, Ca^{2+} και Mg^{2+}, τα οποία τοποθετούνται ανάμεσά τους σε ποσότητα ικανή να καταστήσει ολόκληρη τη δομή ουδέτερη. Η δομή αυτή διασπάται ευκολότερα κατά μήκος της διευθύνσεως της παράλληλης δέσμης, και έτσι δικαιολογεί τον ινώδη χαρακτήρα του αμιάντου. Επειδή ο αμίαντος, όπως και όλα τα πυριτικά ορυκτά, περιέχουν εκ των προτέρων τόσα οξυγόνα όσα θα ήταν σε θέση να συγκρατήσουν όλα τα άλλα στοιχεία που περικλείουν, δεν είναι δυνατόν να καούν. Γι' αυτό ο αμίαντος είναι άφλεκτος. Μπορεί να υφανθεί, σχεδόν όπως όλες οι οργανικές ίνες (τα νήματα). Κατ' αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται άφλεκτα ενδύματα.

Μίκα είναι το γενικό όνομα για μια άλλη κατηγορία πυριτικών ορυκτών. Θα έχετε πιθανότατα δει δείγματα από μίκα (σχ. 17-19) και θα έχετε εκπλαγεί από την σχεδόν απεριόριστη δυνατότητα να διαχωρίζονται σε διαρκώς λεπτότερα φύλλα. Για άλλη μια φορά, η ερμηνεία της εμφανίσεως και των ιδιοτήτων μιας ουσίας βρίσκεται στον τρόπο δομήσεως των ατόμων της. Η μίκα αποτελείται από πυριτικά ανιόντα σε μορφή φύλλου. Τα φύλλα είναι παράλληλα και συγκρατούνται μεταξύ τους από κατιόντα, όπως το Na^+ και το Mg^{2+}, τα οποία βρίσκονται ανάμεσά τους. Γι' αυτό η μίκα σπάζει σε φύλλα κατά επίπεδα παράλληλα προς τα επίπεδα των φύλλων των ανιόντων.

Το γυαλί είναι ένα από τα σημαντικότερα πολυμερή υλικά και είναι σίγουρα το πιο σημαντικό ανόργανο πολυμερές. Αποτελείται από ανιόντα του τύπου αλυσίδας μαζί με αρκετά κατιόντα όπως το Na^+, που καθιστούν την ουσία ηλεκτρικά ουδέτερη.

Στο γυαλί όμως τα ανιόντα δεν είναι διατεταγμένα κατά κανονικό τρόπο. Αντίθετα, είναι ατάκτως αναμεμιγμένα όπως μια μπάλα από καλά ανακατεμένα μακαρόνια. Γι' αυτό το γυαλί έχει τα μηχανικά χαρακτηριστικά ενός πολύ δύσκαμπτου υγρού.

Περίληψη.

Πολλά ορυκτά αποτελούνται κυρίως από πυρίτιο και οξυγόνο, μαζί με μικρότερες ποσότητες από διάφορα μεταλλικά στοιχεία, όπως το νάτριο, το ασβέστιο και το μαγνήσιο. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται πυριτικά ορυκτά. Τα περισσότερα πυριτικά περιέχουν γιγαντιαία ανιόντα, τα οποία είναι δυνατόν να αποτελούνται από αλυσίδες, ταινίες ή φύλλα τετραέδρων SiO_4, που μοιράζονται άτομα οξυγόνου. Το γυαλί περιέχει μια διάταξη περιπεπλεγμένων αλυσίδων ανιόντων. Τα ορυκτά του αμιάντου περιέχουν κυρίως ανιόντα παραλλήλων ταινιών. Τα ορυκτά από μίκα περιέχουν ανιόντα παραλλήλων φύλλων. Τα πυριτικά ανιόντα συγκρατούνται μεταξύ τους με κατιόντα, όπως το Na^+ και το Mg^{2+}.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Μια κοινή μορφή αμιάντου ονομάζεται τρεμολίτης. Το πυριτικό τμήμα έχει τον τύπο $Si_8O_{22}(OH)_2$. Ποιο είναι το φορτίο αυτής της μονάδας; Πόσα ιόντα μαγνησίου θα το συνοδεύουν;
2. Ποιος θα είναι ο εμπειρικός τύπος της ουσίας που θα σχηματισθεί, αν τετράεδρα SiO_4 τοποθετηθούν έτσι, ώστε όλα τα άτομα του οξυγόνου να είναι κοινά;
3. Ποιες είναι οι κύριες ιδιότητες του αμιάντου, της μίκας και του γυαλιού; Πώς δικαιολογούνται οι ιδιότητες αυτές με βάση τη μοριακή δομή;

Περίληψη κεφαλαίου

Τα γιγαντιαία μόρια, δηλαδή μόρια πολύ μεγάλου μεγέθους και μάζας, είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Πολλά είναι φυσικής προελεύσεως ενώ άλλα παρασκευάζονται από τον άνθρωπο και χρησιμεύουν σε ειδικές εφαρμογές.

Με βάση μερικές γενικές διαδικασίες είναι δυνατόν μικρά μόρια να ενωθούν σχηματίζοντας μεγάλες αλυσίδες. Τα μεγάλα μόρια που δημιουργούνται ονομάζονται πολυμερή. Μόρια με διπλούς δεσμούς είναι δυνατόν να πολυμερισθούν με διάνοιξη των διπλών δεσμών σχηματίζοντας νέους απλούς δεσμούς ανάμεσα στα μόρια. Πολυμερή σχηματίζονται επίσης με αντιδράσεις συμπυκνώσεως. Σε αυτές, μια ομάδα καρβοξυλίου ενός μορίου αντιδρά με μια ομάδα –OH ή $–NH_2$ ενός άλλου μορίου, για να σχηματισθεί ή ένας εστέρας ή μια αμιδοομάδα και να απομακρυνθεί ένα μόριο νερού. Αν αντιδράσουν μόρια που περιέχουν δύο καρβοξυλικές ομάδες (διοξέα) με μόρια που έχουν είτε δύο αλκολομάδες (διαλκοόλες) ή δύο αμινομάδες (διαμίνες), σχηματίζονται μεγάλα μόρια με εναλλαγή αυτών των ομάδων.

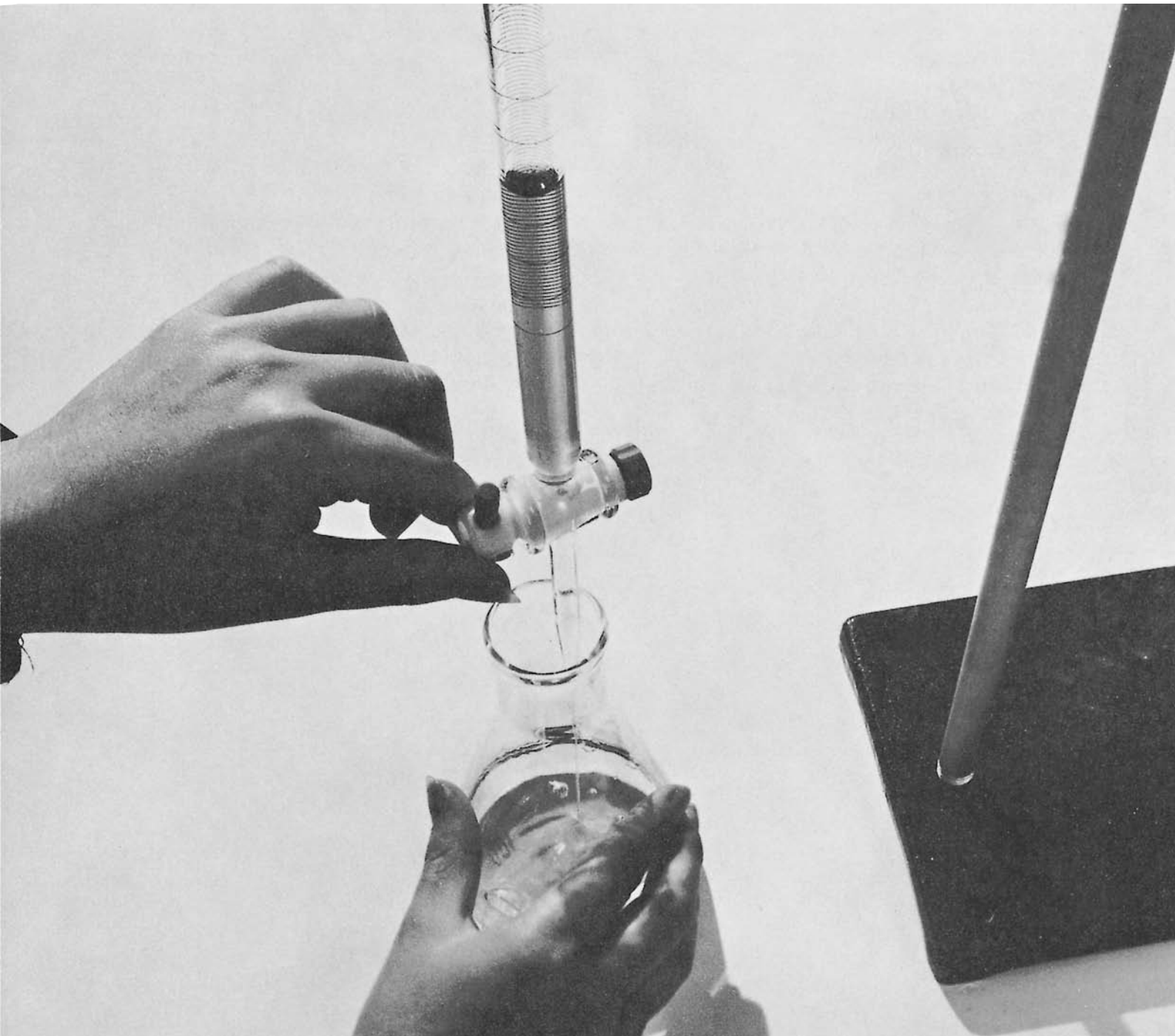
Στους ζώντες οργανισμούς, ανάμεσα στους σημαντικούς τύπους γιγαντιαίων μορίων περιλαμβάνονται οι πρωτεΐνες, το άμυλο, η κυτταρίνη και τα νουκλεϊνικά οξέα. Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από μακρές αλυσίδες αμινοξέων τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με σχηματισμό αμιδικών δεσμών (ή πεπτιδικών). Οι δεσμοί αυτοί σχηματίζονται όταν η καρβοξυλομάδα ενός αμινοξέος αντιδρά με την αμινομάδα ενός άλλου. Στις πρωτεΐνες απαντούν συνήθως περί τα είκοσι διαφορετικά αμινοξέα. Ο αριθμός των δυνατοτήτων συνδέσεώς τους είναι τεράστιος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη τεράστιου αριθμού διαφορετικών πρωτεϊνικών μορίων. Το άμυλο και η κυτταρίνη αποτελούνται από μακρές αλυσίδες μορίων γλυκόζης, που συνδέονται μεταξύ τους με απομάκρυνση ενός μορίου H_2O από δύο ομάδες –OH. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δεσμών οξυγόνου ανάμεσα στα μόρια. Οι διαφορές στις ιδιότητες ανάμεσα στο άμυλο και την κυτταρίνη οφείλονται στη διαφορετική διάταξη στο χώρο των δύο τύπων δεσμών οξυγόνου που περιέχουν. Το DNA και το

RNA είναι υπεύθυνα για τη διατήρηση και τη μετάδοση των κληρονομικών γνωρισμάτων από τη μια γενιά στην επόμενη. Το DNA αποτελείται από μακρές, διπλές ελικοειδείς αλυσίδες, εναλλασσομένων φωσφορικών ομάδων και ομάδων του σακχάρου δεσοξυριβόζης, πάνω στις οποίες έχει προσκολληθεί μια συγκεκριμένη αλληλουχία οργανικών βάσεων. Η πληροφορία καταγράφεται με κώδικα ο οποίος βασίζεται στη σειρά των μορίων (την αλληλουχία) των βάσεων. Το RNA διαφέρει από το DNA ως προς τη δομή.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Σε τι διαφέρουν τα πολυμερή από τα άλλα μεγάλα μόρια;
2. Με τη βοήθεια τύπων να δείξετε σε τι διαφέρουν τα απλά αμίδια και οι εστέρες από τα πολυαμίδια και τους πολυεστέρες.
3. Με ποιο τρόπο συμβάλλουν οι δεσμοί υδρογόνου στην αντοχή του νάυλον;
4. Γράψτε το συντακτικό τύπο για την ένωση που προκύπτει όταν δύο μόρια αιθυλενίου αντιδρούν και σχηματίζουν ένα γραμμικό μόριο με τέσσερα άτομα άνθρακα. Στη συνέχεια να δείξετε με ποιο τρόπο αντιδρά αυτό το μόριο με άλλα μόρια αιθυλενίου και σχηματίζει μακρύτερα μόρια.
5. Να σχεδιάσετε ένα τμήμα αλυσίδας πολυπροπυλενίου, που σχηματίζεται από πέντε μόρια προπυλενίου (προπενίου).
6. Τα μόρια και του νάυλον και των πρωτεϊνών είναι πολυαμίδια. Να δείξετε τις ομοιότητες και τις διαφορές ανάμεσα σε αυτούς τους δύο τύπους ενώσεων.
7. Η κυτταρίνη και το άμυλο έχουν τον ίδιο εμπειρικό τύπο. Ποια είναι η αιτία για τις σημαντικές διαφορές στις ιδιότητες αυτών των δύο υλικών;
8. Να δείξετε με ποιο τρόπο είναι δυνατόν να σχηματισθεί από δύο μόρια γλυκόζης με τον εμπειρικό τύπο $C_6H_{12}O_6$, ένα μόριο με εμπειρικό τύπο $C_{12}H_{22}O_{11}$. Αν η γλυκόζη είναι το μονομερές του αμύλου, γιατί ο εμπειρικός τύπος του αμύλου είναι $(C_6H_{10}O_5)_n$, όπου n είναι ένας μεγάλος αριθμός;
9. Να δώσετε δύο παραδείγματα μορίων με διακλαδιζόμενες αλυσίδες. Γιατί οι διακλαδιζόμενες αλυσίδες είναι σημαντικές για τη βιομηχανία καουτσούκ;
10. Να ονομάσετε δύο σχήματα, που μπορούν να πάρουν τα μόρια πρωτεΐνης. Ποιο είδος δεσμού καθιστά ικανά τα μόρια της πρωτεΐνης να αποκτήσουν αυτό το είδος σχημάτων;
11. Πώς παρασκευάζεται ένα αντίγραφο του DNA;
12. Να δείξετε πώς συνδέονται οι ομάδες των βάσεων με τις ομάδες των σακχάρων στο DNA.
13. Τι εννοούμε λέγοντας συμπληρωματική φύση των ζευγών των βάσεων;
14. Ας υποτεθεί ότι ένα τμήμα DNA περιέχει τρεις από τις ομάδες των βάσεων, π.χ. A, T και G. Πόσες διαφορετικές αλληλουχίες βάσεων είναι δυνατές; Να τις δείξετε.
15. Σε τι διαφέρει το RNA από το DNA;

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ



Η δυναμική της χημείας

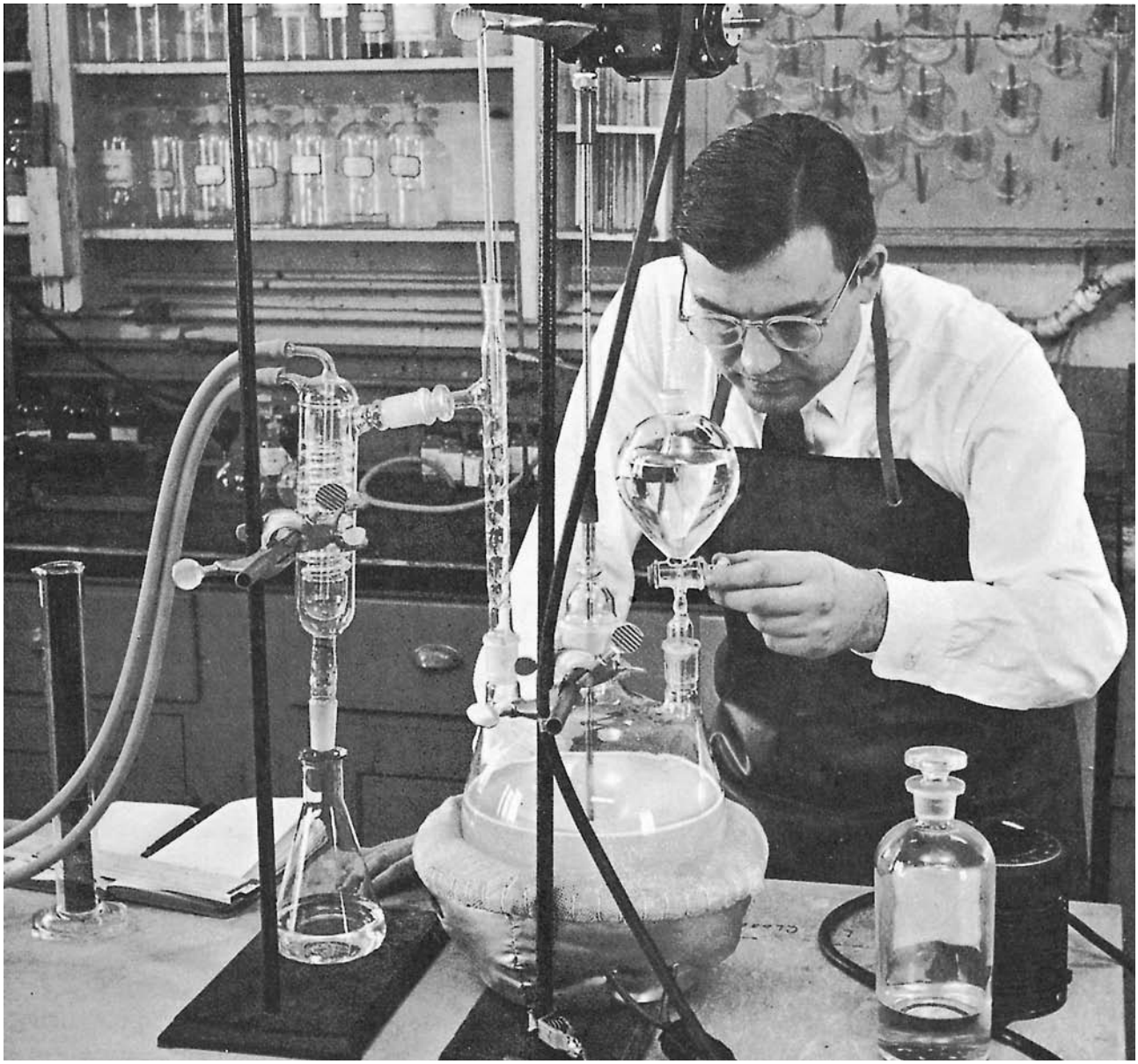
Η χημεία ασχολείται με αλλαγές και μετασχηματισμούς στη σύσταση της ύλης των διαφόρων υλικών. Μερικές από αυτές τις χημικές αλλαγές είναι τόσο έντονες και θεαματικές όσο η κατασκευή του σιδήρου και του χάλυβα. Άλλες είναι τόσο ήπιες και συνηθισμένες, όπως αυτές που πραγματοποιούνται, όταν βράζομε ένα αυγό. Όπως γνωρίζετε η γνώση των δομών των ατόμων και των μορίων αποτελεί ζωτικής σημασίας τμήμα της χημείας και η κατανόηση των χημικών δεσμών εξακολουθεί να αποτελεί για τον ερευνητή χημικό πεδίο προβληματισμού που θέτει σε δοκιμασία όλη τη νοημοσύνη του. Οπωσδήποτε όμως, σε τελική ανάλυση, η επιστήμη της χημείας επιδιώκει να ερμηνεύει το ***πώς*** και το ***γιατί*** πραγματοποιούνται οι ***χημικές αντιδράσεις***. Η μελέτη των αντιδράσεων αποτελεί την κυριότερη δραστηριότητα των χημικών.

Χημικές μεταβολές πραγματοποιούνται διαρκώς στο φυσικό κόσμο. Προκειμένου να τις μελετήσουν οι χημικοί στα εργαστήριά τους, προσπαθούν να ελέγξουν μερικές αντιδράσεις. Αναμιγνύουν ουσίες, μελετούν τις αλλαγές που γίνονται όταν αντιδρούν και προσδιορίζουν τα προϊόντα που σχηματίζονται. Κατ' αυτόν τον τρόπο ελέγχουν τις αντιδράσεις, ώστε να είναι σε θέση να τις αξιοποιήσουν σε πρακτικές εφαρμογές.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα μάθετε πώς προσδιορίζουν οι χημικοί τις μεταβολές της ενέργειας που συνεπάγονται οι χημικές αλλαγές, καθώς και τις ταχύτητες αυτών των χημικών αλλαγών. Θα προσεγγίσετε επίσης τον τρόπο με τον οποίο μελετούν τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις ταχύτητες και τα προϊόντα, καθώς και το πώς γίνονται οι χημικοί υπολογισμοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

Χημικές αντιδράσεις και υπολογισμοί



Οι υπολογισμοί αποτελούν σημαντικό τμήμα του έργου ενός χημικού. Εδώ, ο χημικός έχει πολύ κοντά στο χέρι του το λογαριθμικό του κανόνα (αριστερά) (Ο λογαριθμικός κανόνας χρησιμοποιούνταν παλαιότερα για τους μαθηματικούς υπολογισμούς. Σήμερα αντικαταστάθηκε από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή τσέπης).

Αλλαγές γίνονται γύρω μας κάθε μέρα· η καύση των ξύλων, το σκούριασμα του σιδήρου, η τήξη του πάγου, η αποσύνθεση των οργανικών υλικών είναι μερικές από αυτές. Είναι άραγε μόνο αλλαγές φάσεως ή πρόκειται για χημικές αλλαγές κατά τις οποίες σχηματίζονται εντελώς νέες ουσίες; Αν λιώσετε ένα κομμάτι κερί, φαίνεται να αλλάζει: Από ένα γαλακτόχρωμο στερεό μετατρέπεται σε ένα διαφανές υγρό. Κατά την ψύξη, το υγρό σκληραίνει και μετατρέπεται εκ νέου στο αρχικό γαλακτόχρωμο στερεό. Είναι προφανές ότι πρόκειται για μια αλλαγή φάσεως. Όταν όμως ***κάψετε*** το κερί, εκλύονται αέρια. Τα αέρια αυτά αποδεικνύεται ότι είναι ατμοί νερού και διοξείδιο του άνθρακα, που είχε το κερί από το οποίο ξεκινήσατε.

Πώς είναι δυνατόν να εκφρασθεί αυτή η χημική αντίδραση ποιοτικά (με λόγια) ή ποσοτικά (με αριθμούς); Στο κεφάλαιο αυτό θα μάθετε πώς να προσδιορίζετε τους αριθμούς και τα είδη των ατόμων κάποιας ουσίας, καθώς και τους τρόπους με τους οποίους συνδέονται και ανακατανέμονται τα άτομα μιας ουσίας, όταν συντελούνται χημικές αλλαγές. Επίσης, θα μάθετε τη χημική "στενογραφία" που χρησιμοποιείται, για να περιγραφούν οι ουσίες και οι αντιδράσεις στις οποίες συμμετέχουν. Η μελέτη αυτή των ποσοτικών σχέσεων που συνεπάγεται μια χημική αντίδραση ονομάζεται ***στοιχειομετρία***.

Χημικοί τύποι και εξισώσεις

19.1Σθένος, η ικανότητα συνδέσεως των στοιχείων.

Ας ρίξομε μια ματιά σε μερικούς από τους τύπους ενώσεων με τις οποίες έχομε ασχοληθεί προηγουμένως. Στην περίπτωση του νερού, H_2O, ο τύπος δείχνει ότι δύο άτομα υδρογόνου έχουν συνδεθεί με ένα άτομο οξυγόνου. Στην περίπτωση του χλωριούχου νατρίου, NaCl, το νάτριο και το χλώριο έχουν ενωθεί σε μια αναλογία ένα προς ένα. Στο καυστικό κάλιο, KOH, υπάρχει ένα άτομο καλίου, ένα άτομο οξυγόνου και ένα άτομο υδρογόνου. Οι μελέτες που έγιναν στο κεφάλαιο 14 για την ηλεκτρονική διαμόρφωση και τους χημικούς δεσμούς, έδωσαν μια κατανοητή ερμηνεία του τι πραγματικά καθορίζει την "ικανότητα συνδέσεως" των στοιχείων. Για παράδειγμα, μάθατε γιατί ένα άτομο του μετάλλου κάλιο ενώνεται με ένα άτομο του αλογόνου βρώμιο και σχηματίζει το KBr, ενώ ένα άτομο του μετάλλου ασβέστιο ενώνεται με δύο άτομα βρωμίου και σχηματίζει το $CaBr_2$. Διαπιστώσατε ότι η ικανότητα συνδέσεως του ατόμου είναι στην πραγματικότητα η ικανότητα σχηματισμού δεσμών. Με απλούστερα λόγια, η ικανότητα σχηματισμού δεσμών αφορά στην τάση ενός ατόμου να μεταφέρει ή να μοιράζεται τα εξωτερικά του ηλεκτρόνια με άλλα άτομα.

Ένας όρος που χρησιμοποιείται ευρέως, όταν γίνεται αναφορά στις ικανότητες συνδέσεως των ατόμων, είναι το ***σθένος***. Ο όρος αυτός αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη σωστή πρόβλεψη των τύπων για πολλές από τις απλούστερες ενώσεις. Το σθένος είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ένα άτομο χάνει, κερδίζει ή μοιράζεται, όταν σχηματίζει χημικούς δεσμούς με άλλα άτομα. Για την παράσταση του σθένους χρησιμοποιούνται θετικά και αρνητικά πρόσημα. Το θετικό σημαίνει συνήθως ότι ένα άτομο χάνει, ενώ το αρνητικό ότι κερδίζει ηλεκτρόνια.

Όπως ήδη ορίσθηκε, το σθένος είναι δυνατόν να αναφέρεται σε άτομα, τα οποία μοιράζονται κυρίως ηλεκτρόνια. Μερικοί επιστήμονες όμως προτιμούν να χρησιμοποιούν τον όρο μόνο όταν αναφέρονται σε ιόντα και στα φορτία τους. Αν χρησιμοποιείται κατ' αυτόν τον τρόπο το σθένος, σημαίνει "το φορτίο ενός ιόντος". Σε αυτό το βιβλίο, το σθένος θα χρησιμοποιηθεί μόνο με αυτήν την έννοια.

Προκειμένου να εξοικειωθείτε με τα κοινά ιόντα και τα φορτία τους, θα πρέπει να μελετήσετε προσεκτικά τον πίνακα 19.1.

Ένα από τα πρώτα πράγματα που αξίζει να σημειωθούν είναι ότι τα ιόντα των μετάλλων των αλκαλίων έχουν φορτίο 1+. Έχουν αυτό το φορτίο, επειδή το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία έχει ένα ηλεκτρόνιο στο εξωτερικό του τροχιακό (σθένος), το οποίο διατίθεται για το σχηματισμό δεσμού.

Παρατηρήστε ότι τα ιόντα των αλκαλικών γαιών έχουν φορτίο 2+. Το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία έχει δύο ηλεκτρόνια σθένους διαθέσιμα για το σχηματισμό δεσμών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 19.1.
Ονόματα, τύποι και φορτία (σθένη) μερικών κοινών ιόντων.

Θετικά ιόντα	Αρνητικά ιόντα
1+	1–
αμμώνιο, NH_4^+	οξικό, $C_2H_3O_2^-$
χαλκός (I), Cu^+	βρωμίου, Br^-
υδρογόνο, H^+	χλωρικό, ClO_3^-
λίθιο, Li^+	χλωρίου, Cl^-
υδράργυρος (I), Hg_2^{2+}	φθορίου, F^-
κάλιο, K^+	όξινο ανθρακικό, HCO_3^-
άργυρος, Ag^+	όξινο θειικό, HSO_4^-
νάτριο, Na^+	υδροξύλιο, OH^-
2+	ιωδίου, I^-
βάριο, Ba^{2+}	νιτρικό, NO_3
ασβέστιο, Ca^{2+}	νιτρώδες, NO_3^-
χρώμιο (II), Cr^{2+}	υπερμαγγανικό, MnO_4^-
χαλκός (II), Cu^{2+}	2–
σίδηρος (II), Fe^{2+}	ανθρακικό, CO_3^{2-}
μόλυβδος (II), Pb^{2+}	χρωμικό, CrO_4^{2-}
μαγνήσιο (II), Mg^{2+}	οξείδιο, O^{2-}
μαγγάνιο (II), Mn^{2+}	υπεροξείδιο, O_2^{2-}
υδράργυρος (II), Hg^{2+}	θειικό, SO_4^{2-}
νικέλιο (II), Ni^{2+}	θειούχο ή σουλφίδιο, S^{2-}
ψευδάργυρος, Zn^{2+}	θειώδες, SO_3^{2-}
3+	3–
αλουμίνιο, Al^{3+}	σιδηροκυανιούχο, $Fe(CN)_6^{3-}$
χρώμιο (III), Cr^{3+}	φωσφορικό, PO_4^{3-}
σίδηρος (III), Fe^{3+}	

Κοιτάξτε προσεκτικά το μεγάλο αριθμό των πολυατομικών ιόντων. Τα ιόντα αυτά περιεγράφησαν στην παράγραφο 17.11. Θυμηθείτε ότι κάθε πολυατομικό ιόν είναι μια πολύ σταθερή ομάδα ατόμων, τα οποία ως ομάδα φέρουν κάποιο φορτίο.

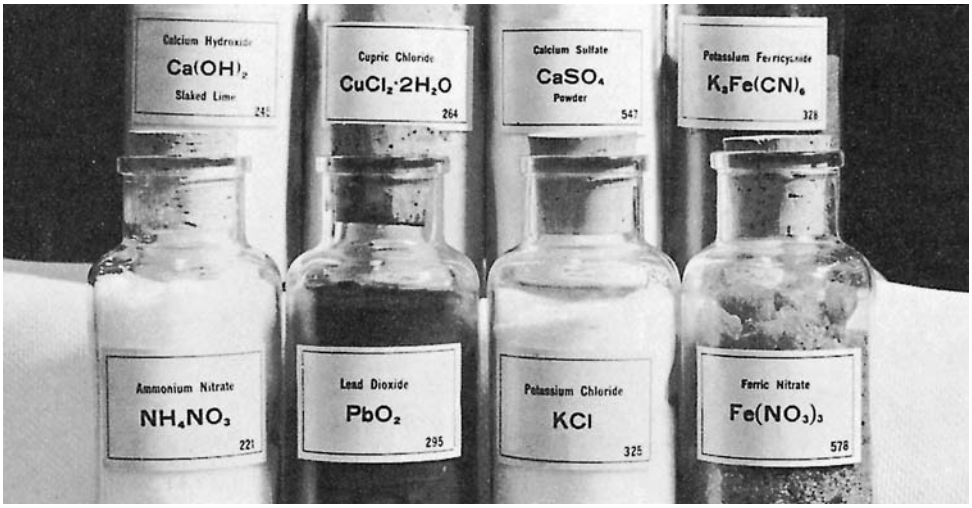
Αν μελετήσετε ακόμη καλύτερα τον πίνακα, θα διαπιστώσετε ότι μερικά στοιχεία διαθέτουν περισσότερα από ένα φορτία ή σθένη. Δηλαδή σχηματίζουν ιόντα, τα οποία έχουν κάποια διαφορετικά φορτία. Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία αποκτούν ή χάνουν διαφορετικό αριθμό ηλεκτρονίων. Για παράδειγμα, ο χαλκός σχηματίζει δύο διαφορετικά ιόντα, Cu^+ και Cu^{2+}. Τα δύο αυτά ιόντα δείχνουν ότι ο χαλκός μπορεί να χάσει το ένα ή τα δύο από τα ηλεκτρόνιά του αντίστοιχα.

19.2 Η χρησιμοποίηση των κανόνων του σθένους για τη γραφή των τύπων.

Κατά τη γραφή των τύπων πολλών απλών ενώσεων εφαρμόζονται συνήθως οι ακόλουθοι κανόνες:

1. Πρώτο γράφεται το στοιχείο με το πιο θετικό σθένος.
2. Τελευταίο γράφεται το στοιχείο με το πιο αρνητικό σθένος.
3. Το συνολικό φορτίο της ενώσεως που σχηματίζεται πρέπει να είναι μηδέν. Δηλαδή θα πρέπει να εξισορροπούνται τα φορτία που υποδηλώνονται από τους αριθμούς του σθένους. Για να γίνει αυτό, γράφονται δείκτες στο κάτω δεξιό τμήμα του στοιχείου ή του πολυατομικού ιόντος.
4. Το σθένος των πολυατομικών ιόντων θα πρέπει να είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων των διαφόρων ατόμων που συνιστούν το πολυατομικό ιόν.
5. Αν ένα πολυατομικό ιόν εμφανίζεται περισσότερες από μία φορές στον τύπο, περικλείεται σε παρενθέσεις και ο δείκτης τοποθετείται ακριβώς έξω στην κάτω δεξιά πλευρά. Ποτέ δεν χρησιμοποιούνται παρενθέσεις γύρω από ένα μόνο στοιχείο.

Η εφαρμογή των κανόνων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί, αν γράψετε τους τύπους για μερικές ενώσεις με τις οποίες έχετε κιόλας εξοικειωθεί. Για παράδειγμα, για να γράψετε τον τύπο του νερού, γράψτε πρώτα το στοιχείο με το



ΣΧΗΜΑ 19-1. *Και τα ονόματα και οι χημικοί τύποι είναι χρήσιμα για τον προσδιορισμό των χημικών ενώσεων.*

θετικό σθένος (υδρογόνο). Στη συνέχεια, γράψτε το στοιχείο με το αρνητικό σθένος (οξυγόνο). Ο τύπος μέχρις εδώ είναι HO. Προσέξτε όμως ότι ο αριθμός σθένους του υδρογόνου είναι 1+, ενώ του οξυγόνου είναι 2–. Χρειάζονται δύο άτομα υδρογόνου με σθένος 1+, για να υπάρξει ισορροπία με το ένα άτομο οξυγόνου με σθένος 2–. Έτσι, ο τύπος της ενώσεως γίνεται ο γνωστός H_2O.

Κατ' ανάλογο τρόπο μπορείτε να γράψετε τον τύπο για την ένωση που σχηματίζεται ανάμεσα σε ασβέστιο και οξυγόνο. Επειδή το ασβέστιο έχει θετικό σθένος, γράφεται πρώτο. Το οξυγόνο, με αρνητικό σθένος, γράφεται τελευταίο. Επειδή οι αριθμοί σθένους αυτών είναι ίσοι, ο τύπος γίνεται CaO.

Τώρα πλέον γνωρίζετε ότι για την ικανότητα ενός ατόμου προς σύνδεση ευθύνονται ο αριθμός και η διάταξη των ηλεκτρονίων στα τροχιακά σθένους του. Οι προηγούμενοι όμως κανόνες παρέχουν μια σύντομη τεχνική για τη γραφή των τύπων χωρίς να αναζητούνται κάθε φορά οι δομές των ηλεκτρονίων που συμμετέχουν στην κάθε περίπτωση.

Για το ιόν του υδροξυλίου, OH^-, το συνολικό φορτίο είναι 1–. Αυτό συνάγεται από το γεγονός ότι το οξυγόνο έχει σθένος 2–, ενώ το υδρογόνο έχει σθένος 1+.

19.3Η ονοματολογία των χημικών ενώσεων.

Αφού μάθατε να γράφετε τους σωστούς τύπους διαφόρων χημικών ενώσεων, είναι χρήσιμο να μάθετε και μερικούς κανόνες για την ονοματολογία τους. Όπως βλέπετε και στο σχήμα 19-1, τόσο τα ονόματα όσο και οι τύποι είναι χρήσιμοι για τον προσδιορισμό των ενώσεων.

Πολλές από τις ενώσεις που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα περιέχουν μόνο δύο είδη στοιχείων. Ονομάζονται ***διστοιχειακές*** ενώσεις (ή ενώσεις δύο στοιχείων). Θα προσέξατε ότι τα ονόματα των διστοιχειακών ενώσεων αρχίζουν με το όνομα του στοιχείου που έχει το αρνητικό σθένος. Είναι αυτό που τελειώνει σε ***-ούχο*** ή ***-ίδιο*** ή ***-ικό***:

NaCl	χλωριούχο νάτριο
$CaCl_2$	χλωριούχο ασβέστιο
CaO	οξείδιο του ασβεστίου
Al_2O_3	οξείδιο του αλουμινίου

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά, αν και όχι όλα, από τα ονόματα των αρνητικών πολυατομικών ιόντων καταλήγουν σε ***-ικό***. Προκειμένου για ορισμένα σημαντικά πολυατομικά ιόντα, όπως είναι το ιόν αμμωνίου (NH_4^+) και το νιτρικό ιόν (NO_3^-), θα πρέπει να απομνημονευθούν τα ονόματά τους. Στη συνέχεια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, για να σχηματίσουν τα ονόματα των ενώσεων στις οποίες απαντούν. Για παράδειγμα, το NH_4NO_3 λέγεται νιτρικό αμμώνιο.

$NaNO_3$	νιτρικό νάτριο
NH_4NO_3	νιτρικό αμμώνιο
$Ca_3(PO_4)_2$	φωσφορικό ασβέστιο

Αναφέρθηκε ότι κατά το σχηματισμό των ενώσεων μερικά στοιχεία εμφανίζουν

περισσότερα από ένα σθένη. Οι ενώσεις αυτές είναι διαφορετικές ουσίες και ως εκ τούτου έχουν διαφορετικές ιδιότητες και τύπους. Γι' αυτό είναι σημαντικό να γνωρίζετε πώς ονομάζονται αυτές οι ενώσεις. Ας πάρομε για παράδειγμα την αντίδραση ανάμεσα στον υδράργυρο και το οξυγόνο. Με τη βοήθεια των προηγουμένων κανόνων μπορείτε να δείτε ότι είναι δυνατόν να γραφούν δύο τύποι:

Hg_2O (ο υδράργυρος έχει σθένος 1+)
HgO (ο υδράργυρος έχει σθένος 2+)

Σύμφωνα με το επικρατέστερο σύστημα, οι καταστάσεις διαφορετικού σθένους προσδιορίζονται ως εξής: Του μεν Hg_2O ως οξείδιο του υδραργύρου (I), του δε HgO ως οξείδιο του υδραργύρου (II). Τα I και II δείχνουν τα σθένη του υδραργύρου*.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

19.4 Συμπεριφορά του στερεού σιδήρου μέσα σε υδατικό διάλυμα θειικού χαλκού.

Όταν ένας χημικός θέλει να παρασκευάσει κάποια ποσότητα ενός προϊόντος, θα πρέπει να γνωρίζει ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στις ποσότητες των αρχικών πρώτων υλών και του προϊόντος που πρόκειται να παρασκευάσει. Η γνώση της σχέσεως ανάμεσα στα moles των αντιδρώντων και στα moles των προϊόντων τον βοηθούν να αναμίξει τις σωστές αναλογίες χωρίς να σπαταλά άσκοπα τις ουσίες.

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα αυτό θα αντιδράσει μια γνωστή ποσότητα σιδήρου με περίσσεια θειικού χαλκού, μέσα σε νερό. Στη συνέχεια θα προσδιορίσετε ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στον αριθμό των moles του σιδήρου που χρησιμοποιήθηκε και στον αριθμό των moles του προϊόντος που σχηματίσθηκε κατά την αντίδραση.

ΥΛΙΚΑ

1 γραμμάριο ρινισμάτων ή σκόνης σιδήρου
2 ποτήρια ζέσεως των 100 ml
Ορθοστάτης, δακτύλιος
Συρμάτινο πλέγμα αμιάντου
1-2 σταγόνες διαλύματος απορρυπαντικού
Λύχνος
Ζυγός, σταθμά

5 γραμμάρια κρυστάλλων θειικού χαλκού ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

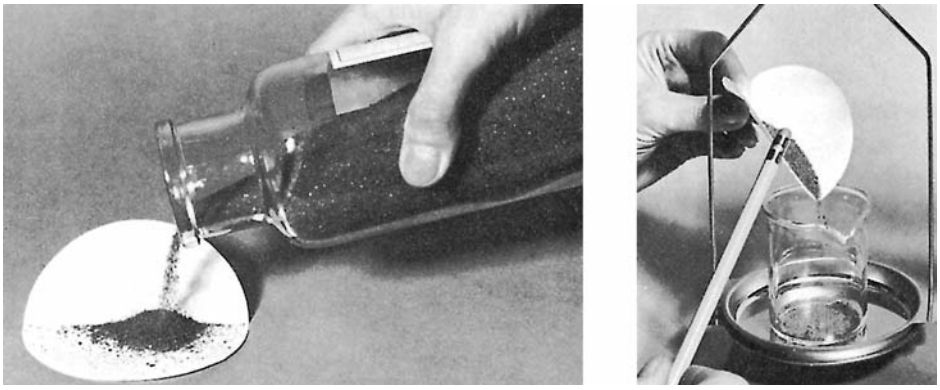
1. Υπολογίστε τη μάζα του ποτηριού των 100 ml με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Προσθέστε 5,0-5,1 g κρυστάλλων θειικού χαλκού στο ποτήρι

---

* *Σ.τ.Μ. Σύμφωνα με την αμερικανική ονοματολογία, η ονομασία των γνωστών ενώσεων ακολουθεί επίσης πολύ απλούς κανόνες, αν και αρκετά διαφορετικούς από αυτούς που εφαρμόζονται στην ελληνική. Το μεταλλικό στοιχείο (εκείνο που διαθέτει το θετικό σθένος) διαβάζεται πρώτο. Το όνομα του στοιχείου με το αρνητικό σθένος συνήθως αποτελεί το δεύτερο συνθετικό του ονόματος, με την κατάληξη -ide (π.χ. chloride, oxide). Στην περίπτωση των αρνητικών πολυατομικών ιόντων η κατάληξη που χρησιμοποιείται είναι -ate (π.χ. sodium nitrate για το $NaNO_3$ και ammonium nitrate για το NH_4NO_3).*

Προκειμένου για τα στοιχεία που διαθέτουν περισσότερα από ένα σθένη, εκτός από την ονοματολογία στην οποία αναφέρεται το σθένος του στοιχείου [π.χ. mercury(I) oxide για το Hg_2O ή mercury (II) oxide για το HgO], υπάρχει και ένα ακόμη σύστημα ονομασίας. Σύμφωνα με αυτό, το μικρότερο σθένος του μετάλλου δηλώνεται με την κατάληξη -ous και το μεγαλύτερο σθένος με την κατάληξη -ic (π.χ. mercurous oxide για το Hg_2O και mercuric oxide για το HgO). Ως ένα ακόμη παράδειγμα, οι δύο χλωριούχες ενώσεις του χαλκού, CuCl και $CuCl_2$, είναι δυνατόν να ονομασθούν με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

CuCl copper(I) chloride, ή cuprous chloride
$CuCl_2$ copper(II) chloride, ή cupric chloride.



ΣΧΗΜΑ 19-2. *Κατάλληλες τεχνικές για τη μεταφορά στερεών χημικών ουσιών με τη μορφή σκόνης ή μικρών τεμαχιδίων είναι τόσο η αργή περιστροφή της φιάλης που περιέχει το αντιδραστήριο (αριστερά) όσο και το μαλακό κτύπημα του χάρτινου φίλτρου (δεξιά). Και τα δύο εξασφαλίζουν ομαλή σταθερή μεταφορά του υλικού.*

που βρίσκεται πάνω στο ζυγό. Η ποσότητα δεν χρειάζεται να μετρηθεί με ακρίβεια, αλλά πρέπει να είναι τουλάχιστον 5,0 g.

2. Προσδιορίστε τη μάζα του δεύτερου άδειου ποτηριού με ακρίβεια 0,01 g. Με το ποτήρι ακόμη πάνω στο δίσκο του ζυγού, προσθέστε 0,95-1,05 g ρινισμάτων σιδήρου, όπως δείχνει το σχήμα 19-2. Βρείτε τη συνολική μάζα του ποτηριού και του σιδήρου με ακρίβεια 0,01 g.
3. Προσθέστε 20-25 ml νερού στο θειικό χαλκό που βρίσκεται μέσα στο πρώτο ποτήρι. Θερμάνατε το ποτήρι με το περιεχόμενό του μέχρι να διαλυθεί ο θειικός χαλκός και το μίγμα να βράσει έντονα.
4. Απομακρύνατε το ποτήρι από το λύχνο. Αδειάστε προσεκτικά τα ρινίσματα του σιδήρου –λίγα λίγα– από το ποτήρι, μέσα στο οποίο μετρήθηκε η μάζα τους εντός του άλλου που περιέχει το διάλυμα του θειικού χαλκού. Μετά από κάθε προσθήκη ρινισμάτων, να περιμένετε να "ηρεμήσει" η αντίδραση, προτού να προσθέσετε άλλα.
5. Όταν προστεθεί όλος ο σίδηρος στο διάλυμα, θερμάνατε πάλι το διάλυμα, μέχρι σχεδόν να βράσει, και διατηρήστε το σε αυτήν τη θερμοκρασία για τρία-τέσσερα λεπτά. Να σημειώσετε την αλλαγή στη μορφή της ουσίας μέσα στο ποτήρι.
6. Απομακρύνατε το λύχνο και αφήστε το ποτήρι να κρυώσει ώστε να μπορείτε να το πιάνετε άνετα. Προσθέστε 1-2 σταγόνες διαλύματος απορρυπαντικού στο μίγμα, για να εμποδίσετε τα στερεά σωματίδια να επιπλέουν πάνω στην επιφάνεια του υγρού.
7. Μεταγγίστε προσεκτικά το διαυγές υγρό, όπως στο σχήμα 19-3, μέσα σε ένα άλλο μικρό ποτήρι, πριν να το απορρίψετε. Να προσέξετε ιδιαίτερα μην παρασυρθεί και πέσει κάποιο από τα στερεά σωματίδια. Αν κάποιο στερεό σωματίδιο παρ' όλα αυτά πέσει κατά λάθος στο μικρό ποτήρι, αδειάστε το περισσότερο υγρό από αυτό. Στη συνέχεια, αδειάστε το σωματίδιο πάλι πίσω στο αρχικό ποτήρι με τη βοήθεια μικρής ποσότητας απιονισμένου νερού, από έναν υδροβολέα, όπως δείχνει το σχήμα 19-4. Μεταγγίστε πάλι.
8. Όταν αποχυθεί η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα του υγρού και διαχωριστούν τα στερεά σωματίδια στο ποτήρι, ξεπλύντε τα υπόλοιπα σωματίδια αρκετές φορές με δόσεις των 10 ml απιονισμένου νερού. Κάθε φορά, να ανακινείτε τα σωματίδια με το νερό και να αδειάζετε το νερό, όπως στην παράγραφο 7, επιβεβαιώνοντας ότι δεν χάσατε καθόλου στερεό.



ΣΧΗΜΑ 19-3.

9. Μετά το τελικό πλύσιμο με νερό, τοποθετήστε το ποτήρι και το περιεχόμενό του μέσα σε ένα φούρνο χαμηλής θερμοκρασίας (50-60˚C) ή κάτω από μια θερμαντική λυχνία για μερικές ώρες, για να στεγνώσει. Το ίδιο καλά αποτελέσματα θα έχετε και αν το στεγνώσετε στον αέρα, δηλαδή στη θερμοκρασία δωματίου για όλη τη νύκτα.
10. Όταν το ποτήρι και το περιεχόμενό του στεγνώσει και ψυχθεί, προσδιορίστε τη μάζα του με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

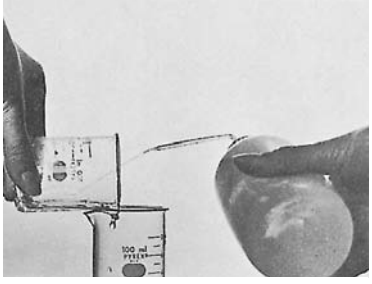
Ο πίνακας των δεδομένων που θα καταρτίσετε θα πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

Μάζα ποτηριού και ρινισμάτων σιδήρου	Μάζα ποτηριού και προϊόντος
Μάζα του ποτηριού μόνο	Μάζα άδειου ποτηριού
Μάζα ρινισμάτων σιδήρου	Μάζα προϊόντος

Υπολογισμοί.

1. Υπολογίστε τον αριθμό των moles του σιδήρου που αντέδρασαν με το θειικό χαλκό. Θυμηθείτε ότι η μάζα της ουσίας, όταν διαιρεθεί με τη μάζα που έχει ένα mole, δίνει τον αριθμό των moles.
2. Να υπολογίσετε τον αριθμό των moles του λαμβανομένου προϊόντος (χαλκού).
3. Να προσδιορίσετε το λόγο των moles του χαλκού προς τα moles του σιδήρου που έλαβαν μέρος σε αυτήν την αντίδραση. Βεβαιωθείτε ότι εκφράζετε τα αποτελέσματά σας χρησιμοποιώντας το σωστό αριθμό των σημαντικών ψηφίων.
4. Για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος, ο καθηγητής σας θα συγκεντρώσει τα δεδομένα και από τους άλλους συμμαθητές σας. Να καταρτίσετε ένα σχεδιάγραμμα με όλα τα στοιχεία που θα συγκεντρωθούν. Στον κατακόρυφο άξονα να σημειώσετε τον αριθμό των ατόμων που βρήκαν μια ορισμένη αναλογία χαλκού/σιδήρου. Στον οριζόντιο άξονα να σημειώσετε το λόγο Cu/Fe. Θα πρέπει να στρογγυλέψετε το λόγο Cu/Fe, ώστε η κάθε υποδιαίρεση του σχήματος να παριστάνει τιμές ±0,05. Για παράδειγμα, τιμές από το 0,85 και πάνω μέχρι το 0,95 θα πρέπει να θεωρηθούν 0,9.
5. Σε ποια περιοχή κυμαίνεται ο λόγος του Cu/Fe, αν ληφθούν υπόψη μόνο τα δύο τρίτα από τις μεσαίες μετρήσεις που σχεδιάσατε; Πώς συγκρίνετε το αποτέλεσμα αυτό σε σχέση με την αβεβαιότητα που δεχθήκατε ως δικαιολογημένη στις μετρήσεις σας;

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ



ΣΧΗΜΑ 19-4.

1. Με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων του προηγουμένου πειράματος, να βρείτε τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως συντελεστής, για να συμπληρωθεί η επόμενη σχέση.
   Ένα mole σιδήρου ***(στερεού)*** + ; mole (s) θειικού χαλκού (***σε νερό***) → ; mole (s) χαλκού (***στερεού***) + ; mole (s) θειικού σιδήρου (***σε νερό***).
2. Πόσα ***άτομα*** στερεού σιδήρου "έλαβαν μέρος" στο πείραμά ***σας***;
3. Πόσα άτομα στερεού χαλκού "έλαβαν μέρος" στο πείραμά ***σας***;
4. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στον αριθμό των ατόμων του σιδήρου και τον αριθμό των ατόμων του χαλκού που υπολογίσθηκαν στα προβλήματα

2 και 3;
5. Όταν τελείωσε η αντίδραση, ποια ήταν εκείνη η ένδειξη που σας έκανε να καταλάβετε ότι είχατε ξεκινήσει με περίσσεια θειικού χαλκού;

19.5 Πώς γράφονται οι χημικές εξισώσεις.

Ο τρόπος της γραφής χημικών εξισώσεων έχει περιγραφεί στην παράγραφο 5.13 και εσείς ασχοληθήκατε με τη γραφή απλών χημικών εξισώσεων αρκετές φορές. Οπωσδήποτε όμως, ο κύριος σκοπός της μελέτης αυτού όπως και του επομένου κεφαλαίου είναι να μάθετε να γράφετε με ευκολία και σωστά χημικές εξισώσεις και όχι να κατατοπισθείτε γενικά γύρω από αυτό το ενδιαφέρον θέμα. Ένα μέρος των όσων θα αναφερθούν θα είναι κυρίως μια ανασκόπηση, ενώ θα παρουσιασθούν και μερικές νέες έννοιες.

Μια χημική εξίσωση εκφράζει με σύμβολα ό,τι συμβαίνει σε μια χημική αντίδραση. Στην αριστερή πλευρά της εξισώσεως αναφέρονται οι ουσίες που πρέπει να έρθουν σε επαφή για να γίνει η αντίδραση. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται ***αντιδρώσες****. Στη δεξιά πλευρά γράφονται οι ουσίες που σχηματίζονται από την αντίδραση. Οι ουσίες αυτές είναι γνωστές ως ***προϊόντα***. Η εξίσωση θα πρέπει να είναι "ισοσταθμισμένη", δηλαδή θα πρέπει να είναι γραμμένος στην κάθε πλευρά ο ίδιος αριθμός από το κάθε είδος ατόμων. Στις χημικές αντιδράσεις ο αριθμός των ατόμων κάθε στοιχείου διατηρείται σταθερός. Επίσης, διατηρείται και η μάζα. Η συνολική μάζα όλων των προϊόντων είναι ίση με τη συνολική μάζα όλων των αντιδρώντων.

Προκειμένου να γράψετε μια χημική εξίσωση, τοποθετήστε το σωστό τύπο για το καθένα από τα αντιδρώντα στο αριστερό μέρος του βέλους και το σωστό τύπο για τα προϊόντα στο δεξιό μέρος του. Για παράδειγμα, το μεταλλικό αργίλιο (ή αλουμίνιο)** αντιδρά με οξείδιο του σιδήρου (III) και σχηματίζει μεταλλικό σίδηρο και οξείδιο του αργιλίου. Για να καταλήξετε στη σωστή εξίσωση αυτής της αντιδράσεως, ξεκινήστε γράφοντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$Al + Fe_2O_3 \rightarrow Fe + Al_2O_3$$

Τώρα είναι απαραίτητο να αποφασίσετε τι συντελεστές θα τοποθετήσετε μπροστά από τον κάθε τύπο, ώστε ο αριθμός των ατόμων κάθε στοιχείου στο πρώτο και το δεύτερο μέρος της εξισώσεως να είναι ο ίδιος. Τα άτομα του οξυγόνου βρίσκονται ήδη στη σωστή τους αναλογία αλλά όχι και τα άτομα του σιδήρου. Χρειάζεται ένας συντελεστής 2 για το σίδηρο, Fe, και το αργίλιο, Al, ο οποίος θα μετατρέψει την ανωτέρω εξίσωση στην επόμενη πλήρη και σωστή μορφή:

$$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow 2Fe + Al_2O_3$$

Πώς γράφονται οι εξισώσεις που περιλαμβάνουν ***ιοντικές*** ενώσεις; Στο κεφάλαιο 17 μάθατε ότι οι ιοντικές ενώσεις, όταν διαλύονται σε νερό, ***διίστανται*** (διαχωρίζονται) σε ιόντα. Στα επόμενα κεφάλαια θα μάθετε για τις αντιδράσεις ανάμεσα σε ιόντα εν διαλύσει. Γι' αυτό, θα πρέπει να εξοικειωθείτε με την καλύτερη μέθοδο γραφής των εξισώσεων που περιγράφουν ιοντικές αντιδράσεις.

Για παράδειγμα, ας μελετήσομε την αντίδραση ανάμεσα σε υδατικά διαλύματα νιτρικού αργύρου και χλωριούχου νατρίου. Ένα ***υδατικό*** διάλυμα έχει ως διαλύτη το νερό. Μέσα στο καθένα από αυτά τα διαλύματα, τα αντιδρώντα διίστανται εξ ολοκλήρου σε ιόντα και γράφονται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

Νιτρικός άργυρος σε υδατικό διάλυμα $Ag^+ + NO_3^-$
Χλωριούχο νάτριο σε υδατικό διάλυμα $Na^+ + Cl^-$

Τα προϊόντα της αντιδράσεως είναι χλωριούχος άργυρος και νιτρικό νάτριο. Ο χλωριούχος άργυρος είναι αδιάλυτος στο νερό και σχηματίζει ίζημα. ***Ίζημα*** είναι ένα στερεό, το

---

* *Σ.τ.Μ. Λέγονται και "αντιδραστήρια" ειδικότερα οι αντιδρώσες ουσίες που χρησιμοποιούνται για χημικές αναλύσεις. Επίσης, κατ' αναλογία προς τα "προϊόντα" λέγονται και αντιδρώντα.*

** *Σ.τ.Μ. Το αλουμίνιο λέγεται και αργίλιο. Ο όρος αλουμίνιο χρησιμοποιείται περισσότερο στην τεχνολογία και τις κατασκευές, ενώ στη χημεία επικρατέστερος είναι ο όρος αργίλιο.*



ΣΧΗΜΑ 19-5. *Κατά την ανάμιξη διαλυμάτων χλωριούχου νατρίου (α) και νιτρικού αργύρου (β) δημιουργείται μια χημική αντίδραση (γ), κατά την οποία καταβυθίζεται ένα αδιάλυτο στερεό, ο χλωριούχος άργυρος.*

οποίο αποχωρίζεται από ένα διάλυμα. Το νιτρικό νάτριο παραμένει στο διάλυμα διιστάμενο πλήρως σε ιόντα. Τα προϊόντα γράφονται ως εξής:

Χλωριούχος άργυρος	$AgCl$
Νιτρικό νάτριο σε υδατικό διάλυμα	$Na^+ + Cl^-$

Προκειμένου να γράψετε τη σωστή εξίσωση για την αντίδραση, ξεκινάτε με την ακόλουθη:

$$Ag^+ + NO_3^- + Na^+ + Cl^+ \rightarrow AgCl + Na^+ + NO_3^-$$

Εύκολα διαπιστώνετε ότι σε αυτήν την αντίδραση τα αντιδρώντα και τα προϊόντα είναι σε σωστές αναλογίες. Δεν είναι όμως αυτή η εξίσωση γραμμένη κατά το σωστότερο τρόπο, γιατί δεν υπάρχει λόγος να περιέχει τους τύπους των ιόντων που δεν μεταβάλλονται. Επειδή αυτοί οι τύποι εμφανίζονται και στις δύο πλευρές της εξισώσεως, η αναγραφή τους κάνει την αντίδραση να μοιάζει πιο πολύπλοκη από ό,τι είναι στην πραγματικότητα. Με αυτόν τον τρόπο η προσοχή εστιάζεται δύσκολα στα ουσιώδη.

Για την καλύτερη γραφή μιας εξισώσεως που αναφέρεται σε μια ιοντική αντίδραση, πρέπει να παραλείπονται εκείνα τα ιόντα που εμφανίζονται αμετάβλητα και στις δύο πλευρές της αρχικής εξισώσεως. Στο παραπάνω παράδειγμα, θα πρέπει να αφαιρεθούν τα ιόντα Na^+ και NO_3^- και να μείνει η ακόλουθη εξίσωση:

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$$

Αυτή η εξίσωση περιγράφει ακριβώς ό,τι συμβαίνει στην πραγματικότητα. Ένα ιόν αργύρου συνδέεται με ένα χλωριούχο ιόν και σχηματίζει χλωριούχο άργυρο. Ο αδιάλυτος χλωριούχος άργυρος καθιζάνει, όπως φαίνεται και στο σχήμα 19-5.

Αν και δεν υπάρχει γενικός κανόνας, πολλοί χημικοί δηλώνουν ότι μια ουσία καθιζάνει είτε υπογραμμίζοντας τον τύπο της είτε προσθέτοντας ένα μικρό βέλος που κατευθύνεται προς τα κάτω ακριβώς μετά από τον τύπο. Κατ' αυτόν τον τρόπο η προηγούμενη αντίδραση θα μπορούσε να γραφεί με έναν από τους επόμενους δύο τρόπους:

$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow \underline{Ag + Cl}$$
$$Ag^+ + Cl^- \rightarrow Ag + Cl\downarrow$$

Η ίδια εξίσωση θα μπορούσε επίσης να γραφεί ως εξής:

$$Ag^+(υδ) + Cl^-(υδ) \rightarrow AgCl(στ)^*$$

Το σύμβολο (υδ) είναι συντομογραφία της φράσεως "σε υδατικό διάλυμα". Έτσι, το $Ag^+(υδ)$ σημαίνει ότι τα ιόντα του αργύρου βρίσκονται σε υδατικό διάλυμα. Το σύμβολο (στ) στην προκειμένη περίπτωση δείχνει ότι ο $AgCl$ διαχωρίζεται από το διάλυμα ως στερεό. Δηλαδή ο $AgCl$ καθιζάνει. Στο υπόλοιπο μέρος του βιβλίου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αυτή, σύμφωνα με την οποία αναγράφονται τα ιζήματα και τα ιόντα μέσα στα υδατικά διαλύματα.

* *Σ.τ.Μ. Για την ένδειξη της φάσεως στην οποία βρίσκεται η κάθε ουσία χρησιμοποιούνται στη διεθνή βιβλιογραφία τα ακόλουθα σύμβολα: Για τα στερεά (solide) = (s), για τα υγρά (liquide) = (l), για τα αέρια (gaz) = (g) και για τα υδατικά διαλύματα (aqua solution) = (aq). Σε μερικά ελληνικά βιβλία τα σύμβολα αυτά αποδίδονται μεταφρασμένα: στερεά = (στ), υγρά (υγ), αέρια = (α), υδατικά διαλύματα = (υδ).*

Περίληψη.

Η ικανότητα συνδέσεως ενός στοιχείου με άλλα ονομάζεται σθένος. Τα περισσότερα στοιχεία έχουν ένα ή περισσότερα σθένη. Αν τα σθένη είναι γνωστά, είναι δυνατόν να γραφούν οι τύποι όλων σχεδόν των απλών κοινών ενώσεων, χωρίς να ληφθούν ιδιαίτερα υπόψη οι ηλεκτρονιακές δομές των ατόμων. Σε ένα σωστό τύπο το αλγεβρικό άθροισμα όλων των μονάδων σθένους, αν πρόκειται για ουδέτερες ενώσεις, είναι μηδέν, ενώ αν πρόκειται για πολυατομικά ιόντα είναι ίσο με το φορτίο του ιόντος.

Η ονοματολογία των περισσοτέρων γνωστών ενώσεων ακολουθεί σχετικά απλούς κανόνες. Αντίθετα προς το αγγλικό σύστημα, κατά την ελληνική ονοματολογία προηγείται το όνομα του ανιόντος (του στοιχείου με τον αρνητικό αριθμό σθένους) και έπεται αυτό του κατιόντος (μεταλλικού στοιχείου ή στοιχείου με το θετικό αριθμό σθένους). Το όνομα του ανιόντος έχει συνήθως τις κατάληξεις ***–ούχο***, ***–ίδιο*** ή ***–ικό***, όπως για παράδειγμα χλωριούχο, νιτρικό, σουλφίδιο. Προκειμένου για ορισμένα σημαντικά πολυατομικά ιόντα, όπως το ιόν αμμωνίου (NH_4^+) και το νιτρικό ιόν (NO_3^-), τα ονόματα θα πρέπει να απομνημονευθούν. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν τα ονόματα των χημικών ενώσεων, ακριβώς όπως και τα άλλα ιόντα.

Οι χημικές εξισώσεις αποτελούν συμβολικούς τρόπους γραφής των χημικών αντιδράσεων. Και οι δύο πλευρές της εξισώσεως (αντιδρώντα και προϊόντα) θα πρέπει να είναι "ισοσταθμισμένες", θα πρέπει δηλαδή ο συνολικός αριθμός των ατόμων κάθε στοιχείου να είναι ακριβώς ίδιος και στα δύο μέλη της εξισώσεως, όπως επίσης ίδιες θα πρέπει να είναι και οι μάζες τους. Προκειμένου για αντιδράσεις που αφορούν ενώσεις οι οποίες διίστανται πλήρως σε ιόντα, θα πρέπει να αναφέρεται το φορτίο του κάθε ιόντος μέσα στην εξίσωση. Τα τελικά συνολικά φορτία στην κάθε πλευρά της εξισώσεως θα πρέπει να είναι ίσα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Το αργίλιο και το οξυγόνο συνδέονται και σχηματίζουν οξείδιο του αργιλίου με τύπο Al_2O_3. Να το δικαιολογήσετε.
2. Να γράψετε τους τύπους για τις δύο χλωριούχες ενώσεις του υδραργύρου.
3. Τι φορτίο έχει το ιόν του $AlCl_4$;
4. Να προτείνετε ονόματα για κάθε μία από τις επόμενες ενώσεις του σιδήρου:
   (α) $FeCl_2$, (β) $FeCl_3$, (γ) $FeSO_4$, (δ) $Fe_2(SO_4)_3$.
5. Να γράψετε εξισώσεις για τις παρακάτω αντιδράσεις, προσέχοντας ιδιαίτερα να είναι σωστοί οι συντελεστές:
   (α) Ψευδάργυρος, Zn, αντιδρά με υδατικό διάλυμα θειικού χαλκού και σχηματίζει μεταλλικό χαλκό και διάλυμα θειικού ψευδαργύρου.
   (β) Ένα υδατικό διάλυμα νιτρικού σιδήρου (III) αντιδρά με ένα υδατικό διάλυμα καυστικού νατρίου και σχηματίζει ίζημα υδροξειδίου του σιδήρου (III).

Χημικοί υπολογισμοί

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

19.6 Οι σχέσεις ανάμεσα στις μάζες κατά τις χημικές μεταβολές.

Λίγο πριν προσδιορίσατε μεταβολές στη μάζα κατά τις χημικές αντιδράσεις. Για παράδειγμα, σχηματίσθηκε οξείδιο του χαλκού, ενώ στερεός σίδηρος αντέδρασε με το θειικό χαλκό. Στο πείραμα που ακολουθεί θα κάνετε μερικές χημικές αντιδράσεις, θα διαχωρίσετε τα προϊόντα από την περίσσεια των αντιδρώντων και θα μετρήσετε τις σχέσεις ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα σε διάφορα στάδια της διαδικασίας.

Θα παρασκευάσετε νιτρικό άργυρο με την αντίδραση αργύρου και νιτρικού οξέος. Αφού προσδιορίσετε πόσος νιτρικός άργυρος σχηματίσθηκε, θα προσθέσετε χλωριούχο νάτριο, ώστε να σχηματισθεί χλωριούχος άργυρος.

Αφού πλύνετε και στεγνώσετε το χλωριούχο άργυρο, θα βρείτε τη μάζα του και τη μάζα των υπολοίπων ουσιών. Έτσι, θα μπορέσετε να συγκρίνετε τα moles της κάθε ουσίας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία.

Πριν ξεκινήσετε το πείραμα, συμβουλευθείτε την παράγραφο "Δεδομένα και αποτελέσματα", για να αντιληφθείτε τι είδους πληροφορίες θα χρειασθείτε. Να καταρτίσετε στο τετράδιό σας ένα φύλλο δεδομένων, ώστε να καταγράψετε αυτές τις πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο θα περιορισθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα να παραλείψετε κάποιες σημαντικές μετρήσεις.

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός του πειράματος είναι ο προσδιορισμός των σχέσεων ανάμεσα στα moles για την προηγούμενη σειρά των αντιδράσεων. Επίσης, θα επαναλάβετε και θα μάθετε αρκετές σημαντικές τεχνικές, ανάμεσα στις οποίες είναι η μετάγγιση, η διήθηση, η έκπλυση και η ξήρανση.

ΥΛΙΚΑ

10 ml νιτρικού οξέος 6Μ
Γυάλινο χωνί και στήριγμα
Ποτήρι των 250 ml
Ορθοστάτης και δακτύλιος
Γυάλινη ράβδος αναδεύσεως
Συρμάτινο πλέγμα αμιάντου
Υδροβολέας
Λύχνος
Χάρτινος ηθμός

1,5-2,0 γραμμάρια φύλλου μεταλλικού αργύρου
2,0-2,5 γραμμάρια χλωριούχου νατρίου (στερεού)
Ποτήρι των 100 ml (ή ακόμη ένα ποτήρι των 250 ml)
Ογκομετρικός κύλινδρος των 10 ή 25 ml

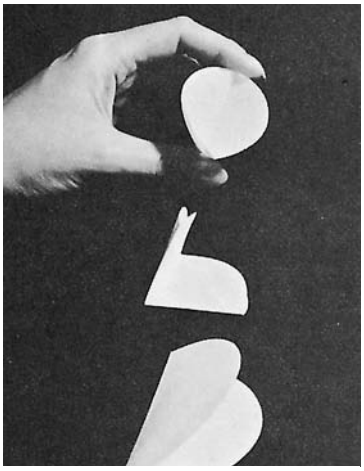
Ειδικές προφυλάξεις. Το νιτρικό οξύ είναι εξαιρετικά διαβρωτικό. Προσβάλλει τα μάτια, το δέρμα και τα ρούχα. Βεβαιωθείτε ότι φοράτε τα ειδικά προστατευτικά γυαλιά, όταν το χρησιμοποιείτε. Αν πέσει πάνω στο δέρμα σας, πλυθείτε αμέσως με άφθονο νερό. Αποφύγετε να αναπνεύσετε τους δηλητηριώδεις καστανέρυθρους ατμούς του διοξειδίου του αζώτου, NO_2, οι οποίοι σχηματίζονται, όταν ο άργυρος αντιδρά με το νιτρικό οξύ. Μην αγγίξετε το νιτρικό άργυρο. Θα αντιδράσει με το δέρμα σας*.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Παρασκευή στερεού νιτρικού αργύρου από άργυρο.

1. Με ένα μολύβι γράψτε τα αρχικά σας και τον αριθμό 1 στον πυθμένα ενός ποτηριού των 250 ml. Προσδιορίστε τη μάζα του ποτηριού με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
2. Έχοντας ακόμη το ποτήρι πάνω στο δίσκο του ζυγού, προσθέστε 1,5-2,0 γραμμάρια φύλλου αργύρου. Προσδιορίστε τη μάζα του ποτηριού και του αργύρου με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
3. Στο ποτήρι που περιέχει τον άργυρο, προσθέστε 10 ml διαλύματος νιτρικού οξέος, HNO_3 6 *Μ*. Επειδή οι ατμοί που σχηματίζονται είναι δηλητηριώδεις, θα πρέπει αυτή η εργασία να γίνει μέσα στον απαγωγό αερίων του εργαστηρίου ή κοντά σε ένα ανοικτό παράθυρο. Όταν σταματήσει η αντίδραση, αφήστε το ποτήρι μέσα στην εστία ή σε έναν καλά αεριζόμενο χώρο όλη τη νύκτα, ώστε να εξατμισθεί.

* *Σ.τ.Μ. Και θα το χρωματίσει μαύρο.*



ΣΧΗΜΑ 19-6.

4. Αφού εξατμισθεί το διάλυμα και παραμείνει η ξηρή ουσία, υπολογίστε τη μάζα του ποτηριού και του περιεχομένου του ($AgNO_3$), με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Μην ξεχάσετε την προειδοποίηση σχετικά με το νιτρικό άργυρο.

Μέρος Β. Το αποτέλεσμα της προσθήκης διαλύματος χλωριούχου νατρίου σε διάλυμα νιτρικού αργύρου.

1. Προσθέστε περίπου 15 ml απεσταγμένο νερό στο $AgNO_3$ του ποτηριού 1. Αναδεύστε, μέχρι να διαλυθεί πλήρως το στερεό.
2. Αφαιρέστε από το βάζο στο οποίο βρίσκεται περίπου 2-2,5 γραμμάρια χλωριούχου νατρίου, NaCl (περίπου μισό κουταλάκι του τσαγιού). Αυτό θα το πετύχετε, αν περιστρέψετε ελαφρά τη φιάλη μπρος πίσω, ώστε να αδειάσετε πάνω σε ένα κομμάτι καθαρό χαρτί περίπου την ποσότητα που σας χρειάζεται (η τεχνική αυτή αναφέρθηκε και προηγουμένως στο σχήμα 19-2).
3. Αριθμήστε ένα καθαρό στεγνό ποτήρι των 100 ml με τον αριθμό 2, και υπολογίστε τη μάζα του με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
4. Ρυθμίστε το ζυγό σας, ώστε να δείχνει περίπου 2-2,5 γραμμάρια περισσότερο από τη μάζα του ποτηριού 2. Προσθέστε προσεκτικά αρκετή ποσότητα NaCl, ώστε να χαμηλώσει ο δίσκος του ζυγού. Πετάξτε το υπόλοιπο αλάτι. Προσδιορίστε τη μάζα του NaCl και του ποτηριού με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου.
5. Προσθέστε περίπου 15 ml απεσταγμένο νερό στο στερεό NaCl. Αναδεύστε, μέχρι να διαλυθεί εντελώς το στερεό.
6. Ενώ αναδεύετε ζωηρά το διάλυμα του $AgNO_3$ στο ποτήρι με τον αριθμό 1, προσθέστε αργά το διάλυμα του NaCl. Σημειώστε το αποτέλεσμα. Το λευκό στερεό που παράγεται είναι η ένωση χλωριούχος άργυρος, AgCl. Ξεπλύνατε το άδειο ποτήρι με τον αριθμό 2, με περίπου 5 ml απεσταγμένο νερό από τον υδροβολέα, κατευθύνοντας το νερό στα εσωτερικά τοιχώματα του ποτηριού. Το νερό εκπλύσεως να το προσθέσετε στο μίγμα του ποτηριού 1. Ξεπλύνατε πάλι το ποτήρι 2 με απεσταγμένο νερό, αλλά αυτήν τη φορά πετάξτε το νερό εκπλύσεως. Το καθαρό ποτήρι θα το χρησιμοποιήσετε πάλι στο στάδιο 9.
7. Θερμάνατε το ίζημα που σχηματίσθηκε και το διάλυμα μέχρι βρασμού για 2 περίπου λεπτά ή μέχρι να γίνει το διάλυμα αρκετά διαυγές, καθώς κατακάθεται το ίζημα. Τοποθετήστε μια γυάλινη ράβδο αναδεύσεως μέσα στο ποτήρι, ώστε να αποτρέψετε ανώμαλο βρασμό (τίναγμα).
8. Προσδιορίστε τη μάζα ενός τεμαχίου διηθητικού χαρτιού με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου. Διπλώστε το, όπως δείχνει το σχήμα 19-6. Προσαρμόστε το σε ένα χωνί και βρέξτε το χαρτί με λίγο απεσταγμένο νερό από τον υδροβολέα. Προετοιμάστε το χωνί για τη διήθηση, όπως δείχνει το σχήμα 19-7.
9. Τοποθετήστε το ποτήρι 2 κάτω από το χωνί. Η άκρη από το χωνί θα πρέπει να ακουμπά στην εσωτερική επιφάνεια του ποτηριού, ώστε να δημιουργείται μια συνεχής ροή στο τοίχωμά του. Αποχύστε το διαυγές υγρό από το ποτήρι 1 μέσα στο χωνί με τη βοήθεια μιας γυάλινης ράβδου (σχ. 19-7). Μια μικρή ποσότητα από το ίζημα ίσως μεταφερθεί στον ηθμό, αλλά προσπαθήστε να κρατήσετε το μεγαλύτερο μέρος του μέσα στο ποτήρι, όπου μπορεί να εκπλυθεί ευκολότερα.
10. Πλύντε το ίζημα που βρίσκεται μέσα στο ποτήρι με 15 ml περίπου απεσταγμένο νερό, αναδεύοντάς το με μια ράβδο, για να πλυθεί καλύτερα. Αποχύστε το νερό εκπλύσεως μέσα στο χωνί. Επαναλάβατε το πλύσιμο με



ΣΧΗΜΑ 19-7.

άλλα 15 ml νερού. Αδειάστε το νερό εκπλύσεως πάλι μέσα στο χωνί.
11. Όταν ολοκληρωθεί η διήθηση, τοποθετήστε το χάρτινο ηθμό και τα όποια στερεά περιέχει το ποτήρι 1, το οποίο περιέχει το ίζημα.
12. Το διήθημα (το διάλυμα που πέρασε μέσα από τον ηθμό) στο ποτήρι 2 και το ίζημα στο ποτήρι 1 θα πρέπει τώρα να εξατμισθούν και να στεγνώσουν. Τοποθετήστε τα σε κάποιο μέρος που θα σας υποδείξει ο καθηγητής σας, για να εξατμισθούν και να στεγνώσουν όλο το βράδυ. Βεβαιωθείτε ότι το κάθε ποτήρι είναι αριθμημένο (1 ή 2) και έχει το όνομά σας ή τον κωδικό σας αριθμό.
13. Υπολογίστε και καταγράψτε τις μάζες του καθενός ξηρού δείγματος. Φυλάξτε το χλωριούχο άργυρο, σύμφωνα με τις οδηγίες του καθηγητή σας.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο πίνακας των δεδομένων σας θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
Μάζα ποτηριού 1
Μάζα ποτηριού 1 και φύλλου αργύρου
Μάζα ποτηριού 1 και στερεού νιτρικού αργύρου
Μάζα ποτηριού 1, διηθητικού χαρτιού και στερεού χλωριούχου αργύρου
Μάζα ποτηριού 2
Μάζα ποτηριού 2 και στερεού χλωριούχου νατρίου
Μάζα ενός τεμαχίου διηθητικού χαρτιού
Μάζα ποτηριού 2 και στερεού υπολείμματος

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Με πόσα moles αργύρου ξεκινήσατε; Πόσα moles ξηρού νιτρικού αργύρου σχηματίσθηκαν, όταν ο άργυρος αντέδρασε με το νιτρικό οξύ; Τελικά πόσα moles στερεού χλωριούχου αργύρου σχηματίσθηκαν;
2. Να βρείτε τις ακόλουθες αναλογίες: Moles Ag/moles $AgNO_3$. Moles $AgNO_3$/moles AgCl. Moles Ag/moles AgCl. Χρησιμοποιήστε τον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό, για να εκφράσετε τα αποτελέσματά σας. Αν τα αποτελέσματά σας δεν πλησιάζουν κάποιον ακέραιο αριθμό, πώς θα εξηγήσετε τη διαφορά; Τι μπορείτε να συμπεράνετε σχετικά με τους αριθμούς των moles που λαμβάνουν μέρος σε αυτές τις χημικές μεταβολές;
3. Να συγκρίνετε το άθροισμα των μαζών του $AgNO_3$ και του NaCl που χρησιμοποιήθηκαν, με το άθροισμα των μαζών του AgCl και του υπολείμματος στο ποτήρι 2. Τα συμπεράσματά σας θα έχουν μεγαλύτερη σημασία, αν βασισθούν στα αποτελέσματα που θα συγκεντρώσει ο καθηγητής από όλη την τάξη. Ποια είναι η σημασία αυτών των αποτελεσμάτων;
4. Εξετάζοντας την απάντηση του προβλήματος 3, να προβλέψετε ποιο πρέπει να είναι το υπόλειμμα του ποτηριού 2.

19.7 Στοιχειομετρία.

Πολλά από τα θέματα που εξετάζει η χημεία είναι ποσοτικά. Δηλαδή, οι ποσότητες και τα μεγέθη των πραγμάτων είναι μετρήσιμα και υπάρχει μεταξύ τους μια ακριβής αριθμητική σχέση. Αυτά τα σημαντικά ποσοτικά θέματα της χημείας ονομάζονται στοιχειομετρία. Οι χημικοί ορίζουν τη ***στοιχειομετρία*** ως τις ποσοτικές σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα μιας χημικής αντιδράσεως. Μεγάλο τμήμα των βασικών γνώσεων της χημείας στηρίχθηκε σε προσεκτικές ποσοτικές αναλύσεις των ουσιών. Οι αναλύσεις αυτού του είδους είναι δυνατές μόνο χάρη στις ακριβείς στοιχειομετρικές αναλογίες που ισχύουν στις αντιδράσεις. Όσον αφορά στο εμπόριο και τη βιομηχανία, η στοιχειομετρία παίζει καθοριστικό ρόλο. Παρέχει τη δυνατότητα σε χημικούς και μηχανικούς να υπολογίζουν τις πραγματικές

ποσότητες των υλικών που θα αντιδράσουν, ώστε να σχηματισθεί η επιθυμητή ποσότητα ενός προϊόντος.

Ας μελετήσομε για παράδειγμα τη χημική εξίσωση που χρησιμοποιήσαμε προηγουμένως:

$$2Al(\sigma\tau) + Fe_2O_3(\sigma\tau) \rightarrow Al_2O_3\,(\sigma\tau) + 2Fe(\sigma\tau)$$

Η αντίδραση αυτή δεν πραγματοποιείται παρά μόνο αν αναμιχθούν οι αντιδρώσες ουσίες και θερμανθούν σε υψηλή θερμοκρασία. Από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η αντίδραση, προχωρεί βίαια. Η εξίσωση μάς πληροφορεί ότι δύο moles αργιλίου αντιδρούν με ένα mole οξειδίου του σιδήρου (III) και σχηματίζουν ένα mole οξειδίου του αργιλίου και δύο moles σιδήρου. Πόση ποσότητα σιδήρου παράγεται κατ' αυτήν την αντίδραση από ορισμένες ποσότητες αργιλίου και οξειδίου του σιδήρου; Για να δοθεί απάντηση σε αυτό το ερώτημα, πρέπει προηγουμένως να γίνουν οι ακόλουθες υποθέσεις:

1. Πρέπει να υποτεθεί ότι η αντίδραση, όπως είναι γραμμένη, είναι πλήρης. Δηλαδή, όλα τα υλικά που βρίσκονται στο αριστερό τμήμα της αντιδρούν και σχηματίζουν τα προϊόντα που βρίσκονται στο δεξιό τμήμα, χωρίς αυτά να αντιδρούν αντίστροφα (υπάρχουν αντιδράσεις, για τις οποίες δεν ισχύει κάτι τέτοιο· οι αντιδράσεις αυτές και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζονται αποτελούν το αντικείμενο του κεφαλαίου 22).
2. Θα πρέπει επίσης να υποθέσετε ότι μόνο αυτή η αντίδραση πραγματοποιείται κατά τον τρόπο που αναφέρεται στην εξίσωση.

Τα προβλήματα της στοιχειομετρίας ανήκουν, γενικά, σε έναν από τους ακόλουθους τύπους:

1. Δίνεται η μάζα ενός από τα αντιδρώντα, ***του καθοριστικού αντιδρώντος***, και υπολογίζεται η ποσότητα ενός ή περισσοτέρων εκ των προϊόντων που είναι δυνατόν να σχηματισθούν. Υποτίθεται ότι είναι διαθέσιμες οι απαραίτητες ποσότητες όλων των άλλων αναγκαίων ουσιών που αντιδρούν.
2. Ποια ποσότητα κάθε αντιδρώντος χρειάζεται, ώστε να παραχθεί ορισμένη ποσότητα κάθε προϊόντος της αντιδράσεως;

19.8 Η μέθοδος των moles.

Ο αποτελεσματικότερος τρόπος για να χρησιμοποιηθεί μία σωστά γραμμένη χημική εξίσωση για τον υπολογισμό της σχέσεως των μαζών μιας χημικής αντιδράσεως, είναι να εκφρασθούν οι ποσότητες σε ***moles***. Η "μέθοδος των moles" αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο επιλύσεως των στοιχειομετρικών προβλημάτων, επειδή οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται σε μια χημική εξίσωση δείχνουν τον αριθμό των moles της κάθε ουσίας που λαμβάνει μέρος στην αντίδραση.

Για να βρεθεί η μάζα σε γραμμάρια ενός mole μιας ουσίας, αρκεί να προστεθούν οι ατομικές μάζες όλων των ατόμων των στοιχείων που συμμετέχουν στο χημικό τύπο της. Για παράδειγμα, η μάζα ενός mole θειικού οξέος, H_2SO_4, υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

2 x ατομική μάζα των ατόμων του H = 2 x 1,0 = 2,0 g
1 x ατομική μάζα των ατόμων του S = 1 x 32,1 = 32,1 g
4 x ατομική μάζα των ατόμων του O = 4 x 16,0 = 64,0 g
ατομική μάζα του H_2SO_4 σε g = 98,1 g

Ακολουθεί μια βήμα προς βήμα περιγραφή της "μεθόδου των moles" για κάποια αντίδραση. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιγραφής, ως ***δοθείσα*** ουσία αναφέρεται η ουσία που βρίσκεται σε ορισμένη ποσότητα. Από την ποσότητα αυτής θα υπολογισθεί η μάζα της ***ζητούμενης*** ουσίας (ή ουσιών). Η αντίδραση που χρησιμοποιείται γι' αυτήν την περιγραφή είναι η ίδια που εξετάσθηκε στις προηγούμενες παραγράφους:

$$2Al(\sigma\tau) + Fe_2O_3(\sigma\tau) \rightarrow 2Fe(\sigma\tau) + Al_2O_3\,(\sigma\tau)$$

Δεδομένη ουσία σε αυτήν την περίπτωση είναι το Fe_2O_3, ενώ η ζητούμενη είναι ο σίδηρος. Η ποσότητα του Fe_2O_3 που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί είναι 32,0 γραμμάρια.

Ακολουθούν τα βασικά στάδια της μεθόδου των moles.

1. Γράφετε τη σωστή χημική έξίσωση.
2. Μετατρέπετε τη μάζα της δοθείσης ουσίας σε moles. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\text{moles} = \frac{\text{μάζα σε γραμμάρια}}{\text{μάζα ενός mole σε γραμμάρια}}$$

Η μάζα ενός mole του Fe_2O_3 βρίσκεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$2 \text{ x } (55,9) + 3 \text{ x } (16,0) = 159,8$$

Έτσι, τα 32 γραμμάρια του Fe_2O_3 είναι

$$\frac{32,0 \text{ g}}{159,8 \text{ g / mole}} = 0,200 \text{ moles}$$

3. Παρατηρήστε την εξίσωση που περιγράφει την

αντίδραση και προσδιορίστε πόσα moles της ζητούμενης ουσίας παράγονται από ένα mole της δοθείσης ουσίας. Κατά την αντίδραση του αργιλίου με το οξείδιο του σιδήρου, ένα mole Fe_2O_3 παράγει δύο moles σιδήρου.

4. Προσδιορίστε, με τη βοήθεια μιας απλής μεθόδου, πόσα moles της ζητούμενης ουσίας είναι δυνατόν να παραχθούν από τον πραγματικό αριθμό των moles της δοθείσης ουσίας. Για παράδειγμα, αν υπάρχουν διαθέσιμα μόνο 0,200 moles Fe_2O_3, τότε είναι δυνατόν να ληφθούν 0,400 moles Fe.

$$\frac{2 \text{ moles Fe}}{1 \text{ mole } Fe_2O_3} = \frac{x}{0{,}200 \text{ mole } Fe_2O_3}$$

$$x = 0{,}400 \text{ mole Fe}$$

5. Μετατρέψτε τα moles της ζητούμενης ουσίας σε πραγματική μάζα, ή σε κάποια άλλη επιθυμητή μονάδα (για παράδειγμα, όγκου σε Κ.Σ., αν πρόκειται για αέριο). Επειδή η μάζα του Fe είναι 55,9 γραμμάρια/mole, τα 0,400 moles του Fe είναι 0,400 moles x 55,9 γραμμάρια/mole = 22,4 g.

19.9 Συντελεστές μετατροπής.

Το προηγούμενο πρόβλημα επιλύθηκε σταδιακά. Είναι δυνατόν να λυθεί με απλούστερο τρόπο, αν συνδυασθούν όλα αυτά τα στάδια με τη βοήθεια των συντελεστών μετατροπής. ***Συντελεστής μετατροπής*** είναι ο λόγος ο οποίος συνδυάζει ένα σύνολο αριθμών ή μονάδων με κάποιο άλλο. Στο επόμενο παράδειγμα φαίνεται πώς εξάγεται ο συντελεστής μετατροπής.

Παράδειγμα.

Πόσες δωδεκάδες είναι τα 60 κουλούρια;

$$\frac{12 \text{ κουλούρια}}{60 \text{ κουλούρια}} = \frac{1 \text{ δωδεκάδα κουλούρια}}{x}$$

$$(x)\,(12 \text{ κουλούρια}) = (60 \text{ κουλούρια})\,(1 \text{ δωδεκάδα κουλούρια})$$

$$x = (60 \text{ κουλούρια})\left(\frac{1 \text{ δωδεκάδα κουλούρια}}{12 \text{ κουλούρια}}\right)$$

$$x = 5 \text{ δωδεκάδες κουλούρια}$$

Ο λόγος 1 δωδεκάδα κουλούρια/12 κουλούρια συνιστά ένα συντελεστή μετατροπής. Συσχετίζει δηλαδή τη μονάδα "δωδεκάδα" με μια συγκεκριμένη ποσότητα κουλουριών. Συντελεστές μετατροπής, όπως αυτός, διευκολύνουν τη λύση των προβλημάτων βοηθώντας στην απλοποίηση των μονάδων.

Το προηγούμενο πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί εύκολα με την απ' ευθείας χρήση του συντελεστή μετατροπής:

$$x = (60 \text{ κουλούρια})\left(\frac{1 \text{ δωδεκάδα κουλούρια}}{12 \text{ κουλούρια}}\right)$$

$$x = 5 \text{ δωδεκάδες κουλούρια}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο είναι δυνατόν να επιλυθεί και το πρόβλημα της παραγράφου 19.8, με τη βοήθεια συντελεστών μετατροπής. Στο πρόβλημα αυτό, υπολογίστηκε ο αριθμός των γραμμαρίων του Fe που παράγεται κατά την παρακάτω αντίδραση. Θυμηθείτε ότι υπήρχαν διαθέσιμα 32,0 γραμμάρια Fe_2O_3.

$$2Al(\sigma\tau) + Fe_2O_3(\sigma\tau) \rightarrow Al_2O_3(\sigma\tau) + 2Fe(\sigma\tau)$$

Αν χρησιμοποιηθούν συντελεστές μετατροπής, το πρόβλημα λύνεται με τον παρακάτω τρόπο.

Παράδειγμα.

1. Moles της δοθείσης ουσία

$$= (32{,}0 \text{ g } Fe_2O_3)\left(\frac{1 \text{ mole } Fe_2O_3}{159{,}8 \text{ g } Fe_2O_3}\right) =$$

$$= 0{,}200 \text{ moles } Fe_2O_3$$

2. Moles της ζητούμενης ουσίας

$$= (0{,}200 \text{ moles } Fe_2O_3)\left(\frac{2 \text{ moles Fe}}{1 \text{ mole } Fe_2O_3}\right) =$$

$$= 0{,}400 \text{ moles Fe}$$

3. Μάζα της ζητούμενης ουσίας

$$= (0{,}400 \text{ moles Fe})\left(\frac{55{,}9 \text{ g Fe}}{1 \text{ mole Fe}}\right) =$$

$$= 22{,}4 \text{ g Fe}$$

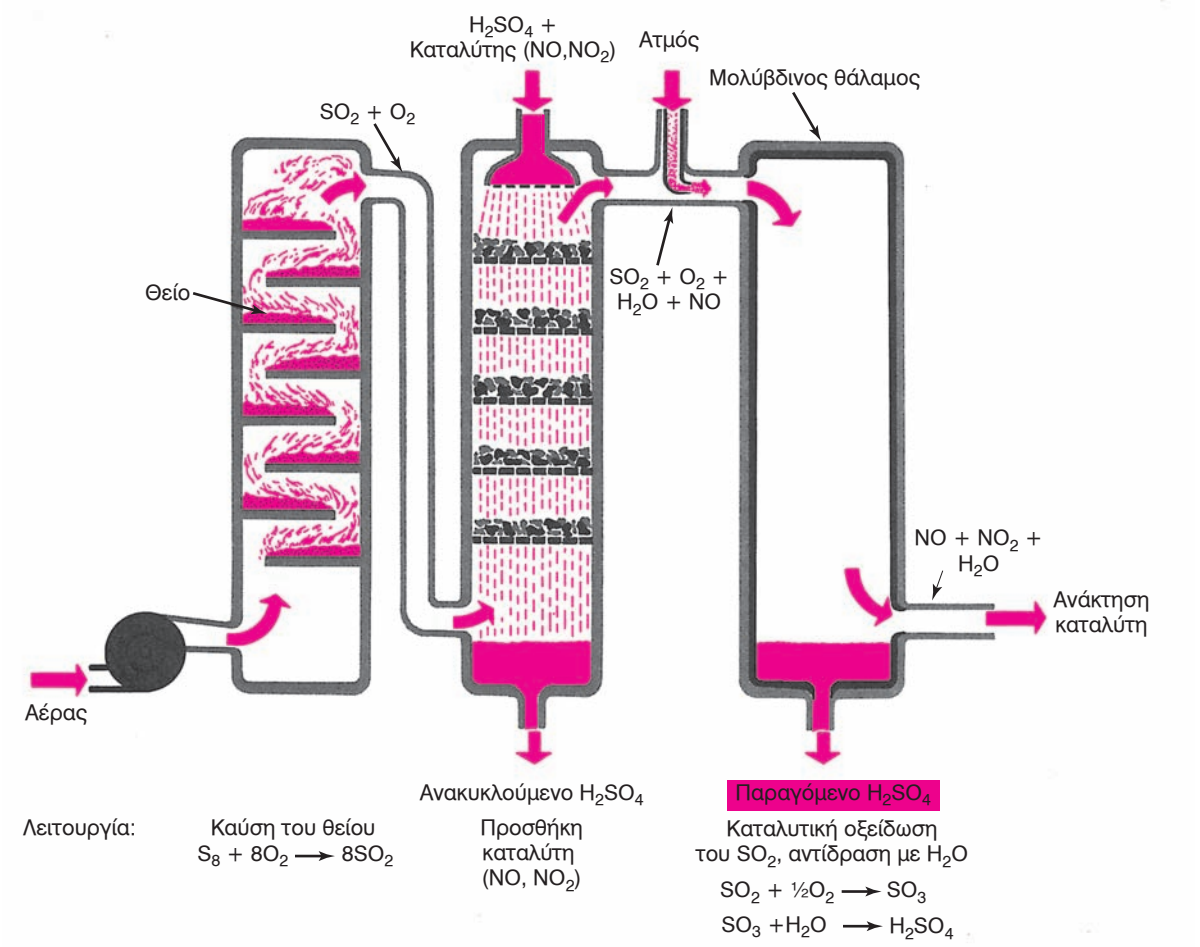
Συνδυάζοντας και τα τρία στάδια καταλήγομε στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Μάζα του Fe} = (32{,}0 \text{ g } Fe_2O_3)\left(\frac{1 \text{ mole } Fe_2O_3}{159{,}8 \text{ g } Fe_2O_3}\right)$$

$$x\left(\frac{2 \text{ moles Fe}}{1 \text{ mole } Fe_2O_3}\right)x\left(\frac{55{,}9 \text{ g Fe}}{1 \text{ mole Fe}}\right) =$$

$$= 22{,}4 \text{ g Fe}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι πραγματοποιήθηκε κατ' αρχάς μετατροπή των γραμμαρίων σε moles. Αυτή η μετατροπή δείχνει ότι στο παράδειγμα



ΣΧΗΜΑ 19-8. *Κατά την παραγωγή θειικού οξέος με τη μέθοδο των μολυβδίνων θαλάμων, χρησιμοποιείται ένα μίγμα NO και NO_2, το οποίο δρα ως καταλύτης για την οξείδωση των SO_2 προς SO_3.*

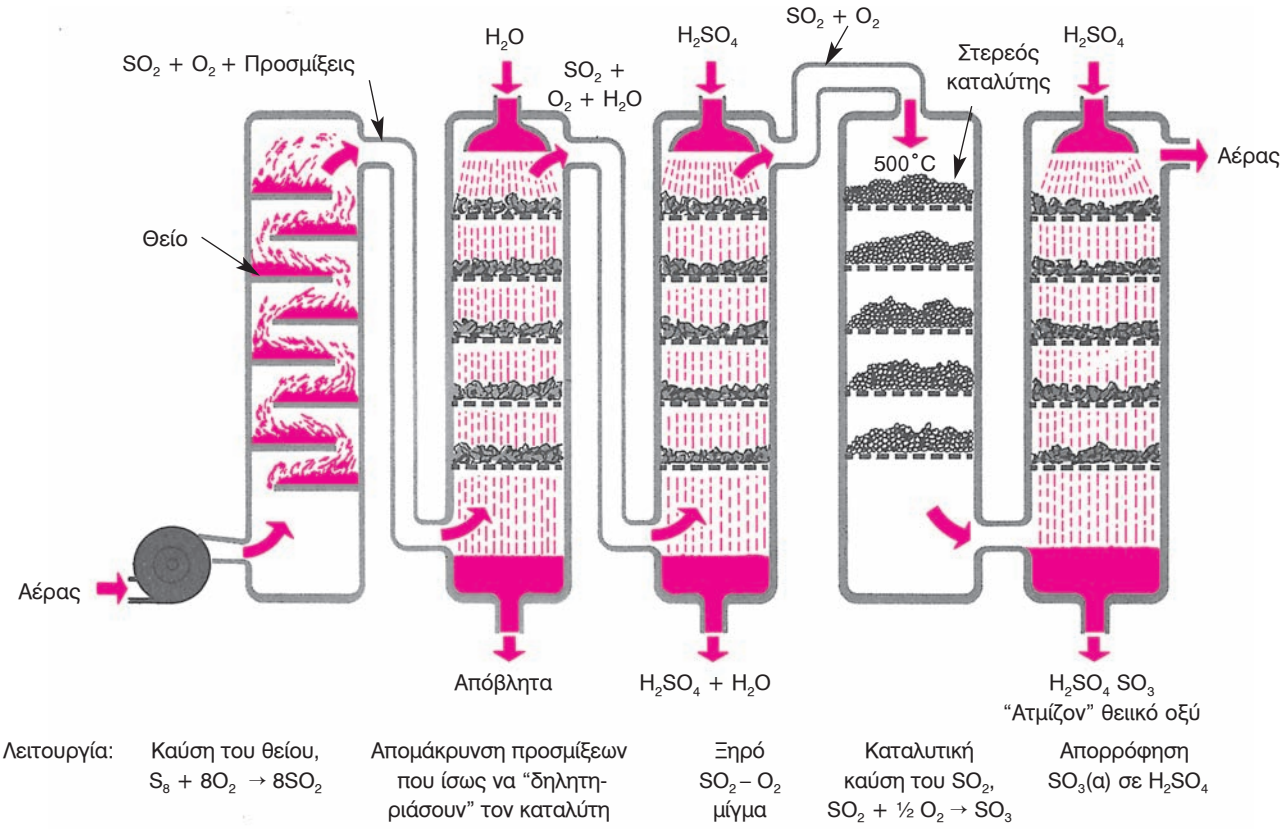
αυτό χρησιμοποιείται επίσης η μέθοδος των moles. Επί πλέον, πρέπει να σημειώσετε ότι η απλοποίηση των μονάδων στη μέθοδο των συντελεστών μετατροπής οδήγησε, τελικά, στις επιθυμητές μονάδες. Αυτό αποτελεί, κατά κάποιο τρόπο, και μια μέθοδο ελέγχου των αποτελεσμάτων σας. Αν οι μονάδες στην απάντησή σας είναι λάθος, σε κάποιο σημείο της μελέτης σας θα πρέπει να έχετε κάνει κάποιο λάθος.

Στις παραγράφους που ακολουθούν, τα προβλήματα θα αντιμετωπισθούν αρχικά χωρίς συντελεστές μετατροπής. Το κάθε στάδιο για την επίλυση θα επεξηγηθεί προφορικά. Μετά τη μέθοδο βήμα προς βήμα θα ακολουθήσει η μέθοδος των συντελεστών μετατροπής, που επιτρέπει την απλοποίηση και συντόμευση. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα εξοικειωθείτε με περισσότερους από έναν τρόπους επιλύσεως των στοιχειομετρικών προβλημάτων.

19.10 Η παραγωγή του θειικού οξέος: Χημικοί υπολογισμοί μάζας-μάζας.

Μια από τις σημαντικότερες χημικές ουσίες που παρασκευάζεται σε ευρεία κλίμακα (στο εμπόριο) είναι το θειικό οξύ, H_2SO_4. Στην πραγματικότητα, το προϊόν αυτό είναι τόσο σημαντικό διεθνώς, ώστε οι ποσότητες του H_2SO_4 που καταναλώνονται από μια χώρα ετησίως αποτελούν μια κατά προσέγγιση ένδειξη της οικονομικής της ευμάρειας. Για την παραγωγή του θειικού οξέος έχουν αναπτυχθεί δύο σημαντικές "εμπορικές διαδικασίες". Πρόκειται για τη ***μέθοδο των μολυβδίνων θαλάμων**** και τη ***μέθοδο επαφής***. Το μεγαλύτερο μέρος του H_2SO_4 παράγεται

* *Σ.τ.Μ. Η μέθοδος αυτή σπανίως εφαρμόζεται σήμερα.*



ΣΧΗΜΑ 19-9. *Κατά την παραγωγή θειικού οξέος με τη μέθοδο επαφής, χρησιμοποιείται στερεός καταλύτης. Είναι δαπανηρότερη διαδικασία από εκείνη των μολυβδίνων θαλάμων, αλλά παράγει περισσότερο συμπυκνωμένη μορφή οξέος, η οποία είναι χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές.*

σήμερα διά της μεθόδου επαφής. Η μέθοδος αυτή οδηγεί στο σχηματισμό καθαρού προϊόντος μεγάλης συγκεντρώσεως. Η μέθοδος των μολυβδίνων θαλάμων παράγει προϊόν μικρότερης καθαρότητας, το οποίο είναι κατάλληλο κυρίως για ορισμένες εμπορικές εφαρμογές. Τα σχήματα 19-8 και 19-9 δείχνουν τα γενικά χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου.

Και στις δύο μεθόδους η παραγωγή περιλαμβάνει τρεις αντιδράσεις, η κάθε μία εκ των οποίων μπορεί να παρασταθεί με μια χημική εξίσωση ως εξής:

1. Το θείο καίγεται στον αέρα και σχηματίζει διοξείδιο του θείου.

$$S_8(\sigma\tau) + 8\ O_2(\alpha) \rightarrow 8\ SO_2(\alpha)$$

2. Το διοξείδιο του θείου μπορεί στη συνέχεια να αντιδράσει με οξυγόνο και να σχηματίσει τριοξείδιο του θείου. Η αντίδραση αυτή προχωρεί με μεγαλύτερη ταχύτητα παρουσία μιας ουσίας, η οποία δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως. Η ουσία αυτή είναι ένας "καταλύτης". Οι καταλύτες εξετάζονται εκτενέστερα στην παράγραφο 19.12 και στο κεφάλαιο 21.

$$8\ SO_2(\alpha) + 4\ O_2(\alpha) \rightarrow 8\ SO_3\ (\alpha)$$

3. Το τριοξείδιο του θείου στη συνέχεια διαλύεται σε νερό και σχηματίζει θειικό οξύ.

$$8SO_3(\alpha) + 8\ H_2O(\upsilon\gamma) \rightarrow 8\ H_2SO_4(\upsilon\gamma)$$

Η συνολική αντίδραση είναι δυνατόν να παρασταθεί με το αλγεβρικό άθροισμα των εξισώσεων που περιγράφουν τα τρία στάδια που μόλις αναφέρθηκαν. Ακολουθεί η προκύπτουσα συνοπτική εξίσωση:

$$S_8(\sigma\tau) + 12\ O_2(\alpha) + 8\ H_2O(\upsilon\gamma) \rightarrow 8\ H_2SO_4(\upsilon\gamma)$$

Τώρα οι εξισώσεις που παριστάνουν τις αντιδράσεις έχουν ισοσταθμισθεί, δηλαδή έχει γίνει το απαραίτητο πρώτο βήμα για την επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος που αφορά στη στοιχειομετρία της διαδικασίας αυτής.

Υποτίθεται ότι είστε χημικός σε μια

βιομηχανία και σας ζητήθηκε να βρείτε πόσο θειικό οξύ θα παραχθεί από την καύση δύο κιλών θείου. Τι πρέπει να κάνετε; Παρουσιάζονται στη συνέχεια τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσετε, αν χρησιμοποιήσετε τη μέθοδο των moles.

1. Γράψτε τη συνολική εξίσωση για την αντίδραση.

$$S_8(\sigma\tau) + 12\ O_2(\alpha) + 8\ H_2O(\upsilon\gamma) \rightarrow 8\ H_2SO_4(\upsilon\gamma)$$

2. Μετατρέψτε την ποσότητα της δοθείσης ουσίας, δηλαδή του στερεού θείου, στον αντίστοιχο αριθμό των moles. Η μοριακή μάζα του S_8 ισούται με τη μάζα (32,1 g) ενός mole ατόμων θείου επί 8, ή με 256,8 g/mole. Έτσι, τα 2 κιλά θείου θα είναι ίσα με 2000 g /256,8 g/mole= 7,79 moles θείου.
3. Προσδιορίστε τον αριθμό των moles της ζητούμενης ουσίας, που σχηματίζονται από ένα mole της δοθείσης ουσίας. Οι συντελεστές στην αντίδραση δείχνουν ότι ένα mole S_8 δίνει οκτώ moles H_2SO_4.
4. Να προσδιορίσετε κατ' αναλογία πόσα moles θειικού οξέος παράγονται από τον πραγματικό αριθμό moles του S_8.

$$\frac{1\ \text{mole}\ S_8}{7{,}79\ \text{moles}\ S_8} = \frac{8\ \text{moles}\ H_2SO_4}{x}$$

$$x = 62{,}3\ \text{moles}\ H_2SO_4$$

5. Μετατρέψτε τα moles του H_2SO_4 στις επιθυμητές μονάδες. Στην παρούσα περίπτωση δεν έχει καθορισθεί κάποια ιδιαίτερη μονάδα. Όταν συμβαίνει αυτό, συνήθως πρέπει να μετατρέπετε τον αριθμό των moles της ζητούμενης ουσίας στις ίδιες μονάδες με αυτές της δοθείσης ουσίας. Στο παράδειγμα αυτό, μετατρέψτε τα 62,3 moles του H_2SO_4 σε χιλιόγραμμα. Η μάζα ενός mole H_2SO_4 είναι 98,1 γραμμάρια. Αυτό σημαίνει ότι τα 62,3 moles του H_2SO_4 θα έχουν μάζα 62,3 moles x 98,1 γραμμάρια/mole = 6112 γραμμάρια. Η μάζα των 6112 γραμμαρίων ισοδυναμεί με 6,11 χιλιόγραμμα. Άρα, τα 2 kg του S_8 παράγουν 6,11 kg θειικού οξέος.

19.11 Η παρασκευή του H_2SO_4: Υπολογισμοί μάζας-όγκου.

Όταν μερικά ή όλα από τα αντιδρώντα και τα προϊόντα είναι αέρια, είναι συχνά ανάγκη να προσδιορίζονται οι όγκοι αυτών των ουσιών και όχι οι μάζες τους. Σχετικά μικρές μάζες αερίων ουσιών καταλαμβάνουν συνήθως μεγάλους όγκους. Γι' αυτό το λόγο ο χημικός ασχολείται συχνά με τους όγκους και όχι με τις πραγματικές μάζες των αερίων ουσιών που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση. Για να μελετήσομε αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει να επανεξετάσομε τη σχέση ανάμεσα στη μάζα ενός mole κάποιου αερίου και τον όγκο που καταλαμβάνει σε Κ.Σ. θερμοκρασίας και πιέσεως.

Το mole ενός αερίου καταλαμβάνει 22,4 λίτρα στους 0°C (273 K) και έχει πίεση μιας ατμόσφαιρας. Ο όγκος σταθερής μάζας ενός αερίου σε σταθερή πίεση είναι ευθέως ανάλογος με τη μεταβολή της απόλυτης θερμοκρασίας (Kelvin). Αυτό αποτελεί έναν τρόπο διατυπώσεως του νόμου του Charles, ο οποίος εξετάσθηκε στην παράγραφο 6.3.

Έστω ότι θέλετε να προσδιορίσετε τον όγκο, σε λίτρα, του SO_2 που παράγεται κατά την αντίδραση ανάμεσα σε θείο και οξυγόνο, σε θερμοκρασία 500°C και πίεση μιας ατμόσφαιρας. Επίσης, έστω ότι καίγονται 2 χιλιόγραμμα θείου. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, πρέπει να εφαρμόσετε τη μέθοδο των moles, ακολουθώντας τα εξής στάδια:

1. Γράφετε την εξίσωση.

$$S_8(\sigma\tau) + 8\ O_2(\alpha) \rightarrow 8\ SO_2(\alpha)$$

2. Μετατρέπετε 2 χιλιόγραμμα S_8 σε moles. Στην παράγραφο 19.10 είχατε βρει ότι η ποσότητα αυτή ισούται με 7,79 moles S_8.
3. Παρατηρήστε την εξίσωση, για να δείτε πόσα moles SO_2 παράγονται από ένα mole S_8. Η εξίσωση δείχνει ότι για κάθε mole S_8 που αντιδρά, σχηματίζονται 8 moles SO_2.
4. Υπολογίστε τον πραγματικό αριθμό των moles του SO_2 που παράγονται με απλή αναλογία.

$$\frac{1\ \text{mole}\ S_8}{7{,}79\ \text{moles}\ S_8} = \frac{8\ \text{moles}\ SO_2}{x}$$

$$x = 62{,}3\ \text{moles}\ SO_2$$

5. Μετατρέπετε 62,3 moles του SO_2 σε λίτρα σε Κ.Σ. Γνωρίζετε ότι ένα mole SO_2 σε Κ.Σ. καταλαμβάνει 22,4 λίτρα. Γι' αυτό, 62,3 moles SO_2 θα καταλάβουν 1400 λίτρα σε Κ.Σ. (62,3 x 22,4).
6. Υπολογίστε τον όγκο του SO_2 σε λίτρα στους 500°C (773 K) και πίεση μιας ατμόσφαιρας.

Σύμφωνα με το νόμο του Charles, αν μεταβληθεί η θερμοκρασία από τους 273 K στους 773 K, ο όγκος θ' αυξηθεί κατά 773/273. Έτσι, η τελική απάντηση είναι 3,96 x 10^3 λίτρα (773/273 επί 1400).

Το ίδιο πρόβλημα μπορεί να λυθεί και με τη βοήθεια συντελεστών μετατροπής ως εξής:

$$\text{Όγκος } SO_2 = [2\text{ kg } S_8]\left(\frac{1000\text{ g } S_8}{1\text{ kg } S_8}\right)\left(\frac{1\text{ mole } S_8}{256{,}8\text{ g } S_8}\right) \times \left(\frac{8\text{ moles } SO_2}{1\text{ mole } S_8}\right)\left(\frac{22{,}4\text{ λίτρα } SO_2\text{ σε Κ.Σ.}}{1\text{ mole } SO_2}\right) = 1400\text{ λίτρα } SO_2\text{ σε Κ.Σ.}$$

Σύμφωνα με το νόμο του Charles, και πάλι πολλαπλασιάζετε τον όγκο αυτό με 773/273, για να πάρετε την τελική απάντηση των 3,96 x 10^3 λίτρων SO_2 σε 773 K και πίεση μιας ατμόσφαιρας.

Στη συνέχεια δίνεται ακόμη ένα παράδειγμα υπολογισμών μάζας-όγκου. Πρόκειται για τον προσδιορισμό του όγκου, σε λίτρα, του SO_2 που παράγεται σε 373 K και πίεση μιας ατμόσφαιρας, κατά την καύση τόσης ποσότητας S_8, όση χρειάζεται για να χρησιμοποιηθούν 64,0 g οξυγόνου.

Παράδειγμα.

$$V_1 = [64{,}0\text{ g } O_2]\left(\frac{1\text{ mole } O_2}{32{,}0\text{ g } O_2}\right)\left(\frac{8\text{ moles } SO_2}{8\text{ moles } O_2}\right) \times \left(\frac{22{,}4\text{ λίτρα } SO_2\text{ σε Κ.Σ.}}{1\text{ mole } SO_2}\right)$$

$$V_1 = [44{,}8\text{ λίτρα } SO_2\text{ σε Κ.Σ.}]$$

$$V_2 = [44{,}8\text{ λίτρα } SO_2]\left(\frac{373}{273}\right)$$

$$V_2 = 61{,}2\text{ λίτρα } SO_2\text{ σε 373 K και 1 ατμόσφαιρα.}$$

19.12 Παραγωγή H_2SO_4: Υπολογισμοί όγκου-όγκου.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι δύο πιο διαδεδομένες μέθοδοι για την παραγωγή του H_2SO_4 είναι η μέθοδος των μολυβδίνων θαλάμων και η μέθοδος επαφής. Το δυσκολότερο στάδιο κατά την παρασκευή του H_2SO_4 είναι το ακόλουθο:

$$2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ SO_3(g)$$

Είναι μια εξαιρετικά αργή αντίδραση. Το κόστος αυτής της διαδικασίας θα ήταν πολύ υψηλό, αν δεν χρησιμοποιούνταν κάποιος από τους διάφορους καταλύτες, οι οποίοι επιταχύνουν σημαντικά την αντίδραση. Ο ***καταλύτης*** είναι μια ουσία, η οποία μεταβάλλει την ταχύτητα μιας χημικής αντιδράσεως και στο τέλος της αντιδράσεως παραλαμβάνεται αμετάβλητος. Εκτός από τη μεταβολή της ταχύτητας της αντιδράσεως, ένας καταλύτης δεν αλλάζει τα χημικά δεδομένα της διαδικασίας. Για το λόγο αυτό, ο καταλύτης δεν αναγράφεται στη χημική εξίσωση που περιγράφει την αντίδραση.

Οι δύο διαδικασίες για την παραγωγή θειικού οξέος, επαφής και μολυβδίνων θαλάμων, διαφέρουν κυρίως στον καταλύτη που χρησιμοποιούν για τη μετατροπή του SO_2 σε SO_3. Κατά τη μέθοδο των μολυβδίνων θαλάμων η αντίδραση ανάμεσα στο SO_2 και στο O_2 επιταχύνεται με ανάμιξη των αντιδρώντων μέσα σε ένα θάλαμο επικαλυμμένο με φύλλα μολύβδου παρουσία και αερίων οξειδίων του αζώτου, τα οποία χρησιμεύουν ως καταλύτης. Κατά τη μέθοδο επαφής η κατάλυση πραγματοποιείται κατά την επαφή SO_2 και O_2 πάνω στην επιφάνεια ενός στερεού καταλύτη. Δύο από τους καταλύτες που χρησιμοποιούνται κατά τη μέθοδο επαφής είναι ο λεπτόκοκκος λευκόχρυσος, Pt, και το πεντοξείδιο του βαναδίου, V_2O_5.

Σε αυτήν τη φάση της παραγωγής του θειικού οξέος θα πρέπει να υπολογισθεί ο όγκος, σε λίτρα, του οξυγόνου που χρειάζεται να αντιδράσει με ορισμένο όγκο SO_2. Ας υποθέσομε για παράδειγμα, ότι ο όγκος του SO_2 είναι 112 λίτρα σε Κ.Σ. Ο όγκος του οξυγόνου μπορεί να υπολογισθεί με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Γράψτε την εξίσωση.

$$2\ SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2\ SO_3(g)$$

2. Υπολογίστε τον αριθμό των moles του SO_2. Αφού το ένα mole οποιουδήποτε αερίου καταλαμβάνει όγκο 22,4 λίτρα σε Κ.Σ., συνεπάγεται ότι τα 112 λίτρα θα είναι ο όγκος που καταλαμβάνουν 112:22,4 ή 5 moles.
3. Προσδιορίστε τον αριθμό των moles του O_2 που θα αντιδράσουν με ένα mole του SO_2. Με βάση την εξίσωση εξάγεται ότι δύο moles SO_2 αντιδρούν με ένα mole O_2. Έτσι, το κάθε mole του SO_2 χρειάζεται μισό mole O_2.
4. Προσδιορίστε τον αριθμό των moles του O_2 που αντιδρούν. Τα πέντε moles του SO_2, σε αυτό το πρόβλημα, θα χρειασθούν πέντε φορές περισσότερο O_2 από ό,τι το ένα mole του SO_2. Δηλαδή, χρειάζονται 2,5 moles O_2 (5 x ½).
5. Κάντε τη μετατροπή από moles O_2 σε λίτρα O_2.

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΑΙΘΑΛΟΜΙΧΛΗ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Στο κεφάλαιο 6 εξετάσαμε ένα είδος ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως, την οποία ονομάσαμε αιθαλομίχλη του Λονδίνου. Υπάρχει και ένα άλλο είδος, το οποίο απαντά σε κάθε μεγάλη πόλη όπου γίνεται μεγάλη χρήση των αυτοκινήτων. Οι οικολόγοι την ονομάζουν συνήθως με το όνομα της πόλεως στην οποία για πρώτη φορά εμφανίσθηκε (και εξακολουθεί να δημιουργεί) σοβαρό πρόβλημα.

Αιθαλομίχλη του Λος Άντζελες*. Η μηχανή ενός αυτοκινήτου δημιουργεί ενέργεια από την καύση της βενζίνης μέσα στους κυλίνδρους της. Η βενζίνη αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες, όπως το οκτάνιο, C_8H_{18}. Το τι βασικά συμβαίνει, όταν για παράδειγμα καίγεται το οκτάνιο μέσα στη μηχανή ενός αυτοκινήτου, αναφέρεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$C_8H_{18} + 25/2\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 9\ H_2O$$

Αν αυτό ήταν το ***μόνο*** το οποίο συνέβαινε, δεν θα υπήρχε πρόβλημα. Οι υδρατμοί είναι αβλαβείς, καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα στις ποσότητες που παράγεται από τα αυτοκίνητα (σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες, το CO_2 είναι δυνατόν να αποτελέσει πρόβλημα).

Υπάρχουν δύο προβλήματα με τις μηχανές των αυτοκινήτων. Το πρώτο είναι ότι το καύσιμο δεν καίγεται τελείως σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Τα προϊόντα της καύσεως, δηλαδή τα αέρια της εξατμίσεως, περιέχουν μερικούς υδρογονάνθρακες, που δεν έχουν καεί, όπως και λίγο μονοξείδιο του άνθρακα, CO. Δεύτερον, όταν στη μηχανή εισάγεται αέρας προκειμένου να εξασφαλιστεί το οξυγόνο που απαιτείται για την καύση του καυσίμου, εισάγεται στη μηχανή και άζωτο**. Ένα μικρό μέρος του αζώτου μετατρέπεται σε δύο είδη οξειδίων: Μονοξείδιο του αζώτου, NO, και διοξείδιο του αζώτου, NO_2. Γι' αυτό, μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς, τα καυσαέρια όλων των αυτοκινήτων περιέχουν τους παρακάτω ρύπους: Μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστους υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου.

Το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελεί δηλητήριο για όλα τα ζωικά είδη. Συγκρατείται από τα μόρια της αιμοσφαιρίνης μέσα στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Παρεμποδίζονται με αυτόν τον τρόπο τα αιμοσφαίρια ως προς την εκτέλεση της φυσιολογικής λειτουργίας τους, που είναι η μεταφορά μορίων οξυγόνου από τους πνεύμονες στους ιστούς του σώματος. Αν ένα άτομο κλεισθεί μέσα σε ένα μικρό και κλειστό χώρο, όπως είναι το γκαράζ ενός αυτοκινήτου, όπου λειτουργεί η μηχανή του αυτοκινήτου, είναι δυνατόν να πεθάνει από το παραγόμενο μονοξείδιο του άνθρακα. Σε περιοχές με μεγάλη κυκλοφορία αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε περιόδους άπνοιας, οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα είναι πολύ υψηλές. Η επί μακρό χρονικό διάστημα έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις CO έχει πιθανότατα βλαβερές συνέπειες, έστω και αν οι άμεσες συνέπειες δεν είναι σημαντικές.

Ο κίνδυνος από τους άκαυστους υδρογονάνθρακες και τα οξείδια του αζώτου είναι ακόμη πιο ορατός. Τα οξείδια του αζώτου αποτελούν δηλητήρια. Η χειρότερη συνέπεια από αυτά είναι η δημιουργία όζοντος, O_3, και διαφόρων προϊόντων οξειδώσεως των ακαύστων υδρογονανθράκων. Στον αέρα, το οξείδιο του αζώτου μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Το ηλιακό φως επιδρά πάνω στο NO_2 διασπώντας το κατά τον παρακάτω τρόπο:

$$NO_2 \xrightarrow{\text{ηλιακό φως}} NO + O$$

Τα άτομα οξυγόνου που παράγονται με αυτόν τον τρόπο αντιδρούν με μόρια οξυγόνου και παράγουν όζον:

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

Το όζον αποτελεί μια εξαιρετικά δραστική μορφή οξυγόνου. Είναι επιβλαβές κατά δύο τρόπους. Ο ένας είναι ότι αντιδρά απ' ευθείας με τους ιστούς τόσο των φυτών όσο και των ζώων, προκαλώντας σοβαρές καταστροφές. Πολλά φυτά και ολόκληρες καλλιέργειες βλάπτονται από τις συγκεντρώσεις όζοντος μόλις ενός χιλιοστού του γραμμαρίου ανά τόνο ατμοσφαιρικού αέρα. Το πρόβλημα αυτό είναι τόσο σοβαρό στις αστικές περιοχές της Νότιας Καλιφόρνιας, ώστε ορισμένα λαχανικά δεν

---

* *Σ.τ.Μ. Το πρόβλημα της αιθαλομίχλης του Λος Άντζελες, ιδιαίτερα σοβαρό τη δεκαετία το 1950, σήμερα, μετά από σειρά καταλλήλων μέτρων που ελήφθησαν, έχει σημαντικά αμβλυνθεί.*

** *Σ.τ.Μ. Εννοείται άζωτο ατμοφαιρικού αέρα που ανέρχεται περίπου στο 80%.*

μπορούν πια να αναπτυχθούν εκεί, ενώ η καταστροφή των φυτών είναι εκτεταμένη και σαφέστατα ορατή.

Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο το όζον προκαλεί βλάβες είναι οξειδώνοντας τα μόρια των ακαύστων μορίων των υδρογονανθράκων. Ακολουθεί μια χαρακτηριστική αντίδραση:

$$CH_3CH = CH_2 + 2O_3 \rightarrow CH_3CHO + CH_2O + 2O_2$$

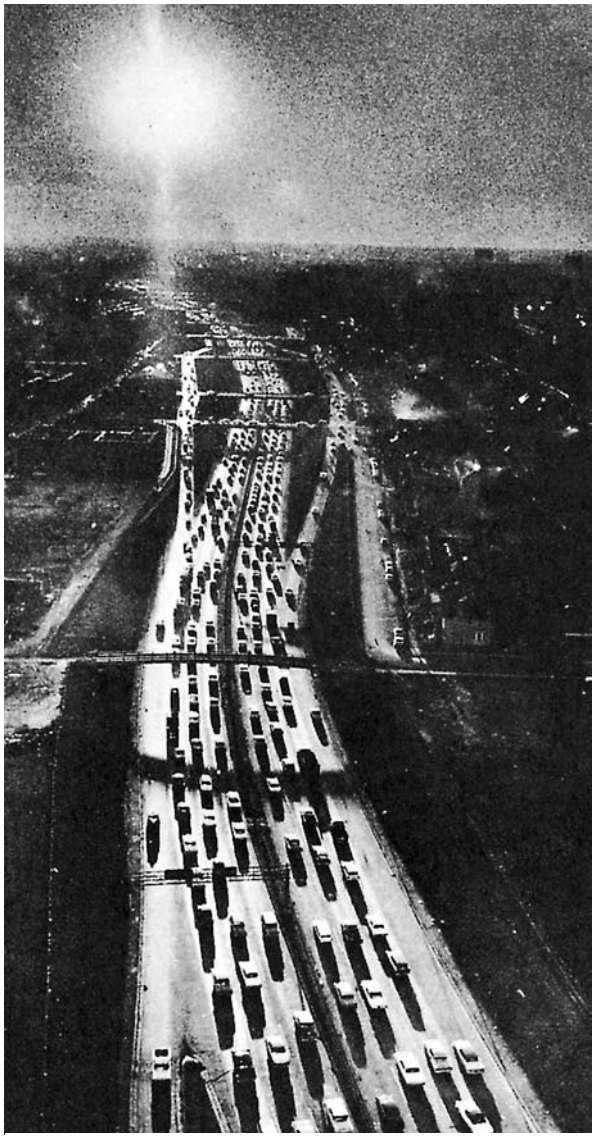
Πολλές από τις ενώσεις που παράγονται κατ' αυτόν τον τρόπο* είναι ιδιαίτερα ερεθιστικές τόσο για τα μάτια όσο και για το αναπνευστικό σύστημα.

Τι μπορεί να γίνει όμως σχετικά με τη ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα; Μια λύση θα ήταν να περιορισθεί η χρήση των αυτοκινήτων δημιουργώντας καθαρά, γρήγορα και εξυπηρετικά δημόσια μαζικά μεταφορικά μέσα. Ένας άλλος τρόπος θα ήταν να βελτιωθεί ο σχεδιασμός των μηχανών έτσι, ώστε το κάθε αυτοκίνητο να παράγει μικρότερη ποσότητα ρυπαντών.

Επί πλέον, ένα άλλο σημαντικό μέτρο, στο οποίο οι χημικοί καλούνται να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο, θα ήταν η ανάπτυξη αποτελεσματικών ***καταλυτών***. Πρόκειται για συστήματα που τοποθετούνται ακριβώς μετά την εξάτμιση της μηχανής, ώστε τα θερμά καυσαέρια να διέρχονται πάνω από ένα είδος καταλύτη. Ο καταλύτης θα πρέπει να υποβοηθά αντιδράσεις, όπως αυτές που ακολουθούν, οι οποίες μετατρέπουν τους ρύπους σε αβλαβείς ουσίες:

$$2NO_2 \rightarrow N_2 + 2O_2$$
$$2NO \rightarrow N_2 + O_2$$
$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$
$$\text{Υδρογονάνθρακες} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

Με τις δύο πρώτες αντιδράσεις απομακρύνονται τα οξείδια του αζώτου, ενώ με τις επόμενες δύο ολοκληρώνεται η καύση του μονοξειδίου του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Μέχρι σήμερα δεν έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος ως προς τη δημιουργία ενός κατάλληλου καταλύτη για τις δύο πρώτες αντιδράσεις, ενώ κάποια επιτυχία έχει σημειωθεί όσον αφορά έναν καταλύτη των δύο άλλων αντιδράσεων. Φαίνεται ότι μερικά μέταλλα και οξείδια των μετάλλων κατανεμημένα πάνω σε κεραμικό υπόστρωμα είναι αρκετά αποτελεσματικά. Παρ'όλα αυτά, η διάρκεια κατά την οποία ένας καταλύτης παραμένει αποτελεσματικός εξακολουθεί να αποτελεί σοβαρό πρόβλημα.



Τα ρυπογόνα καυσαέρια που εκλύονται από αυτά τα αυτοκίνητα στο Ντετρόϊτ των ΗΠΑ κρύβουν ακόμη και το ηλιοβασίλεμα.

* *Σ.τ.Μ. Όπως για παράδειγμα η φορμαλδεΰδη (HCO = O).*

Γνωρίζετε ότι το ένα mole του O_2 καταλαμβάνει 22,4 λίτρα σε Κ.Σ. Έτσι, 2,5 moles O_2 καταλαμβάνουν:

$$2{,}5 \text{ moles } \times \frac{22{,}4 \text{ λίτρα Κ.Σ.}}{\text{moles}} = 56{,}0 \text{ λίτρα σε Κ.Σ.}$$

Στο παράδειγμα που ακολουθεί μπορείτε να δείτε πώς λύνεται το ίδιο πρόβλημα με τη μέθοδο των συντελεστών μετατροπής.

Παράδειγμα.

$$\text{Όγκος } O_2 = [112 \text{ λίτρα } SO_2 \text{ σε Κ.Σ.}]\left(\frac{1 \text{ mole } SO_2}{22{,}4 \text{ λίτρα } SO_2 \text{ σε Κ.Σ.}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ mole } O_2}{2 \text{ moles } SO_2}\right)\left(\frac{22{,}4 \text{ λίτρα } O_2 \text{ σε Κ.Σ.}}{1 \text{ mole } O_2}\right) = 56{,}0 \text{ λίτρα } O_2 \text{ σε Κ.Σ.}$$

Υπολογισμοί με τη βοήθεια μόνο των όγκων. Αυτό το πρόβλημα θα ήταν δυνατόν να λυθεί κατ' ευθείαν με μονάδες όγκου, χωρίς να αναφερθούν σε αυτήν τη διαδικασία moles. Για να το αποδείξομε αυτό, θα πρέπει πάλι να χρησιμοποιήσομε το νόμο των ιδανικών αερών, $PV = nRT$. Εξετάσθηκε αρχικά στην παράγραφο 6.6.

Με τη βοήθεια του νόμου αυτού είναι δυνατόν να γραφεί η παρακάτω εξίσωση προκειμένου για την πίεση του SO_2:

$$P_1 = \frac{n_1 RT_1}{V_1}$$

Παρομοίως γράφεται και η ακόλουθη εξίσωση για την πίεση του O_2:

$$P_2 = \frac{n_2 RT_2}{V_2}$$

Επειδή και τα δύο αέρια είναι υπό την ίδια πίεση, το δεξιό μέρος και των δύο εξισώσεων μπορεί να θεωρηθεί ίσο:

$$\frac{n_1 RT_1}{V_1} = \frac{n_2 RT_2}{V_2}$$

Επί πλέον, τα αέρια έχουν την ίδια θερμοκρασία. Γι' αυτό, απλοποιώντας τις ίσες μεταβλητές, η εξίσωση οδηγεί στην παρακάτω αναλογία:

$$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2}$$

Ειδικά για την περίπτωση της χημικής εξισώσεως την οποία μελετούμε, όταν το n_1 είναι ίσο με δύο moles, το n_2 ισούται με ένα mole. Αν αντικαταστήσετε αυτές τις τιμές στην προηγούμενη αναλογία, λαμβάνετε την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{2 \text{ moles}}{V_1} = \frac{1 \text{ mole}}{V_2}$$

$$2V_2 = V_1$$

Έτσι, παρατηρείτε ότι στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, ο ίδιος λόγος εφαρμόζεται τόσο στα moles όσο και στους όγκους. Έχοντας αυτό υπόψη, το προηγούμενο παράδειγμα θα ήταν δυνατόν να εκφρασθεί κατά τον παρακάτω τρόπο. Πρέπει να προσέξετε ότι εφαρμόζεται μόνο για μονάδες όγκου.

$$\text{Όγκος } O_2 = [112 \text{ λίτρα } SO_2 \text{ σε Κ.Σ.}]\left(\frac{1 \text{ λίτρο } O_2 \text{ σε Κ.Σ.}}{2 \text{ λίτρα } SO_2 \text{ σε Κ.Σ.}}\right) = 56{,}0 \text{ λίτρα } O_2 \text{ σε Κ.Σ.}$$

19.13 Στοιχειομετρία σε μια οργανική αντίδραση.

Ανάμεσα στα διάφορα είδη οργανικών ενώσεων που εξετάσθηκαν στο κεφάλαιο 16 ήταν εστέρες και αμίδια. Μάθατε ότι οι εστέρες είναι δυνατόν να μετασχηματισθούν σε αμίδια, αν κατεργασθούν με αμίνες. Χαρακτηριστική αντίδραση αυτού του είδους είναι και η ακόλουθη:

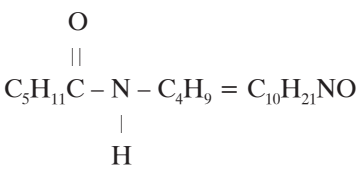
$$\begin{array}{l} \quad\quad\quad\

50,0 g του αμιδίου, με τη βοήθεια αυτής της αντιδράσεως. Από ποια ποσότητα εστέρα πρέπει να ξεκινήσει, για να πάρει τα απαιτούμενα 50,0 g του αμιδίου, αν θεωρήσει ως δεδομένο ότι η αντίδραση θα είναι τελεία;

Είναι δυνατόν η αντίδραση να "ολοκληρωθεί", δηλαδή να μετατραπεί ουσιαστικά όλος ο εστέρας σε αμίδιο. Για το σκοπό αυτό, ο χημικός χρησιμοποιεί μεγάλη ποσότητα βουτυλαμίνης και θερμαίνει το μίγμα της αντιδράσεως ισχυρά, ώστε να απομακρυνθεί η μεθανόλη που σχηματίζεται. Τέτοιου είδους τεχνικές για την ολοκλήρωση μιας αντιδράσεως θα εξετασθούν εκτενέστερα στο κεφάλαιο 22.

Ο ερευνητής χημικός μπορεί να λύσει το πρόβλημά του με τη βοήθεια της μεθόδου των moles. Τα στάδια που θα ακολουθήσει κατά την επίλυση του προβλήματος αυτού είναι όμοια με εκείνα που ακολουθήθηκαν για τη λύση προηγουμένων προβλημάτων αυτού του κεφαλαίου και είναι τα εξής:

1. Ο χημικός βεβαιώνεται ότι η εξίσωση είναι σωστή. Με τον τρόπο που είναι τώρα γραμμένη η εξίσωση είναι πράγματι σωστή.
2. Στη συνέχεια μετατρέπει τη ζητούμενη μάζα του αμιδίου σε moles. Αυτό γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:



C:	10 x 12,0	=	120
H:	21 x 1,0	=	21,0
N:	1 x 14,0	=	14,0
O:	1 x 16,0	=	16,0
μάζα ενός mole		=	171,0

Ο αριθμός των moles του αμιδίου είναι:

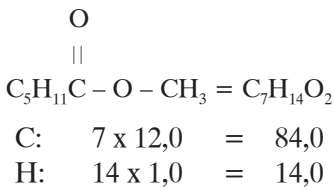
50,0 g / 171g / mole = 0,292 moles.

3. Παρατηρώντας καλά την εξίσωση διαπιστώνομε ότι προσδιορίζει πως ένα mole του εστέρα παράγει ένα mole του αμιδίου.
4. Στη συνέχεια προσδιορίζει με απλή αναλογία πόσα moles του εστέρα χρειάζονται, για να παραχθεί ο απαιτούμενος αριθμός moles αμιδίου.

$$\frac{1 \text{ mole αμιδίου}}{0{,}292 \text{ mole αμιδίου}} = \frac{1 \text{ mole εστέρα}}{x}$$

$$x = 0{,}292 \text{ mole εστέρα}$$

5. Τέλος, μετατρέπει τα moles του εστέρα σε γραμμάρια. Για να γίνει αυτό, οφείλει αρχικά να υπολογίσει τη μάζα ενός mole με τον παρακάτω τρόπο:



C:	7 x 12,0	=	84,0
H:	14 x 1,0	=	14,0
O:	2 x 16,0	=	32,0
μάζα ενός mole		=	130,0

Με βάση τα παραπάνω, ο αριθμός των moles του εστέρα που απαιτούνται είναι 0,292 moles x 130 g/mole = 38,0 g.

Ένας ερευνητής χημικός μπορεί, αν χρησιμοποιήσει συντελεστές μετατροπής, να επιλύσει το πρόβλημα κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$x = [50{,}0 \text{ g αμιδίου}]\left(\frac{1 \text{ mole αμιδίου}}{171 \text{ g αμιδίου}}\right)$$

$$\times\left(\frac{1 \text{ mole εστέρα}}{1 \text{ mole αμιδίου}}\right)\left(\frac{130{,}0 \text{ g εστέρα}}{1 \text{ mole εστέρα}}\right)$$

$$x = 38{,}0 \text{ g εστέρα}$$

Περίληψη.

Με τον όρο στοιχειομετρία εκφράζομε τις ποσοτικές σχέσεις, συμπεριλαμβανομένων και των σχέσεων μάζας και όγκου, ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα μιας χημικής αντιδράσεως. Τα προβλήματα της στοιχειομετρίας αφορούν γενικά υπολογισμούς προκειμένου να ληφθούν ορισμένες ποσότητες των αντιδρώντων ή των προϊόντων μιας χημικής αντιδράσεως. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τον υπολογισμό των σχέσεων των μαζών είναι η χρήση των moles. Πρόκειται περί της μεθόδου, κατά την οποία μετατρέπονται όλες οι δοθείσες μάζες ή όγκοι σε moles. Αν χρησιμοποιηθούν οι λόγοι των moles που παρέχονται από τις χημικές εξισώσεις, υπολογίζονται οι απαιτούμενες ποσότητες των αντιδρώντων ή των προϊόντων που είναι δυνατόν να σχηματισθούν. Ο αριθμός που προκύπτει σε moles μετατρέπεται στη συνέχεια σε γραμμάρια, λίτρα ή οποιαδήποτε άλλη ζητούμενη μονάδα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι η μάζα σε γραμμάρια ενός mole οξειδίου του σιδήρου;
2. Κατά την αντίδραση Al με Fe_2O_3, πόσα moles Al χρειάζονται για να παραχθούν 3 moles σιδήρου;
3. Ας υποτεθεί ότι SO_2 αντιδρά με O_2 στους 773 K.
   (α) Τι όγκο θα καταλαμβάνει στους 773 K αέριο SO_2, αν στους 273 K καταλαμβάνει 112 λίτρα;
   (β) Τι όγκο θα καταλαμβάνουν τα απαιτούμενα 2,5 moles του O_2 στους 773 K;

Περίληψη κεφαλαίου

Ορισμένοι κανόνες που αφορούν στην ικανότητα του κάθε στοιχείου να συνδέεται με άλλα στοιχεία είναι χρήσιμοι κατά τη γραφή των χημικών τύπων. Σύμφωνα με αυτούς, αναγράφεται επάνω δεξιά, στο σύμβολο κάθε στοιχείου, η αριθμητική τιμή (1, 2, 3...) και το είδος (+ ή –) του σθένους του, π.χ. Ca^{2+}. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι αριθμοί σθένους δεν είναι ίδιοι σε όλες τις ενώσεις που σχηματίζονται από ένα και το αυτό στοιχείο. Καλύπτουν όμως το μεγαλύτερο μέρος των γνωστών ενώσεων. Αν ισοσταθμιστούν τα σθένη σ' ένα ουδέτερο μόριο έτσι ώστε να έχουν άθροισμα μηδέν, τότε μπορεί να γραφεί και ο χημικός του τύπος.

Υπάρχουν ορισμένοι γενικοί κανόνες για την ονοματολογία των γνωστών ενώσεων. Ως προς την ονοματολογία των διστοιχειακών ενώσεων (δηλαδή εκείνων που αποτελούνται από δύο στοιχεία) αναφέρομε πρώτο το όνομα του ανιόντος (δηλαδή του αρνητικού ιόντος) με την κατάληξη ***-ούχο***, και καταλήγομε με το όνομα του κατιόντος (δηλαδή του θετικού ιόντος). Ονόματα των οποίων η πρώτη λέξη καταλήγει σε ***-ικό*** ή ***-ώδες*** ενώ η δεύτερη είναι το όνομα του κατιόντος, χρησιμοποιούνται συνήθως για ενώσεις που περιέχουν αρνητικά πολυατομικά ιόντα (για παράδειγμα $CaSO_4$, θειικό ασβέστιο, $LiNO_2$, νιτρώδες λίθιο). Προκειμένου για μέταλλα που εμφανίζονται συνήθως με δύο σθένη, αναγράφεται, μετά το σύμβολο του μετάλλου ένας λατινικός αριθμός, για να δείχνει το σθένος τους. Για παράδειγμα, ο Fe^{2+} γράφεται Fe (II), ενώ ο Fe^{3+} γράφεται Fe (III).

Ο όρος στοιχειομετρία παραπέμπει στις ποσοτικές σχέσεις που υπάρχουν σε μια χημική αντίδραση. Αν έχει γραφεί σωστά η χημική εξίσωση μιας αντιδράσεως, οι στοιχειομετρικοί υπολογισμοί γίνονται εύκολα με τη βοήθεια της μεθόδου των moles. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, τα δεδομένα μάζας ή όγκου μετατρέπονται αρχικά σε moles. Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι αριθμοί των moles κάποιων άλλων ουσιών ή οι ποσότητες των ουσιών που αντιστοιχούν στους γνωστούς αριθμούς των moles των αρχικών ουσιών. Τέλος, το αποτέλεσμα αυτό μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μονάδα μετρήσεως, όπως γραμμάρια, τόνοι ή λίτρα.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Γράψτε απλούς χημικούς τύπους για τις ακόλουθες ενώσεις του νατρίου:
   (α) Χλωριούχο νάτριο
   (β) Θειούχο νάτριο
   (γ) Νιτρικό νάτριο
   (δ) Ανθρακικό νάτριο
   (ε) Φωσφορικό νάτριο
2. Αναφέρατε το όνομα και τον τύπο της μοναδικής γνωστής χημικής ρίζας που εξετάσθηκε και η οποία εμφανίζει θετικό σθένος.
3. Γράψτε τους τύπους των ενώσεων του σιδήρου και του οξυγόνου για τις ακόλουθες περιπτώσεις: Ο σίδηρος έχει σθένος 3+. Ο σίδηρος έχει σθένος 2+. Ποια είναι τα δύο ονόματα που μπορεί να δοθούν στην καθεμιά από τις ενώσεις που σχηματίζονται;
4. Πού θα πρέπει να αναζητήσετε πληροφορίες για την ικανότητα συνδέσεως των στοιχείων και των ριζών, όταν αυτά δεν αναφέρονται μέσα στο κείμενο;
5. Ονομάστε τις ακόλουθες ενώσεις: $NaNO_3$, KI, $(NH_4)_2SO_4$, NaOH, $AgNO_3$, $CuCl_2$ (δώστε δύο ονόματα), K_3PO_4.
6. Γράψτε τις χημικές εξισώσεις για τις ακόλουθες αντιδράσεις, προσέχοντας

ιδιαίτερα τους συντελεστές:
(α) υδρογόνο + βρώμιο → υδροβρώμιο
(β) άνθρακας + οξυγόνο →
διοξείδιο του άνθρακα
(γ) λίθιο + νερό →
υδροξείδιο του λιθίου + υδρογόνο
(δ) υδρογόνο + άζωτο → αέριος αμμωνία .

7. Όταν ο σίδηρος σκουριάζει ενώνεται με το οξυγόνο του αέρα και σχηματίζει οξείδιο του σιδήρου, Fe_2O_3. Με βάση αυτήν την πληροφορία, ποιο από τα ακόλουθα είναι λάθος;
(α) Η εξίσωση είναι $3O_2 + 4Fe \rightarrow 2Fe_2O_3$.
(β) Ο τύπος Fe_2O_3 περιλαμβάνει πέντε άτομα.
(γ) Η μάζα σε γραμμάρια ενός mole οξειδίου του σιδήρου είναι 104 g.
(δ) Η μάζα των αντιδρώντων ισούται με τη μάζα των προϊόντων.
(ε) Διατηρείται ο αριθμός των ατόμων.
8. Κερί παραφίνης καίγεται στον αέρα και σχηματίζει νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Αν και η παραφίνη αποτελείται από μόρια διαφόρου μεγέθους, θα γραφεί π.χ. ο τύπος $C_{25}H_{52}$, για να παρασταθούν όλα τα μόριά της. Ακολουθεί η εξίσωση αυτής της αντιδράσεως, χωρίς τους συντελεστές:

$$C_{25}H_{52} + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$$

(α) Πόσα moles οξυγόνου χρειάζονται, για να καεί ένα mole παραφίνης;
(β) Ποια είναι η μάζα αυτού του οξυγόνου;
(γ) Πόσα moles οξυγόνου χρειάζονται, για να καούν 70,6 moles παραφίνης;
(δ) Πόσα moles νερού θα σχηματισθούν κατά το προηγούμενο στάδιο;
9. Πόσα moles οξυγόνου απαιτούνται, για να σχηματισθούν 242 γραμμάρια οξειδίου του μαγνησίου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση;

$$2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$$

10. Το νάτριο αντιδρά με το νερό σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

(α) Πόσα γραμμάρια νατρίου χρειάζονται, για να σχηματισθεί ένα mole αερίου υδρογόνου;
(β) Πόσα γραμμάρια νατρίου χρειάζονται, για να σχηματισθούν 4,0 λίτρα αερίου υδρογόνου σε Κ.Σ.;
11. Αν ένα τεμάχιο μεταλλικού νατρίου βυθισθεί μέσα σε μία φιάλη με αέριο χλώριο, πραγματοποιείται μια αντίδραση. Σχηματίζεται επιτραπέζιο αλάτι, NaCl.
(α) Γράψτε την εξίσωση της αντιδράσεως.
(β) Πόσα moles NaCl θα μπορούσαν να σχηματισθούν από ένα mole Na;
(γ) Πόσα moles NaCl θα μπορούσαν να σχηματισθούν από 2,30 γραμμάρια Na;
12. Το ανθρακικό νάτριο χρησιμοποιείται για την παρασκευή του γυαλιού, πολύ λίγο όμως απαντάται στη φύση. Σχηματίζεται από δύο πολύ διαδεδομένες χημικές ουσίες, το ανθρακικό ασβέστιο (μάρμαρο) και το χλωριούχο νάτριο (αλάτι). Η μέθοδος περιλαμβάνει πολλά στάδια. Ακολουθεί η συνολική αντίδραση:

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$$

(α) Πόσα γραμμάρια χλωριούχου νατρίου αντιδρούν με 1,00 κιλό ανθρακικού ασβεστίου;
(β) Πόσο ανθρακικό νάτριο σχηματίζεται;
13. Οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός αστροναύτη κάθε ώρα είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν με την ενέργεια που εκλύεται μέσα στο σώμα του κατά την καύση 34 γραμμαρίων σακχαρόζης. Πόσα γραμμάρια οξυγόνου θα πρέπει να περιέχει μια διαστημική κάψουλα, ώστε να πληροί αυτές τις προδιαγραφές, δεδομένης της ακόλουθης, χωρίς τους συντελεστές, αντιδράσεως;

$$C_{12}H_{22}O_{11} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$

14. Ποια μάζα S_8 θα πρέπει να καεί, ώστε να σχηματισθούν $2,24 \times 10^3$ λίτρα SO_2 υπό Κ.Σ.;
15. Στο προηγούμενο πρόβλημα, ποια μάζα θα χρειαζόταν προκειμένου να παραχθεί ο ίδιος όγκος ($2,24 \times 10^3$ λίτρα) στους 400°C; Υπόδειξη: Υπολογίστε πρώτα πόσος θα γίνει αυτός ο όγκος υπό Κ.Σ.
16. Ο γραφίτης, μια μορφή του άνθρακα, C, καίγεται στον αέρα και δημιουργεί ένα άχρωμο αέριο, το διοξείδιο του άνθρακα. Με βάση αυτήν την πληροφορία:
(α) Γράψτε την εξίσωση της αντιδράσεως.
(β) Υπολογίστε πόσα moles διοξειδίου του άνθρακα παράγονται, όταν καίγεται ένα mole γραφίτη. Ποια είναι η μάζα (σε γραμμάρια) αυτής της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα;
17. Η αντίδραση του βοριοϋδριδίου του νατρίου,

$NaBH_4$, με νερό οδηγεί στο σχηματισμό διισόξινου βορικού νατρίου, NaH_2BO_3, και αερίου υδρογόνου. Ας υποτεθεί ότι θέλετε να φουσκώσετε μια σχεδία χωρητικότητας 30 λίτρων με υδρογόνο, σε μια πίεση 5 atm στους 20°C. Πόσα γραμμάρια βοριοϋδριδίου του νατρίου πρέπει να χρησιμοποιηθούν;

18. Στο προηγούμενο πείραμα πόσα γραμμάρια νερού χρησιμοποιήθηκαν;
19. Το χλώριο που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του πόσιμου νερού παρασκευάζεται από ηλεκτρόλυση τηγμένου NaCl, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό υγρού νατρίου και αερίου χλωρίου.
    (α) Πόσα γραμμάρια χλωριούχου νατρίου χρειάζονται, για να παραχθούν 355 γραμμάρια αερίου χλωρίου;
    (β) Τι όγκο θα καταλαμβάνει το χλώριο υπό Κ.Σ.;
20. Ο σίδηρος, Fe, οξειδώνεται στον αέρα και σχηματίζει ένα μαύρο στερεό οξείδιο, Fe_3O_4.
    (α) Γράψτε την εξίσωση της αντιδράσεως.
    (β) Πόσα moles αερίου οξυγόνου χρειάζονται, για να οξειδωθεί πλήρως ένα mole σιδήρου;
    (γ) Σε πόσα γραμμάρια οξυγόνου αντιστοιχούν αυτά;
    (δ) Είναι δυνατόν ένα κομμάτι σιδήρου μάζας 5,6 γραμμαρίων να οξειδωθεί πλήρως προς Fe_3O_4, ενώ βρίσκεται μέσα σε ένα δοχείο που περιέχει επίσης 0,05 moles O_2;
21. Η κηροζίνη, ένα μίγμα υδρογονανθράκων, περιέχει μια ουσία που ονομάζεται δεκάνιο, $C_{10}H_{22}$. Αν υποτεθεί ότι ολόκληρη η κηροζίνη αποτελείται από $C_{10}H_{22}$ και ότι μια θερμάστρα καίει 1,0 κιλό κηροζίνης την ώρα, τότε να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:
    (α) Πόσα λίτρα (υπό Κ.Σ.) οξυγόνου χρειάζονται ανά ώρα;
    (β) Πόσα λίτρα (υπό Κ.Σ.) διοξειδίου του άνθρακα παράγονται ανά ώρα;
22. Η υδραζίνη, N_2H_4, είναι δυνατόν να καεί παρουσία οξυγόνου παράγοντας ενέργεια για την προώθηση των πυραύλων. Η ενέργεια που ελευθερώνεται είναι 150 kcal ανά mole καιόμενης υδραζίνης. Όταν καίγεται ένα mole υδρογόνου, ελευθερώνονται 57,8 kcal.
    (α) Πόση ενέργεια ελευθερώνεται όταν καίγονται 10,0 kg υδραζίνης;
    (β) Συγκρίνατε την ενέργεια που ελευθερώνεται, όταν αντί για την υδραζίνη καεί η ίδια ποσότητα (10,0 kg) υδρογόνου.
23. Όταν το χλωρικό κάλιο ($KClO_3$) θερμανθεί ισχυρά, οι κρύσταλοι τήκονται. Περαιτέρω θέρμανση οδηγεί στην αποσύνθεσή του με έκλυση αερίου οξυγόνου και χλωριούχου καλίου, KCl.
    (α) Γράψτε την εξίσωση γι' αυτήν την αντίδραση της "αποσυνθέσεως".
    (β) Πόσα moles $KClO_3$ χρειάζονται, για να σχηματισθούν 1,5 moles αερίου οξυγόνου;
    (γ) Πόσα moles KCl θα σχηματισθούν από 1/3 του mole του $KClO_3$;
    (δ) Πόσα moles αερίου οξυγόνου θα παραχθούν από 122,6 γραμμάρια $KClO_3$;
24. Ας υποτεθεί ότι ένα γαλόνι βενζίνης αποτελείται από 25 περίπου moles οκτανίου, C_8H_{18}.
    (α) Πόσα moles οξυγόνου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να καεί αυτή η βενζίνη, θεωρώντας ότι τα μόνα προϊόντα της καύσεως είναι CO_2 και H_2O;
    (β) Πόσα moles διοξειδίου του άνθρακα παράγονται;
    (γ) Ποια είναι η μάζα αυτού του διοξειδίου του άνθρακα; Να απαντήσετε χρησιμοποιώντας τη μονάδα του χιλιογράμμου (kg).
    (δ) Πόσα χιλιόγραμμα διοξειδίου του άνθρακα ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, όταν το αυτοκίνητό σας καταναλώνει 40 λίτρα βενζίνης; Η πυκνότητα της βενζίνης είναι 0,85 g ανά ml.
25. Κατά την παρασκευή του σιδήρου από μετάλλευμα σιδήρου πραγματοποιείται η ακόλουθη αντίδραση:

$$Fe_2O_3(\sigma\tau) + 3CO(\alpha) \rightarrow 2Fe(\sigma\tau) + 3CO_2(\alpha) + 4{,}3 \text{ kcal θερμότητας}$$

    (α) Πόσα γραμμάρια CO θα πρέπει να αντιδράσουν, για να ελευθερωθούν 13 kcal θερμότητας;
    (β) Πόσα λίτρα CO (υπό Κ.Σ.) χρειάζονται, για να παραχθεί 1,0 kg Fe;
26. Η μεγαλύτερη ποσότητα του C_8H_{18} (υδρογονάνθρακας που χρησιμοποιείται στη βενζίνη) είναι δυνατόν να παραχθεί από πετρέλαιο, αν πραγματοποιηθεί η παρακάτω αντίδραση:

$$C_{16}H_{32}(\alpha) + 2H_2(\alpha) \rightarrow 2C_8H_{18}(\alpha)$$

Πόσα γραμμάρια του C_8H_{18} είναι δυνατόν να παραχθούν από 224 λίτρα H_2 υπό Κ.Σ;

27. Πόσα γραμμάρια μεταλλικού ψευδαργύρου πρέπει να αντιδράσουν κατά τη διάρκεια μιας αντιδράσεως με υδροχλωρικό οξύ, HCl, ώστε να παραχθεί τόσο υδρογόνο, όσο χρειάζεται για να γεμίσει ένα μπαλόνι χωρητικότητας 11,2 λίτρων υπό Κ.Σ.; Ποιος θα είναι ο όγκος του μπαλονιού σε 27°C και πίεση 680 Torr;

$$Zn(\sigma\tau) + 2HCl(\upsilon\delta) \rightarrow ZnCl_2(\upsilon\delta) + H_2(\alpha g)$$

28. Η αντίδραση που ακολουθεί θα πρέπει να συμπληρωθεί με τους σωστούς συντελεστές.

$$NH_3(\alpha) + O_2(\alpha) \rightarrow NO(\alpha) + H_2O(\alpha)$$

Αν χρησιμοποιηθούν 4,48 λίτρα αερίου αμμωνίας μετρηθέντα υπό Κ.Σ., πόσα λίτρα οξυγόνου, μετρηθέντα επίσης υπό Κ.Σ., θα αντιδράσουν με αυτά;

29. Οι όγκοι όλων των αερίων που συμμετέχουν στην αντίδραση που ακολουθεί (η οποία πρέπει να συμπληρωθεί με τους σωστούς συντελεστές) έχουν μετρηθεί στην ίδια πίεση και θερμοκρασία.

$$C_4H_{10}(\alpha) + O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) + H_2O(\alpha)$$

(α) Πόσα λίτρα οξυγόνου απαιτούνται, για να παραχθούν 2,0 λίτρα CO_2;

(β) Αν χρησιμοποιηθούν 15 λίτρα οξυγόνου, πόσα λίτρα βουτανίου, C_4H_{10}, θα καούν;

(γ) Πόσα λίτρα CO_2 θα παραχθούν, αν αναμιχθούν 8,0 λίτρα οξυγόνου με άλλα τόσα λίτρα βουτανίου; Υποτίθεται ότι η αντίδραση είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί.

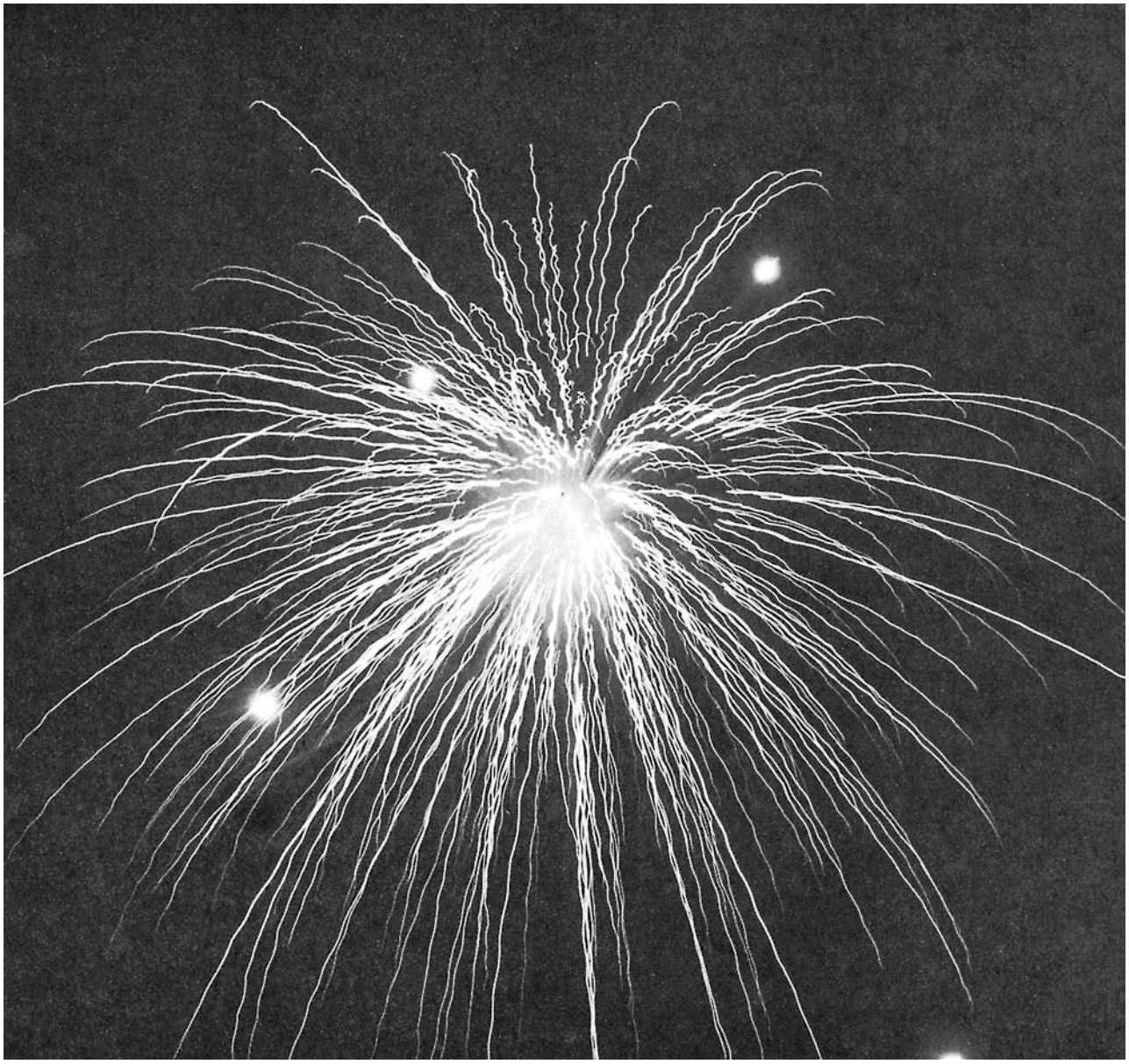
30. Ας υποτεθεί ότι 105 λίτρα NH_3 και 285 λίτρα O_2 αντιδρούν μέχρι να ολοκληρωθεί η παρακάτω αντίδραση (η οποία πρέπει να συμπληρωθεί με τους σωστούς συντελεστές):

$$NH_3(\alpha) + O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha) + NO_2(\alpha)$$

Κατά τη διάρκεια όλων των μετρήσεων των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

Ενέργεια και χημικές αντιδράσεις



Στην εικόνα αυτή με τα πυροτεχνήματα φαίνεται κατά τρόπο φαντασμαγορικό η ενέργεια (φως και θερμότητα) που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια χημικών αντιδράσεων. Πολλές αντιδράσεις συντελούνται ηπιότερα. Σε όλες όμως είναι δυνατόν να μετρηθεί μια αύξηση ή μια απώλεια ενέργειας.

Οι περισσότερες πηγές ενέργειας σε όλο τον κόσμο περιέχουν και παρέχουν ενέργεια που προέρχεται από χημικές αντιδράσεις. Γι' αυτό, οι χημικές αντιδράσεις αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της χημείας.

Πόση ενέργεια ενυπάρχει σε μια χημική αντίδραση;

Από πού προέρχεται αυτή η ενέργεια;

Πού πηγαίνει μετά το τέλος της αντιδράσεως;

Σε αυτό το κεφάλαιο θα βρείτε τις απαντήσεις αυτών και άλλων σχετικών ερωτήσεων. Θα αρχίσετε να συνειδητοποιείτε ότι, αν και η κατανόηση της ατομικής και της μοριακής δομής είναι σημαντική για τους χημικούς, δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις ικανή να οδηγήσει στην επίλυση των προβλημάτων. Αυτό που χρειάζεται να γίνει κατανοητό από τους χημικούς, ώστε να επιτύχουν τον τελικό τους στόχο, είναι μάλλον οι αντιδράσεις, δηλαδή οι χημικές αλλαγές και οι μετασχηματισμοί. Επί πλέον, θα αρχίσετε να εκτιμάτε τη μεγάλη σημασία που έχει η εφαρμογή σε μακροσκοπικό επίπεδο ενός προτύπου που προκύπτει από την εμπειρία, όταν επιδιώκεται να δοθεί εξήγηση σε μικροσκοπικά

Στις χημικές αντιδράσεις απορροφάται και ελευθερώνεται θερμότητα

20.1 Μια πρακτική απεικόνιση.

Ατμός, ο οποίος διέρχεται πάνω από θερμό κάρβουνο σε μια θερμοκρασία 600°C (το κάρβουνο αποτελείται κυρίως από άνθρακα), αντιδρά και δίνει μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο.

$$H_2O(\alpha) + C(\sigma\tau) \rightarrow CO(\alpha) + H_2(\alpha) \qquad (1)$$

Η αντίδραση αυτή είναι πολύ χρήσιμη, γιατί το μίγμα των προϊόντων που ονομάζεται ***υδραέριο*** αποτελεί εξαιρετικό βιομηχανικό καύσιμο. Κατά τη βιομηχανική παρασκευή του υδραερίου, ο χημικός μηχανικός θα πρέπει να φροντίζει, ώστε να απορροφάται η θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως. Κανονικά, θα πρέπει να διακόπτει περιοδικά τη διοχέτευση του ατμού και να επαναθερμαίνει το κάρβουνο, ώστε να διατηρείται η αντίδραση. Όταν θα μετρήσει την ποσότητα της θερμότητας που απορροφήθηκε από το σύστημα, θα βρει ότι ανά mole άνθρακα που αντέδρασε απορροφήθηκαν 31,4 kcal. Επειδή η θερμότητα καταναλώθηκε, όπως και τα αντιδρώντα, είναι δυνατόν να ξαναγραφεί η αντίδραση (1) κατά τρόπο ώστε να εμφανίζεται και η θερμότητα στο αριστερό μέλος της εξισώσεως, όπως παρακάτω:

$$H_2O(\alpha) + C(\sigma\tau) + 31{,}4 \text{ kcal} \rightarrow CO(\alpha) + H_2(\alpha) \qquad (1\alpha)$$

Ας παρακολουθήσομε τώρα το μηχανολόγο καθώς σχεδιάζει ένα βραστήρα που θερμαίνεται χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το υδραέριο. Ενδιαφέρεται να καύσει το υδραέριο. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τις ακόλουθες δύο αντιδράσεις καύσεως:

$$CO(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) \qquad (2)$$

και

$$H_2(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha) \qquad (3)$$

Και οι δύο αντιδράσεις ελευθερώνουν ενέργεια. Ο μηχανολόγος θα πρέπει να γνωρίζει πόση. Και σε αυτήν την περίπτωση, οι ποσότητες αυτές της θερμότητας είναι δυνατόν να μετρηθούν. Όταν γίνουν γνωστές, θα πρέπει να προστεθούν στις αντιδράσεις (2) και (3). Επειδή η θερμότητα, όπως και το χημικό προϊόν, παράγεται κατά την αντίδραση, εμφανίζεται στη δεξιά πλευρά της εξισώσεως:

$$CO(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) + 67{,}6 \text{ kcal} \qquad (2\alpha)$$

$$H_2(g) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha) + 57{,}8 \text{ kcal} \qquad (3\alpha)$$

Ας δούμε τώρα την άποψη του οικονομικού διευθυντή. Σκέφτεται με βάση τα κέρδη και τις ζημίες. Μοιάζει να παρατηρεί ότι η κατανάλωση του κάρβουνου και του νερού για το σχηματισμό υδραερίου συνοδεύεται από την κατανάλωση του υδραερίου, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό διοξείδιου του άνθρακα και νερού σε ποσότητα ίση με αυτήν που καταναλώθηκε. Χωρίς να γνωρίζει πολύ χημεία, διαπιστώνει ότι αυτό που

πραγματοποιείται τελικά είναι η καύση του κάρβουνου προς διοξείδιο του άνθρακα. Η συνολική αντίδραση αποτελεί το άθροισμα όλων των επί μέρους αντιδράσεων.

Για να βρείτε το άθροισμα μιας σειράς αντιδράσεων, γράφετε απλά τη μια αντίδραση κάτω από την άλλη, με τη σειρά με την οποία πραγματοποιούνται. Στη συνέχεια, απαλείφετε όλες τις ουσίες, οι οποίες εμφανίζονται σε ίσες ποσότητες στο δεξιό μέρος μιας εξισώσεως και στο αριστερό μιας άλλης. Κατ' αυτόν τον τρόπο παραλείπετε απλά εκείνες τις ουσίες, οι οποίες παράγονται από μια αντίδραση, μόνο και μόνο για να καταναλωθούν σε κάποια άλλη. Είναι προφανές ότι ουσίες αυτού του είδους δεν μπορούν να είναι ούτε αντιδρώντα ούτε προϊόντα της συνολικής αντιδράσεως. Στην περίπτωση που εξετάζομε τώρα, γράφετε τις αντιδράσεις (1), (2) και (3) με τον παρακάτω τρόπο, διαγράφοντας όλες τις ουσίες που εμφανίζονται σε ίσες ποσότητες και στις δύο πλευρές της εξισώσεως:

$$H_2O(\alpha) + C(\sigma\tau) \rightarrow CO(\alpha) + H_2(\alpha)$$
$$\cancel{CO(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)}$$
$$\cancel{H_2(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha)}$$

Αν προσθέσετε τις τρεις αντιδράσεις, λαμβάνετε την ακόλουθη συνολική αντίδραση:

$$C(\sigma\tau) + O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) \qquad (4)$$

Ο οικονομικός διευθυντής προσπαθεί να κάνει οικονομία και γι' αυτό ρωτά: "Γιατί να μην κάψω απ' ευθείας το κάρβουνο, ώστε να γλιτώσω το κόστος της παραγωγής του υδραερίου"; Ο μηχανολόγος είναι πρακτικός και γι' αυτό ρωτά: "Πόση θερμότητα θα προσλάβει ο βραστήρας, αν χρησιμοποιήσω κάρβουνο αντί για υδραέριο"; Ο χημικός μηχανικός πηγαίνει στο εργαστήριο και ψάχνει για τις απαντήσεις μετρώντας τη θερμότητα που ελευθερώνεται ανά mole άνθρακα, όταν καίγεται σύμφωνα με την αντίδραση (4). Το εργαστηριακό αποτέλεσμα δείχνει ότι η συνολική αντίδραση ελευθερώνει 94,0 kcal/mole:

$$C(\sigma\tau) + O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) + 94{,}0 \text{ kcal} \qquad (4\alpha)$$

Τώρα, ο χημικός μηχανικός είναι σε θέση να δώσει απάντηση σε όλα τα ερωτήματα. Στο μηχανολόγο απαντά ότι ένα mole άνθρακα, αν καεί απ' ευθείας, ελευθερώνει 94,0 kcal. Η ίδια ποσότητα κάρβουνου, αν μετατραπεί σε υδραέριο, ελευθερώνει το σύνολο των θερμοτήτων που περιγράφονται στις αντιδράσεις (2α) και (3α):

$$67{,}6 \text{ kcal} + 57{,}8 \text{ kcal} = 125{,}4 \text{ kcal}$$

Είναι προφανές ότι για το μηχανολόγο καλύτερο καύσιμο είναι το υδραέριο αντί για το κάρβουνο.

Ο οικονομικός διευθυντής, με μεγαλύτερη εμπιστοσύνη τώρα, ρωτά το χημικό μηχανικό: "Από πού προέρχεται αυτή η επί πλέον θερμότητα; Μήπως λαμβάνομε κάτι από το τίποτα"; Η απάντηση στη δεύτερη ερώτηση είναι "Όχι". Το υδραέριο ελευθερώνει περισσότερη ενέργεια ανά mole άνθρακα, επειδή κατά την αντίδραση (1α) προστέθηκε θερμότητα. Ακολουθεί το λογιστικό βιβλίο του οικονομικού διευθυντή.

	Χρεώσεις (θερμότητα που απορροφήθηκε)	Πιστώσεις (θερμότητα που ελευθερώθηκε)
Αντίδραση (1α)	31,4 kcal	–
(2α)	–	67,6 kcal
(3α)	–	57,8 kcal
Σύνολο	31,4 kcal	125,4 kcal

Συνολική αντίδραση (4α) = 94,0 kcal (125,4 – 31,4 = 94,0)

20.2 Θερμικό περιεχόμενο μιας ουσίας.

Το αμέσως προηγούμενο παράδειγμα δείχνει ότι η θερμότητα των 31,4 kcal που απορροφήθηκε κατά την αντίδραση (1α) "αποθηκεύτηκε" μέσα στο υδραέριο. Η ποσότητα αυτή της ενέργειας που αποθηκεύθηκε είναι συγκεκριμένη. Δεν αλλάζει ούτε σύμφωνα με την επιθυμία του οικονομικού διευθυντή ούτε σύμφωνα με την ιδιοτροπία του χημικού μηχανικού. Το πόση ενέργεια θα αποθηκευθεί εξαρτάται από τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντιδράσεως. Θα πρέπει να προστεθεί μια καθορισμένη ποσότητα ενέργειας, όπως είναι η θερμότητα, στο κάρβουνο και τον ατμό, ώστε να σχηματισθεί ορισμένη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου. Η θερμότητα αυτή συγκρατείται από τα μόρια του CO και του H_2. Είναι πιθανόν να σκεφθείτε ότι κατά την αντίδραση (1α) το θερμικό περιεχόμενο των ατόμων που αντιδρούν αυξάνει, ώστε να μετατοπισθούν και να σχηματίσουν τα προϊόντα.

Θερμικό περιεχόμενο είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται μέσα σε μια ουσία κατά το σχηματισμό της. Πρόκειται για σταθερή ποσότητα θερμότητας ανά mole της ουσίας. Αποτελεί μια χαρακτηριστική ιδιότητα της ουσίας, ακριβώς

όπως είναι και η μοριακή μάζα. Η αρχή του θερμικού περιεχομένου παρέχει μια βάση για την ποσοτική επεξεργασία των ενεργειακών μεταβολών κατά τις χημικές αντιδράσεις.

Το ποσό της θερμότητας που απελευθερώνεται ή απορροφάται σε μια χημική αντίδραση ονομάζεται ***θερμότητα της αντιδράσεως***. Ισούται με το θερμικό περιεχόμενο των προϊόντων μείον το θερμικό περιεχόμενο των αντιδρώντων. Αν υπάρχει αποθηκευμένη περισσότερη ενέργεια στα αντιδρώντα από ό,τι στα προϊόντα, τότε κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως θα απελευθερωθεί ενέργεια. Αντίθετα, θα υπάρξει απορρόφηση θερμότητας, αν αποθηκεύεται στα προϊόντα περισσότερη ενέργεια από ό,τι στα αντιδρώντα.

Οι χημικοί συμβολίζουν το θερμικό περιεχόμενο με H. Γι' αυτό υποδηλώνουν τη θερμότητα της αντιδράσεως με ΔH. Θυμηθείτε ότι το ελληνικό γράμμα Δ (δέλτα) συμβολίζει τον αρχικό φθόγγο της λέξεως διαφορά.

Για την πλήρη κατανόηση του ΔH, ας εξετάσομε πάλι την αντίδραση (1).

$$H_2O(\alpha) + C(\sigma\tau) \rightarrow CO(\alpha) + H_2(\alpha) \qquad (1)$$

Η θερμότητα αυτής της αντιδράσεως υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$\Delta H = \left(\begin{smallmatrix}\text{Θερμικό περιεχόμενο}\\ \text{προϊόντων}\end{smallmatrix}\right) - \left(\begin{smallmatrix}\text{Θερμικό περιεχόμενο}\\ \text{αντιδρώντων}\end{smallmatrix}\right) =$$

$$= (H_{CO} + H_{H_2}) - (H_{H_2O} + H_C)$$

$$\Delta H = H_{CO} + H_{H_2} - H_{H_2O} - H_C$$

Επειδή κατά την αντίδραση καταναλώνεται ενέργεια (= απορροφάται από τα προϊόντα), το θερμικό περιεχόμενο των προϊόντων είναι υψηλότερο και το ΔH είναι θετικό. Η πληροφορία αυτή εκφράζεται, αν η εξίσωση γραφεί με τον παρακάτω τρόπο:

$$H_2O(\alpha) + C(\sigma\tau) \rightarrow CO(\alpha) + H_2(\alpha)$$

$$\Delta H_1 = +31{,}4 \text{ kcal} \qquad (1\beta)$$

Η εξίσωση (1β) παρέχει ακριβώς την ίδια πληροφορία με την εξίσωση (1α).

Αν ακολουθήσετε την ίδια πορεία, μπορείτε να υπολογίσετε τη θερμότητα της αντιδράσεως (2), όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\Delta H = \left(\begin{smallmatrix}\text{Θερμικό περιεχόμενο}\\ \text{προϊόντων}\end{smallmatrix}\right) - \left(\begin{smallmatrix}\text{Θερμικό περιεχόμενο}\\ \text{αντιδρώντων}\end{smallmatrix}\right) =$$

$$= H_{CO_2} - (H_{CO} + H_{1/2O_2})$$

$$\Delta H = H_{CO_2} - H_{CO} - H_{1/2O_2}$$

Κατά την αντίδραση αυτή παράγεται θερμότητα. Γι' αυτό, το θερμικό περιεχόμενο των προϊόντων είναι χαμηλότερο από αυτό των αντιδρώντων και το ΔH πρέπει να είναι αρνητικό.

$$CO(\alpha) + 1/2O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)$$

$$\Delta H_2 = -67{,}6 \text{ kcal} \qquad (2\beta)$$

Η εξίσωση αυτή έχει ακριβώς την ίδια σημασία με την εξίσωση (2α).

Κατ' ανάλογο τρόπο, μπορείτε να γράψετε την εξίσωση (3), όπως και τη θερμότητα που εκλύεται κατά την αντίδραση αυτή.

$$H_2(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha)$$

$$\Delta H_3 = -57{,}8 \text{ kcal} \qquad (3\beta)$$

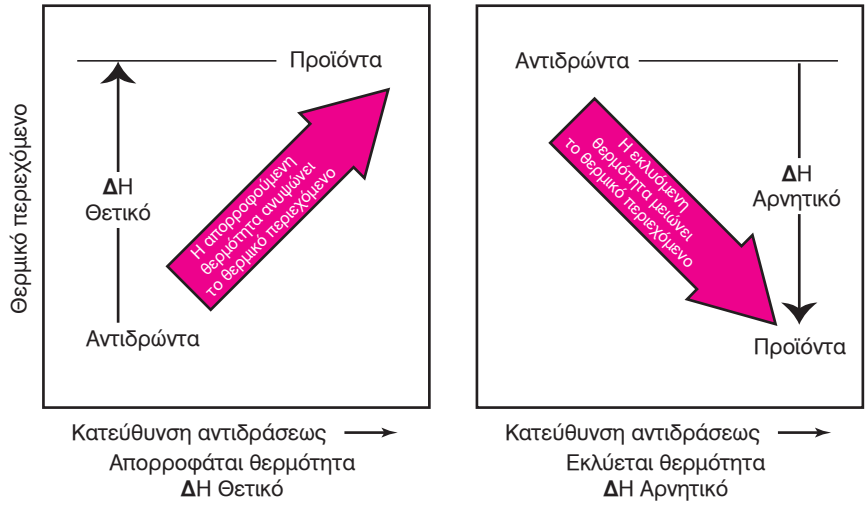
Οι εξισώσεις (3β) και (3α) δίνουν όμοιες πληροφορίες. Διαπιστώνετε ότι το πρόσημο του ΔH ακολουθεί κάποια λογική. Είναι θετικό, όταν αυξάνεται το θερμικό περιεχόμενο (με απορρόφηση θερμότητας). Είναι αρνητικό, όταν μειώνεται το θερμικό περιεχόμενο (με παραγωγή θερμότητας). Στο σχήμα 20-1 περιγράφεται αυτή η μεταβολή με τη βοήθεια διαγράμματος.

Οι αντιδράσεις που απορροφούν θερμότητα είναι γνωστές ως ***ενδόθερμες*** αντιδράσεις, ενώ εκείνες που παράγουν θερμότητα είναι γνωστές ως ***εξώθερμες*** αντιδράσεις. Οι δύο αυτές ονομασίες προήλθαν από το συνδυασμό της ρίζας θερμ (παράβαλε θερμ–ότητα, θερμ–ικός, θέρμ–ανση) και των επιρρημάτων ένδον (= μέσα) και έξω.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

20.3 Μέτρηση της θερμότητας αντιδράσεως.

Θερμιδόμετρο είναι μια συσκευή, η οποία χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμότητας αντιδράσεως ΔH. Στο πείραμα αυτό θα χρησιμοποιήσετε μία φιάλη Erlenmeyer (κωνική) των 250 ml ως δοχείο αντιδράσεως και ως ένα είδος απλού θερμιδομέτρου για τη μέτρηση της θερμότητας που παράγεται ή απορροφάται κατά τη διάρκεια μερικών αντιδράσεων.



ΣΧΗΜΑ 20-1. *΄Οταν απορροφάται θερμότητα (αριστερά), το ΔΗ είναι θετικό. ΄Οταν εκλύεται θερμότητα (δεξιά), το ΔΗ είναι αρνητικό.*

ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα μετρήσετε και θα συγκρίνετε τις θερμότητες τριών αντιδράσεων.

ΥΛΙΚΑ

4 g NaOH(στ)
Θερμόμετρο, –10°C μέχρι 110°C
100 ml HCl 0,5 *M*
Ζυγός, σταθμά
200 ml HCl 0,25 *M*
Γυάλινη ράβδος αναδεύσεως
Φιάλη Erlenmeyer, 250 ml
Μικρό γυαλί ρολογίου
Ποτήρι, 250 ml
Ογκομετρικός κύλινδρος, 100 ml (ή ογκομετρική φιάλη 100 ml)
Δοχείο για ψύξη με νερό

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Προσδιορισμός της θερμότητας της αντιδράσεως (5).

Στερεό υδροξείδιο του νατρίου (καυστικού νατρίου) διαλύεται σε νερό, για να σχηματισθεί ένα διάλυμα ιόντων.

$$NaOH(\sigma\tau) \rightarrow Na^+(\upsilon\delta) + OH^-(\upsilon\delta) + x_1 \text{ cal} \qquad \Delta H_5 = -x_1 \text{ cal} \qquad (5)$$

1. Προσδιορίστε τη μάζα μιας καθαρής στεγνής φιάλης Erlenmeyer 250 ml με ακρίβεια γραμμαρίου.
2. Αδειάστε 200 ml κρύο νερό της βρύσης, με ακρίβεια 1 ml, μέσα στη φιάλη. Έχοντας μέσα στη φιάλη και ένα θερμόμετρο, αναδεύσατε προσεκτικά με μια γυάλινη ράβδο αναδεύσεως, μέχρι να επιτευχθεί σταθερή θερμοκρασία (περίπου θερμοκρασία δωματίου). Καταγράψτε αυτήν τη θερμοκρασία, καθώς και όλες τις υπόλοιπες θερμοκρασίες με ακρίβεια 0,2°C.
3. Τοποθετήστε ένα μικρό γυαλί ρολογίου πάνω στο δίσκο του ζυγού και προσδιορίστε τη μάζα του. Προσθέστε περίπου 1,9 g - 2,1 g υδροξειδίου του νατρίου, NaOH, υπό μορφή δισκίων, πάνω στο γυαλί. Προσδιορίστε τη μάζα της ουσίας με ακρίβεια 0,01 g. ***Ειδική προφύλαξη***. Μην αγγίξετε το στερεό υδροξείδιο του νατρίου. Αν η ένωση αυτή έλθει σε επαφή με το



ΣΧΗΜΑ 20-2.

δέρμα σας, ξεπλυθείτε με άφθονο νερό. Επειδή το υδροξείδιο του νατρίου απορροφά υγρασία στον αέρα, ο καθηγητής σας θα σας δώσει ειδικές οδηγίες για να υπολογίσετε τη μάζα καθορισμένου αριθμού δισκίων.

4. Ρίξτε τη γνωστή ποσότητα του υδροξειδίου του νατρίου μέσα στο νερό της φιάλης Erlenmeyer. Αναδεύσατε τη φιάλη, όπως δείχνει το σχήμα 20-2, μέχρι να διαλυθεί το υδροξείδιο του νατρίου. Τοποθετήστε στη φιάλη το θερμόμετρο. Αν ανέβει η θερμοκρασία, καταγράψτε την υψηλότερη τιμή της. Αν μειωθεί, σημειώστε τη χαμηλότερη τιμή της. Προτού να προχωρήσετε στο Β Μέρος, ξεπλύντε προσεκτικά με νερό τη φιάλη*.

Μέρος Β. Προσδιορισμός της θερμότητας της αντιδράσεως (6).

Το στερεό υδροξείδιο του νατρίου αντιδρά με υδροχλωρικό οξύ και σχηματίζει νερό και υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου.

$$\mathrm{NaOH}(\sigma\tau) + \mathrm{H^+}(\upsilon\delta) + \mathrm{Cl^-}(\upsilon\delta) \rightarrow$$
$$\rightarrow \mathrm{H_2O} + \mathrm{Na^+}(\upsilon\delta) + \mathrm{Cl^-}(\upsilon\delta) + x_2\ \mathrm{cal}\ \Delta H_6 = -x_2\ \mathrm{cal} \qquad (6)$$

1. Να επαναλάβετε τα προηγούμενα τέσσερα στάδια, με τη διαφορά ότι πρέπει να αντικαταστήσετε τα 200 ml του πόσιμου νερού με 200 ml 0,25 *M* υδροχλωρικού οξέος.
2. Ξεπλύντε τη φιάλη των 250 ml και προχωρήστε στο Γ Μέρος.

Μέρος Γ. Προσδιορισμός της θερμότητας της αντιδράσεως (7).

Ένα υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου αντιδρά με υδροχλωρικό οξύ, για να σχηματίσει νερό και υδατικό διάλυμα χλωριούχου νατρίου.

$$\mathrm{Na^+}(\upsilon\delta) + \mathrm{OH^-}(\upsilon\delta) + \mathrm{H^+}(\upsilon\delta) + \mathrm{Cl^-}(\upsilon\delta) \rightarrow \mathrm{H_2O} + \mathrm{Na^+}(\upsilon\delta) + \mathrm{Cl^-}(\upsilon\delta) + x_3\ \mathrm{cal}$$
$$\Delta H_7 = -x_3\ \mathrm{cal} \qquad (7)$$

1. Παρασκευάστε 100 ml διαλύματος 0,5 *M* υδροξειδίου του νατρίου, αναμιγνύοντας 2g στερεού υδροξειδίου του νατρίου με 100 ml νερού μέσα σε ένα ποτήρι των 250 ml. Αναδεύσατε για να διαλυθεί το υδροξείδιο του νατρίου. Τοποθετήστε το ποτήρι μαζί με το περιεχόμενό του σε μια λεκάνη γεμάτη με κρύο νερό, για να κατέβει η θερμοκρασία του και να φθάσει στη θερμοκρασία του δωματίου ή και πιο κάτω από αυτή.
2. Τοποθετήστε 100 ml υδροχλωρικού οξέος 0,5 *M* στη φιάλη Erlenmeyer. Βεβαιωθείτε ότι η θερμοκρασία του διαλύματος αυτού είναι ίση ή και χαμηλότερη από τη θερμοκρασία δωματίου. Θα πρέπει να ελέγξετε τη θερμοκρασία του κάθε διαλύματος με ένα θερμόμετρο, προσέχοντας να το ξεπλένετε και να το σκουπίζετε, πριν το μεταφέρετε από το ένα διάλυμα στο άλλο. Να καταγράψετε με ακρίβεια τις θερμοκρασίες και των δύο διαλυμάτων, πριν προχωρήσετε στο επόμενο στάδιο.
3. Προσθέστε το διάλυμα του υδροξειδίου του νατρίου στο διάλυμα του υδροχλωρικού οξέος. Αναδεύσατε γρήγορα και σημειώστε την ανώτερη θερμοκρασία στην οποία θα φθάσει.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καταγράψτε τα ακόλουθα στοιχεία στο τετράδιό σας.

---

* *Σ.τ.Μ. Η διάλυση του στερεού καυστικού νατρίου στο νερό είναι εξώθερμη αντίδραση.*

Μέρος Α.
Μάζα της φιάλης των 250 ml
΄Ογκος του H_2O
Μάζα του NaOH
Θερμοκρασία του μίγματος
Θερμοκρασία του H_2O

Μέρος Β.
Μάζα φιάλης των 250 ml
΄Ογκος του HCl 0,25 *M*
Μάζα του NaOH
Θερμοκρασία του μίγματος
Θερμοκρασία του HCl 0,25 *M*

Μέρος Γ.
Μάζα της φιάλης των 250 ml
΄Ογκος του HCl 0,5 *M*
΄Ογκος του NaOH 0,5 *M*
Θερμοκρασία του μίγματος
Θερμοκρασία του HCl 0,5 *M*
Θερμοκρασία του NaOH 0,5 *M*

Υπολογισμοί.

Θα πρέπει να υποθέσετε ότι η θερμότητα της αντιδράσεως χρησιμοποιήθηκε για να αλλάξει τη θερμοκρασία του υδατικού διαλύματος και του δοχείου όπου περιέχεται, ενώ θα πρέπει να αγνοήσετε άλλες μικρές απώλειες προς το περιβάλλον. Θυμηθείτε ότι χρειάζεται 1,0 θερμίδα (calorie), για να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου. Επίσης, θυμηθείτε ότι η μάζα ενός χιλιοστολίτρου νερού είναι πολύ κοντά στο ένα γραμμάριο. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να προσδιορίσετε τη μάζα του νερού από τον όγκο του. Από την αλλαγή στη θερμοκρασία και τη μάζα των αντιδρώντων μπορείτε να υπολογίσετε τον αριθμό των θερμίδων που παρήχθησαν ή απορροφήθηκαν.

1. Για κάθε αντίδραση υπολογίστε:
   (α) Την αλλαγή της θερμοκρασίας.
   (β) Την ποσότητα της θερμότητας που απορροφήθηκε από το διάλυμα.
   (γ) Την ποσότητα της θερμότητας που απορροφήθηκε από τη φιάλη.
   (δ) Τη συνολική ποσότητα της θερμότητας που απορροφήθηκε.
   (ε) Τον αριθμό των moles του NaOH στην κάθε αντίδραση.
   (στ) Τη συνολική ποσότητα θερμότητας ανά mole NaOH.
2. Να εκφράσετε τα αποτελέσματά σας ως θερμότητες των αντιδράσεων, ΔH_5, ΔH_6 και ΔH_7.
3. (α) Συγκρίνατε το ΔH_6 με το $(\Delta H_5 + \Delta H_7)$. Να δικαιολογήσετε ό,τι προκύψει από τους υπολογισμούς σας.
   (β) Υποθέστε ότι το ΔH_6 είναι σωστό. Να υπολογίσετε το εκατοστιαίο σφάλμα ανάμεσα στο ΔH_6 και στο $(\Delta H_5 + \Delta H_7)$.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Εξετάστε τις εξισώσεις των αντιδράσεων (6) και (7). Βρείτε τις συνολικές ιοντικές εξισώσεις που προκύπτουν γι' αυτές τις αντιδράσεις, αν αφαιρεθούν και από τις δύο πλευρές των εξισώσεων οι ουσίες εκείνες που εμφανίζονται στην κάθε μία πλευρά του βέλους στην ίδια μορφή. Οι εξισώσεις που θα προκύψουν τελικά θα δείχνουν μόνο εκείνες τις ουσίες που έλαβαν πραγματικά μέρος στις αντιδράσεις.
2. Στην αντίδραση (5), το ΔH_5 παριστάνει τη θερμότητα διαλύσεως του NaOH(στ). Προσέξτε τις συνολικές ιοντικές εξισώσεις των αντιδράσεων (6) και (7) και διατυπώστε μια πρόταση που αφορά στη σημασία των ΔH_6 και ΔH_7.
3. Ας υποτεθεί ότι στην αντίδραση (5) είχατε χρησιμοποιήσει 4g NaOH(στ).
   (α) Ποιος θα ήταν ο αριθμός των θερμίδων που παρήχθησαν;
   (β) Πώς θα επηρέαζε αυτό τον υπολογισμό του ΔH_5, δηλαδή της θερμότητας που παρήχθη ανά mole NaOH;

Germain Henri Hess (1802–1850)

Ο Germain Hess είχε σπουδάσει ιατρική, αλλά είχε βρει το χρόνο να μελετήσει παράλληλα γεωλογία και χημεία. Αφού υπηρέτησε ως ασκούμενος γιατρός στη Σιβηρία για μερικά χρόνια, επέστρεψε στην Πετρούπολη της Ρωσίας, όπου ήταν το σπίτι του, και διορίσθηκε σύντομα καθηγητής χημείας στο τεχνολογικό ινστιτούτο. Επειδή τον ενδιέφερε η γεωλογία, πολλές από τις πρώτες έρευνές του αφορούσαν στα ορυκτά. Όμως αργότερα, κατά τη δεκαετία του 1830, άρχισε να μετρά τη θερμότητα που παραγόταν από διάφορες ουσίες, όταν αντιδρούσαν μεταξύ τους. Σε αυτόν τον τομέα, περίπου εξήντα χρόνια νωρίτερα, είχαν δημοσιευθεί κάποιες εργασίες του Antoine Lavoisier και του P.S. de Laplace. Ως αποτέλεσμα των παρατηρήσεών τους, είχαν συμπεράνει ότι η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται, για να αποσυντεθεί μια ένωση στα στοιχεία που την αποτελούν, ισούται με τη θερμότητα που παράγεται, όταν η ένωση αυτή σχηματίζεται από τα στοιχεία της. Αυτός ήταν ο πρώτος γενικός κανόνας που είχε διατυπωθεί στον τομέα της θερμοχημείας.

Αφού πέρασε αρκετά χρόνια μετρώντας τις θερμότητες αντιδράσεως πολλών ουσιών, ο Hess διετύπωσε ένα δεύτερο νόμο της θερμοχημείας. Σύμφωνα με αυτόν, η θερμική μεταβολή σε μια αντίδραση είναι ίδια είτε αυτή πραγματοποιείται σε ένα στάδιο είτε πραγματοποιείται σε περισσότερα στάδια. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική θερμότητα μιας αντιδράσεως εξαρτάται μόνο από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα αντιδρώντα και τα προϊόντα στην αρχή και στο τέλος των μεταβολών και όχι σε οποιοδήποτε από τα ενδιάμεσα στάδια. Ο νόμος αυτός έδωσε στον Hess τη δυνατότητα να προσθέτει και να αφαιρεί θερμοχημικές εξισώσεις, διευκολύνοντας έτσι και τους χημικούς να υπολογίζουν τις θερμότητες αντιδράσεων, όταν πρόκειται για αντιδράσεις οι οποίες δεν πραγματοποιούνται εύκολα.

Η επιτυχία του έργου του Hess στη θερμοχημεία έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη της επιστήμης της χημικής θερμοδυναμικής, τριάντα περίπου χρόνια αργότερα.

20.4 Οι θερμότητες αντιδράσεων προστίθενται και αφαιρούνται.

Ας επιστρέψομε στη συζήτηση για το καύσιμο υδραέριο. Η συνολική αντίδραση αυτού του φαινομένου γράφεται ως ακολούθως:

$$C(\sigma\tau) + O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)$$
$$\Delta H_4 = -94{,}0 \text{ kcal} \qquad (4\beta)$$

Η εξίσωση (4β) δεν ισούται με το σύνολο των εξισώσεων (1β), (2β) και (3β) μόνο ως προς τα άτομα, αλλά ισούται και ως προς τις θερμότητες.

$$\Delta H_4 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$
$$= 31{,}4 + (-67{,}6) + (-57{,}8) =$$
$$= 31{,}4 - 67{,}6 - 57{,}8 =$$
$$\Delta H_4 = -94{,}0 \text{ kcal}$$

Όταν μία αντίδραση είναι δυνατόν να εκφρασθεί ως το αλγεβρικό άθροισμα μιας σειράς δύο ή περισσοτέρων άλλων αντιδράσεων, τότε η θερμότητα της αντιδράσεως αυτής ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των θερμοτήτων των άλλων αντιδράσεων. Αυτό το γενικό συμπέρασμα ισχύει σε όλες τις αντιδράσεις που εξετάσθηκαν. Επειδή ακριβώς οι περιπτώσεις που έχουν ελεγχθεί είναι πάρα πολλές, ονομάζεται ***νόμος της αθροισιμότητας των θερμοτήτων των αντιδράσεων*** (επειδή πρώτος ο Hess κατέληξε σε αυτό το γενικό συμπέρασμα, ονομάζεται μερικές φορές ***Νόμος του σταθερού αθροίσματος θερμοτήτων του Hess***). Τα αποτελέσματά σας στο πείραμα της παραγράφου 20.3, θα πρέπει να επαληθεύουν την ισχύ αυτού του νόμου, μέσα στα πλαίσια του πειραματικού σφάλματος.

Αν το σκεφθείτε καλύτερα, θα διαπιστώσετε ίσως ότι ο νόμος αυτός στην πραγματικότητα αποτελεί μόνο ένα ιδιαίτερο παράδειγμα του Νόμου της Διατηρήσεως της Ενέργειας. Επειδή η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, η ίδια αλλαγή στο θερμικό περιεχόμενο θα πρέπει να συνοδεύει τόσο τη συνολική αντίδραση, όσο και τη σειρά των αντιδράσεων που συνιστούν τη συνολική αντίδραση.

20.5 Θερμότητες σχηματισμού.

Ο πίνακας 20.1 παρουσιάζει τις θερμότητες διαφόρων αντιδράσεων. Εκτός από την ποικιλία των στοιχείων και των ενώσεων που αναγράφονται, με την προσεκτική παρατήρηση του πίνακα εντοπίζομε μια βασική ομοιότητα σε όλες τις αντιδράσεις. Στην κάθε περίπτωση τα

ΠίΝΑΚΑώ 20.1.

Θερμότητες σχηματισμού διαφόρων ενώσεων [Θ(t) = 25˚C, Π(ρ) = 1atm]

Στοιχεία		Χημική ένωση Τύπος	Όνομα	Θερμότητα αντιδράσεως (kcal/mole προϊόντος)
$H_2(α) + 1/2\ O_2(α)$	→	$H_2O(α)$	υδρατμοί	–57,8
$H_2(α) + 1/2\ O_2(α)$	→	$H_2O(υ)$	νερό	–68,3
$S(στ) + O_2(α)$	→	$SO_2(α)$	διοξείδιο του θείου	–71,0
$H_2(α) + S(σ) + 2O_2(α)$	→	$H_2SO_4(υ)$	θειικό οξύ	–194,0
$1/2N_2(α) + 1/2O_2(α)$	→	$NO(α)$	μονοξείδιο του αζώτου	+21,6
$1/2N_2(α) + O_2(α)$	→	$NO_2(α)$	διοξείδιο του αζώτου	+8,1
$1/2N_2(α) + 3/2H_2(α)$	→	$NH_3(α)$	αμμωνία	–11,0
$C(στ) + 1/2O_2(α)$	→	$CO(α)$	μονοξείδιο του άνθρακα	–26,4
$C(στ) + O_2(α)$	→	$CO_2(α)$	διοξείδιο του άνθρακα	–94,0
$2C(στ) + 3H_2(α)$	→	$C_2H_6(α)$	αιθάνιο	–20,2
$3O(στ) + 4H_2(α)$	→	$C_3H_8(α)$	προπάνιο	–24,8
$1/2H_2(α) + 1/2I_2(α)$	→	$HI(α)$	υδροϊώδιο	+6,2

αντιδρώντα είναι στοιχεία. Δηλαδή, η κάθε αντίδραση του πίνακα περιλαμβάνει το σχηματισμό μιας ενώσεως από τα στοιχεία που την αποτελούν.

Η θερμότητα μιας αντιδράσεως αυτού του είδους ονομάζεται ***θερμότητα σχηματισμού*** της χημικής ενώσεως. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα για να προσδιορισθούν οι θερμότητες σχηματισμού θα πρέπει να γράφονται κατά τρόπο, ο οποίος να ικανοποιεί ορισμένους κανόνες. Οι κυριότεροι κανόνες είναι οι παρακάτω:

1. Η αντίδραση πραγματοποιείται στους 25˚C.
2. Η αντίδραση πραγματοποιείται σε πίεση μιας ατμόσφαιρας.
3. Το κάθε στοιχείο υποτίθεται ότι λαμβάνει μέρος στην αντίδραση με την οποιαδήποτε μορφή έχει κανονικά (αέριο, υγρό ή στερεό) στους 25˚C και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας.

Η χρησιμότητα ενός πίνακα θερμοτήτων σχηματισμού όπως αυτός ***δεν*** έγκειται στο γεγονός ότι αυτές οι θερμότητες παρουσιάζουν από μόνες τους κάποιο ενδιαφέρον. Είναι σημαντικός, γιατί παρέχει μια κατάταξη δεδομένων, με τη βοήθεια των οποίων είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι θερμότητες τεραστίου αριθμού χημικών αντιδράσεων. Η αξία του πίνακα αυτού θα φανεί στην επόμενη παράγραφο.

20.6 Πρόβλεψη της θερμότητας μιας χημικής αντιδράσεως.

Με τη βοήθεια του Νόμου της αθροισιμότητας των θερμοτήτων των αντιδράσεων, και των δεδομένων που παρουσιάζονται σε έναν πίνακα θερμοτήτων σχηματισμού, όπως είναι ο πίνακας 20.1, είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι θερμότητες πολλών χημικών αντιδράσεων. Η μόνη προϋπόθεση είναι να γνωρίζομε τη θερμότητα σχηματισμού της κάθε ενώσεως που προκαλείται κατά την αντίδραση. Αυτό ακριβώς γίνεται φανερό με τα παρακάτω παραδείγματα:

$$NO(α) + 1/2\ O_2(α) \rightarrow NO_2(α) \qquad \Delta H_8 = ; \qquad (8)$$

Η αντίδραση αυτή είναι δυνατόν να προκύψει από συνδυασμό των επομένων δύο αντιδράσεων, οι οποίες αναφέρονται στον πίνακα 20.1, και κατά συνέπεια είναι δυνατόν να προβλεφθεί η ΔH_8.

$$1/2\ N_2(α) + 1/2\ O_2(α) \rightarrow NO(α) \qquad \Delta H_9 = +21{,}6\ \text{kcal} \qquad (9)$$

$$1/2\ N_2(α) + O_2(α) \rightarrow NO_2(α) \qquad \Delta H_{10} = +8{,}1\ \text{kcal} \qquad (10)$$

Η αντίδραση (8) προέρχεται από συνδυασμό των αντιδράσεων (9) και (10). Επειδή το NO είναι αντιδρώσα ουσία της αντιδράσεως (8), θα πρέπει

να αντιστραφεί η αντίδραση (9). Η θερμότητα της αντίστροφης αντιδράσεως λαμβάνεται αλλάζοντας μόνο το αλγεβρικό σημείο της ΔH_9. Από τον πίνακα είναι γνωστό ότι, όταν σχηματίζεται ένα mole του NO, απορροφώνται 21,6 kcal θερμότητας. Έτσι, όταν αποσυντεθεί κατά την αντίστροφη αντίδραση ένα mole NO, θα ελευθερωθούν 21,6 kcal θερμότητας, όπως φαίνεται και στην αντίδραση (11).

$$NO(\alpha) \rightarrow 1/2\ N_2(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha)$$
$$\Delta H_{11} = -21{,}6 \text{ kcal} \qquad (11)$$

Αν συνδυασθούν οι αντιδράσεις (10) και (11), προκύπτει η επόμενη αντίδραση:

$$NO(\alpha) + O_2(\alpha) + 1/2\ N_2(\alpha) \rightarrow NO_2(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) + 1/2\ N_2(\alpha)$$
$$\Delta H_8 = -21{,}6 + 8{,}1$$

Αφαιρώντας τους ίδιους όρους από τις δύο πλευρές της εξισώσεως, λαμβάνεται η συνολική αντίδραση.

$$NO(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha) \rightarrow NO_2(\alpha)$$
$$\Delta H_8 = -13{,}5 \text{ kcal/mole NO} \quad (8\alpha)$$

Ας εξετάσομε τώρα ένα πιο πολύπλοκο παράδειγμα, την οξείδωση της αμμωνίας, NH_3.

$$NH_3(\alpha) + 7/4\ O_2(\alpha) \rightarrow NO_2(\alpha) + 3/2\ H_2O(\alpha)$$
$$\Delta H_{12} = ; \qquad (12)$$

Και οι τρεις ενώσεις αυτής της αντιδράσεως, $NH_3(\alpha)$, $NO_2(\alpha)$ και $H_2O(\alpha)$, απαντούν στον πίνακα 20.1. Κατά συνέπεια, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η ΔH_{12} δι' αλγεβρικής προσθέσεως των παρακάτω τριών εξισώσεων:

$$NH_3(\alpha) \rightarrow 1/2\ N_2(\alpha) + 3/2\ H_2(\alpha) \qquad \Delta H = +11{,}0 \text{ kcal}$$
$$1/2\ N_2(\alpha) + O_2(\alpha) \rightarrow NO_2(\alpha) \qquad \Delta H = +8{,}1 \text{ kcal}$$
$$3/2\ H_2(\alpha) + 3/4\ O_2(\alpha) \rightarrow 3/2\ H_2O(\alpha) \qquad \Delta H = -86{,}7 \text{ kcal}$$

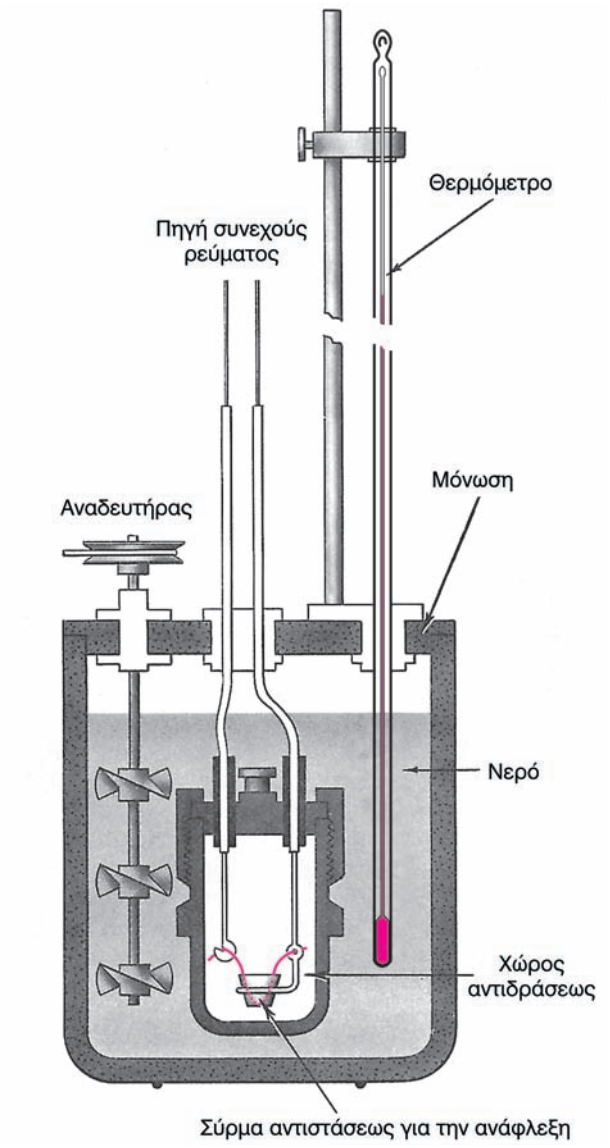
Η τελευταία αντίδραση και η ΔH αυτής λαμβάνεται, αν πολλαπλασιασθεί η αντίδραση σχηματισμού υδρατμών που αναφέρεται στον πίνακα 20.1, επί 3/2. Έτσι, η συνολική αντίδραση που λαμβάνεται από το αλγεβρικό άθροισμα των τριών προηγουμένων αντιδράσεων, είναι η αντίδραση (12α).

$$NH_3(\alpha) + 7/4\ O_2(\alpha) \rightarrow NO_2(\alpha) + 3/2\ O_2(\alpha)$$
$$\Delta H_{12} = -67{,}6 \text{ kcal} \qquad (12\alpha)$$

Για να προβλέψετε τη θερμότητα κάποιας αντιδράσεως, δεν χρειάζεται παρά μόνο ένα λεπτό, για να εξετάσετε αν περιλαμβάνονται στον πίνακα 20.1 οι αναγκαίες αντιδράσεις. Αν η κάθε ένωση που συμμετέχει στην αντίδραση περιλαμβάνεται στη στήλη των ενώσεων, τότε είναι δυνατή η πρόβλεψη. Βέβαια, ο καταλογός του πίνακα 20.1 περιλαμβάνει μόνο ένα μικρό τμήμα των γνωστών τιμών.

20.7 Θερμιδομετρία.

Η μέτρηση της θερμότητας μιας αντιδράσεως ονομάζεται ***θερμιδομετρία***, όρος που έχει σχέση με



ΣΧΗΜΑ 20-3. *Ένα θερμιδόμετρο καύσεως έχει μονωμένα τοιχώματα, ενώ ο θάλαμος καύσεως, που βρίσκεται στο εσωτερικό του, περιβάλλεται από ποσότητα νερού που έχει μετρηθεί. Όταν καίγεται το δείγμα, αναδεύεται το νερό και σημειώνεται η άνοδος της θερμοκρασίας του. Από αυτό είναι δυνατόν να υπολογισθεί η θερμότητα καύσεως.*

τη μονάδα της θερμότητας, τη θερμίδα. Από την παράγραφο 20.3, έχετε αποκτήσει κάποια εμπειρία σχετικά με τη θερμιδομετρία. Νωρίτερα, στην παράγραφο 4.8, είχατε μετρήσει τη θερμότητα καύσεως ενός κεριού, καθώς και τη θερμότητα στερεοποιήσεως του κεριού.

Για να μελετήσετε τη θερμιδομετρία, θα πρέπει να έχετε κάποιες γνώσεις σχετικά με τα θερμιδόμετρα, συσκευές που μετρούν τη θερμότητα. Υπάρχουν πολλά είδη θερμιδομέτρων· το κάθε ένα είναι σχεδιασμένο να μετρά τη θερμότητα διαφορετικών τύπων αντιδράσεων. Στο σχήμα 20-3 φαίνεται ένα θερμιδομέτρο, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια μιας αντιδράσεως καύσεως. Θα μπορούσε να εφαρμοσθεί στην καύση ενός κεριού, ώστε να δοθεί μια περισσότερο αξιόπιστη απάντηση από αυτήν που είχε ληφθεί στο προηγούμενο πείραμά σας.

Ειδικότερα, η διάταξη που εικονίζεται αποτελείται από ένα θερμικά μονωμένο δοχείο, που περιέχει γνωστή μάζα νερού. Μέσα σε ένα θάλαμο αντιδράσεως, τοποθετημένο μέσα στο δοχείο, εισάγονται υπό πίεση γνωστή μάζα της ουσίας που πρόκειται να καεί και περίσσεια οξυγόνου. Το μίγμα της αντιδράσεως αναφλέγεται με τη βοήθεια του σύρματος μιας ηλεκτρικής αντιστάσεως που βρίσκεται μονωμένη μέσα στο θάλαμο της αντιδράσεως. Η θερμότητα που παράγεται από την αντίδραση μεταβάλλει τη θερμοκρασία του νερού, το οποίο αναδεύεται, για να διατηρηθεί ομοιόμορφη η θερμοκρασία του. Από αυτήν τη θερμική μεταβολή και από την ποσότητα της θερμότητας η οποία βρέθηκε ότι χρειάζεται για να αυξήσει τη θερμότητα του θερμιδομέτρου και του περιεχομένου του κατά ένα βαθμό, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η θερμότητα καύσεως ανά mole της καιομένης ουσίας.

Περίληψη.

Όλες οι χημικές αντιδράσεις παράγουν ή καταναλώνουν κάποια καθορισμένη ποσότητα θερμότητας. Η θερμότητα αυτή μπορεί να μετρηθεί και να εκφρασθεί σε χιλιοθερμίδες ανά mole (kcal ανά mole) κάποιου αντιδρώντος ή προϊόντος που εμφανίζεται στην εξίσωση. Η κάθε ουσία έχει ένα χαρακτηριστικό θερμικό περιεχόμενο, H. Η θερμότητα της αντιδράσεως, ΔH, ισούται με το θερμικό περιεχόμενο όλων των προϊόντων μείον το θερμικό περιεχόμενο όλων των αντιδρώντων. Οι θερμότητες των αντιδράσεων είναι δυνατόν να προστέθουν αλγεβρικά. Έτσι, αν μια αντίδραση εκφράζεται ως το αλγεβρικό άθροισμα δύο ή περισσοτέρων άλλων αντιδράσεων, η ΔH αυτής θα ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των ΔH αυτών των άλλων αντιδράσεων.

Οι θερμότητες αντιδράσεων μετρούνται με μια διάταξη, που ονομάζεται θερμιδόμετρο. Αντιδράσεις που απορροφούν θερμότητα ονομάζονται ενδόθερμες αντιδράσεις, και το ΔH αυτών είναι θετικό. Αντιδράσεις που εκλύουν θερμότητα ονομάζονται εξώθερμες αντιδράσεις και έχουν το ΔH αρνητικό.

Η θερμότητα της αντιδράσεως κατά την οποία σχηματίζεται μία μόνο ουσία από τα στοιχεία που την αποτελούν ονομάζεται θερμότητα σχηματισμού αυτής της ουσίας. Ένας πίνακας με τις θερμότητες σχηματισμού πολλών χημικών ενώσεων περιλαμβάνει τις απαραίτητες πληροφορίες για τον υπολογισμό των θερμοτήτων των αντιδράσεων που έχουν σχέση με τις ενώσεις αυτές του πίνακα.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να προβλέψετε τη θερμότητα της αντιδράσεως που ακολουθεί, με βάση τις δύο αντιδράσεις που αναφέρονται στον πίνακα 20.1.

$$CO\,(\alpha) + 1/2O_2 \rightarrow CO_2\,(\alpha)$$

   Να συγκρίνετε το αποτελέσμά σας με το ΔH που δίνεται στην εξίσωση (2β) της παραγράφου 20.2.
2. Να εξηγήσετε τι καθορίζει αν θα παραχθεί ή θα απορροφηθεί θερμότητα κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως.

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ ΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΣ ΝΑ ΜΕΤΑΒΑΛΟΥΝ ΤΟ ΚΛΙΜΑ;

Το κλίμα μας διαμορφώνεται από μια πολύ λεπτή ισορροπία εισόδου και εξόδου θερμότητας. Η θερμότητα έρχεται στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο. Διαρκώς όμως χάνεται θερμότητα διά μέσου της ακτινοβολίας προς το μακρινό διάστημα. Η ισορροπία αυτή βέβαια είναι διαφορετική σε διάφορα μέρη στην επιφάνεια της γης. Παρ' όλα αυτά, είναι δυνατόν να υπολογισθεί μια μέση θερμοκρασία πάνω στην επιφάνεια της γης και να μελετηθεί πώς μεταβάλλεται με τα χρόνια. Φυσικά, η θερμοκρασία της γης ποικίλλει κατά τη διάρκεια κάθε έτους, όπως και από τόπο σε τόπο. Είναι επίσης δυνατόν να υπολογισθεί ο μέσος όρος αυτής της μεταβολής. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι επιστήμονες υπολογίζουν μια μέση τιμή γήινης θερμοκρασίας, συνεκτιμώντας τόσο την τοποθεσία, όσο και τη χρονική στιγμή του έτους. Οι επιστήμονες έχουν καταγράψει τη μέση θερμοκρασία της γης, χρόνο με το χρόνο, από το 1880.

Έστω και μικρές διακυμάνσεις στη μέση θερμοκρασία της γης είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σημαντικές μεταβολές του κλίματος. Μια μείωση ενός ή δύο μόνο βαθμών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαρκή εξάπλωση των πάγων που καλύπτουν τους πόλους και πρακτικά σε αύξηση των παγετώνων. Τελικά, κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε νέα εποχή παγετώνων. Αντίθετα, μια ελαφρά αλλά σταθερή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης θα ήταν δυνατόν να οδηγήσει σε τήξη των πάγων που υπάρχουν στους πόλους. Η τήξη τόσων πάγων θα σήμαινε αύξηση της στάθμης των ωκεανών μέχρι και επτά μέτρα. Αυτό στη συνέχεια θα είχε ως αποτέλεσμα να καταβυθισθούν πολλές από τις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου, επειδή βρίσκονται κτισμένες στις ακτές, σε υψόμετρο μικρότερο των επτά μέτρων από τη σημερινή επιφάνεια της θάλασσας.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι σήμερα τόσο εκτεταμένες, ώστε είναι πιθανόν να αρχίσουν –ή έχουν κιόλας αρχίσει– να επηρεάζουν σημαντικά τη μέση θερμοκρασία της γης. Υπάρχουν δύο τρόποι βάσει των οποίων μπορεί να συμβεί αυτό. Ο ένας είναι η εισαγωγή σωματιδίων στον αέρα. Ο άλλος είναι η εισαγωγή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ας εξετάσομε πώς δρα ο καθένας από αυτούς τους δύο παράγοντες.



Το φαινόμενο αναστροφής της θερμοκρασίας στην Πενσυλβάνια. Τα σύννεφα σχηματίσθηκαν από ομίχλη που συμπυκνώθηκε πάνω στα ρυπογόνα σωματίδια. Παγιδεύθηκαν από ένα υπερκείμενο στρώμα θερμού αέρα και τελικά μεταφέρθηκαν από μια βιομηχανική περιοχή σε μια αγροτική κοιλάδα, όπου και κατέπεσαν.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες σήμερα ευθύνονται σε ποσοστό από 10 μέχρι και 50% για την εμφάνιση σωματιδίων στη ατμόσφαιρα. Βέβαια, και η φύση προσθέτει σωματίδια στον αέρα (η σκόνη και το χώμα που μεταφέρονται με τους ανέμους και οι διάφορες ουσίες που ανέρχονται στην ατμόσφαιρα από τις εκρήξεις ηφαιστείων). Θα εκπλαγείτε ίσως, αν μάθετε ότι πολλά από τα σωματίδια που προκύπτουν από ανθρώπινες δραστηριότητες ανέρχονται στην ατμόσφαιρα κυρίως ως αέρια και όχι απ' ευθείας ως σωματίδια. Φυσικά, υπάρχουν και μερικά σωματίδια που έχουν από την αρχή αυτήν τη μορφή. Μεγάλο μέρος από το διοξείδιο του θείου, SO_2, και τα οξείδια του αζώτου (κυρίως το NO και το NO_2) που ανέρχονται στην ατμόσφαιρα, αντιδρούν τελικά με άλλα προϊόντα καύσεως. Αυτό οδηγεί στο σχηματισμό θειικών και νιτρικών παραγώγων, όπως το Na_2SO_4 και το $NaNO_3$, τα

οποία σχηματίζουν σωματίδια.

Παρατηρήσεις έδειξαν ότι ο αριθμός των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ανά δεκαετία, από την αρχή του αιώνα, έχει αυξηθεί. Και αυτό δεν ισχύει μόνο για περιοχές πάνω από μεγάλες πόλεις και βιομηχανικές περιοχές, αλλά για ολόκληρη τη γη. Στο εθνικό πάρκο του Yellowstone των ΗΠΑ, μια περιοχή που υποτίθεται ότι είναι καθαρή, η περιεκτικότητα του αέρα σε σκόνη δεκαπλασιάσθηκε τη δεκαετία 1960-1970.

Αποτέλεσμα της σκόνης που περιέχεται στον αέρα είναι ο σκεδασμός και η εκτροπή της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, μειώνεται η ποσότητα της θερμότητας που φθάνει στην επιφάνεια της γης. Τα σωματίδια της σκόνης δεν έχουν όμως μόνο αυτό το αποτέλεσμα. Οδηγούν και στο σχηματισμό νέφους, το οποίο επίσης καλύπτει την επιφάνεια της γης και παρεμποδίζει την είσοδο της ηλιακής θερμότητας. Τα σωματίδια της σκόνης δημιουργούν πυρήνες ή κέντρα, πάνω στα οποία αρχίζει η συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα. Αναπτύσσονται έτσι σύννεφα και ομίχλη εκεί όπου υπό διαφορετικές συνθήκες θα παρέμενε ο αέρας καθαρός. Μελέτες των κλιματολογικών συνθηκών σε διάφορα μέρη του κόσμου δείχνουν ότι οι περισσότερες πόλεις σήμερα έχουν 25 τοις εκατό λιγότερες διαυγείς ημέρες το χρόνο, από όσες είχαν το 1900.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, μια αύξηση της τάξεως του 50 τοις εκατό της επιβαρύνσεως της ατμόσφαιρας με σωματίδια, γεγονός που θα χρεωνόταν στον ανθρώπινο παράγοντα, θα οδηγούσε σε άμεση μείωση κατά 0,5 μέχρι 1,0˚C της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Έμμεσα, ίσως να συνέβαινε και μια επί πλέον μείωση του ιδίου μεγέθους εξ αιτίας του αυξημένου σχηματισμού νέφους. Μια συνολική μείωση κατά 2-3˚C θα είχε καταστροφικές συνέπειες για το κλίμα ολόκληρου του κόσμου.

Η ύπαρξη διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα έχει μεγάλη σημασία για τη θερμοκρασία της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται από το διοξείδιο του άνθρακα, αλλά προσπίπτει στην επιφάνεια της γης όπου και δημιουργεί θερμότητα. Ένα μέρος αυτής της θερμότητας έχει την τάση να εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το διοξείδιο του άνθρακα ανακόπτει μέρος αυτής της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την αντανακλά. Πρόκειται γι' αυτό που συχνά ονομάζεται φαινόμενο "θερμοκηπίου". Το γυαλί ενός θερμοκηπίου επιτρέπει την είσοδο του ορατού φωτός του ήλιου, αλλά εμποδίζει την έξοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται το θερμοκήπιο από τις ακτίνες του ήλιου. Η παρουσία του CO_2 στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας μετατρέπει ολόκληρη τη γη σε ένα είδος θερμοκηπίου.

Το 1900 το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ήταν περίπου 290 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το 1970 είχε αυξηθεί σε 320 ppm, σημειώθηκε δηλαδή μια αύξηση 11 τοις εκατό. Η αύξηση αυτή προήλθε από τη διαρκώς αυξανόμενη κατανάλωση καυσίμων, όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο, για την παραγωγή ενέργειας. Σχεδόν όλος ο άνθρακας από τα καύσιμα ανέρχεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή του CO_2. Βέβαια, ένα μέρος του απορροφάται από τα πράσινα μέρη των φυτών, τα οποία χρησιμοποιούν το CO_2 για τη φωτοσύνθεση, αλλά ένα σημαντικό ποσοστό CO_2 παραμένει στην ατμόσφαιρα.

Η διαρκώς αυξανόμενη ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι δυνατόν να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Αν η αύξηση της συγκεντρώσεως του CO_2 εξακολουθήσει με τον ίδιο ρυθμό, τότε είναι πιθανόν το έτος 2000 η μέση θερμοκρασία της γης να αυξηθεί κατά 0,5˚C.

Θα έχετε ίσως κατανοήσει ότι η αύξηση της δημιουργούμενης σκόνης τείνει να μειώσει τη μέση θερμοκρασία της γης, ενώ η αύξηση της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα τείνει να την αυξήσει. Έτσι, οι δύο παράγοντες που συνδέονται άρρηκτα με τις σύγχρονες βιομηχανικές κοινωνίες τείνουν ευτυχώς να αλληλοεξουδετερωθούν. Όμως, θα ήταν παραφροσύνη να πιστέψομε ότι το πρόβλημα σταματά εκεί. Είναι τόσο λίγες οι γνώσεις μας γύρω από τα ακριβή μεγέθη αυτών των φαινομένων, ώστε δεν μπορούμε να εμπιστευθούμε αυτήν την αλληλοεξουδετέρωση. Δεν υπάρχει κανένας λόγος να πιστέψομε ότι η εξουδετέρωση δεν θα είναι προσωρινή. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό οι επιστήμονες –συμπεριλαμβανομένων και των χημικών– να μάθουν πολύ περισσότερα για τον τρόπο με τον οποίο οι ρυπογόνες ουσίες και τα σωματίδια που προκύπτουν από τη λειτουργία βιομηχανιών και μεταφορικών μέσων και ανέρχονται στην ατμόσφαιρα επηρεάζουν τη θερμική ισορροπία της γης.

Τα μόρια αποταμιεύουν θερμότητα

20.8 Η ενέργεια των μορίων.

Όπως μάθατε, οι χημικοί μπορούν να υπολογίσουν τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν σε μια αντίδραση, αν λάβουν υπόψη τους τα θερμικά περιεχόμενα των αντιδρώντων και των προϊόντων που προκύπτουν. Αυτά τα θερμικά περιεχόμενα βέβαια, υπολογίσθηκαν με βάση τις θερμότητες των αντιδράσεων που προσδιορίσθηκαν εμπειρικά. Πώς όμως ερμηνεύουν οι χημικοί το "θερμικό περιεχόμενο" σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή με βάση τα άτομα και τα μόρια; Οι χημικοί μπορούν να υπολογίσουν το θερμικό περιεχόμενο των ατόμων και των μορίων με βάση την ενέργεια κινήσεως (κινητική ενέργεια) και την ενέργεια θέσεως (δυναμική ενέργεια) των ατόμων και των μορίων.

Φανταισθείτε το πρότυπο ενός μορίου που αποτελείται από μπάλες, των οποίων το μέγεθος υπό κλίμακα είναι ανάλογο προς τη μάζα τους και οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους με ελατήρια. Τα ελατήρια παριστάνουν τους δεσμούς ανάμεσα στα άτομα. Ας υποτεθεί ότι εξαναγκάζονται τα ελατήρια να αρχίσουν να πάλλονται και ότι στη συνέχεια όλη η ανωτέρω διάταξη εκσφενδονίζεται προς τα πάνω ακολουθώντας μια αέναη κίνηση. Σύμφωνα και με το σχήμα 20-4, το πρότυπο αυτό θα έχει κινητική ενέργεια τριών ειδών.

Το παραπάνω πρότυπο μοιάζει απόλυτα με ένα μόριο, το οποίο βρίσκεται στην αέρια κατάσταση. Στην υγρή όμως κατάσταση, και ακόμη περισσότερο στη στερεά, αυτού του είδους οι κινήσεις απαγορεύονται. Στη στερεά και την υγρή κατάσταση, η κύρια ένδειξη για την ύπαρξη κινητικής ενέργειας είναι η κίνηση του μορίου γύρω από ένα σταθερό σημείο.

Μαζί με τα διάφορα είδη κινητικής ενέργειας που φαίνονται και στο σχήμα 20-4, υπάρχει επίσης δυναμική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή έχει σχέση με τις δυνάμεις που δρουν ανάμεσα στα μόρια. Οι δυνάμεις αυτές είναι ελκτικές και έχουν πολύ μικρή μέση τιμή στην αέρια κατάσταση, όπου τα μόρια είναι απομακρυσμένα. Στην υγρή κατάσταση, οι δυνάμεις είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερες, ενώ ακόμη μεγαλύτερες είναι στη στερεά κατάσταση.

Η χημική ενέργεια μέσα στα μόρια έχει σχέση με τις δυνάμεις που συγκρατούν τα άτομα ενωμένα μέσα στο μόριο. Όπως γνωρίζετε, αυτό αναφέρεται ως ενέργεια του χημικού δεσμού.

Επίσης, το κάθε άτομο έχει ενέργεια, ένα μέρος της οποίας προέρχεται από τα ηλεκτρόνια, ενώ άλλο μέρος της από τον πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια έχουν κινητική ενέργεια. Εξ αιτίας της απωθήσεώς τους από τον πυρήνα και της μεταξύ τους έλξεως, έχουν επίσης δυναμική ενέργεια. Το αλγεβρικό άθροισμα αυτών των ενεργειών παριστά την ενέργεια που απαιτείται, για να απομακρυνθεί ένα ηλεκτρόνιο από το άτομο.

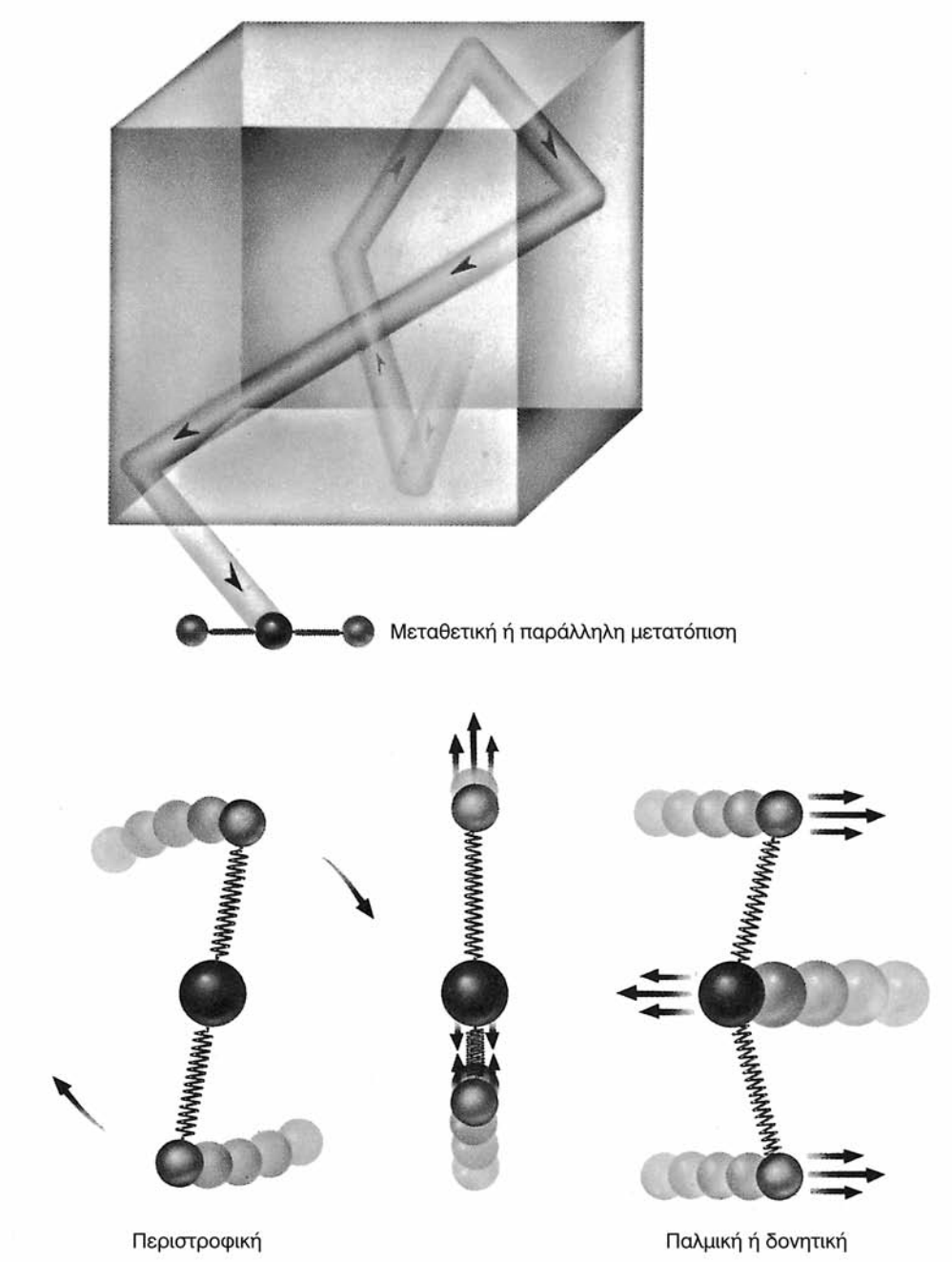
Τέλος, μέσα στον πυρήνα του κάθε ατόμου υπάρχει αποθηκευμένη μια ενέργεια, που έχει σχέση με τις δυνάμεις οι οποίες συγκρατούν ενωμένα τα σωματίδια του πυρήνα. Ο κάθε πυρήνας παραμένει άθικτος και πρακτικά ανεπηρέαστος κατά τις χημικές αντιδράσεις. Γι' αυτό, συνήθως η συμμετοχή αυτή του πυρήνα στο θερμικό περιεχόμενο των μορίων δεν απασχολεί ένα χημικό.

Το σύνολο όλων αυτών των μορφών μοριακής ενέργειας συνισθούν το θερμικό περιεχόμενο του μορίου. Αν υπολογισθεί το θερμικό περιεχόμενο του μορίου για τα $6{,}02 \times 10^{23}$ μόρια κάποια ουσίας, προκύπτει το θερμικό περιεχόμενο της ουσίας αυτής ανά mole.

20.9 Ενεργειακές μεταβολές κατά τη θέρμανση.

Αν γνωρίζετε σε τι οφείλεται το θερμικό περιεχόμενο μιας ουσίας, θα αρχίσετε να συνειδητοποιείτε τις συνέπειες που θα έχει η θέρμανσή της. Αν η θερμοκρασία είναι αρχικά χαμηλή, η ουσία θα είναι στερεά. Θερμαίνοντας το στερεό αυξάνεται η κινητική ενέργεια των κινήσεων των μορίων γύρω από τις κανονικές θέσεις τους στον κρύσταλλο. Καθώς ανέρχεται η θερμοκρασία, οι κινήσεις αυτές επηρεάζουν τη σταθερή παραμονή των μορίων του κρυστάλλου στις κανονικές θέσεις τους, όλο και περισσότερο. Όταν αυτή η τυχαία κινητικότητα γίνει πολύ μεγάλη, οδηγεί σε καταστροφή του κρυσταλλικού πλέγματος. Αν το πλέγμα δεν είναι πια σταθερό, επέρχεται αλλαγή καταστάσεως. Το στερεό τήκεται.

Στην υγρή κατάσταση το κάθε μόριο έχει σημαντικά μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεως, ιδιαίτερα προκειμένου για παράλληλη μετατόπιση



ΣΧΗΜΑ 20-4. *Η ταχύτητα της παράλληλης μετατοπίσεως ενός αερίου μορίου αυξάνεται, όταν απορροφά ενέργεια. Ταυτόχρονα, τα άτομα που το αποτελούν είναι δυνατόν να κινηθούν περιστροφικά (αριστερά) ή με μορφή ταλαντώσεων (κέντρο και δεξιά), χωρίς να σπάσουν τα ελατήρια που παριστάνουν τους χημικούς δεσμούς.*

και περιστροφή. Η θέρμανση του υγρού αυξάνει την κινητικότητα των μορίων. Όπως πάντα, η κινητική ενέργεια δημιουργεί μεγαλύτερη ακαταστασία και εξ αιτίας αυτής τα μόρια τείνουν να καταλάβουν οποιαδήποτε θέση μέσα στο δοχείο. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, η κινητική ενέργεια αυξάνεται. Τα περισσότερα μόρια είναι ικανά να κινηθούν μακριά από την περιοχή του υγρού. Επέρχεται μια ακόμη αλλαγή καταστάσεως. Το υγρό εξαερώνεται, δηλαδή μετατρέπεται σε αέριο.

Καθώς θερμαίνομε την ουσία εντονότερα, δημιουργούνται κινητικές ενέργειες περιστροφής, ταλαντώσεως και παράλληλης μετατοπίσεως που μπορούν να συγκριθούν με τις ενέργειες των χημικών δεσμών. Τότε, τα μόρια αρχίζουν να

αποσυντίθενται. Αυτός είναι ο λόγος που στον ήλιο υπάρχουν μόνο τα πολύ απλά μόρια, τα διατομικά. Η θερμοκρασία εκεί είναι τόσο υψηλή (6000 K στην επιφάνεια), ώστε τα πιο πολύπλοκα μόρια δεν είναι σταθερά.

Τέλος, αν η θέρμανση εξακολουθήσει ακόμη ισχυρότερη, θα έχομε τελικά μια θερμοκρασία, όπου οι κινητικές ενέργειες θα γίνουν τόσο μεγάλες, ώστε να διασπάσουν και τον πυρήνα. Εκεί ξεκινούν οι ***πυρηνικές αντιδράσεις***. Σε ορισμένους αστέρες επικρατούν συνθήκες που θεωρούνται ιδανικές για ταχείες πυρηνικές αντιδράσεις.

Η μελέτη αυτή της μοριακής ενέργειας ολοκληρώνεται με τη σύγκριση του μεγέθους των ενεργειακών συνεπειών. Μεταβολές ενέργειας μερικών χιλιοθερμίδων ανά mole συνήθως προκαλούν αλλαγές καταστάσεως. Στις χημικές αντιδράσεις γίνονται συνήθως μεταβολές ενέργειας από είκοσι μέχρι και αρκετές εκατοντάδες χιλιοθερμίδες ανά mole. Δηλαδή, οι ενέργειες των χημικών αντιδράσεων είναι συνήθως 10 μέχρι 100 φορές μεγαλύτερες από αυτές των αλλαγών καταστάσεων.

Περίληψη.

Η ενέργεια, η οποία σε μακροσκοπική κλίμακα εμφανίζεται σε πολλές μορφές, έχει ως αρχική προέλευση την ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη μέσα στα άτομα και τα μόρια. Ένα τυπικό μόριο διαθέτει κινητική ενέργεια, η οποία οφείλεται στη μετατόπισή του (διαδρομή) στο χώρο, στην περιστροφή του και στην ταλάντωσή του. Διαθέτει επίσης δυναμική ενέργεια αποθηκευμένη μέσα στους χημικούς δεσμούς. Άλλες ποσότητες ενέργειας βρίσκονται αποθηκευμένες στις μοριακές αλληλεπιδράσεις. Καθώς μια ουσία θερμαίνεται, όλα τα είδη της κινητικής ενέργειας αυξάνονται. Αλλαγές καταστάσεως απαιτούν αυξήσεις μερικών μόνο χιλιοθερμίδων ανά mole, ενώ χημικές μεταβολές απαιτούν αυξήσεις ενέργειας 10 μέχρι 100 φορές μεγαλύτερες από αυτές.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια είναι τα τρία είδη κινητικής ενέργειας;
2. Κατά ποιο τρόπο επηρεάζεται η κρυσταλλική δομή των κρυστάλλων από τη θέρμανση;

Περίληψη κεφαλαίου

Η απορρόφηση ή η εκπομπή θερμότητας κατά τη διάρκεια των χημικών αντιδράσεων ερμηνεύεται καλύτερα με τη βοήθεια της αρχής του θερμικού περιεχομένου. Η κάθε ουσία διαθέτει σταθερή ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας, που ορίζεται ως θερμικό περιεχόμενο, H. Η θερμότητα αντιδράσεως, ΔH, ισούται με το συνολικό θερμικό περιεχόμενο των προϊόντων μείον το συνολικό θερμικό περιεχόμενο των αντιδρώντων. Αν το ΔH είναι θετικό, η αντίδραση καταναλώνει ενέργεια (είναι ενδόθερμη). Αν το ΔH είναι αρνητικό, η αντίδραση εκλύει θερμότητα (είναι εξώθερμη). Σε μια ενδόθερμη αντίδραση το θερμικό περιεχόμενο των προϊόντων είναι μεγαλύτερο από εκείνο των αντιδρώντων. Στις εξώθερμες αντιδράσεις συμβαίνει το αντίθετο.

Οι χημικοί μετρούν το ΔH με τη βοήθεια θερμιδομέτρων και εκφράζουν συχνά τα αποτελέσματα σε χιλιοθερμίδες ανά mole αντιδρώντος. Μπορείτε να υπολογίσετε το ΔH χρησιμοποιώντας έναν πίνακα, ο οποίος δίνει τις θερμότητες σχηματισμού των ενώσεων που συμμετέχουν στην αντίδραση. Οι υπολογισμοί αυτοί είναι εφικτοί, επειδή οι θερμότητες της αντιδράσεως είναι μεγέθη προσθαφαιρέσιμα.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Με ποιο τρόπο εμπλέκεται ο Νόμος της Διατηρήσεως της Ενέργειας στην παραγωγή, απορρόφηση και μέτρηση της θερμότητας των χημικών αντιδράσεων;
2. Να δικαιολογήσετε γιατί η ΔH της αντιδράσεως είναι αρνητική, όταν η αντίδραση εκλύει θερμότητα.
3. Γιατί είναι προτιμότερο να παρασκευάζει κανείς υδραέριο με πολλαπλά στάδια παραγωγής, προκειμένου να

το χρησιμοποιήσει ως καύσιμο, παρά με απ' ευθείας καύση του κάρβουνου;

4. Να ξαναγράψετε την ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιώντας ένα mole αερίου υδρογόνου. Να περιλάβετε ως όρο στην εξίσωση και το θερμικό αποτέλεσμα (το ΔH που αναφέρεται παρακάτω):

$$\tfrac{1}{2}H_2\,(\alpha) + \tfrac{1}{2}Br_2\,(\upsilon\gamma) \rightarrow HBr\,(\alpha)$$
$$\Delta H = -8{,}60 \text{ kcal/mole HBr}$$

5. Ξαναγράψτε την ακόλουθη αντίδραση, αναφέροντας την τιμή του ΔH για ένα mole άνθρακα.

$$3C(\sigma\tau) + 2Fe_2O_3(\alpha) + 110{,}8 \text{ kcal} \rightarrow 4Fe(\sigma\tau) + 3CO_2(\alpha)$$

6. Ποια από τις επόμενες αντιδράσεις είναι ενδόθερμη;

(α) $H_2(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\alpha)$
$\Delta H = -57{,}8$ kcal

(β) $\tfrac{1}{2}N_2(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow NO(\alpha)$
$\Delta H = +21{,}6$ kcal

(γ) $\tfrac{1}{2}\,N_2(\alpha) + O_2(\alpha) + 8{,}1 \text{ kcal} \rightarrow NO_2(\alpha)$

(δ) $\tfrac{1}{2}N_2(\alpha) + 3/2H_2(\alpha) \rightarrow NH_3(\alpha) + 11{,}0$ kcal

(ε) $NH_3(\alpha) \rightarrow \tfrac{1}{2}N_2(\alpha) + 3/2\,H_2(\alpha)$
$\Delta H = +11{,}0$ kcal

7. Προσέξτε τις παρακάτω εξισώσεις:

C (διαμάντι) + $O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)$
$\Delta H = -94{,}50$ kcal

C (γραφίτης) + $O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)$
$\Delta H = -94{,}05$ kcal

Να βρείτε το ΔH κατά την παρασκευή του διαμαντιού από γραφίτη.

C (γραφίτης) → C (διαμάντι)

Όταν ο γραφίτης μετατρέπεται σε διαμάντι, εκλύεται ή απορροφάται θερμότητα;

8. Η θερμότητα καύσεως του μεθανίου, CH_4, είναι –210 kcal/mole.

$CH_4(\alpha) + 2O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) + 2H_2O(\alpha)$
$\Delta H = -210$ kcal

Να εξηγήσετε γιατί αυτό το καύσιμο είναι καλύτερο από το υδραέριο που παράγεται από ένα mole ατόμων άνθρακα.

9. Για να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός συγκεκριμένου θερμιδομέτρου και του νερού που περιέχει κατά ένα βαθμό Κελσίου χρειάζονται 1550 θερμίδες. Η πλήρης καύση 1,40 γραμμαρίων αερίου αιθυλενίου, $C_2H_4(\alpha)$, μέσα στο θερμιδόμετρο αυτό αυξάνει τη θερμοκρασία κατά 10,7°C. Να υπολογίσετε τη θερμότητα της αντιδράσεως ανά mole αιθυλενίου.

10. Η αντίδραση ανάμεσα σε Fe_2O_3 (οξείδιο του σιδήρου) και αργίλιο, "αντίδραση ***θερμίτη***", είναι θεαματική και έντονα εξώθερμη. Κατά την αντίδραση αυτή, μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, παράγεται λευκοπυρωμένος, τηγμένος σίδηρος.

$2Al(\sigma\tau) + 3/2\ O_2(\alpha) \rightarrow Al_2O_3(\sigma\tau)$
$\Delta H = -400$ kcal/mole Al_2O_3

$2Fe(\sigma\tau) + 3/2\ O_2(\alpha) \rightarrow Fe_2O_3(\sigma\tau)$
$\Delta H = -200$ kcal/mole Fe_2O_3

Να προσδιορισθεί το ποσό της θερμότητας που ελευθερώνεται κατά την αντίδραση ενός mole Fe_2O_3 με Al.

11. Στο προηγούμενο πρόβλημα, πόση ενέργεια ελευθερώνεται κατά την παρασκευή 1,00 kg σιδήρου με την παραπάνω αντίδραση (αντίδραση θερμίτη);

12. Πόσα γραμμάρια νερού είναι δυνατόν να θερμανθούν από τους 0°C στους 100°C με τη θερμότητα που ελευθερώνεται, όταν σχηματίζεται ένα mole οξειδίου του αργιλίου με την παραπάνω αντίδραση;

13. Πόση ενέργεια ελευθερώνεται, όταν 0,100 mole του H_2 (σε 25°C και υπό πίεση μιας ατμόσφαιρας) ενώνεται με τόση ποσότητα $O_2(\alpha)$, ώστε να σχηματίσει νερό στην ίδια θερμοκρασία και πίεση;

14. Να υπολογίσετε τη θερμότητα καύσεως αιθανίου με οξυγόνο, κατά την οποία σχηματίζεται CO_2 και υδρατμοί.

15. Πόση ενέργεια καταναλώνεται κατά την αποσύνθεση 5,0 g $H_2O(\upsilon\gamma)$ σε 25°C και υπό πίεση μιας ατμόσφαιρας προς τα αέρια στοιχεία που το αποτελούν υπό τις αυτές συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως;

16. Ποιο θα ήταν το καλύτερο καύσιμο, το οξείδιο του αζώτου, NO, ή η αμμωνία, NH_3, με βάση τη θερμότητα που ελευθερώνεται ανά mole, όταν καίγονται; Να υποτεθεί ότι τα προϊόντα είναι αντίστοιχα $NO_2(\alpha)$ και $NO_2(\alpha)$ + $H_2O(\alpha)$.

17. Ποια είναι η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται, για να παραχθεί διοξείδιο του θείου από θειικό οξύ;

$$H_2SO_4(\upsilon\gamma) \rightarrow SO_2(\alpha) + H_2O(\alpha) + 1/2\ O_2(\alpha)$$

18. Ποια είναι η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη σύνθεση ενός mole οξειδίου του αζώτου από τα στοιχεία του;

19. Πόσες χιλιοθερμίδες θα ελευθερωθούν κατά την καύση 12,5 γραμμαρίων αιθυλενίου, C_2H_4;

$$C_2H_4(\alpha) + 3O_2(\alpha) \rightarrow 2CO_2(\alpha) + 2H_2O(\alpha)$$
$$\Delta H = -331{,}6 \text{ kcal/mole}$$

20. Η θερμότητα σχηματισμού του χλωριούχου νατρίου, NaCl, είναι 98,3 kcal/mole. Πόση θερμότητα θα ελευθερωθεί κατά την αντίδραση 92 γραμμαρίων νατρίου με περίσσεια χλωρίου;
21. Προσέξτε τις παρακάτω τρεις αντιδράσεις:

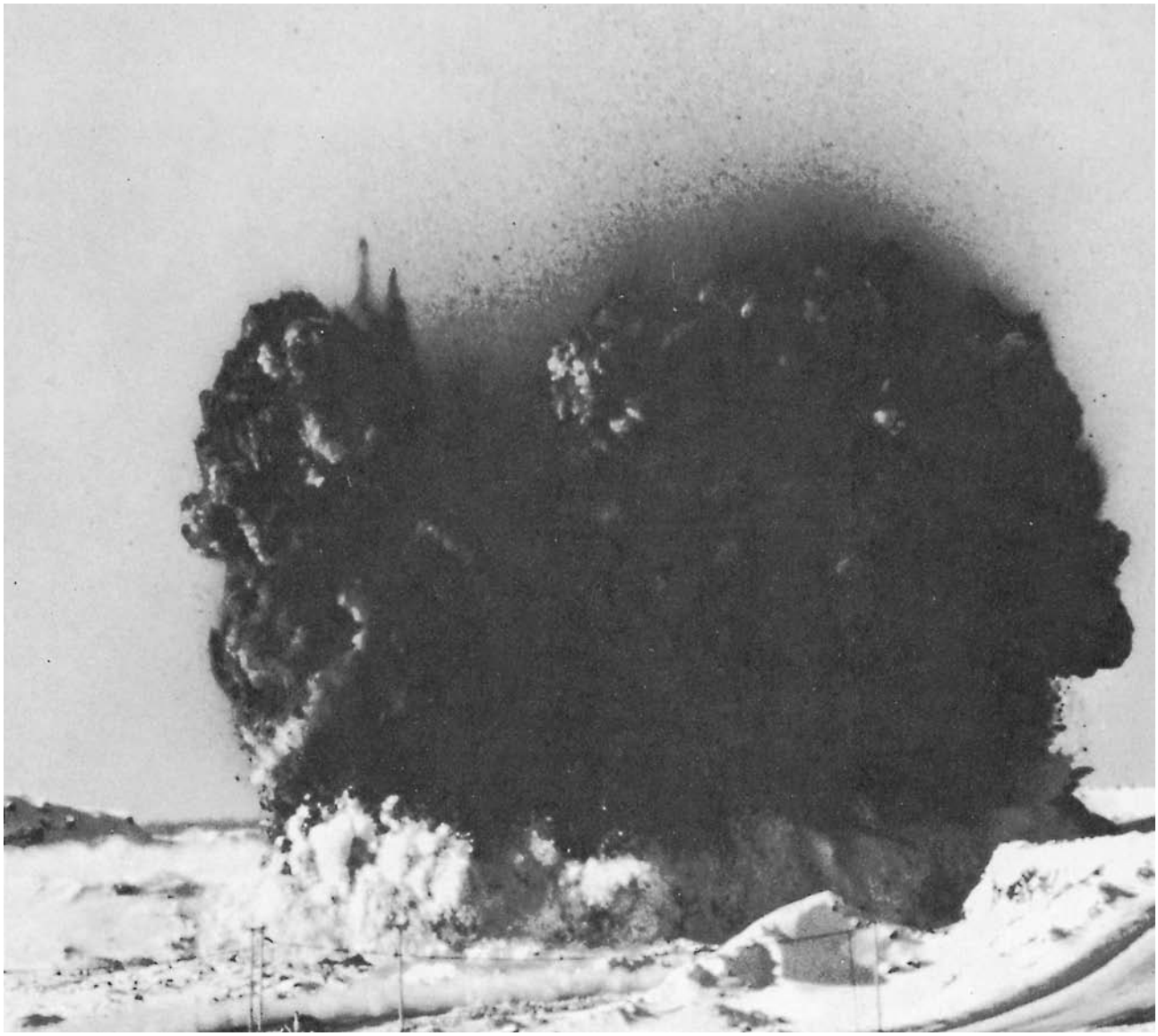
$$Ca(\sigma\tau) + 2H_2O(\upsilon\gamma) \rightarrow$$
$$Ca^{2+}(\upsilon\delta) + 2OH^-(\upsilon\delta) + H_2(\alpha) + 103 \text{ kcal}$$
$$CaO(\sigma\tau) + H_2O(\upsilon\gamma) \rightarrow$$
$$Ca^{2+}(\upsilon\delta) + 2OH^-(\upsilon\delta) + 19{,}5 \text{ kcal}$$
$$H_2(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow H_2O(\upsilon\gamma) + 68{,}3 \text{ kcal}$$

Να προσδιορίσετε το ΔH για τη συνολική αντίδραση:

$$Ca(\sigma\tau) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightarrow CaO(\sigma\tau)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

Οι ταχύτητες των χημικών αντιδράσεων



Έκρηξη είναι μια χημική αντίδραση, που πραγματοποιείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Πολλές άλλες αντιδράσεις γίνονται με μικρότερες ταχύτητες.

Μπορείτε να αφήσετε ένα σβηστό κερί σε επαφή με τον αέρα για όσο χρόνο θέλετε χωρίς να σημειωθεί καμία αντίδραση. Το κερί δηλαδή μένει αμετάβλητο. Αν όμως πλησιάσετε ένα αναμμένο σπίρτο στο φιτίλι του, θα παρατηρήσετε αμέσως μία αντίδραση. Μίγμα υγραερίου με αέρα, όσο και αν παραμείνει μέσα σε ένα κλειστό δωμάτιο, δεν προκαλεί τίποτα, ενώ, αν τοποθετηθεί μέσα στο δωμάτιο και ένα αναμμένο τσιγάρο, δημιουργείται μια βίαιη έκρηξη. Ένα κομμάτι σιδήρου αντιδρά πολύ αργά με τον αέρα (σκουριάζει), ενώ ένα κομμάτι λευκού φωσφόρου αναφλέγεται μόλις έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Όλες αυτές οι αντιδράσεις είναι αντιδράσεις με το οξυγόνο του αέρα. Ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθούν αυτές οι αντιδράσεις διαφέρει σημαντικά.

Γιατί υπάρχουν τόσο μεγάλες διαφορές στους χρόνους αντιδράσεως; Βρίσκοντας τις απαντήσεις σε ερωτήματα αυτού του είδους, οι χημικοί μπορούν να ελέγχουν καλύτερα τις αντιδράσεις. Το κεφάλαιο που ακολουθεί θα σας βοηθήσει να καταλάβετε γιατί η γνώση των ταχυτήτων των αντιδράσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την καλύτερη κατανοήση

Οι ταχύτητες των αντιδράσεων προσδιορίζονται από πολλούς παράγοντες

21.1 Ορισμός της ταχύτητας αντιδράσεως.

Τι σημαίνει ακριβώς η έκφραση "ταχύτητα αντιδράσεως"; Θεωρήστε ως παράδειγμα την αντίδραση ανάμεσα σε αέριο μονοξείδιο του άνθρακα, CO, και διοξείδιο του αζώτου, NO_2. Οι χημικές αναλύσεις δείχνουν ότι τα προϊόντα είναι διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και οξείδιο του αζώτου, NO. Ακολουθεί η εξίσωση της αντιδράσεως:

$$CO + NO_2 \rightarrow CO_2 + NO \qquad (1)$$

Καθώς ετοιμάζετε το μίγμα των αντιδρώντων και στη συνέχεια το θερμαίνετε στους 200°C, παρατηρείτε μια βαθμιαία εξαφάνιση του καστανέρυθρου χρώματος του NO_2. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται κάποια αντίδραση. Μπορείτε να προσδιορίσετε το χρόνο που διαρκεί η αντίδραση, αν μετρήσετε το χρονικό διάστημα που χρειάσθηκε για να αποχρωματισθεί το μίγμα. Τα άλλα αέρια κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως παραμένουν άχρωμα. Έτσι, αυτή η αλλαγή του χρώματος δείχνει την ποσότητα του NO_2 η οποία αντέδρασε κατ' αυτό το χρονικό διάστημα. Το αποτέλεσμα της διαιρέσεως της ποσότητας του NO_2 με το χρονικό διάστημα είναι η ταχύτητα της αντιδράσεως.

$$\text{ταχύτητα} = \frac{\text{ποσότητα παραγόμενου } NO_2}{\text{χρονικό διάστημα}} = \text{ποσότητα καταναλωθέντος } NO_2 \text{ ανά μονάδα χρόνου}$$

Οι χημικοί αποκαλούν τη μελέτη των ταχυτήτων των αντιδράσεων ***χημική κινητική***.

Από την εξίσωση της αντιδράσεως καταλαβαίνετε ότι το CO θα πρέπει να καταναλώνεται με την ίδια ταχύτητα που καταναλώνεται το NO_2. Γι' αυτό, είναι δυνατόν να εκφρασθεί η ταχύτητα της αντιδράσεως (1) με βάση την ταχύτητα καταναλώσεως του CO. Επίσης, μπορείτε να εκφράσετε την ταχύτητα της αντιδράσεως εξ ίσου καλά με βάση την εμφάνιση ενός εκ των προϊόντων, δηλαδή του CO_2 ή NO. Η επιλογή της ενώσεως που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό εξαρτάται από την ευκολία των μετρήσεων. Αν για παράδειγμα πρόκειται να μετρήσετε την παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα, θα πρέπει να εκφράσετε την ταχύτητα κατά τον εξής τρόπο:

$$\text{ταχύτητα} = \frac{\text{ποσότητα παραγόμενου } CO_2}{\text{χρονικό διάστημα}} = \text{ποσότητα παραγόμενου } CO_2 \text{ ανά μονάδα χρόνου}$$

Αν πρόκειται για αέρια ουσία, η ποσότητα που καταναλώνεται ή παράγεται εκφράζεται συνήθως σε μονάδες μερικών πιέσεων. Μονάδες συγκεντρώσεως χρησιμοποιούνται, αν τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα βρίσκονται σε διάλυμα. Εξάλλου, οι μετρήσεις του χρόνου εκφράζονται σε οποιαδήποτε μονάδα ταιριάζει με την αντίδραση. Στην περίπτωση εκρήξεως υγραερίου και οξυγόνου, οι μονάδες μπορεί να είναι

μικροδευτερόλεπτα. Προκειμένου για την καύση ενός κεριού, είναι δευτερόλεπτα ή λεπτά. Για τη σκωρίαση του σιδήρου είναι ημέρες και για τη σήψη του ξύλου μήνες.

21.2 Η φύση των ουσιών που αντιδρούν.

Πειραματικές μελέτες δείχνουν ότι η ταχύτητα μιας αντιδράσεως εξαρτάται από τη φύση των ουσιών που αντιδρούν. Οι ακόλουθες αντιδράσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται σε υδατικά διαλύματα, προσφέρονται για ενδιαφέρουσες συγκρίσεις:

βραδεία

$$5C_2O_4^{2-}(υδ) + 2MnO_4^- (υδ) + 16H^+(υδ) \rightarrow 10CO_2(α) + 2Mn^{2+}(υδ) + 8H_2O \quad (2)$$

πολύ ταχεία

$$5Fe^{2+}(υδ) + MnO_4^-(υδ) + 8H^+(υδ) \rightarrow 5Fe^{3+}(υδ) + Mn^{2+}(υδ) + 4H_2O \quad (3)$$

πολύ ταχεία

$$Fe^{2+}(υδ) + Ce^{4+}(υδ) \rightarrow Fe^{3+}(υδ) + Ce^{3+}(υδ) \quad (4)$$

Τόσο το δισθενές ιόν σιδήρου, $Fe^{2+}(υδ)$, όσο και το οξαλικό ιόν, $C_2O_4^{2-}(υδ)$, μπορούν να αποχρωματίσουν διάλυμα υπερμαγγανικών ιόντων σε θερμοκρασία δωματίου. Υπάρχει όμως μεγάλη διαφορά στο χρόνο του αποχρωματισμού (σχ. 21-1). Η διαφορά οφείλεται στις ιδιότητες του $Fe^{2+}(υδ)$ και του $C_2O_4^{2-}(υδ)$.

Το ιόν του δισθενούς σιδήρου, $Fe^{2+}(υδ)$ μετατρέπεται σε $Fe^{3+}(υδ)$ αν αντιδράσει με $MnO_4^-(υδ)$ ή με ιόν δημητρίου, $Ce^{4+}(υδ)$. Η μια από αυτές τις αντιδράσεις είναι απλή, ενώ η άλλη περιλαμβάνει πολλά μόρια. Και οι δύο όμως είναι ταχείες αντιδράσεις.

Ως ένα επί πλέον παράδειγμα, θεωρήστε τις ακόλουθες δύο αντιδράσεις καύσεως. Και οι δύο πραγματοποιούνται στην αέρια φάση:

μετρίας ταχύτητας στους 20°C

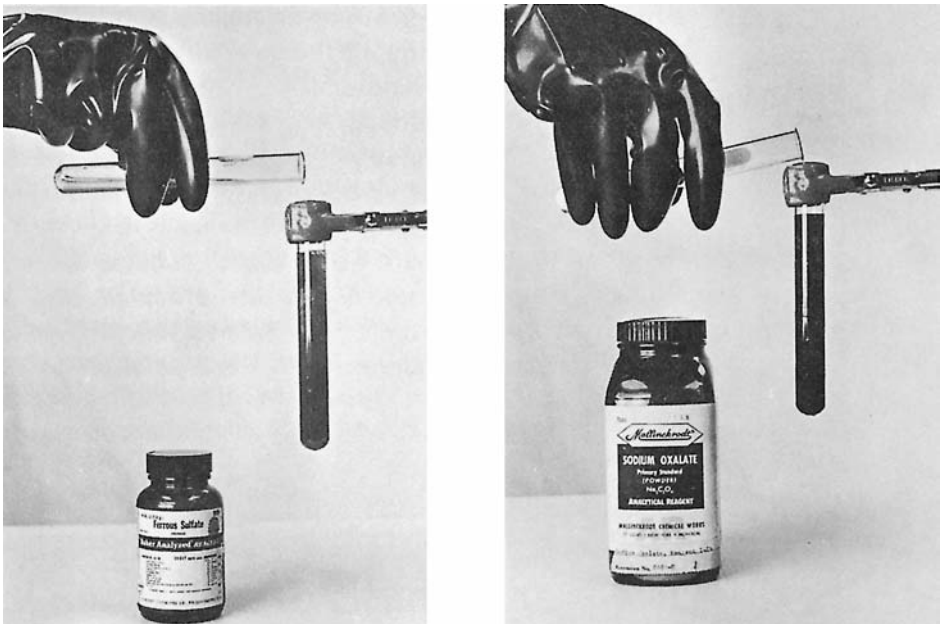
$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \quad (5)$$

εξαιρετικά βραδείς στους 20°C

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \quad (6)$$

Η οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου, NO, είναι μια αντίδραση που πραγματοποιείται κατά το σχηματισμό του ατμοσφαιρικού νέφους. Είναι μετρίας ταχύτητας σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Η οξείδωση του μεθανίου (CH_4) όμως πραγματοποιείται τόσο αργά σε θερμοκρασία δωματίου, ώστε πρακτικά είναι σαν να μην υπάρχει αντίδραση. Και πάλι, η διαφορά στις ταχύτητες των αντιδράσεων θα πρέπει να οφείλεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αντιδρώντων, NO και CH_4.

Ο προσδιορισμός των



ΣΧΗΜΑ 21-1. *Η ταχύτητα με την οποία αποχρωματίζονται διαλύματα που περιέχουν ιόντα MnO_4^- ποικίλλει. Αριστερά φαίνεται ότι ένα διάλυμα υπερμαγγανικού καλίου αρχίζει να χάνει το χρώμα του σχεδόν αμέσως μετά την προσθήκη του $Fe^{2+}(υδ)$. Όμως, αμέσως μετά την προσθήκη του $C_2O_4^{2-}(υδ)$, δεν συντελείται έντονος αποχρωματισμός (δεξιά).*

μοριακών χαρακτηριστικών, τα οποία είναι σημαντικά για τον καθορισμό της συμπεριφοράς της ταχύτητας, είναι ένας ενδιαφέρων κλάδος της χημείας. Οι χημικοί έχουν βρει ότι οι περισσότερες, –όχι όμως όλες– χημικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες συντελείται διάσπαση μερικών χημικών δεσμών και σχηματισμός άλλων νέων δεσμών, προχωρούν συνήθως με μικρή ταχύτητα σε θερμοκρασία δωματίου. Η αντίδραση (2) είναι αυτού του τύπου. Στα πέντε ιόντα $C_2O_4^{2-}$ και στα δύο ιόντα MnO_4^- θα πρέπει να σπάσουν πολλοί δεσμοί, ώστε να σχηματισθούν τα δέκα CO_2 και τα δύο Mn^{2+}. Η αντίδραση αυτή θα έπρεπε να προχωρεί με μικρή ταχύτητα (και πράγματι αυτό συμβαίνει). Στην αντίδραση (6) συντελείται επίσης η διάσπαση δεσμών και ο σχηματισμός άλλων νέων, γι' αυτό και είναι βραδεία σε θερμοκρασία δωματίου. Αντίθετα, η αντίδραση (3) είναι πολύ ταχεία. Θα περίμενε κάποιος, επειδή συντελείται διάσπαση χημικών δεσμών, να είναι βραδεία. Είναι φανερό ότι δεν μπορεί να γίνει ακριβής πρόβλεψη για το αν κάποια αντίδραση είναι βραδεία. Η αντίδραση (4) γίνεται χωρίς διάσπαση δεσμού ή σχηματισμό νέου. Θα ανέμενε κάποιος να είναι ταχεία (όπως πράγματι είναι). Πρόβλεψη αυτού του είδους είναι συνήθως αξιόπιστη. Κατά την αντίδραση (5) γίνεται διάσπαση ενός μόνο δεσμού και σχηματισμός δύο νέων. Η ταχύτητα της είναι μέτρια, ταχεία υπό μεγάλες πιέσεις και βραδεία υπό χαμηλές πιέσεις.

Αυτά μαζί με άλλα παραδείγματα οδηγούν στους ακόλουθους κανόνες:

1. Αντιδράσεις στις οποίες δεν συντελούνται ανακατατάξεις δεσμών είναι συνήθως ταχείες σε θερμοκρασία δωματίου.
2. Αντιδράσεις κατά τις οποίες διασπώνται δεσμοί έχουν την τάση να είναι βραδείες σε θερμοκρασία δωματίου.

Σχετικά με το πώς από τη φύση των ουσιών που αντιδρούν προσδιορίζεται η ταχύτητα της αντιδράσεως, λίγα είναι δυνατόν να αναφερθούν, μέχρι να εξετασθεί λεπτομερειακά ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται μερικές αντιδράσεις. Προς το παρόν, αρκεί να παρατηρήσομε ότι αυτή η διερεύνηση αποτελεί ένα ενδιαφέρον πεδίο μελέτης και ότι πολλά είναι αυτά που πρόκειται ακόμη να μάθομε.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

21.3 Μελέτη των ταχυτήτων αντιδράσεως.

Όταν ένας χημικός πραγματοποιεί μια χημική αντίδραση, θα πρέπει να λάβει υπόψη του διάφορες συνθήκες, οι οποίες είναι δυνατόν να επηρεάσουν την ταχύτητα με την οποία θα προχωρήσει η αντίδραση. Εσείς μπορείτε να αναφέρετε μερικές συνθήκες, οι οποίες πιθανόν μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως, έστω και αν δεν είστε σε θέση να προβλέψετε την επίδρασή τους. Ανάμεσα σε αυτές θα μπορούσαν να είναι η ταχύτητα της αναδεύσεως, το μέγεθος των σωματιδίων που συμμετέχουν στην αντίδραση και η συγκέντρωση των ουσιών που αντιδρούν. Ακόμη, άλλοι παράγοντες μπορεί να είναι η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η αντίδραση, η πίεση που ασκείται στο μίγμα, και το μέγεθος, το σχήμα και το υλικό του δοχείου της αντιδράσεως.

Για να μελετήσετε το πώς επηρεάζουν ορισμένοι παράγοντες –που μπορούμε να τους ελέγξομε– την ταχύτητα μιας αντιδράσεως, είναι σκόπιμο να επιλέξετε κατάλληλο πείραμα. Ένα τέτοιο πείραμα π.χ. θα ήταν αυτό, στο οποίο το τέλος της αντιδράσεως γίνεται αμέσως αντιληπτό με μια γρήγορη και ευδιάκριτη μεταβολή χρώματος. Τέτοιες αντιδράσεις τις χαρακτηρίζομε ως χρονομετρήσιμες (clock reactions).

Στο πείραμα που ακολουθεί θα μελετήσετε μια χρονομετρήσιμη αντίδραση που γίνεται με ανάμιξη δύο διαλυμάτων. Το διάλυμα Α, ένα αραιό διάλυμα ιωδικού καλίου, KIO_3, είναι η πηγή του ενός αντιδρώντος είδους, του ιωδικού ιόντος, $IO_3^-(υδ)$. Το διάλυμα Β περιέχει λίγο άμυλο και το άλλο αντιδρών είδος, που είναι το όξινο θειώδες ιόν, $HSO_3^-(υδ)$.

Το αρχικό στάδιο της αντιδράσεως παριστάνεται με την ακόλουθη εξίσωση, όπου τα όξινα θειώδη ιόντα αντιδρούν με τα ιωδικά και σχηματίζουν

ιωδιούχα ιόντα [$I^-(υδ)$].

$IO_3^-(υδ) + 3HSO_3^-(υδ) \rightarrow I^-(υδ) + 3SO_4^{2-}(υδ) + 3H^+(υδ)$

Όταν εξαντληθούν τα όξινα θειώδη ιόντα, $HSO_3^-(υδ)$, τα ιόντα του ιωδίου, $I^-(υδ)$, αντιδρούν με τα υπόλοιπα ιωδικά ιόντα, $IO_3^-(υδ)$, και σχηματίζουν ιώδιο, $I_2(στ)$.

$5I^-(υδ) + 6H^+(υδ)\ IO_3^-(υδ) \rightarrow 3I_2(στ) + 3H_2O$

Τέλος, το μοριακό ιώδιο, αμέσως μόλις σχηματισθεί, αντιδρά με το άμυλο του διαλύματος B και σχηματίζει μια κυανή ουσία. Έτσι, η εμφάνιση του κυανού χρώματος δείχνει ότι η αντίδραση άρχισε να παράγει $I_2(στ)$.

ΣΚΟΠΟΣ

Θα διερευνήσετε το ρόλο που παίζει η συγκέντρωση των αντιδρώντων, καθώς και η θερμοκρασία του μίγματος της αντιδράσεως κατά την αντίδραση ανάμεσα σε ιωδικό ιόν και σε όξινο θειώδες ιόν. Αλλάζοντας αυτές τις παραμέτρους θα προσδιορίσετε ποια επίδραση μπορεί να έχουν πάνω στην ταχύτητα της αντιδράσεως η συγκέντρωση και η θερμοκρασία.

ΥΛΙΚΑ

2 δοκιμαστικοί σωλήνες 18– x 150– mm
Ποτήρι, 400– ml
Ορθοστάτης, δακτύλιος
Συρμάτινο πλέγμα αμίαντου
Λύχνος
Ογκομετρικός κύλινδρος των 10– ή 25– ml
1 ή 2 θερμόμετρα, –10°C μέχρι 110°C
Χρονόμετρο ή ρολόι με δείκτες δευτερολέπτων
Παγάκια
45 ml διαλύματος *A*
70 ml διαλύματος *B*
Απεσταγμένο νερό

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Η επίδραση των αλλαγών της συγκεντρώσεως.

Για να διερευνήσετε την επίδραση της συγκεντρώσεως του ενός από τα αντιδρώντα στην ταχύτητα της αντιδράσεως, θα επιχειρήσετε αραιώσεις του διαλύματος *A* με ποικίλες συγκεντρώσεις ως προς το ιόν $IO_3^-(υδ)$. Στην κάθε περίπτωση η συγκέντρωση του ιόντος $HSO_3^-(υδ)$ θα διατηρείται σταθερή και η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων θα ισούται με αυτήν του περιβάλλοντος. Αν δεν επαρκεί ο χρόνος για να διερευνήσετε μόνοι σας διάφορες συγκεντρώσεις, τότε ο καθηγητής σας θα καθορίσει κάποιες άλλες συγκεντρώσεις που θα επιχειρήσετε εσείς και κάποιες ένας συνεργάτης–συμμαθητής σας. Γνωστοποιώντας τα αποτελέσματα μεταξύ σας, θα μπορέσετε να καταλήξετε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση αυτής της μεταβλητής.

1. Με τη βοήθεια ενός καθαρού ογκομετρικού κυλίνδρου μετρήστε 10,0 ml διαλύματος *A*. Στη συνέχεια, αδειάστε το διάλυμα μέσα σε έναν καθαρό δοκιμαστικό σωλήνα. Ξεπλύντε τον κύλινδρο. Κατά ανάλογο τρόπο προσθέστε 10,0 ml του διαλύματος *B* μέσα σε ένα άλλο δοκιμαστικό σωλήνα. Αν τα δύο αυτά διαλύματα έχουν παραμείνει μέσα στο δωμάτιο για αρκετό χρονικό διάστημα, τότε υποθέστε ότι βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου. Διαφορετικά, θα πρέπει να τοποθετήσετε τους δοκιμαστικούς σωλήνες που περιέχουν τα διαλύματα μέσα σε ένα ποτήρι των 250 ml, γεμάτο κατά τα δύο τρίτα με νερό θερμοκρασίας δωματίου, και να τα αφήσετε εκεί για μερικά λεπτά.
2. Με τη βοήθεια ενός ρολογιού που έχει δείκτες δευτερολέπτων, σημειώστε



ΣΧΗΜΑ 21-2.

με ακρίβεια δευτερολέπτου την ώρα που αδειάζετε το διάλυμα *A* μέσα στο διάλυμα *B*, όπως δείχνει και το σχήμα 21-2. Στη συνέχεια, αδειάστε ***γρήγορα*** το μίγμα των διαλυμάτων από τον ένα στον άλλο σωλήνα τρεις φορές, ώστε να γίνει ομοιογενές. Ο χρόνος θα πρέπει να μετρά από τη πρώτη στιγμή που τα δύο διαλύματα ήλθαν σε επαφή.

3. Παρατηρήστε το διάλυμα στο δοκιμαστικό σωλήνα προσεκτικά και σημειώστε την ώρα, αμέσως μόλις διαπιστώσετε την έναρξη κάποιας αντιδράσεως.
4. Επαναλάβατε το πείραμα, για να ελέγξετε αν με τα αποτελέσματά σας συμφωνεί και ο καθηγητής σας.
5. Παρασκευάστε διαλύματα διαφορετικής συγκεντρώσεως KIO_3 με αραίωση του διαλύματος *A* και σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Να κάνετε τόσες αραιώσεις, όσες σας ζητηθούν από τον καθηγητή σας.

Διάλυμα Α	Απεσταγμένο νερό
9,0 ml	1,0 ml
8,0 ml	2,0 ml
7,0 ml	3,0 ml
κλπ.	κλπ.

Σημειώστε ότι ο συνολικός όγκος είναι πάντα 10,0 ml. Αναδεύσατε το κάθε διάλυμα καλά.

6. Να επαναλάβετε τη διαδικασία της χρονομετρήσεως, αφού προσθέσετε ένα από τα αραιωμένα διαλύματα του KIO_3 σε 10,0 ml του διαλύματος *B*. Και τα δύο διαλύματα θα πρέπει να βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου.

Μέρος Β. Επίδραση της θερμοκρασίας.

Για να μελετήσετε την επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας, θα προσδιορίσετε το χρόνο αυτής της αντιδράσεως σε θερμοκρασία δωματίου και σε άλλες θερμοκρασίες που διαφέρουν μέχρι ±20°C από τη θερμοκρασία δωματίου. Ο καθηγητής σας θα καθορίσει τις θερμοκρασίες που θα μελετήσετε εσείς και οι συμμαθητές σας. Ανταλλάσσοντας τα αποτελέσματά σας μεταξύ σας θα είστε σε θέση να εξαγάγετε κάποια συμπεράσματα που αφορούν στην επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο της αντιδράσεως.

1. Προσθέστε σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα (18– x 150– mm) 10,0 ml διαλύματος *A* και σε έναν άλλο 10,0 ml διαλύματος *B* (κατόπιν συμβουλής του καθηγητή σας χρησιμοποιήστε μια από τις αραιώσεις του διαλύματος *A* που παρασκευάσατε στο Α Μέρος). Αυτά τα διαλύματα, πριν αναμιχθούν, θα πρέπει να αποκτήσουν την επιθυμητή θερμοκρασία. Τοποθετήστε και τους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες σε ένα υδρόλουτρο (ποτήρι των 250 ml γεμάτο κατά τα δύο τρίτα περίπου με νερό), που βρίσκεται στη θερμοκρασία την οποία πρόκειται να μελετήσετε. Αφήστε τους εκεί για δέκα λεπτά περίπου, ώστε τα διαλύματα να αποκτήσουν τη θερμοκρασία του υδρόλουτρου. Διατηρήστε τη θερμοκρασία του υδρόλουτρου όσο το δυνατόν σταθερότερη. Αν έχει αρχίσει να κρυώνει, θερμάνατε αυτό ελαφρά ή προσθέστε ζεστό νερό. Αν αρχίσει να θερμαίνεται, μπορείτε να προσθέσετε κρύο νερό ή ένα μικρό κομμάτι πάγου.
2. Με τη βοήθεια ενός ρολογιού με δείκτη δευτερολέπτων, σημειώστε με ακρίβεια δευτερολέπτου την ώρα κατά την οποία αδειάζετε το διάλυμα *A* μέσα στο διάλυμα *B*. Αδειάστε τα γρήγορα από τον ένα σωλήνα στον άλλο τρεις φορές, ώστε να επιτευχθεί, όπως και προηγουμένως, ομοιόμορφη ανάμιξη. Ο χρόνος θα μετρά από τη στιγμή που ήλθαν σε επαφή τα δύο διαλύματα.

3. Τοποθετήστε το δοκιμαστικό σωλήνα πάλι μέσα στο υδρόλουτρο και παρατηρήστε τον προσεκτικά. Να αρχίσετε πάλι να μετράτε το χρόνο, αμέσως μόλις αρχίσει να εμφανίζεται κάποια αντίδραση.
4. Για να ελέγξετε τα αποτελέσματά σας, να επαναλάβετε το πείραμα στην ίδια θερμοκρασία. Αν συμφωνεί και ο καθηγητής σας, επαναλάβατέ το και σε άλλες θερμοκρασίες.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

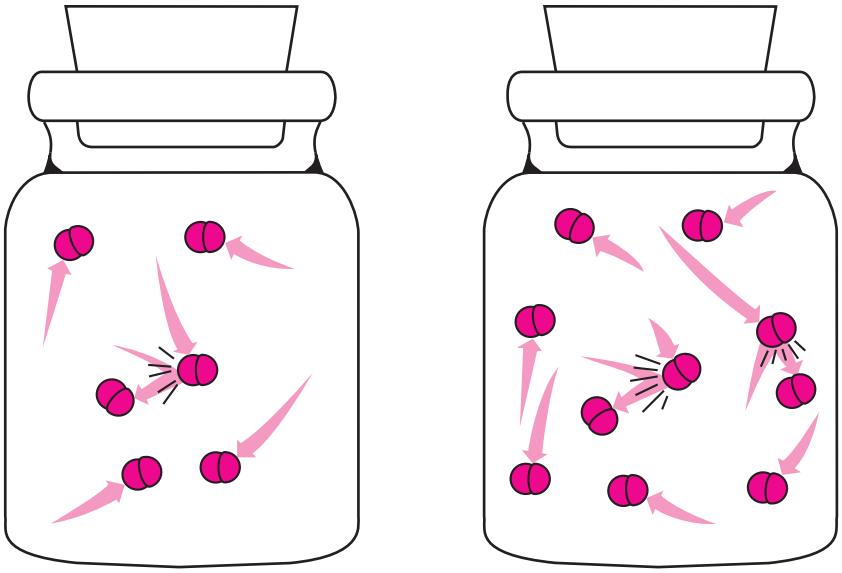
1. Η συγκέντρωση του KIO_3 στο διάλυμα *A* είναι 0,02 M. Να υπολογίσετε τον αριθμό των moles του ιωδικού καλίου σε κάθε κυβικό εκατοστό (ml) του διαλύματος *A*.
2. Να υπολογίσετε την αρχική μοριακή κατ' όγκο συγκέντρωση του KIO_3 στο κάθε ένα από τα μίγματα του *A* και του *B* που παρασκευάσθηκαν στο Α Μέρος (βλ. παραγρ. 17.20).
3. Γιατί κατά την αραίωση του διαλύματος *A*, στο Α Μέρος, είναι σημαντικό να διατηρήσετε τον όγκο σταθερό στα 10,0 ml;
4. Να σχεδιάσετε την καμπύλη των αποτελεσμάτων συγκεντρώσεως–χρόνου. Ο χρόνος να σημειωθεί στον κατακόρυφο και η συγκέντρωση του KIO_3 στον οριζόντιο άξονα. Να χρησιμοποιήσετε επίσης τα αποτελέσματα των συμμαθητών σας.
5. Ποιος γενικός κανόνας είναι δυνατόν να εξαχθεί σχετικά με την επίδραση των μεταβολών της συγκεντρώσεως στο χρόνο της αντιδράσεως;
6. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στο χρόνο της αντιδράσεως και στην ταχύτητά της;
7. Να σχεδιάσετε την καμπύλη των αποτελεσμάτων θερμοκρασίας-χρόνου. Η θερμοκρασία να σημειωθεί στον οριζόντιο άξονα και ο χρόνος στον κατακόρυφο.
8. Ποιες γενικές σχέσεις προκύπτουν από την καμπύλη θερμοκρασίας–χρόνου;
9. Να προβλέψετε το χρόνο της αντιδράσεως ανάμεσα σε μη αραιωθέντα διαλύματα *A* και *B* στους 0°C και στους 50°C, υποθέτοντας ότι οι άλλες μεταβλητές του πειράματος παραμένουν σταθερές.

21.4 Επίδραση της συγκεντρώσεως στην ταχύτητα αντιδράσεως.

Από εδώ και κάτω θα μελετάτε μια αντίδραση κάθε φορά. Η φύση των αντιδρώντων θα παραμένει σταθερή, ενώ θα εξετάζονται οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις ταχύτητες. Ο πρώτος από αυτούς τους παράγοντες που θα μελετηθεί είναι η συγκέντρωση.

Σε πολλές αντιδράσεις, η αύξηση της συγκεντρώσεως ενός αντιδρώντος αυξάνει την ταχύτητα της αντιδράσεως. Αυτήν ακριβώς την επίδραση την παρατηρήσατε κατά τη μελέτη της αντιδράσεως του $IO_3^-(υδ)$ με $HSO_3^-(υδ)$. Σε πολλές όμως περιπτώσεις δεν έχομε κάποια επίδραση. Στην παράγραφο αυτή θα μάθετε γιατί η ταχύτητα, αν και όχι πάντα, αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση ενός από τα αντιδρώντα. Στην παράγραφο 21.5 θα δείτε γιατί μερικές αντιδράσεις προχωρούν με ταχύτητα ανεξάρτητη της συγκεντρώσεως ενός ή περισσοτέρων αντιδρώντων. Οι ερμηνείες των διαφορών στη συμπεριφορά αντιδράσεων βασίζονται σε ένα πρότυπο του τρόπου με τον οποίο συντελούνται οι αντιδράσεις σε μοριακή κλίμακα.

Κατά τη μοριακή θεώρηση της ύλης, οι χημικοί πιστεύουν ότι, προκειμένου να αντιδράσουν δύο μόρια, πρέπει να πλησιάσουν πάρα πολύ. Γι' αυτό, θεωρούν ότι οι χημικές αντιδράσεις εξαρτώνται από τον αριθμό των συγκρούσεων ανά μονάδα χρόνου ανάμεσα στα αντιδρώντα σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι άτομα, μόρια ή ιόντα. Αυτό το πρότυπο συμπεριφοράς ταχύτητας–αντιδράσεως ονομάζεται ***θεωρία των συγκρούσεων***. Εξασφαλίζει μια επιτυχημένη βάση για την κατανόηση της επιδράσεως της συγκεντρώσεως. Για παράδειγμα, όπως γνωρίζετε μια αύξηση του



ΣΧΗΜΑ 21-3. *Η ταχύτητα της αντιδράσεως στο δεξιό δοχείο είναι μεγαλύτερη, επειδή η μεγαλύτερη συγκέντρωση των αντιδρώντων μέσα σε αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερο αριθμό συγκρούσεων ανάμεσα στα μόριά τους.*

αριθμού των αυτοκινήτων που κινούνται σε ένα μεγάλο δρόμο οδηγεί σε αύξηση της συχνότητας μικροσυγκρούσεων. Κατ' αναλογία και η αύξηση του αριθμού των σωματιδίων μέσα σε σταθερό όγκο οδηγεί σε συχνότερες μοριακές συγκρούσεις. Σύμφωνα και με το σχήμα 21-3, η μεγαλύτερη συχνότητα συγκρούσεων οδηγεί σε μεγαλύτερη ταχύτητα της αντιδράσεως.

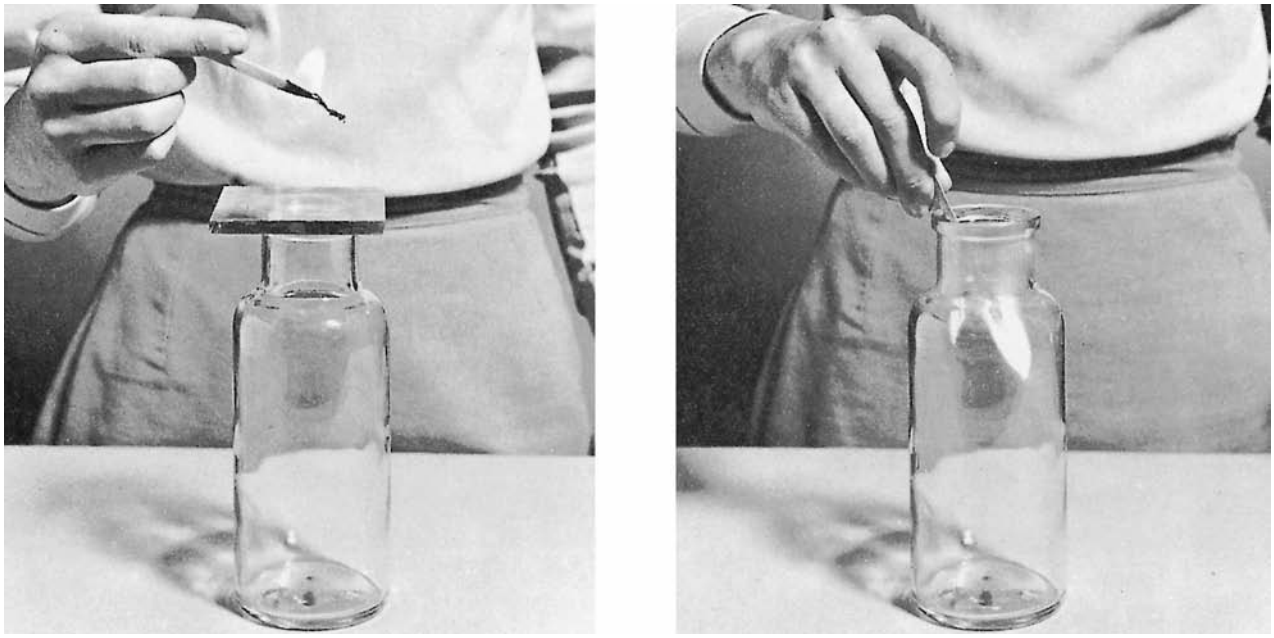
Ας παρατηρήσομε ένα ***ομοιογενές*** σύστημα, δηλαδή ένα σύστημα, μέσα στο οποίο όλα τα συστατικά βρίσκονται στην ίδια φάση ή κατάσταση. Ένα καλό παράδειγμα τέτοιου "συστήματος" αποτελεί ένα διάλυμα. Σύμφωνα με τη θεωρία των συγκρούσεων, η αύξηση της συγκεντρώσεως ενός ή περισσοτέρων αντιδρώντων οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας της αντιδράσεως. Η μείωση της συγκεντρώσεως συνεπάγεται το αντίθετο αποτέλεσμα. Αυτήν ακριβώς τη συμπεριφορά παρατηρούμε στην αντίδραση ανάμεσα στο HSO_3^-(*υδ*) και στο IO_3^-(*υδ*), όταν μεταβάλλονται οι συγκεντρώσεις. Στα αέρια, τα οποία επίσης είναι ομοιογενή συστήματα*, η συγκέντρωση κάποιου από τα αντιδρώντα είναι δυνατόν να αυξηθεί, αν αυξηθεί η ποσότητα της ουσίας αυτής. Οι συγκεντρώσεις όλων των αερίων είναι δυνατόν να αυξηθούν ταυτόχρονα, αν μειωθεί ο όγκος τον οποίο καταλαμβάνουν. Γι' αυτό, η μείωση του όγκου που προκαλείται από συμπίεση του αερίου αυξάνει τις ταχύτητες των πραγματοποιουμένων αντιδράσεων. Η αύξηση του όγκου που οφείλεται σε εκτόνωση του αερίου έχει το αντίθετο αποτέλεσμα ως προς τις συγκεντρώσεις. Οδηγεί σε μια μείωση των ταχυτήτων των αντιδράσεων.

Σε ένα ***ετερογενές*** σύστημα αντιδράσεως, τα συστατικά βρίσκονται σε δύο ή περισσότερες διαφορετικές φάσεις**. Η αντίδραση που ακολουθεί είναι ετερογενής:

ξύλο [στερεό] + οξυγόνο (αέριο) $\xrightarrow{\text{Δ}\acute{\text{ε}}\text{λτα}}$ διοξείδιο του άνθρακα [αέριο] + νερό [αέριο]

Σε ένα σύστημα αυτού του είδους, η ταχύτητα αντιδράσεως εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής ανάμεσα στις δύο φάσεις. Για παράδειγμα, ένα κομμάτι ξύλου καίγεται στον αέρα με σχετικά μικρή ταχύτητα. Αν χωρίζοντάς το σε παρασχίδες***. αυξήσομε την επιφάνεια του ξύλου, τότε η καύση γίνεται πολύ πιο γρήγορα. Αν το ξύλο στη συνέχεια κοπεί σε πολύ μικρά κομμάτια και γίνει πριονίδι, η καύση μέσα σε ρεύμα αέρα γίνεται τόσο γρήγορα, ώστε εμφανίζεται σαν έκρηξη. Όπου το ένα από τα αντιδρώντα είναι αέριο, όπως στο παραπάνω παράδειγμα, η συγκέντρωση του αερίου αποτελεί

* *Σ.τ.Μ. Γενικά τα μίγματα μεταξύ αερίων θεωρούνται ομοιογενή μίγματα.*
** *Σ.τ.Μ. Δηλαδή δεν αναμιγνύονται.*
*** *Σ.τ.Μ. Λεπτά ξυλαράκια.*



ΣΧΗΜΑ 21-4. *Η παρασχίδα καίγεται πολύ πιο αργά στον αέρα (αριστερά), ο οποίος περιέχει μόνο είκοσι τοις εκατό οξυγόνο, από ότι μέσα σε καθαρό, εκατό τοις εκατό, οξυγόνο (δεξιά).*

επίσης παράγοντα που επηρεάζει την ταχύτητα της αντιδράσεως. Ένα κομμάτι ξύλου καίγεται πολύ πιο γρήγορα μέσα σε καθαρό οξυγόνο από ό,τι μέσα σε κανονικό αέρα*. Στην τελευταία περίπτωση, το οξυγόνο αποτελεί μόνο το 20 περίπου τοις εκατό του μίγματος. Στο σχήμα 21-4 φαίνεται αυτή η διαφορά στις ταχύτητες καύσεως.

Εύκολα διαπιστώνετε ότι η θεωρία των συγκρούσεων παρέχει μια καλή ερμηνεία για τη συμπεριφορά της ταχύτητας αντιδράσεως. Είναι απόλυτα δικαιολογημένο το γεγονός ότι η ταχύτητα αντιδράσεως θα πρέπει να εξαρτάται από τις συγκρούσεις ανάμεσα στα αντιδρώντα μόρια. Στην πραγματικότητα, είναι τόσο εύλογο, ώστε αναρωτιέται κανείς γιατί οι συγκεντρώσεις ορισμένων αντιδρώντων σε μερικές αντιδράσεις δεν επηρεάζουν την ταχύτητα. Η ερμηνεία βρίσκεται στις λεπτομέρειες των σταδίων, διά μέσου των οποίων πραγματοποιείται η αντίδραση.

21.5 Μηχανισμός αντιδράσεως.

Έχει προταθεί ότι, για να πραγματοποιηθεί μια αντίδραση, θα πρέπει να συγκρουσθούν σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι άτομα, μόρια ή ιόντα. Ως αποτελέσματα αυτών των συγκρούσεων είναι δυνατόν να εμφανισθούν μεταθέσεις ατόμων, ηλεκτρονίων και χημικών δεσμών οι οποίες οδηγούν στην παραγωγή νέων μοριακών διατάξεων. Για παράδειγμα, ας προσέξομε την αντίδραση ανάμεσα στο Fe^{2+} και στο MnO_4^-:

$$5Fe^{2+}(υδ) + MnO_4^-(υδ) + 8H^+(υδ) \rightarrow 5Fe^{3+}(υδ) + Mn^{2+}(υδ) + 4H_2O \quad (7)$$

Η εξίσωση δείχνει ότι ένα ιόν MnO_4^-, πέντε ιόντα Fe^{2+} και οκτώ ιόντα H^+ θα πρέπει να αντιδράσουν μεταξύ τους. Αν η αντίδραση αυτή επρόκειτο να πραγματοποιηθεί σε ένα στάδιο, αυτά τα δεκατέσσερα ιόντα θα έπρεπε να συγκρουσθούν ***ταυτόχρονα*** μεταξύ τους. Η πιθανότητα πραγματοποιήσεως ενός τέτοιου γεγονότος είναι εξαιρετικά μικρή. Τόσο μικρή, ώστε μια αντίδραση η οποία θα εξαρτώνταν από μια τέτοια σύγκρουση θα προχωρούσε με μια απίστευτα μικρή ταχύτητα.

Στην πραγματικότητα, οι χημικοί θεωρούν την ταυτόχρονη σύγκρουση ακόμη και τεσσάρων μορίων ως εξαιρετικά απίθανο γεγονός, αν τα μόρια αυτά βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις ή σε αέρια φάση. Γι' αυτό, το συμπέρασμα είναι ότι μια πολύπλοκη χημική αντίδραση η οποία προχωρεί με κάποια ταχύτητα, που είναι δυνατόν

* *Σ.τ.Μ. Αν κατευθύνομε αέρα στη φωτιά με ένα φυσερό, η καύση γίνεται πολύ πιο έντονη, γιατί αυξάνεται η ποσότητα του αέρα, επομένως και του οξυγόνου.*

να μετρηθεί, πιθανότατα πραγματοποιείται κατά στάδια. Η σειρά αυτών των σταδίων της αντιδράσεως ονομάζεται ***μηχανισμός της αντιδράσεως.***

Ας παρατηρήσομε την ακόλουθη αντίδραση, που είναι πράγματι ταχεία αντίδραση σε θερμοκρασίες από 400˚C μέχρι 600˚C:

$$4HBr(a) + O_2(a) \rightarrow 2H_2O(a) + 2Br_2(a) \qquad (8)$$

Σύμφωνα με τη θεωρία των συγκρούσεων, αν αυξηθεί η μερική πίεση και κατά συνέπεια η συγκέντρωση ή του HBr ή του O_2 θα πρέπει να επιταχυνθεί η αντίδραση. Πειράματα δείχνουν ότι πράγματι αυτό συμβαίνει. Ποσοτικές μετρήσεις της ταχύτητας της αντιδράσεως (8) σε διάφορες πιέσεις και με διάφορα μίγματα δείχνουν ότι τόσο η συγκέντρωση του HBr όσο και του O_2 είναι εξ ίσου αποτελεσματικές ως προς την αλλαγή της ταχύτητας της αντιδράσεως. Το αποτέλεσμα όμως αυτό δημιουργεί ένα ερώτημα. Όπως παρατηρείτε, η αντίδραση (8) απαιτεί τέσσερα μόρια HBr για κάθε ένα μόριο O_2. Τότε, γιατί μια αλλαγή στην πίεση του HBr έχει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα με μια ίση αλλαγή στην πίεση του O_2;

Η εξήγηση είναι δυνατόν να δοθεί, αν εξετασθούν οι λεπτομέρειες της διαδικασίας, μέσω της οποίας πραγματοποιείται η αντίδραση (8). Η συνολική αντίδραση φέρνει σε επαφή πέντε μόρια, τέσσερα του HBr και ένα του O_2. Η πιθανότητα να συγκρουσθούν ταυτόχρονα τα πέντε αέρια μόρια είναι πρακτικά μηδενική. Για το λόγο αυτό θα πρέπει η αντίδραση να πραγματοποιείται διά μιας σειράς απλών σταδίων.

Η αντίδραση (8) έχει μελετηθεί λεπτομερώς στο εργαστήριο. Οι χημικοί πιστεύουν ότι λαμβάνει χώρα η ακόλουθη σειρά αντιδράσεων:

βραδεία

$$HBr + O_2 \rightarrow HOOBr \qquad (9)$$

ταχεία

$$HOOBr + HBr \rightarrow 2HOBr \qquad (10)$$

ταχεία

$$HOBr + HBr \rightarrow H_2O + Br_2 \qquad (11)$$

Κατ' αρχάς, προσέξτε ότι η πρόσθεση των αντιδράσεων (9), (10) και του διπλάσιου της (11) δίνει τη συνολική αντίδραση (8). Ακόμη, μπορείτε να διαπιστώσετε ότι το κάθε στάδιο αυτής της συνθέσεως απαιτεί να έλθουν σε επαφή μόνο δύο μόρια. Τέλος, η μικρή ταχύτητα της αντιδράσεως (9) εξηγεί γιατί το HBr και το O_2 έχουν το ίδιο αποτέλεσμα στην ταχύτητα αντιδράσεως.

Η αντίδραση (9) λειτουργεί ως ***"στραγγαλιστική βαλβίδα"***. Όσο πιο γρήγορα σχηματίζεται το HOOBr με αυτήν τη βραδεία αντίδραση, τόσο πιο γρήγορα καταναλώνεται από την ταχεία αντίδραση (10). Όσο γρήγορες και αν είναι οι αντιδράσεις (10) και (11), είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σχηματισμό HBr και Br_2 με ταχύτητα η οποία όμως καθορίζεται από τη βραδύτερη αντίδραση της σειράς. Κατά συνέπεια, οι παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα της αντιδράσεως (9) προσδιορίζουν και την ταχύτητα της συνολικής διαδικασίας. Η αλληλουχία των αντιδράσεων (9), (10) και (11) αποτελεί το μηχανισμό αντιδράσεως για τη συνολική αντίδραση (8). Η αντίδραση (9), επειδή είναι η βραδύτερη αντίδραση του μηχανισμού, αποτελεί το καθοριστικό στάδιο της ταχύτητας. Η βραδύτερη αντίδραση ενός μηχανισμού αντιδράσεως ονομάζεται ***στάδιο καθορισμού της ταχύτητας***.

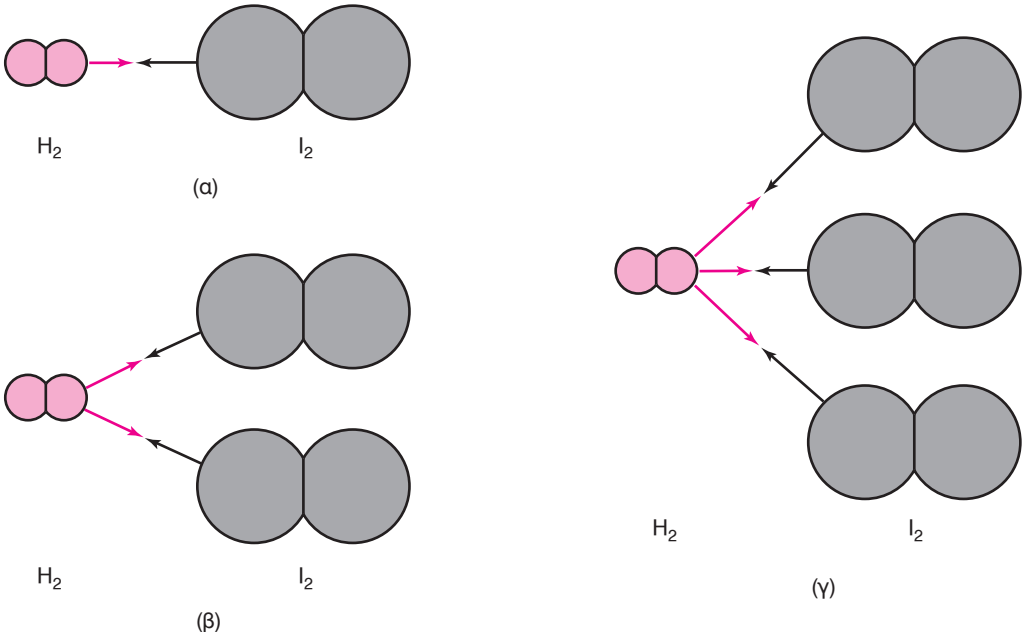
Δύο χαρακτηριστικά αυτού του παραδείγματος είναι μάλλον κοινά. Πρώτον, κανένα από τα στάδια του μηχανισμού της αντιδράσεως δεν περιλαμβάνει σύγκρουση περισσοτέρων των δύο σωματιδίων. ***Οι περισσότερες χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται διά διαδοχικών σταδίων, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει σύγκρουση μόνο δύο σωματιδίων***. Δεύτερον, η συνολική, αθροιστική αντίδραση δεν φανερώνει το μηχανισμό. Γενικά, ***ο μηχανισμός μιας αντιδράσεως δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί από τη συνολική εξίσωση αυτής της αντιδράσεως***. Τα διάφορα στάδια διά των οποίων τα άτομα μετατοπίζονται και επανασυνδέονται μπορούν να προσδιορισθούν πειραματικά.

Για να προσδιορισθεί ο μηχανισμός αντιδράσεως πειραματικά, θα πρέπει να κατανοήσετε βαθύτερα το πρότυπο των συγκρούσεων. Μέχρι εδώ το εφαρμόσατε μόνο ποιοτικά. Μπορείτε όμως να το εφαρμόσετε και ποσοτικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να μάθετε ***πόσο*** μια μεταβολή της συγκεντρώσεως θα μεταβάλει την ταχύτητα της αντιδράσεως.

Προσέξτε την ακόλουθη αντίδραση ανάμεσα σε αέριο υδρογόνο, H_2, και αέριο ιώδιο, I_2:

$$H_2(a) + I_2(a) \rightarrow 2HI(a) \qquad (12)$$

Κάθε φορά που ένα μόριο του H_2 συγκρούεται με ένα μόριο του I_2, πραγματοποιείται αντίδραση. Για κάποιο συγκεκριμένο μόριο H_2, η συχνότητα



ΣΧΗΜΑ 21-5. *Οι συγκρούσεις H_2 με I_2 που πραγματοποιούνται σε ορισμένη συγκέντρωση I_2 (α), διπλασιάζονται αν διπλασιασθεί η συγκέντρωση του I_2 (β), τριπλασιάζονται αν τριπλασιασθεί η συγκέντρωσή του (γ), και ούτω καθεξής.*

αυτών των συγκρούσεων καθορίζεται από το πόσα μόρια I_2 υπάρχουν. Ο διπλασιασμός του αριθμού των μορίων I_2 ανά μονάδα όγκου συνεπάγεται το διπλασιασμό των συγκρούσεων. Τριπλασιασμός του αριθμού των μορίων I_2 ανά μονάδα όγκου σημαίνει τριπλασιασμός των συγκρούσεων (σχ. 21-5). Επειδή η μερική πίεση του ιωδίου καθορίζει τη συγκέντρωση του ιωδίου, η ταχύτητα της αντιδράσεως είναι ανάλογη με τη μερική πίεση του ιωδίου.

$$\text{η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη } \left[\begin{matrix}\text{μερική πίεση}\\ \text{του ιωδίου}\end{matrix}\right] \qquad (13)$$

Κατ' ανάλογο τρόπο, ένα συγκεκριμένο μόριο ιωδίου θα πρέπει να συναντηθεί με ένα μόριο H_2, με το οποίο να αντιδράσει. Η ταχύτητα της αντιδράσεως είναι επίσης ανάλογη με τη μερική πίεση του υδρογόνου.

$$\text{η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη } \left[\begin{matrix}\text{μερική πίεση}\\ \text{του υδρογόνου}\end{matrix}\right] \qquad (14)$$

Με τη βοήθεια των εξισώσεων (13) και (14), η ταχύτητα θα πρέπει να είναι ανάλογη με το ***γινόμενο*** των μερικών πιέσεων του ιωδίου και του υδρογόνου (σχ. 21-6)

$$\text{η ταχύτητα είναι ανάλογη με τη } \left[\begin{matrix}\text{μερική πίεση}\\ \text{του υδρογόνου}\end{matrix}\right] \text{ x τη } \left[\begin{matrix}\text{μερική πίεση}\\ \text{του ιωδίου}\end{matrix}\right] \qquad (15)$$

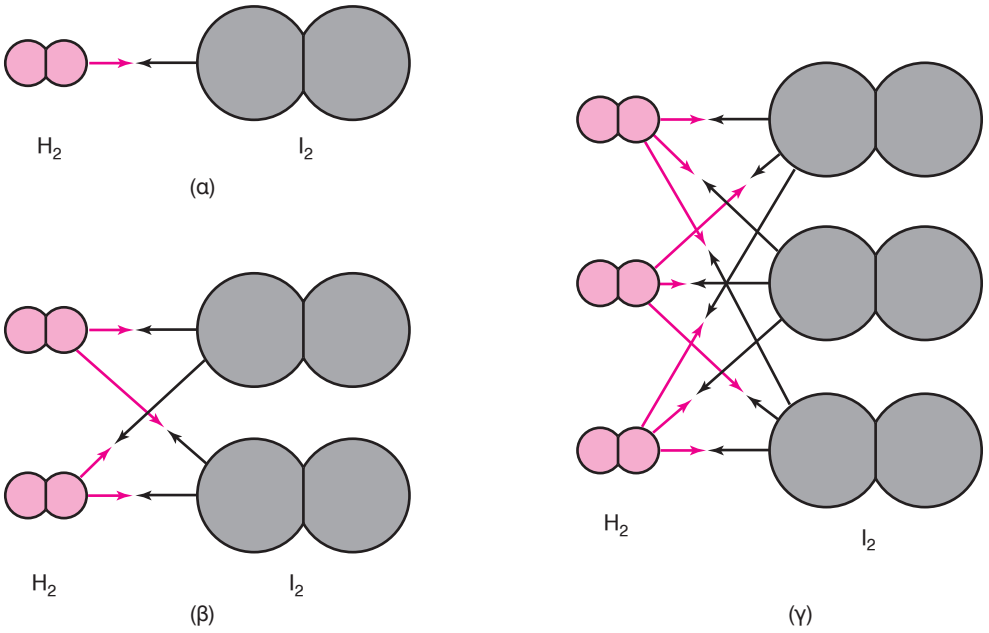
Με σύμβολα, είναι δυνατόν να γραφεί ως εξής:

$$\text{ταχύτητα} = k\,[P_{H_2}]\ x\ [P_{I_2}] \qquad (16)$$

Ο συντελεστής ***k*** ονομάζεται ***σταθερά της ταχύτητας***. Πρόκειται για μια σταθερά αναλογίας, ακριβώς όπως είναι και το ***G*** στο Νόμο της Βαρύτητας (βλ. παράγρ. 2.2). Η σταθερά της ταχύτητας έχει ορισμένη τιμή γι' αυτήν την αντίδραση σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, αλλά η τιμή της αυξάνεται, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.

21.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα της αντιδράσεως.

Με το πείραμα της παραγράφου 21.3 διαπιστώσατε ότι η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως. Αν αυξήσομε τη θερμοκρασία, επιταχύνεται η αντίδραση ανάμεσα στο IO_3^- (υδ) και στο HSO_3^- (υδ). Η επίδραση αυτή είναι από ποιοτικής απόψεως ίδια με αυτήν που πραγματοποιείται κατά την καύση ενός κεριού στον αέρα. Με το σπίρτο, αφού αυτό αυξήσει τη θερμοκρασία του φυτιλιού, ανάβει το κερί. Μόλις ξεκινήσει η αντίδραση καύσεως, εκλύεται αρκετή θερμότητα, ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία υψηλή, ενώ παράλληλα αυτή συνεχίζεται με σημαντική ταχύτητα. Είναι σαφές δηλαδή ότι, αν αυξηθεί η θερμοκρασία, επιταχύνεται η



ΣΧΗΜΑ 21-6. *Αν οι συγκεντρώσεις του H_2 και του I_2 διπλασιαθούν από κάποιες αρχικές τιμές (α), ο αριθμός συγκρούσεων θα αυξηθεί κατά ένα συντελεστή ίσο με τέσσερα (β). Αν και οι δύο αρχικές συγκεντρώσεις τριπλασιασθούν, ο αριθμός των συγκρούσεων θα αυξηθεί κατά ένα συντελεστή ίσο με 9 (γ).*

αντίδραση. Με τον ίδιο τρόπο ερμηνεύεται και η έκρηξη που δημιουργείται, όταν ένα αναμμένο τσιγάρο βρεθεί μέσα σε δωμάτιο γεμάτο από μίγμα φωταερίου και ατμοσφαιρικού αέρα. Η θερμοκρασία του αερίου γύρω από το πυρακτωμένο άκρο του τσιγάρου αυξάνεται, επιταχύνοντας την αντίδραση, κατά την οποία εκλύεται θερμότητα. Η θερμότητα που εκλύεται θερμαίνει τη γύρω περιοχή ακόμη περισσότερο και η αντίδραση κατ' αυτόν τον τρόπο συνεχίζεται ακόμη ταχύτερα. Η επιτάχυνση αυτή συνεχίζεται και, τελικά, μέσα σε ένα περίπου χιλιοστό του δευτερολέπτου αποκτά εκρηκτική ταχύτητα. Η εκρηκτική αυτή αντίδραση είναι η ταχύτερη επιτρεπόμενη με βάση τις ιδιότητες συγκρούσεων των αερίων. Είναι φανερό ότι η αντίδραση ξεκίνησε και επιταχύνθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνονται κατά κανόνα όλες οι αντιδράσεις. Είναι λογικό να αναρρωτηθεί κάποιος: "Γιατί με την άνοδο της θερμοκρασίας επιταχύνεται η αντίδραση;" Προκειμένου να δοθεί απάντηση σε αυτήν την ερώτηση, θα πρέπει για άλλη μια φορά να επιστρέψομε στη θεωρία των συγκρούσεων.

Αναφερόμαστε πάλι στο μίγμα του οικιακού αερίου, το οποίο, σε κανονικές συνθήκες αποτελείται κυρίως από CH_4 και αέρα. Οι χημικοί υπολόγισαν ότι στο μίγμα αυτό κάποιο συγκεκριμένο μόριο CH_4 συγκρούεται με ένα μόριο O_2 περίπου μία φορά κάθε ένα χιλιοστό του μικροδευτερολέπτου (10^{-9} του δευτερολέπτου). Αυτό σημαίνει ότι κάθε δευτερόλεπτο αυτό το μόριο του CH_4 συναντά 10^9 μόρια O_2. Όμως, η αντίδραση δεν προχωρεί με σημαντική ταχύτητα. Είναι πιθανόν να συμπεράνετε ή ότι οι περισσότερες συγκρούσεις είναι αναποτελεσματικές ή ότι η θεωρία των συγκρούσεων δεν δίνει ορθή ερμηνεία. Όπως θα δείτε, ισχύει το πρώτο από αυτά. Η θεωρία των συγκρούσεων εξηγεί γιατί οι περισσότερες συγκρούσεις είναι αναποτελεσματικές.

Οι χημικοί έχουν συμπεράνει ότι οι χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται όχι μόνο όταν υπάρχουν συγκρούσεις, αλλά και ***όταν κατά τις συγκρούσεις εκλύονται μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας από ορισμένη τιμή.*** Κάτι τέτοιο γίνεται ευκολότερα κατανοητό, αν επιστρέψομε στο παράδειγμα των αυτοκινήτων που συγκρούονται ελαφρά μεταξύ τους σε έναν αυτοκινητόδρομο. Σε μια διαδρομή με πολύ μεγάλη κίνηση τυχαίνει συχνά να συγκρουσθεί κάποιος είτε με το προπορευόμενο αυτοκίνητο ή με αυτό που ακολουθεί. Συνήθως δεν παθαίνει ζημιά το αυτοκίνητο, μόνο οι οδηγοί μπορούν να χάσουν για λίγο την ψυχραιμία τους. Κάποια φορά όμως, γίνονται συγκρούσεις αυτοκινήτων με μεγάλη ταχύτητα. Αν τ' αυτοκίνητα που συγκρούονται έχουν αρκετή ενέργεια, είναι πιθανόν να

αποκολληθεί ο προφυλακτήρας ή να παραμορφωθεί κάποιο τμήμα του αμαξώματος. Κατ' ανάλογο τρόπο και οι συγκρούσεις υψηλής ενέργειας μεταξύ μορίων προκαλούν "μοριακή βλάβη" (μοριακή μεταβολή). Οι υψηλής ενέργειας μοριακές συγκρούσεις που προκαλούν μοριακή βλάβη ονομάζονται ***χημικές αντιδράσεις***. Όπως ακριβώς απαιτείται μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας, για να αποκολληθεί ο προφυλακτήρας, έτσι χρειάζεται και μια ελάχιστη ποσότητα ενέργειας, για να προκληθεί μια χημική αντίδραση. Θα μπορούσατε να θεωρήσετε αυτήν την ελάχιστη ποσότητα ενέργειας ως "κατώφλι ενέργειας". Αν η ενέργεια είναι μεγαλύτερη από αυτό το κατώφλι, τότε η αντίδραση πραγματοποιείται, ενώ αν είναι μικρότερη, όχι. Αυτό το θέμα θα αναπτυχθεί εκτενέστερα στις επόμενες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου.

Περίληψη.

Ως ταχύτητα αντιδράσεως ορίζεται η ποσότητα ενός ή μερικών αντιδρώντων που αντιδρούν ή κάποιων προϊόντων που παράγονται στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ένας από τους οποίους είναι η φύση των αντιδρώντων. Διαφορετικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με διαφορετική ταχύτητα η καθεμιά, έστω και κάτω από παρόμοιες συνθήκες. Συνήθως οι αντιδράσεις κατά τις οποίες δεν πραγματοποιούνται μεταθέσεις δεσμών είναι ταχύτερες, σε κανονική θερμοκρασία, από εκείνες κατά τις οποίες πραγματοποιούνται. Οι ταχύτητες των αντιδράσεων συνήθως αυξάνουν, όταν αυξάνουν οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και η θερμοκρασία. Αυτό δικαιολογείται με βάση τη θεωρία των συγκρούσεων. Γενικά, οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται κατά διαδοχικά στάδια. Σε κάθε στάδιο θα πρέπει να συγκρουσθούν δύο μόνο είδη μορίων. Η σειρά αυτή των σταδίων που αποτελούν τη συνολική αντίδραση αποκαλείται μηχανισμός της αντιδράσεως. Το βραδύτερο στάδιο της σειράς προσδιορίζει τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα ολόκληρης της αντιδράσεως. Το στάδιο αυτό ονομάζεται στάδιο καθορισμού της ταχύτητας.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

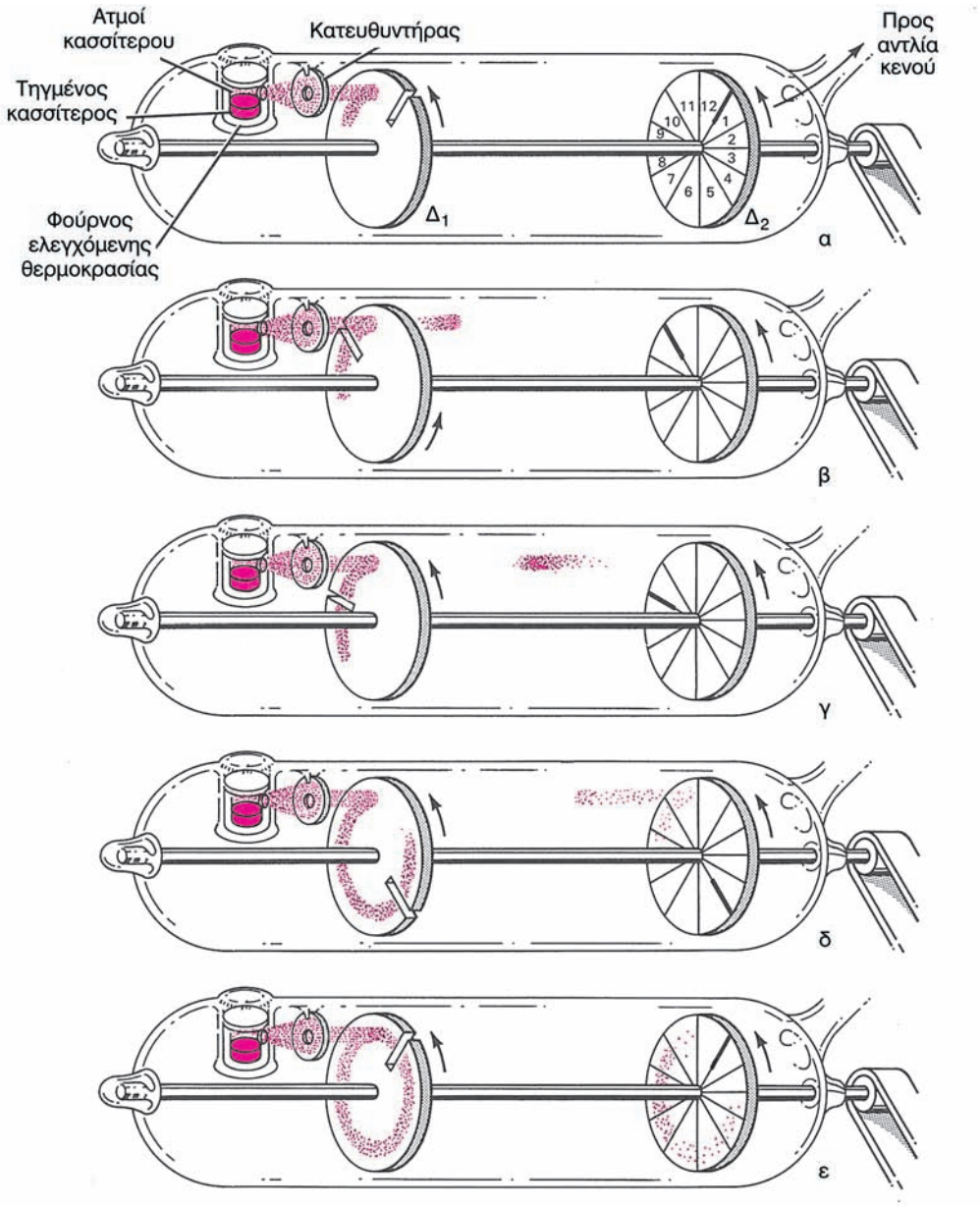
1. Μήπως κάποια από τις τρεις αντιδράσεις που ακολουθούν νομίζετε ότι είναι εξαιρετικά ταχεία σε θερμοκρασία δωματίου; Μήπως κάποια από αυτές είναι εξαιρετικά βραδεία σε θερμοκρασία δωματίου; Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας.
   (α) $Cr^{2+}(υδ) + Fe^{3+}(υδ) \rightarrow Cr^{3+}(υδ) + Fe^{2+}(υδ)$
   (β) $3Fe^{2+}(υδ) + NO_3^-(υδ) + 4H^+(υδ) \rightarrow 3Fe^{3+}(υδ) + NO(α) + 2H_2O$
   (γ) $C_8H_{18}(υγ) + 12\ 1/2\ O_2(α) \rightarrow 8CO_2(α) + 9H_2O(α)$
2. Φαντασθείτε πέντε ανθρώπους να συνεργάζονται για το πλύσιμο μιας στοίβας πολύ λερωμένων πιάτων. Οι πρώτοι δύο καθαρίζουν το τραπέζι και παραδίνουν τα πιάτα στον τρίτο, ο οποίος τα πλένει και τα δίνει στους επόμενους. Οι δύο τελευταίοι τα στεγνώνουν και τα στοιβάζουν. Ποιο νομίζετε ότι θα είναι το στάδιο καθορισμού της ταχύτητας; Με βάση την απάντησή σας να εξετάσετε πώς θα επηρεασθεί η ταχύτητα της συνολικής διαδικασίας, αν στην ομάδα προστεθεί και ένα έκτο άτομο (α) για να καθαρίζει το τραπέζι, (β) για να πλένει και αυτό τα πιάτα, (γ) για να σκουπίζει τα πιάτα.

Η ενέργεια επηρεάζει σημαντικά τις ταχύτητες των αντιδράσεων

21.7 Κατανομή των κινητικών ενεργειών.

Από τη συζήτηση σχετικά με το "κατώφλι ενέργειας" προκύπτει η εξής ερώτηση: "Ποια ενέργεια έχουν τα μόρια σε ορισμένη θερμοκρασία"; Η απάντηση δίνεται με ένα πείραμα.

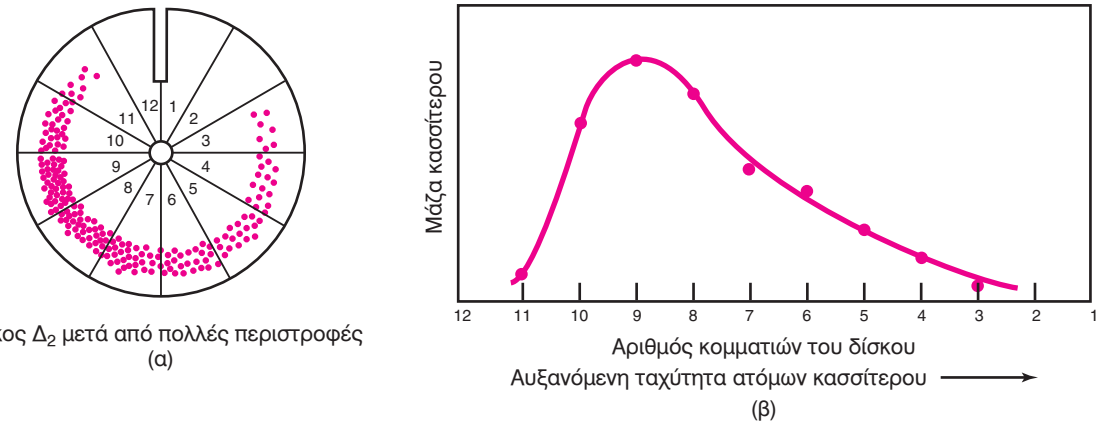
Το σχήμα 21-7 δείχνει μια διάταξη για τη μέτρηση της κατανομής των ατομικών ή μοριακών ταχυτήτων. Αποτελείται από δύο δίσκους, $Δ_1$ και $Δ_2$, μέσα σε έναν κενό θάλαμο. Οι δίσκοι περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα γύρω από έναν κοινό άξονα. Μέσα στο θάλαμο υπάρχει επίσης ένας μικρός φούρνος, που περιέχει



ΣΧΗΜΑ 21-7. *Διάταξη, η οποία περιλαμβάνει δύο περιστρεφόμενους δίσκους. Με αυτήν μετρείται η κατανομή των ταχυτήτων των εξαερωθέντων ατόμων κασσίτερου.*

τηγμένο κασσίτερο και ο οποίος διατηρείται σε ορισμένη ελεγχόμενη θερμοκρασία. Οι ατμοί του κασσίτερου* κυκλοφορούν έξω από το μικρό άνοιγμα του φούρνου και συγκρούονται με τον περιστρεφόμενο δίσκο Δ_1. Όταν αυτός ο δίσκος περιστραφεί και λάβει τη θέση που δείχνει το σχήμα 21-7β, μια μικρή ποσότητα του αερίου διέρχεται μέσα από το άνοιγμα του δίσκου Δ_1. Λίγο αργότερα (σχ. 21-7γ) τα άτομα του κασσίτερου έχουν διανύσει ένα μέρος της διαδρομής προς το δεύτερο δίσκο. Τα άτομα που κινούνται ταχύτερα έχουν προχωρήσει περισσότερο από τα άλλα άτομα και προηγούνται. Τα άτομα που κινούνται βραδύτερα έχουν αρχίσει να καθυστερούν. Στη συνέχεια (σχ. 21-7δ), τα άτομα έχουν διασκορπισθεί περισσότερο στο χώρο. Τα ταχύτερα άτομα έχουν κιόλας φθάσει στο δεύτερο περιστρεφόμενο δίσκο. Καθώς τα άτομα φθάνουν το δίσκο Δ_2, συγκεντρώνονται σε θέσεις που καθορίζονται από

* *Σ.τ.Μ. Και τα μέταλλα, αφού τακούν υπό υψηλό κενό, μετασχηματίζονται σε αέρια.*



Δίσκος Δ_2 μετά από πολλές περιστροφές
(α)

(β)

ΣΧΗΜΑ 21-8. *Στο σχήμα (α) φαίνεται η κατανομή των ατόμων του κασσίτερου μετά από πολλές περιστροφές του δίσκου Δ_2 (βλ. τη διάταξη του σχήματος 21-7). Το διάγραμμα που δείχνει την κατανομή του κασσίτερου με βάση τη μάζα (β), μας δίνει την κατανομή των ατομικών ταχυτήτων.*

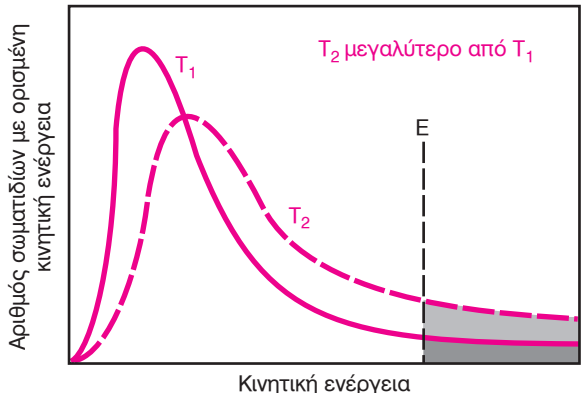
το χρόνο που χρειάζεται το κάθε άτομο, για να μεταβεί από τον Δ_1 στον Δ_2, και από την ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο Δ_2. Καθώς ο δίσκος με το άνοιγμα Δ_1 επιτρέπει τη διέλευση κατά ριπάς, ατόμων κασσίτερου δημιουργείται μια στοιβάδα κασσίτερου πάνω στην επιφάνεια του δίσκου Δ_2. Το σχήμα αυτής της στοιβάδας προσδιορίζεται από την κατανομή των ταχυτήτων των ατόμων που εκκινούν από το φούρνο, ο οποίος βρίσκεται σε θερμοκρασία T.

Το σχήμα 21-8α δείχνει το δίσκο Δ_2 χωρισμένο σε περιοχές, σαν να είναι κομμάτια πίτας. Τα άτομα που κινούνται ταχύτερα συγκεντρώνονται στα κομμάτια 10 και 11. Αν βρεθεί η μάζα του κάθε κομματιού, είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η ποσότητα του κασσίτερου. Το σχήμα 21-8β δείχνει τη μάζα του κασσίτερου σε συνάρτηση με τον αριθμό του κομματιού. Σε αυτήν τη γραφική παράσταση απεικονίζεται η κατανομή των ατομικών ταχυτήτων.

Είναι σαφές ότι αυτή η καμπύλη δίνει πληροφορίες για την κατανομή των κινητικών ενεργειών. Από την ταχύτητα περιστροφής και την απόσταση ανάμεσα στους δίσκους υπολογίζεται η ταχύτητα την οποία οπωσδήποτε πρέπει να έχει ένα άτομο, ώστε να επικαθήσει σε ορισμένο κομμάτι. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η κινητική ενέργεια ενός ατόμου από την ατομική του μάζα και την ταχύτητά του.

Θα πρέπει να εξετασθεί ένα ακόμη πολύ ενδιαφέρον σημείο. Σύμφωνα με το σχήμα 21-7, ο φούρνος από τον οποίο εκκινούν οι ατμοί του κασσίτερου διατηρείται υπό "ελεγχόμενη θερμοκρασία". Είναι προφανές ότι αυτή η θερμοκρασία θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, ώστε να παράγεται ένα ρεύμα ατόμων κασσίτερου, το οποίο να μπορεί να μετρηθεί κατά το πείραμα. Όμως, έτσι, παραμένει μια σημαντική περιοχή θερμοκρασιών, στις οποίες θα μπορούσε να διεξαχθεί επίσης το πείραμα. Ας υποτεθεί ότι το πείραμα διεξάγεται σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, σε μια χαμηλή T_1 και σε μια υψηλότερη T_2. Ως προς τι νομίζετε ότι θα διαφέρει η κατανομή των ατόμων του κασσίτερου πάνω στο δίσκο Δ_2;

Στο σχήμα 21-9 φαίνεται αυτή η διαφορά. Στη θερμοκρασία T_1 λίγα άτομα διαθέτουν πολύ χαμηλή κινητική ενέργεια, ενώ λίγα έχουν πολύ υψηλή κινητική ενέργεια. Τα περισσότερα από αυτά διαθέτουν ενδιάμεση κινητική ενέργεια, όπως δείχνει και η συνεχής καμπύλη. Στην



ΣΧΗΜΑ 21-9. *Η αύξηση στην θερμοκρασία από την τιμή T_1 στην T_2 προκαλεί μετατόπιση στις κατανομές των κινητικών ενεργειών από μια χαμηλότερη κινητική ενέργεια (συνεχής γραμμή) προς μια υψηλότερη ενέργεια (διακεκομμένη γραμμή).*

υψηλότερη θερμοκρασία T_2, η ενεργειακή κατανομή απεικονίζεται με τη διακεκομμένη καμπύλη. Όπως είναι εμφανές, η αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργεί μια γενική μετατόπιση της κατανομής προς το μέρος των υψηλοτέρων κινητικών ενεργειών. Για κάθε χαρακτηριστική τιμή της κινητικής ενέργειας, υπάρχουν και άλλα μόρια, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία T_2, υψηλότερη από την T_1, με ενέργειες ίσες ή μεγαλύτερες από αυτή την τιμή.

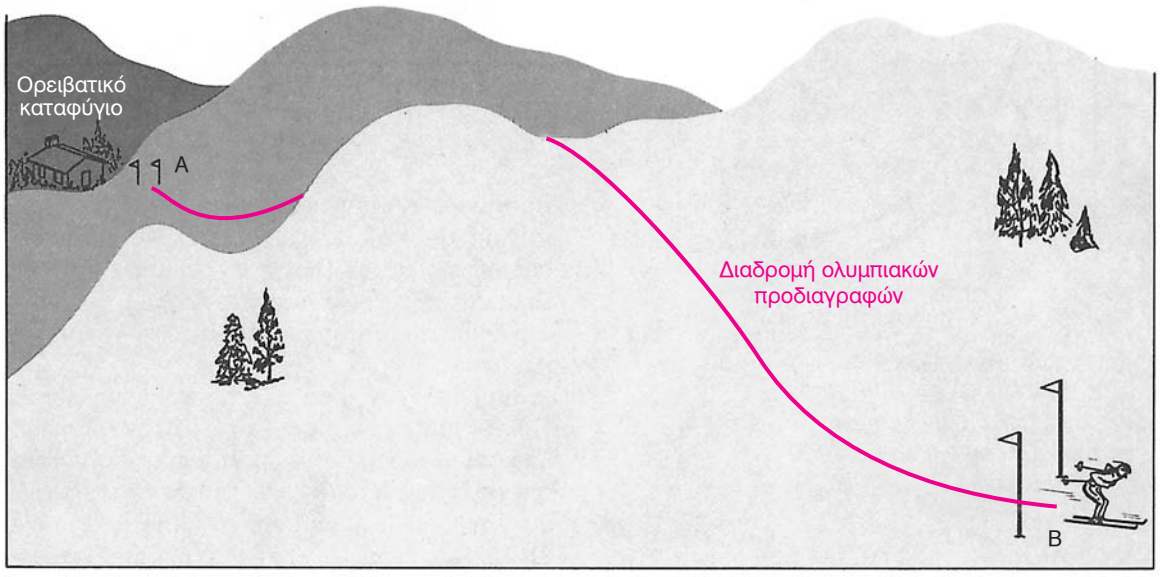
Οι καμπύλες αυτές είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη και στο πρόβλημα της ταχύτητας της αντιδράσεως. Ας υποτεθεί ότι μια αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο, αν δύο μόρια με κινητική ενέργεια μεγαλύτερη από κάποιο κατώφλι ενέργειας E συγκρουσθούν, όπως δείχνει και το σχήμα 21-9. Στη θερμοκρασία T_1, η σκιασμένη περιοχή είναι ανάλογη με τον αριθμό των μορίων που έχουν αυτήν την επί πλέον ενέργεια. Επειδή είναι λίγα τα μόρια τα οποία διαθέτουν ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από την E, είναι λίγες και οι αποτελεσματικές συγκρούσεις, επομενώς η αντίδραση είναι βραδεία. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία στην τιμή T_2, ο αριθμός των μορίων που διαθέτουν ενέργεια ίση με E ή μεγαλύτερη αυξάνεται επίσης. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύνολο των ελαφρά ή και βαθύτερα σκιασμένων περιοχών είναι ανάλογο με τον αριθμό των μορίων με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από την E. Αρκεί μια μικρή μεταβολή στη θερμοκρασία, για να μεταβληθεί κατά πολύ η περιοχή στα δεξιά της ενέργειας E. Κατά συνέπεια, και η ταχύτητα της αντιδράσεως επηρεάζεται σημαντικά από την αλλαγή της θερμοκρασίας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας θα ήταν δυνατόν να αυξήσει την ταχύτητα της αντιδράσεως, αυξάνοντας και τη συχνότητα των συγκρούσεων. Πράγματι, κάτι τέτοιο συμβαίνει, αλλά είναι πάρα πολύ μικρή η συμβολή του σε σχέση με την επίδραση που έχει η αύξηση της θερμοκρασίας στον αριθμό των μορίων που διαθέτουν ενέργεια αρκετή για να προκαλέσουν αντίδραση.

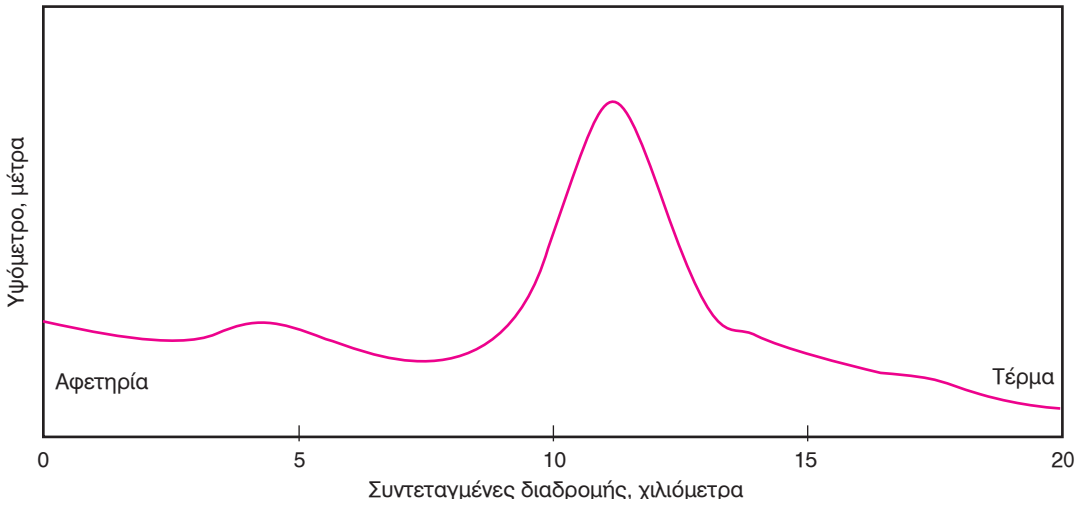
21.8 Ενέργεια ενεργοποιήσεως.

Στην προηγούμενη παράγραφο, μάθατε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο αριθμός των μορίων, τα οποία έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το κατώφλι ενέργειας E. Θα εξετασθεί τώρα η έννοια αυτού που ονομάζομε κατώφλι ενέργειας.

Ας υποτεθεί ότι είσθε ένας χιονοδρόμος ανωμάλου δρόμου. Η χιονοδρομία σε ανώμαλο δρόμο είναι ένα άθλημα, που απαιτεί τόσο ταχύτητα όσο και αντοχή. Σύμφωνα με αυτό το αγώνισμα, διασχίζετε φυσικές εκτάσεις, ανεβαίνοντας μερικούς λόφους και κατεβαίνοντας από άλλους. Το σχήμα 21-10 δείχνει μια πιθανή διαδρομή ανωμάλου δρόμου ενός χιονοδρόμου.



ΣΧΗΜΑ 21-10. *Διαδρομή ολυμπιακών προδιαγραφών. Για τη μετάβαση από την αφετηρία Α στο τέρμα Β απαιτείται αρκετή ενέργεια, ώστε ο χιονοδρόμος να ανέβει ένα μεγάλο ύψωμα που υπάρχει στη διαδρομή.*

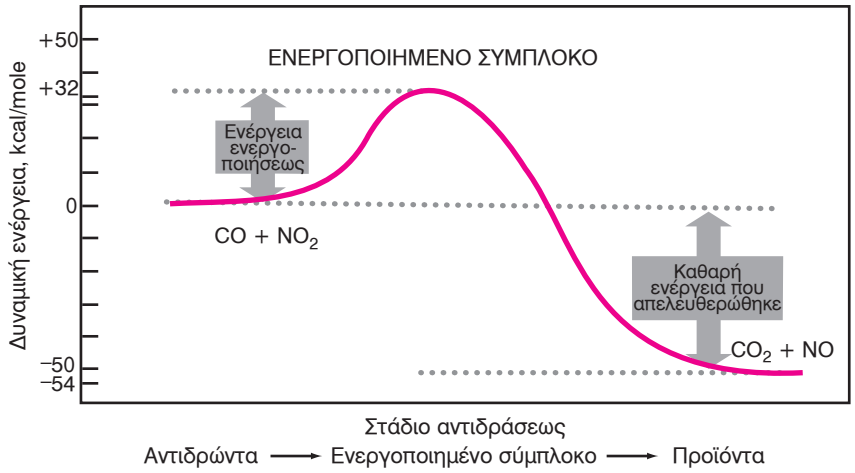


ΣΧΗΜΑ 21-11. *Διάγραμμα της διαδρομής ολυμπιακών προδιαγραφών του σχήματος 21-10, από την αφετηρία στο τέρμα.*

Φανταστείτε τώρα ότι στον αγωνιστικό χώρο του σχήματος 21-10 διεξάγεται ένας αγώνας ανωμάλου δρόμου. Αντικειμενικός σκοπός είναι να φθάσουν οι αθλητές από την αφετηρία Α στη γραμμή τερματισμού Β, στο συντομότερο χρόνο. Κατά τη διαδρομή πρέπει να διασχίσουν αρκετά υψώματα, από τα οποία το ένα είναι αισθητά υψηλότερο των άλλων. Είναι σαφές ότι το κρίσιμο σημείο του αγώνα είναι η άνοδος σε αυτό το ύψωμα. Προφανώς, αν δεν διαθέτουν αρκετή ενέργεια, για να ανέβουν σε αυτό, δεν πρόκειται να τερματίσουν. Από τους 100 χιονοδρόμους που ξεκίνησαν τον αγώνα, ίσως μόνο 60 έχουν αρκετή ενέργεια, για να ανέβουν στο μεγάλο ύψωμα. Μόλις το πετύχουν, θα διαθέτουν αρκετή ενέργεια, ώστε να διασχίσουν και τα άλλα με τη μικρότερη ανηφορική κλίση και να φθάσουν στο τέρμα. Στο σχήμα 21-11 εικονίζεται ένα διάγραμμα της διαδρομής όπου είναι εμφανής η σημασία του μεγαλύτερου υψώματος. Στην πραγματικότητα, αυτό που καθορίζει αν θα φθάσουν στο τέρμα οι χιονοδρόμοι είναι το αν διαθέτουν αρκετή ενέργεια, για να "νικήσουν" το μεγαλύτερο ύψωμα.

Πιθανόν να εκπλαγείτε αν μάθετε ότι αυτό το παράδειγμα είναι ανάλογο με την απάντηση στην εξής ερώτηση: "Με πόση ταχύτητα είναι δυνατόν να προχωρήσει μια αντίδραση"; Όταν τα μόρια συγκρούονται και πραγματοποιείται μια αντίδραση, τα άτομα θα πρέπει με μετατοπίσεις των δεσμών τους να σχηματίζουν στιγμιαία διατάξεις λιγότερο σταθερές από αυτές των αντιδρώντων ή των προϊόντων της αντιδράσεως. Όπως και στην περίπτωση του μεγάλου υψώματος, αυτές οι μοριακές διατάξεις με τη μεγάλη ενέργεια θέτουν ένα ενεργειακό φράγμα ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα. Μόνο αν τα μόρια που θα συγκρουσθούν έχουν αρκετή ενέργεια, για να υπερπηδήσουν το φράγμα το οποίο θέτουν οι ασταθείς διατάξεις, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Το φράγμα αυτό καθορίζει το "κατώφλι ενέργειας" ή τη χαμηλότερη ενέργεια, η οποία είναι απαραίτητη για να γίνει μια αντίδραση.

Στο σχήμα 21-12 δίνεται η γραφική παράσταση αυτού του φράγματος. Εύκολα διαπιστώνετε ότι το διάγραμμα αυτό είναι όμοιο με εκείνο του σχήματος 21-11. Το σχήμα 21-12 αντιστοιχεί στην αντίδραση ανάμεσα στο μονοξείδιο του άνθρακα, CO, και στο διοξείδιο του αζώτου, NO_2, κατά την οποία σχηματίζεται διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και μονοξείδιο του αζώτου, NO. Ο οριζόντιος άξονας του διαγράμματος, ο οποίος φέρει το όνομα ***συντεταγμένη αντιδράσεως***, δείχνει την πρόοδο της αντιδράσεως. Προχωρώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά, κατά μήκος αυτής της συντεταγμένης αντιδράσεως, διαπιστώνομε, πρώτον, ότι θα πρέπει τα μόρια του CO και του NO_2 να πλησιάσουν μεταξύ τους. Στη συνέχεια, θα συγκρουσθούν και διά ενδιαμέσων καταστάσεων θα καταλήξουν στην αντίδραση, κατά την οποία σχηματίζεται CO_2 και NO. Στον κατακόρυφο άξονα παριστάνεται η συνολική δυναμική ενέργεια του συστήματος. Με αυτήν την έννοια, η καμπύλη παρέχει το ιστορικό των μεταβολών της δυναμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας



ΣΧΗΜΑ 21-12. *Κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως τα σωματίδια των αντιδρώντων θα πρέπει να έχουν αρκετή κινητική ενέργεια, ώστε να φθάσουν στην υψηλή δυναμική ενέργεια (ενεργοποιημένο σύμπλοκο) που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της. Η δημιουργία του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι ανάλογη με την άνοδο ενός χιονοδρόμου στην κορυφή του μεγαλύτερου υψώματος.*

συγκρούσεως που οδηγεί σε μια αντίδραση. Η ενέργεια που χρειάζεται συνήθως, για να υπερνικηθεί το φράγμα και να γίνει η αντίδραση, εξασφαλίζεται από την κινητική ενέργεια των συγκρουομένων σωματιδίων. Όπως γνωρίζετε, η θερμοκρασία είναι αυτή που καθορίζει την κινητική ενέργεια.

Ας εξετάσομε το σχήμα 21-12 με μεγαλύτερη προσοχή. Κατά μήκος αυτής της καμπύλης και πηγαίνοντας από τα αριστερά προς τα δεξιά συμβαίνουν τα εξής: Στην επίπεδη περιοχή στο αριστερό τμήμα, τα μόρια CO και NO_2 πλησιάζουν μεταξύ τους. Στην περιοχή αυτή έχουν κινητική ενέργεια, ενώ η συνολική δυναμική τους ενέργεια δεν εμφανίζει μεταβολή. Η άνοδος της καμπύλης σημαίνει ότι τα δύο μόρια έχουν έλθει τόσο κοντά, ώστε άρχισαν να αλληλεπιδρούν. Κατά την προσέγγιση αυτή, τα μόρια επιβραδύνονται, καθώς οι κινητικές τους ενέργειες παρέχουν τη δυναμική ενέργεια που χρειάζονται για να ανέβουν την καμπύλη. Αν διαθέτουν αρκετή κινητική ενέργεια, τότε μπορούν να ανέβουν στην αριστερή πλευρά του φράγματος και να φθάσουν στην κορυφή. Η κατάκτηση αυτού του σημείου είναι η ένδειξη ότι το CO και το NO_2 έχουν αρκετή κινητική ενέργεια, ώστε να υπερνικήσουν τις αμοιβαίες απωστικές δυνάμεις των πυρήνων και των αρνητικών ηλεκτρονικών νεφών τους. Γι' αυτό μπορούν να πλησιάσουν πολύ κοντά μεταξύ τους. Εδώ στην κορυφή, η μοριακή διάταξη είναι πολύ ασταθής σε σχέση τόσο με την αντίδραση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί, όσο και με την αντίστροφη. Η αντίδραση που πρόκειται να πραγματοποιηθεί παράγει CO_2 και NO, ενώ η αντίστροφη διατηρεί τα μόρια του CO και του NO_2. Η ασταθής μεταβατική διάταξη ονομάζεται ***ενεργοποιημένο σύμπλοκο***.

Μόλις σχηματισθεί το ενεργοποιημένο σύμπλοκο υπάρχουν οι παρακάτω δυνατότητες: (1) Να χωρισθεί το ενεργοποιημένο σύμπλοκο στα δύο αρχικά μόρια, CO και NO_2. Κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με κάθοδο πάλι πίσω στο αριστερό μέρος της καμπύλης. (2) Το ενεργοποιημένο σύμπλοκο είναι δυνατόν να διαχωρισθεί σε μόρια CO_2 και NO_2. Η τελευταία δυνατότητα ισοδυναμεί με κίνηση προς το κάτω δεξιό τμήμα του φράγματος. Στην επίπεδη περιοχή δεξιά, τα CO_2 και NO έχουν απομακρυνθεί από τη θέση στην οποία θα ήταν δυνατόν να αλληλεπιδράσουν. Η δυναμική ενέργεια του ενεργοποιημένου συμπλόκου έχει μετατραπεί πάλι σε κινητική ενέργεια.

Στην περίπτωση κατά την οποία τα μόρια του CO και του NO_2 δεν έχουν αρκετή ενέργεια, ώστε να φθάσουν στην κορυφή, φθάνουν σε ένα ενδιάμεσο σημείο της διαδρομής, στην αριστερή πλευρά του φράγματος. Απωθούμενα μεταξύ τους, διαχωρίζονται πάλι και κατεβαίνουν στην αριστερή πλευρά.

Η διαφορά ανάμεσα στην υψηλή δυναμική ενέργεια του ενεργοποιημένου συμπλόκου και τη χαμηλή δυναμική ενέργεια των αντιδρώντων

ονομάζεται "ενέργεια ενεργοποιήσεως". Η ***ενέργεια ενεργοποιήσεως*** είναι η αναγκαία ενέργεια, για να μετασχηματισθούν τα αντιδρώντα στο ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Ο μετασχηματισμός μπορεί να περιλαμβάνει εξασθένηση ή διάσπαση χημικών δεσμών ή εξαναγκασμό των σωματιδίων που αντιδρούν να πλησιάσουν μεταξύ τους, υπερνικώντας τις απωστικές δυνάμεις. Είναι πιθανόν να περιλαμβάνει επίσης διατήρηση της ενέργειας μέσα σε ένα ταλαντευόμενο μόριο, ώστε να αντιδράσει κατά τη σύγκρουση. Με την αύξηση της θερμότητας αυξάνει η ταχύτητα της αντιδράσεως καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συγκρουομένων σωματιδίων που διαθέτουν αρκετή ενέργεια, ώστε να σχηματίσουν το ενεργοποιημένο σύμπλοκο.

Το μέγεθος της ενέργειας ενεργοποιήσεως είναι δυνατόν να υπολογισθεί με βάση κάποια πειραματικά αποτελέσματα. Απαιτείται όμως η μέτρηση των μεταβολών στην ταχύτητα της αντιδράσεως που οφείλονται στις αλλαγές της θερμοκρασίας. Επειδή όμως απαιτούνται μαθηματικά τα οποία ξεπερνούν κατά πολύ την ύλη αυτής της τάξεως, το θέμα αυτό θα παραμείνει εκκρεμές για το μέλλον.

21.9 Ενέργειες ενεργοποιήσεως και θερμότητες αντιδράσεων.

Από το σχήμα 21-12 είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η θερμότητα μιας αντιδράσεως. Το γεγονός ότι τα αντιδρώντα έχουν υψηλότερη συνολική ενέργεια από τα προϊόντα σημαίνει ότι απελευθερώνεται κάποια ενέργεια κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως. Δηλαδή η αντίδραση είναι εξώθερμη. Στο σχήμα 21-12 φαίνεται ότι κατά την αντίδραση ελευθερώνονται 54 kcal θερμότητας ανά mole μονοξειδίου του άνθρακα που καταναλώνεται. Πρόκειται βέβαια για τη θερμότητα της αντιδράσεως. Το ύψος του ενεργοποιημένου συμπλόκου δεν έχει σχέση με την ενέργεια που ελευθερώνεται τελικά. Για να φθάσετε στο ενεργοποιημένο σύμπλοκο, αρκεί να διαθέσετε μια ποσότητα ενέργειας ίση με την ενέργεια ενεργοποιήσεως. Πάντως, την ποσότητα αυτήν την παίρνετε πάλι πίσω κατά την κάθοδο από την άλλη πλευρά.

Ας μελετήσομε τώρα την αντίστροφη αντίδραση, ανάμεσα σε CO_2 και σε NO, με σκοπό την παρασκευή CO και NO_2.

$$CO_2 + NO \rightarrow CO + NO_2 \qquad (17)$$

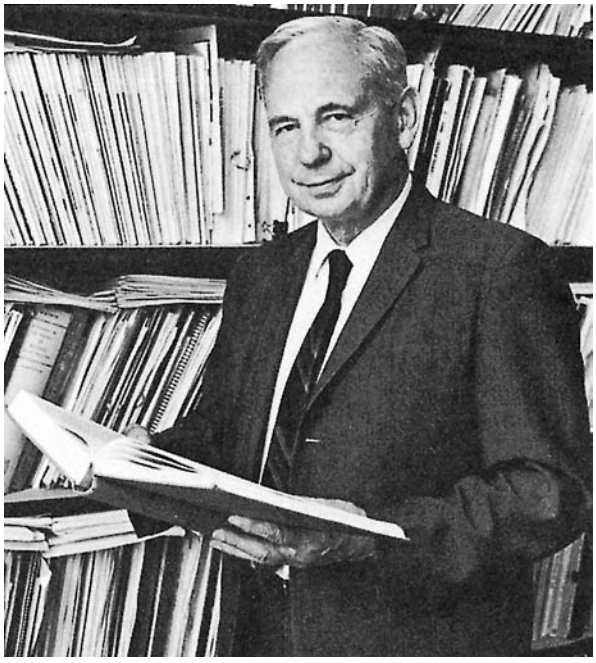
Πρέπει να προσέξετε ότι η αντίδραση αυτή ξεκινά από το σημείο με τη χαμηλότερη ενέργεια, στη ***δεξιά*** πλευρά του σχήματος 21-12, και καταλήγει στο σημείο με τη μεγαλύτερη ενέργεια, στην ***αριστερή*** πλευρά του ιδίου σχήματος. Η διαφορά ενέργειας ισοδυναμεί με τη θερμότητα αυτής της αντιδράσεως. Κατά μέγεθος είναι ίση με αυτήν της αντίστροφης αντιδράσεως, αλλά διαφέρει κατά το πρόσημο. Αυτή είναι μια ενδόθερμη αντίδραση. Απορροφά 54 kcal θερμότητας ανά mole μονοξειδίου του άνθρακα που παράγεται.

Το σχήμα 21-12 μας δίνει μια ακόμη ενδιαφέρουσα πληροφορία σχετική με την ταχύτητα της αντίστροφης αντιδράσεως (17). Η ταχύτητα της αντιδράσεως ελέγχεται από το ενεργειακό φράγμα που αντιμετωπίζουν τα μόρια του CO_2 και του NO. Από το σχήμα φαίνεται ότι η ενέργεια ενεργοποιήσεως αυτής της αντιδράσεως είναι υψηλότερη από αυτήν της προηγούμενης αντιδράσεως, κατά ποσότητα ίση με τη θερμότητα αντιδράσεως. Για το λόγο αυτό, αν πρόκειται για τις ίδιες μερικές πιέσεις και για οποιαδήποτε θερμοκρασία, η αντίδραση ανάμεσα σε CO_2 και NO θα είναι βραδύτερη από αυτήν ανάμεσα σε CO και NO_2.

Η σχέση ανάμεσα στις ενέργειες ενεργοποιήσεως μιας αντιδράσεως και της αντίστροφης αυτής είναι δυνατόν να εκφρασθεί με μαθηματικό τρόπο. Η ενέργεια ενεργοποιήσεως παριστάνεται με το σύμβολο $\Delta H^{\ddagger}$ (διαβάζεται "δέλτα–Η–σταυρός") και ένα δείκτη. Ο δείκτης R σημαίνει ότι η αντίδραση προχωρεί προς τα δεξιά, ενώ ο δείκτης L σημαίνει ότι η αντίδραση προχωρεί προς τα αριστερά. Η θερμότητα της αντιδράσεως με κατεύθυνση από τα αριστερά προς τα δεξιά συμβολίζεται με ΔH_R. Το ΔH_R γράφεται κατά τον ακόλουθο μαθηματικό τρόπο:

$$\Delta H_R = \Delta H_R^{\ddagger} - \Delta H_L^{\ddagger} \qquad (18)$$

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 20, οι αντιδράσεις που απορροφούν θερμότητα ονομάζονται ενδόθερμες. Σε αυτές το ΔH λαμβάνει θετικές τιμές. Αντιδράσεις που ελευθερώνουν θερμότητα είναι εξώθερμες. Το ΔH σε αυτήν την περίπτωση είναι αρνητικό. Η διαδικασία της ενεργοποιήσεως πάντα πρέπει να απορροφά ενέργεια, γι' αυτό όλα τα $\Delta H^{\ddagger}$ που αναφέρονται σε αυτήν είναι θετικά. Η γενική εξίσωση (18) εφαρμόζεται για τη συγκεκριμένη αντίδραση κατά τον ακόλουθο τρόπο. Υπολογίζεται το ΔH_R για την αντίδραση που



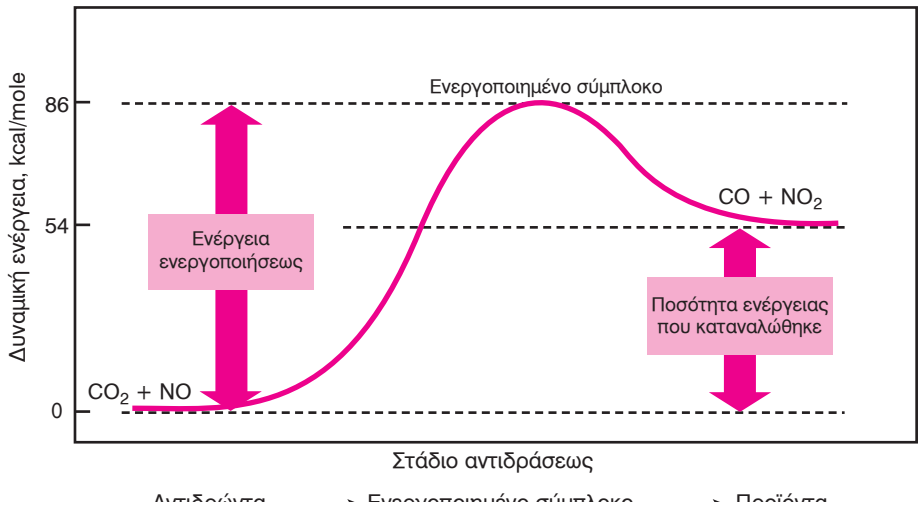
Henry Eyring (1901 – 1981)

Ο Henry Eyring ήθελε στην πραγματικότητα να σπουδάσει μεταλλειολογία. Πήρε το πτυχίο αυτής της ειδικότητας, καθώς και το master στη μεταλλουργία, από το πανεπιστήμιο της Αριζόνα των ΗΠΑ. Αργότερα, τα ενδιαφέροντά του άλλαξαν και το διδακτορικό του, το οποίο εκπόνησε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, αφορούσε στη φυσικοχημεία.

Ασχολήθηκε με ποικίλα ερευνητικά προβλήματα. Εφήρμοσε την κβαντομηχανική για την επίλυση χημικών προβλημάτων και χρησιμοποίησε τη θερμοδυναμική επιστήμη, για να εξηγήσει τις διαφορές στις ταχύτητες των αντιδράσεων. Ανέπτυξε θεωρίες για τα οπτικώς ενεργά μόρια, εργάσθηκε στο πεδίο της φασματομετρίας μάζας και μελέτησε την προσθήκη διπόλων, καθώς και το μήκος των δεσμών στα εύκαμπτα πολυμερή. Ακόμη, διερεύνησε τα μυστήρια της βιοφωταύγειας, της εκπομπής δηλαδή ορατού φωτός από ζωντανούς οργανισμούς, όπως οι πυγολαμπίδες.

Στα πλαίσια των ερευνών του σχετικά με τις ταχύτητες των αντιδράσεων, ο Eyring υποστήριξε ότι οι περισσότερες χημικές αντιδράσεις δεν θα πραγματοποιούνταν, αν δεν προσετίθετο στο σύστημα αρκετή ενέργεια, ώστε να σχηματισθεί ένα “ενεργοποιημένο σύμπλοκο” ως ενδιάμεσο στάδιο της αντιδράσεως. Με βάση τις θεωρίες του Eyring, μοιάζει απλή υπόθεση ο υπολογισμός της ενέργειας που απαιτείται για το σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου και η επιβεβαίωση ότι τα συγκρουόμενα μόρια διαθέτουν αρκετή ενέργεια για να σχηματίσουν το σύμπλοκο. Σε πολλές όμως περιπτώσεις, όπου τα συγκρουόμενα μόρια είχαν τις υπολογισθείσες ενέργειες, δεν κατόρθωσαν να αντιδράσουν σύμφωνα με την πρόβλεψη. Αυτό οδήγησε τον Eyring στην επεξεργασία των λεπτομερειών της **θεωρίας των απολύτων ταχυτήτων των αντιδράσεων**, η οποία βασίζεται σε θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες όπως, είναι οι διαστάσεις, οι συχνότητες ταλαντώσεως και οι μάζες των αντιδρώντων μορίων.

Ο Henry Eyring διετέλεσε καθηγητής και ερευνητής σε πολλά ινστιτούτα, ανάμεσα στα οποία είναι τα πανεπιστήμια του Wisconsin και του Βερολίνου, το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley, του Princeton και της Utah, όπου το 1946 αναγορεύθηκε πρύτανις. Πολυγραφότατος συγγραφέας, δημοσίευσε πάνω από 375 επιστημονικά συγγράμματα και υπήρξε συνεκδότης πέντε βιβλίων. Το 1963 τιμήθηκε με το βραβείο του Gilbert N. Lewis από την Αμερικανική Χημική Εταιρεία για την προσφορά του στην επιστήμη της Χημείας.



ΣΧΗΜΑ 21-13. *Σε μια ενδόθερμη αντίδραση η δυναμική ενέργεια των προϊόντων είναι υψηλότερη από αυτήν των αντιδρώντων, ενώ εκείνη του ενεργοποιημένου συμπλόκου είναι ακόμη υψηλότερη.*

κατευθύνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά με απ' ευθείας μέτρηση. Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, προκειμένου γι' αυτήν την εξώθερμη αντίδραση, είναι –54 kcal/mole. Αν μετρηθεί η μεταβολή της ταχύτητας της αντιδράσεως με την θερμοκρασία, μπορεί να υπολογισθεί το $\Delta H_R^{\ddagger}$. Ο υπολογισμός αυτός δίνει μια τιμή 32 kcal/mole. Με τη βοήθεια της εξισώσεως (18) ισχύουν τα ακόλουθα:

$$-54\text{kcal/mole} = 32\ \text{kcal/mole} - \Delta H_L^{\ddagger}$$

Από αυτήν τη σχέση προκύπτει:

$$\Delta H_L^{\ddagger} = +\ 86\ \text{kcal/mole}.$$

Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με το σχήμα της καμπύλης του σχήματος 21-12.

Όλες οι προηγούμενες σχέσεις ανακεφαλαιώνονται με τον ακόλουθο τρόπο:

$$CO + NO \rightarrow CO_2 + NO$$

$$\Delta H_R^{\ddagger} = +32\ \text{kcal/mole}$$
$$\Delta H_L^{\ddagger} = +86\ \text{kcal/mole}$$
$$\Delta H_R = -54\ \text{kcal/mole}$$

Βλέπετε ότι η παρακάτω αριθμητική πράξη συμφωνεί με την εξίσωση (18):

$$-54 = 32 - 86$$

Η εξίσωση αυτή είναι σημαντική, γιατί υποδηλώνει ότι αρκεί να γνωρίζομε τις δύο από τις τρεις ποσότητες, $\Delta H_R^{\ddagger}$, $\Delta H_L^{\ddagger}$ και ΔH_R για να υπολογίσομε την τρίτη.

Αν θέλομε, μπορούμε να σχεδιάσομε το διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας με τη βοήθεια της αντίστροφης αντιδράσεως. Ένα τέτοιο διάγραμμα υπάρχει στο σχήμα 21-13. Πρόκειται για χαρακτηριστικό παράδειγμα ενδόθερμης αντιδράσεως. Αξίζει να σημειωθεί ότι η καμπύλη αυτή είναι η αντίστροφη εκείνης που υπάρχει στο σχήμα 21-12.

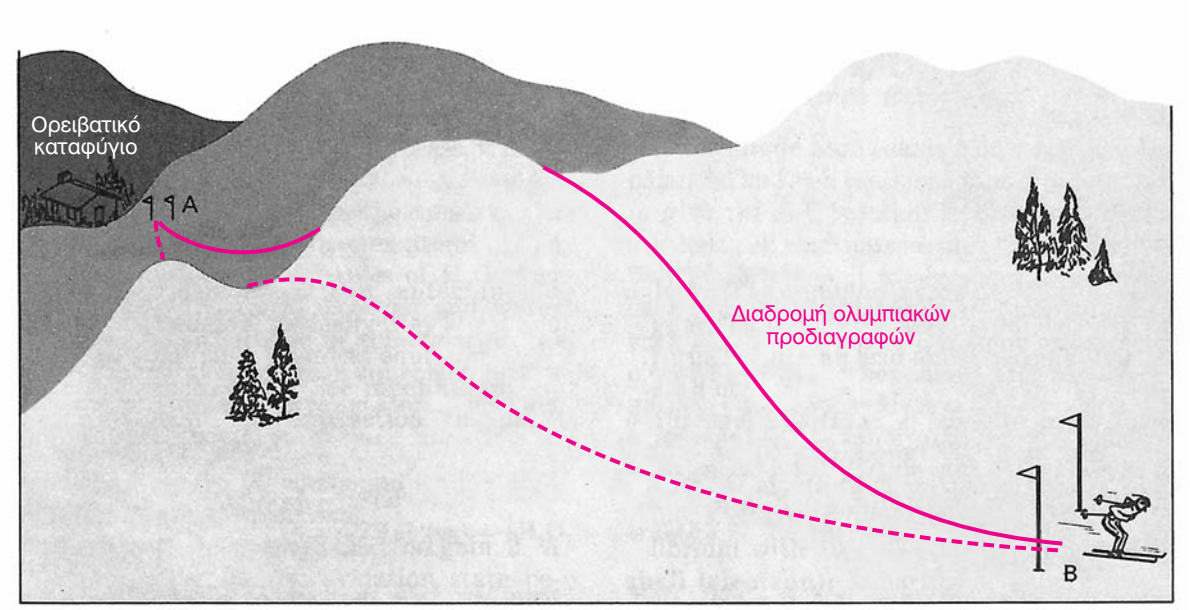
21.10 Καταλύτες.

Πολλές αντιδράσεις, από τη στιγμή που θα αναμιχθούν τα αντιδρώντα, προχωρούν με μικρή ταχύτητα. Υπάρχουν όμως κάποιες ουσίες, των οποίων η προσθήκη συνεπάγεται οι αντιδράσεις να πραγματοποιούνται πολύ γρηγορότερα. Όπως θα θυμάστε, οι ουσίες αυτές ονομάζονται καταλύτες (βλ. παράγρ. 19.12). Οι καταλύτες δεν λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση*.

Η διαδικασία, κατά την οποία αυξάνεται η ταχύτητα μιας αντιδράσεως με τη χρήση ενός καταλύτη, αναφέρεται ως ***κατάλυση***. Στο κεφάλαιο 19 μάθατε σχετικά με τη χρήση ενός καταλύτη, προκειμένου να επιταχυνθεί η παραγωγή SO_3 από SO_2 κατά την παρασκευή του θειικού οξέος.

Η δράση ενός καταλύτη ερμηνεύεται με τη βοήθεια του προτύπου των αγώνων ανωμάλου δρόμου μεταξύ χιονοδρόμων. Ας υποτεθεί ότι η

* *Σ.τ.Μ. Οι καταλύτες συμμετέχουν στην αντίδραση· δίνεται όμως η εντύπωση ότι δεν λαμβάνουν μέρος, επειδή στο τέλος της αντιδράσεως αναλαμβάνονται αναλλοίωτοι. Στη συνέχεια αυτού του κειμένου περιγράφεται λεπτομερώς ο τρόπος συμμετοχής του καταλύτη σε διάφορες αντιδράσεις. Η φράση "δεν λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση" είναι κατάλοιπο παλαιάς διατυπώσεως που χρησιμοποιείται μερικές φορές από "αδράνεια εθισμού".*

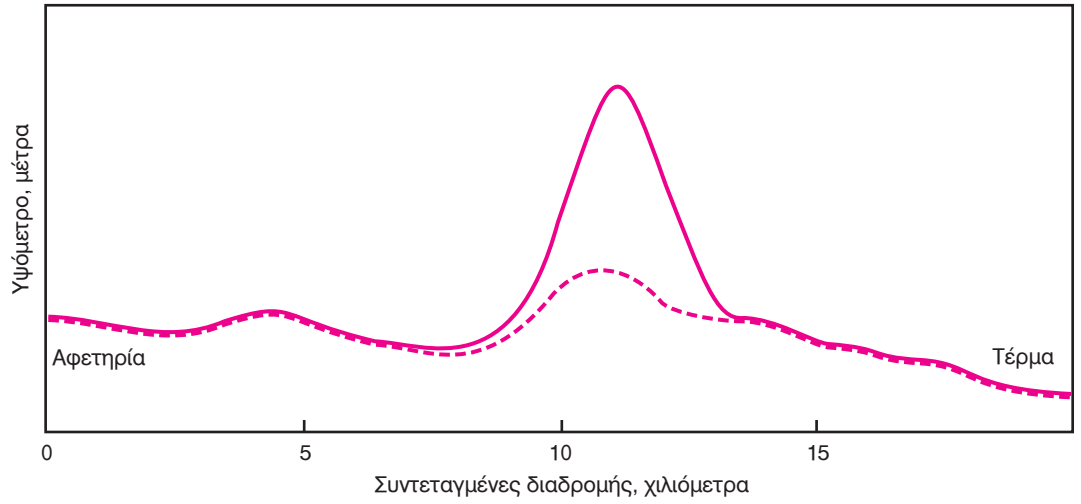


ΣΧΗΜΑ 21-14. *Ένας χιονοδρόμος, ο οποίος δεν έχει αρκετή ενέργεια για να υπερπηδήσει το ύψωμα της διαδρομής ολυμπιακών προδιαγραφών, έχει τη δυνατότητα να μεταβεί από το Α στο Β ακολουθώντας την εναλλακτική διαδρομή. Η διαδρομή αυτή απαιτεί χαμηλότερη ενέργεια, επειδή το ύψωμα σε αυτήν είναι χαμηλότερο.*

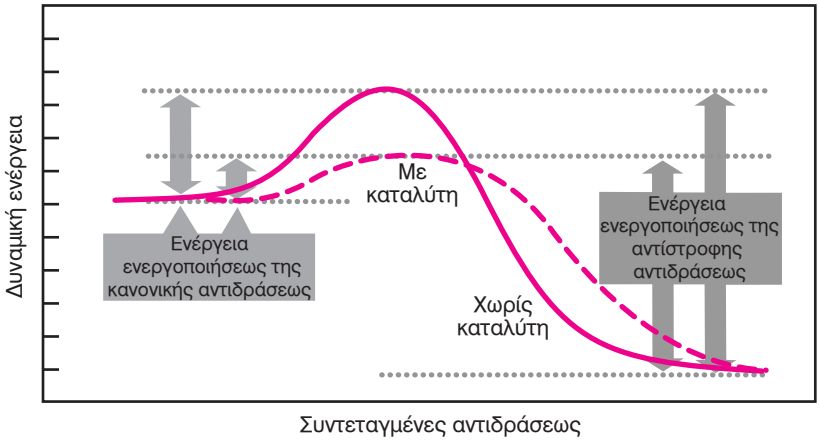
συγκεκριμένη διαδρομή, την οποία μελετήσαμε προηγούμενως, είναι η δυσκολότερη (επιπέδου ολυμπιακών αγώνων). Στην πραγματικότητα, υπάρχει και άλλος τρόπος για να τερματίσετε χωρίς να πρέπει να φθάσετε τόσο ψηλά. Η άλλη διαδρομή, η οποία φαίνεται μαζί με την πρώτη στο σχήμα 21-14, χρησιμοποιείται σε αγώνες με μικρότερη δυσκολία. Αθλητές με λιγότερη ενέργεια θα μπορούσαν να αποφύγουν το μεγάλο ύψωμα περνώντας από το χαμηλότερο.

Τι νομίζετε ότι θα συνέβαινε, αν επιτρεπόταν στους αθλητές πρώτης κλάσεως να ακολουθήσουν τη δεύτερη διαδρομή με το χαμηλότερο ύψωμα; Οι περισσότεροι θα το ανέβαιναν και θα τερμάτιζαν. Αντί για τους 60 μόνο στους εκατό που καταφέρνουν να καλύψουν τη δυσκολότερη διαδρομή, με την ευκολότερη θα τερμάτιζαν οι 80 στους εκατό.

Στο σχήμα 21-15 έχουν σχεδιασθεί και οι δύο διαδρομές του αγώνα ανωμάλου δρόμου. Η



ΣΧΗΜΑ 21-15. *Ο χιονοδρόμος επιλέγοντας την εύκολη διαδρομή διέρχεται πάνω από το χαμηλότερο ύψωμα. Η διαφορά ύψους των δύο υψωμάτων (δύο διαφορετικές διαδρομές) είναι εμφανής στο διάγραμμα.*



ΣΧΗΜΑ 21-16. *Η παρουσία ενός καταλύτη σε μια χημική αντίδραση μειώνει κατά κάποιο τρόπο την ενέργεια ενεργοποιήσεως της αντιδράσεως, μειώνοντας έτσι και την κινητική ενέργεια που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η αντίδραση.*

κρίσιμη διαφορά ανάμεσά τους είναι αναμφίβολα το υψόμετρο του μεγαλυτέρου και μικροτέρου υψώματος. Το σχήμα 21-16 παρουσιάζει μια ανάλογη απεικόνιση για την περίπτωση μιας χημικής αντιδράσεως. Η υψηλότερη καμπύλη δείχνει το φράγμα της ενέργειας ενεργοποιήσεως, το οποίο πρέπει να καλυφθεί για να γίνει μια αντίδραση. Αν προστεθεί ένας καταλύτης, δημιουργείται και μια άλλη διαδρομή, με διαφορετικό φράγμα ενέργειας ενεργοποιήσεως, όπως φαίνεται και από τη χαμηλότερη καμπύλη.

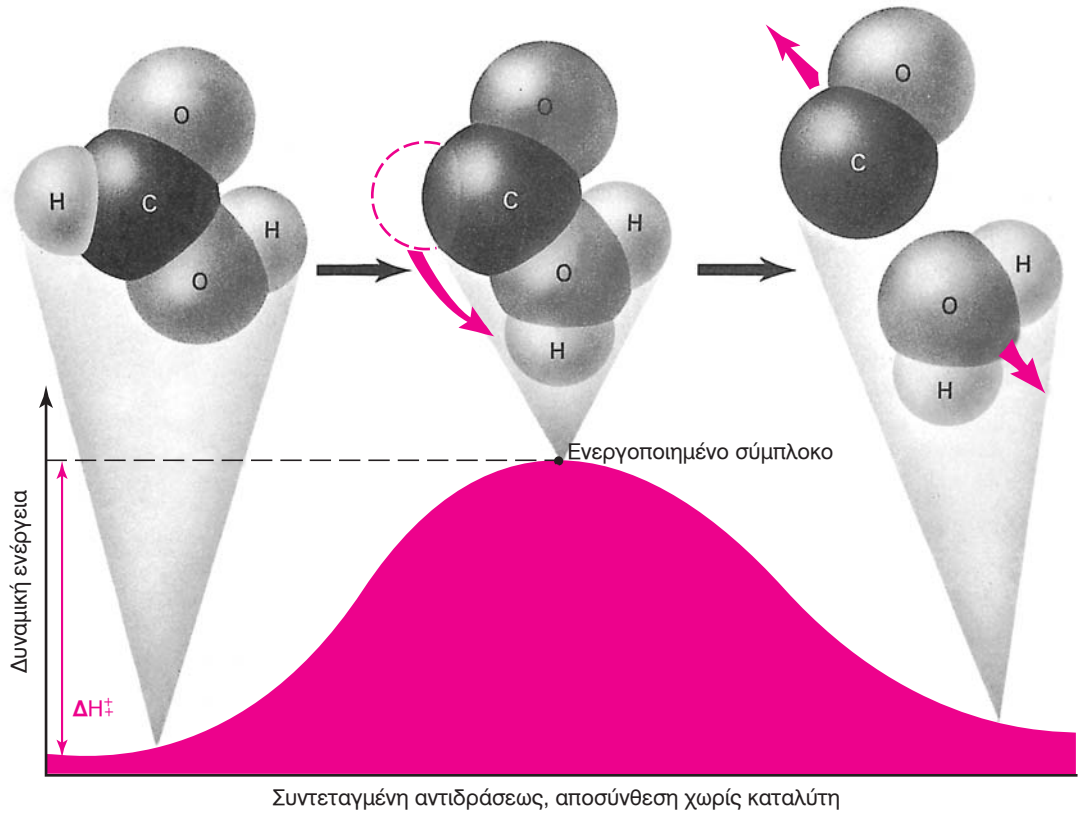
Η νέα διαδρομή της αντιδράσεως αντιστοιχεί σε νέο μηχανισμό αντιδράσεως. Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στην αντίδραση να πραγματοποιηθεί περνώντας μέσα από διαφορετικά σύμπλοκα ενεργοποιήσεως. Έτσι, περισσότερα σωματίδια κατορθώνουν να ξεπεράσουν το νέο, χαμηλότερης ενέργειας, φράγμα και η ταχύτητα αντιδράσεως αυξάνεται. Προσέξτε ότι η ενέργεια ενεργοποιήσεως της αντίστροφης αντιδράσεως μειώνεται κατά την ίδια ακριβώς ποσότητα με την κανονική αντίδραση. Σε αυτό οφείλεται το πειραματικό γεγονός ότι ο καταλύτης μιας αντιδράσεως έχει την ίδια επίδραση και στην αντίστροφη αντίδραση. Δηλαδή και οι δύο αντιδράσεις επιταχύνονται από τους ίδιους παράγοντες. Αν ένας καταλύτης διπλασιάσει την ταχύτητα προς τη μία κατεύθυνση, διπλασιάζει την ταχύτητα και προς την αντίστροφη κατεύθυνση.

Σε όλες τις περιπτώσεις της καταλύσεως, η δράση του καταλύτη βασίζεται στην παρεμβολή ενδιαμέσων σταδίων κατά τη διάρκεια της αντιδράσεως. Τα στάδια αυτά δεν θα υπήρχαν χωρίς τον καταλύτη. Ο ίδιος ο καταλύτης πρέπει να αναγεννάται σε ένα από τα επόμενα στάδια. Η καταλυτική δράση ενός οξέος κατά την αποσύνθεση του μυρμηκικού οξέος, HCOOH, είναι ένα παράδειγμα τέτοιας δράσεως (το φαινόμενο αυτό περιγράφεται στο σχήμα 23-1).

Το άτομο του άνθρακα στο μυρμηκικό οξύ είναι συνδεδεμένο με ένα άτομο υδρογόνου, ένα άτομο οξυγόνου και μια ομάδα –OH. Το σχήμα 21-17 δείχνει με ποιο τρόπο είναι πιθανόν να αποσυντίθεται αυτό το μόριο. Αν το άτομο του υδρογόνου που συνδέεται με τον άνθρακα μετατεθεί προς την ομάδα –OH, τότε ο δεσμός άνθρακα–οξυγόνου μπορεί να διασπασθεί και να δώσει ένα μόριο νερού και ένα μόριο μονοξειδίου του άνθρακα. Η μετάθεση αυτή, η οποία φαίνεται στο κέντρο του σχήματος, απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μεγάλη ενέργεια ενεργοποιήσεως και ότι η αντίδραση διεξάγεται με πολύ βραδύ ρυθμό.

$$HCOOH \rightarrow H_2O + CO \qquad (19)$$

Αν προστεθεί θειικό οξύ, H_2SO_4, σε ένα υδατικό διάλυμα μυρμηκικού οξέος, εκλύεται με μορφή φυσαλίδων μονοξείδιο του άνθρακα. Το ίδιο συμβαίνει, αν αντί για θειικό οξύ προστεθεί φωσφορικό οξύ, H_3PO_4. Ο κοινός παράγοντας αυτών των δύο οξέων είναι ότι και τα δύο ελευθερώνουν ιόντα H^+. Ακόμη πιο προσεκτική ανάλυση μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συγκέντρωση του ιόντος υδρογόνου είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ταχείας αποσυνθέσεως του μυρμηκικού οξέος. Δηλαδή δεν καταναλώνεται υδρογόνο. Είναι προφανές ότι τα ιόντα του υδρογόνου δρουν ως καταλύτης κατά την αποσύνθεση του μυρμηκικού οξέος.



ΣΧΗΜΑ 21-17. *Κατά τη διάρκεια της μη καταλυτικής διασπάσεως του μυρμηκικού οξέος, απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να μετατοπισθεί το άτομο υδρογόνου στην ομάδα ΟΗ και να παραχθεί νερό και μονοξείδιο του άνθρακα.*

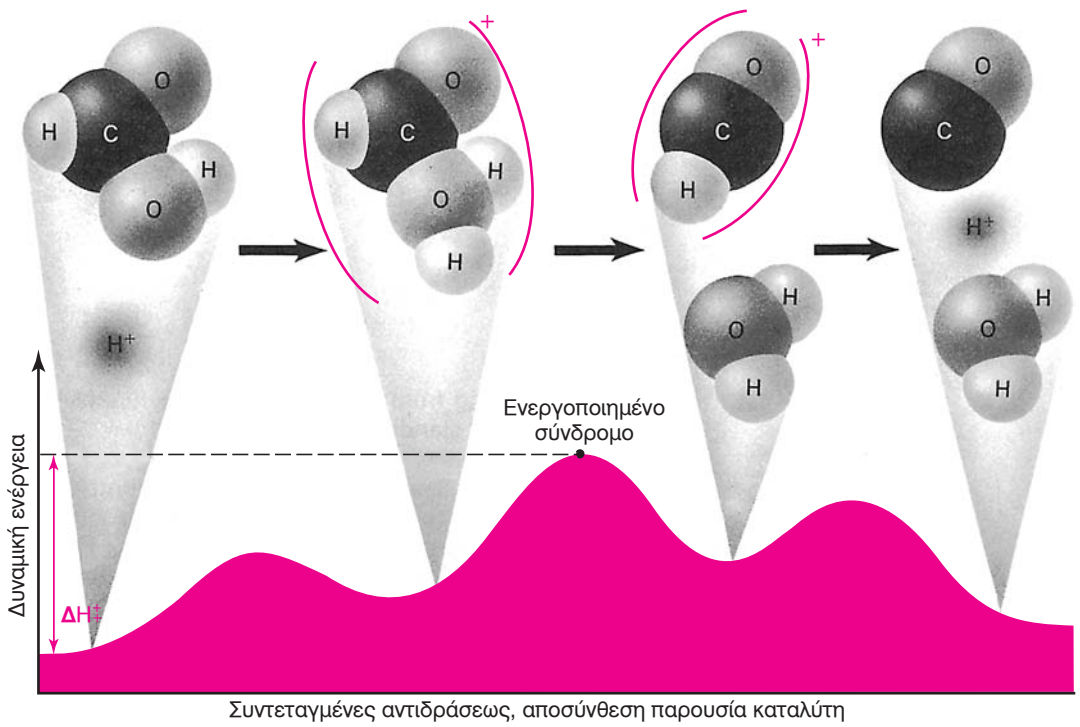
Οι χημικοί έχουν μια μάλλον σαφή εικόνα του τρόπου με τον οποίο τα πρωτόνια (H^+) καταλύουν την αντίδραση (19). Η παρουσία των H^+ στο διάλυμα δημιουργεί ένα νέο μηχανισμό αντιδράσεως. Ο νέος μηχανισμός ξεκινά με την προσθήκη ιόντων H^+ στο μυρμηκικό οξύ, όπως δείχνει και το σχήμα 21-18. Έτσι, αρχικά ο καταλύτης καταναλώνεται σχηματίζοντας ένα νέο είδος ιόντος, το $(HCOOH_2)^+$. Σε αυτό το νέο ιόν ένας από τους δεσμούς άνθρακα–οξυγόνου εξασθενεί. Με μια μικρή μόνο προσθήκη ενέργειας, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί η επόμενη αντίδραση, που περιγράφεται στο σχήμα 21-18, κατά την οποία παράγεται $(HCO)^+$ και H_2O. Τελικά, το $(HCO)^+$ διασπάται και σχηματίζει μονοξείδιο του άνθρακα, CO και H^+. Με αυτήν την τελευταία αντίδραση της σειράς αναγεννάται και ο καταλύτης, H^+.

Το κάθε ένα στάδιο σε αυτόν το νέο μηχανισμό της αντιδράσεως πειθαρχεί στους ίδιους κανόνες που ισχύουν και για μια απλή αντίδραση. Κάθε αντίδραση έχει μια ενέργεια ενεργοποιήσεως. Η συνολική αντίδραση δίνει ένα διάγραμμα δυναμικής ενέργειας, το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο παρά ο συνδυασμός των απλών καμπυλών ενέργειας των διαδοχικών σταδίων.

Η υψηλότερη τιμή ενέργειας που απαιτείται σε αυτό το νέο στάδιο της αντιδράσεως είναι μόνο 18 kcal, δηλαδή κατά πολύ χαμηλότερη από την ενέργεια ενεργοποιήσεως, η οποία για την περίπτωση της μη καταλυτικής αντιδράσεως δίνεται στο σχήμα 21-17. Δηλαδή η ταχύτητα διασπάσεως είναι μεγαλύτερη, αν στο περιβάλλον της αντιδράσεως υπάρχει και κάποιο οξύ (=υδρογονο-ιόντα).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η καταλυτική δράση δεν συνεπάγεται αναγκαστικά στην πραγματοποίηση της αντιδράσεως. Ο καταλύτης επιταχύνει απλά μια αντίδραση η οποία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και χωρίς αυτόν.

Σε μερικές περιπτώσεις ο καταλύτης είναι μια στερεά ουσία, η οποία μπορεί να συγκρατήσει ή να απορροφήσει μόρια των αντιδρώντων πάνω στην επιφάνειά της. Δύο μόρια που έχουν προσροφηθεί έχουν τη δυνατότητα να έλθουν σε επαφή μεταξύ τους ευκολότερα από ό,τι τα ελεύθερα μόρια. Μέταλλα, όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, ο λευκόχρυσος και το παλλάδιο, δρουν



ΣΧΗΜΑ 21-18. *Κατά την καταλυτική αντίδραση απαιτείται μικρότερη ενέργεια ενεργοποιήσεως από όση κατά τη μη καταλυτική για το σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου (το οποίο περιέχει και τον καταλύτη, H^+).*

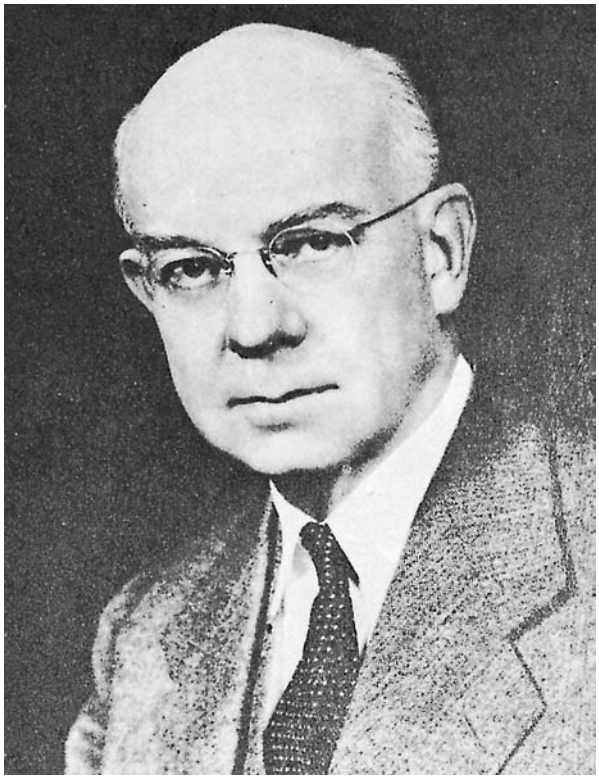
κατ' αυτόν τον τρόπο σε αντιδράσεις όπου συμμετέχουν αέρια. Σύμφωνα με ενδείξεις, σε μερικές περιπτώσεις προσροφήσεως οι δεσμοί των αντιδρώντων σωματιδίων εξασθενούν ή κόβονται. Αυτή η δράση βοηθά στην πραγματοποίηση της αντιδράσεως.

Υπάρχει μια μεγάλη ομάδα καταλυτών, οι οποίοι ονομάζονται ένζυμα. Τα ένζυμα είναι πρωτεϊνικά μόρια, τα οποία καταλύουν αντιδράσεις σε ζώντα κύτταρα* (οι πρωτεΐνες εξετάσθηκαν στην παράγραφο 18.5). Ανάμεσα στα πιο γνωστά παραδείγματα ενζύμων είναι τα αποικοδομητικά ένζυμα, όπως η πτυελίνη που υπάρχει στο σάλιο και η πεψίνη του γαστρικού υγρού. Μια γνωστή λειτουργία αυτών των δύο ενζύμων είναι η επιτάχυνση της διασπάσεως μεγάλων μορίων σε άλλα μικρότερα, τα οποία είναι δυνατόν να απορροφηθούν από τα κύτταρα του σώματος. Εκτός από αυτό το είδος των αποικοδομητικών ενζύμων στα ζώντα κύτταρα, υπάρχουν και πολλά άλλα είδη. Τα ένζυμα αναφέρονται με περισσότερες λεπτομέρειες στην επόμενη παράγραφο.

* *Σ.τ.Μ. Και "in vitro", δηλαδή στο εργαστήριο.*

21.11 Ένζυμα, οι καταλύτες των ζωντανών οργανισμών.

Χιλιάδες χημικών αντιδράσεων πραγματοποιούνται σε ένα ζώντα οργανισμό. Για παράδειγμα, τόσο η αντικατάσταση των κυττάρων, όσο και η πέψη των τροφών γίνονται με τη βοήθεια χημικών αντιδράσεων. Κάθε ξεχωριστή χημική διεργασία που απαιτείται για να ολοκληρωθεί μια διαδικασία πρέπει να πραγματοποιηθεί με ήπιο τρόπο, τη σωστή ώρα, στη σωστή θέση και στη θερμοκρασία του ιστού, μέσα στον οποίο πρόκειται να παίξει κάποιο ρόλο. Οι περισσότερες από αυτές τις αντιδράσεις δεν θα μπορούσαν να γίνουν αρκετά γρήγορα, αν τα αντιδρώντα απλά αναμιγνύονταν μεταξύ τους (για παράδειγμα μέσα σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα) στη θερμοκρασία του οργανισμού. Σχεδόν σε κάθε περίπτωση χρειάζεται η βοήθεια των καταλυτών. Αυτός είναι ο λόγος που όλοι οι πολύπλοκοι οργανισμοί, ανάμεσα στους οποίους και εσύ, περιέχουν χιλιάδες από αυτούς τους καταλύτες, γνωστούς ως ***ένζυμα***.



Edward Kalvin Kendall (1886–1972)

Ο Edward Kendall, αφού έλαβε το διδακτορικό δίπλωμα (1910) από το πανεπιστήμιο της Columbia, άρχισε να ενδιαφέρεται για το θυρεοειδή αδένα. Υποπτεύθηκε ότι αυτός ο αδένας θα πρέπει να παράγει μια ορμόνη, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και εξέλιξη του ανθρώπου. Αποφάσισε να δοκιμάσει να την απομονώσει και να την ταυτοποιήσει.

Ξεκίνησε από τη θυρογλοβουλίνη, μια πολύπλοκη ένωση που εκκρίνεται από το θυρεοειδή αδένα, και βρήκε ότι αυτή περιείχε κάποια πρωτεΐνη και μια προσθετική–ενεργό ουσία, την οποία ονόμασε θυροξίνη. Η θυροξίνη απεδείχθη ότι είναι ένα φυσικής προελεύσεως αμινοξύ και ότι περιέχει στο μόριό της τέσσερα άτομα ιωδίου. Διάφορες έρευνες απέδειξαν ότι, αν απομακρυνθεί από το μόριο της ορμόνης ένα ή περισσότερα άτομα ιωδίου, τότε περιορίζεται σημαντικά η δραστικότητά της. Η ανακάλυψη της δράσεως και της δομής της θυροξίνης κατέστησε δυνατή τη θεραπεία ατόμων που πάσχουν από κατεστραμμένους ή υπολειτουργούντες θυρεοειδείς αδένες.

Ο Kendall, στη συνέχεια, έστρεψε την προσοχή του στους αδένες των επινεφριδίων, τα οποία βρίσκονται στο επάνω μέρος του καθενός εκ των δύο νεφρών του ανθρώπινου σώματος*. Ο αδένας των επινεφριδίων αποτελείται από το εξωτερικό τμήμα, ή φλοιό, και τον εσωτερικό πυρήνα. Το κάθε τμήμα στην πραγματικότητα είναι ξεχωριστός αδένας και παράγει διαφορετικές ορμόνες. Ο εσωτερικός πυρήνας έχει βρεθεί ότι είναι σχετικά απλός και παράγει την ορμόνη αδρεναλίνη.** Η αδρεναλίνη λειτουργεί ως συναγερμός και στη δράση της οφείλονται ποικίλες αντιδράσεις, που πραγματοποιούνται όταν ένα πρόσωπο υφίσταται μεγάλες συναισθηματικές φορτίσεις.

Ο φλοιός των επινεφριδίων όμως είναι ακόμη πιο πολύπλοκος. Κατά τη δεκαετία του 1930 ο Kendall ανακάλυψε τουλάχιστον 28 διαφορετικές ορμόνες, οι οποίες παράγονται από το φλοιό. Μόνο οι τέσσερις από αυτές έδειξαν σημαντική φυσιολογική δράση. Η μία ορμόνη, είναι γνωστή με το όνομα κορτιζόνη και εφαρμόζεται ευρέως για τη θεραπεία της ρευματοειδούς αρθρίτιδας. Επειδή τις ουσίες αυτές παράγουν τα ζώα σε ελάχιστες ποσότητες, υπολογίσθηκε ότι θα χρειάζονταν 14.000 βόδια, για να παραχθεί αρκετή ποσότητα κορτιζόνης, ώστε να νοσηλευθεί ένας ασθενής επί ένα χρόνο. Ευτυχώς ο Julian Percy το 1944 ανακάλυψε έναν οικονομικό τρόπο συνθετικής παρασκευής κορτιζόνης και έτσι η θεραπεία με κορτιζόνη κατέστη εφικτή για πολλούς ανθρώπους.

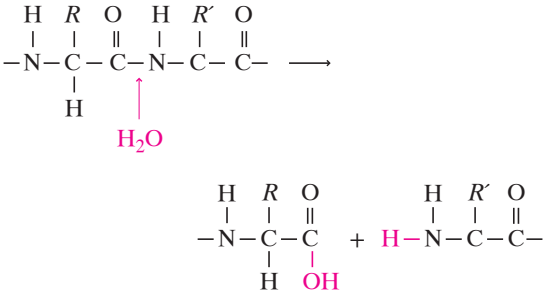
Το 1950, ο Edward Kendall μοιράσθηκε το βραβείο Νόμπελ για την ιατρική και τη φυσιολογία με τον P.S. Hench και τον T. Reichstein τιμώμενος για την απομόνωση και τον προσδιορισμό διαφόρων ορμονών του φλοιού των επινεφριδίων.

* *Σ.τ.Μ. Και τη νοραδρεναλίνη.*

** *Σ.τ.Μ. Σε αυτό οφείλεται το όνομα επινεφρίδια.*

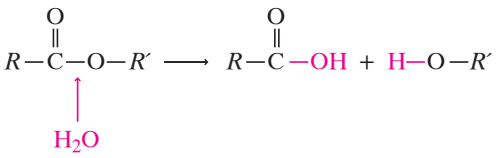
Ακολουθούν μερικοί από τους σημαντικότερους τύπους αντιδράσεων που καταλύονται από ένζυμα.

1. ***Υδρόλυση πρωτεϊνών***. Τα ένζυμα που καταλύουν αυτού του είδους τις αντιδράσεις ονομάζονται ***πεπτιδάσες***. Όπως γνωρίζετε, οι πρωτεΐνες αποτελούνται από μακρές αλυσίδες αμινοξέων, τα οποία συνδέονται με πεπτιδικούς δεσμούς. Πρόκειται για τις πεπτιδικές αλυσίδες, δηλαδή τα πεπτίδια. Η αντίδραση της υδρολύσεως παριστάνεται γενικά με την παρακάτω εξίσωση.



Μερικά ένζυμα, όπως η χυμοθρυψίνη, η οποία βρίσκεται στο πάγκρεας, δρουν πάνω σε πολυποίκιλους πεπτιδικούς δεσμούς. Η χυμοθρυψίνη δρα κατά προτίμηση πάνω στους δεσμούς που βρίσκονται κοντά στα άκρα της πρωτεϊνικής αλυσίδας. Άλλες πεπτιδάσες είναι ειδικές για τον τελευταίο πεπτιδικό δεσμό, ο οποίος υπάρχει είτε στο άκρο της αλυσίδας με την καρβοξυλομάδα (καρβοξυπεπτιδάσες) είτε στο άκρο με την αμινομάδα (αμινοπεπτιδάσες).

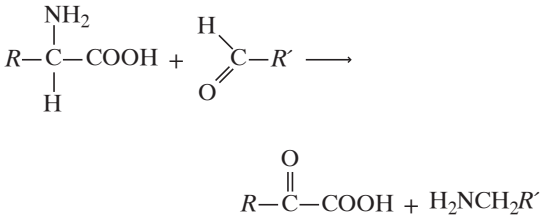
2. ***Υδρόλυση των εστέρων***. Τα ένζυμα που υδρολύουν εστέρες ονομάζονται ***εστεράσες***. Ο τύπος των αντιδράσεων τις οποίες καταλύουν είναι ο εξής:



Αυτός ο τύπος των αντιδράσεων μοιάζει κατά κάποιο τρόπο με την υδρόλυση των πεπτιδικών δεσμών στις πρωτεΐνες. Με αυτήν την έννοια δεν εκπλήσσει το γεγονός ότι μερικές πεπτιδάσες δρουν και ως εστεράσες.

3. ***Αντιδράσεις κατά τις οποίες σχηματίζονται αμίδια, εστέρες ή άλλα είδη ενώσεων***. Τα ένζυμα που καταλύουν αυτού του είδους τις αντιδράσεις λέγονται ***συνθετάσες***. Μερικές από τις αντιδράσεις αυτές είναι απλά οι αντίστροφες των αντιδράσεων υδρολύσεως που μόλις αναφέρθηκαν. Όταν το σώμα απορροφά τις τροφές, οι πεπτιδάσες και οι εστεράσες είναι απαραίτητες για την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών και των λιπών. Κατά τη δημιουργία όμως νέων ιστών, είναι απαραίτητες οι συνθετάσες για το σχηματισμό νέων πρωτεϊνικών μορίων και λιπών με δομικές ύλες από τα προϊόντα αποικοδομήσεως, τα οποία δημιουργήθηκαν κατά την πέψη.

4. ***Μεταφορά δραστικών ομάδων***. Τα ένζυμα που συμβάλλουν σε τέτοιου είδους αντιδράσεις ονομάζονται ***τρανσφεράσες***. Ακολουθεί ένας σημαντικός τύπος αντιδράσεως μεταφοράς, η οποία χαρακτηρίζεται και ως ***μεταμίνωση*** ή τρανσαμίνωση:

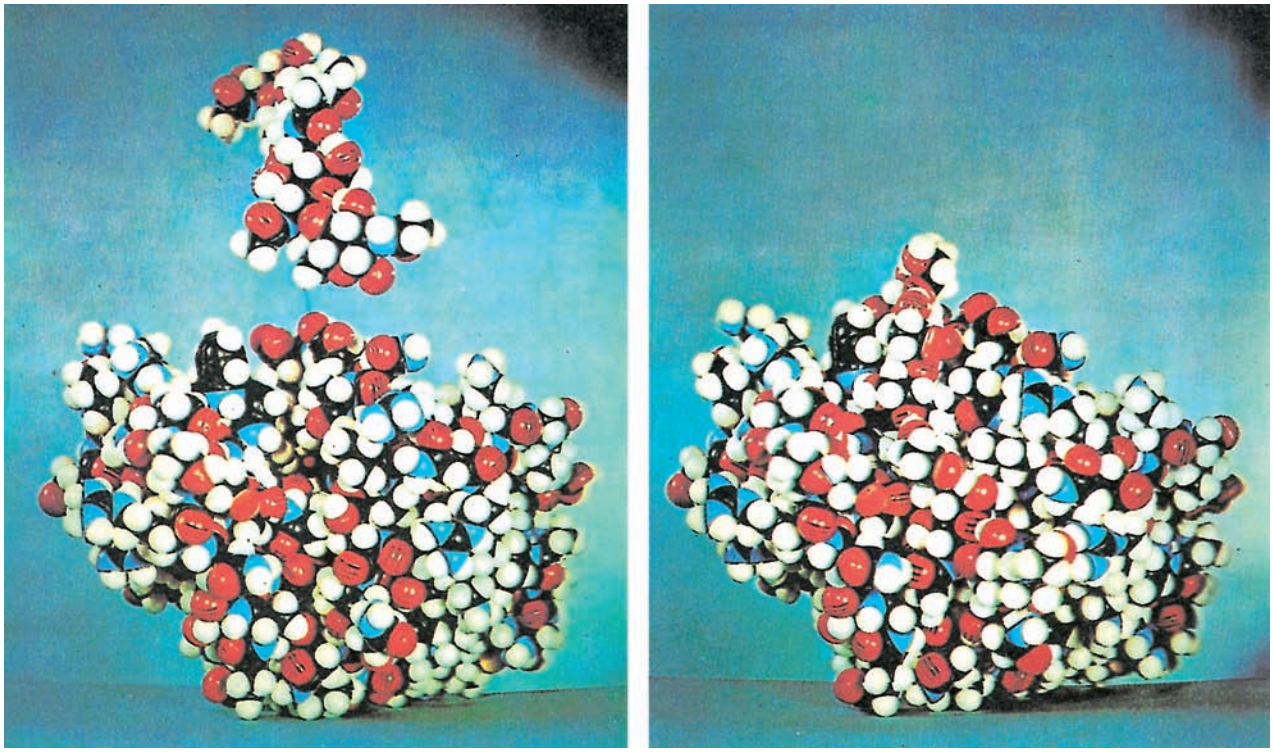


Υπάρχουν ακόμη πολλοί άλλοι τύποι αντιδράσεων, οι οποίες καταλύονται από ένζυμα, αλλά δεν είναι δυνατόν να εξετασθούν όλες εδώ. Θα αναφερθεί όμως ένας ακόμη τύπος, επειδή είναι εξαιρετικά σημαντικός και απλός. Η αντίδραση που ακολουθεί είναι ζωτικής σημασίας για την αναπνοή:

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3$$

Η αντίδραση αυτή είναι από μόνη της σχετικά βραδεία προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Για να πραγματοποιηθεί με ικανοποιητική ταχύτητα, στην περίπτωση της αναπνοής, πρέπει να επιταχυνθεί η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα (δηλαδή νά προχωρήσει η αντίδραση από τα αριστερά προς τα δεξιά σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση). Το ένζυμο που υπάρχει γι' αυτόν το σκοπό λέγεται ***ανθρακική αφυδατάση***.

Τώρα που αποκτήσατε μια γενική ιδέα για το τι κάνουν και πόσο σημαντικά είναι τα ένζυμα, είναι φυσικό να αναρωτηθείτε "τι είναι αυτά τα ένζυμα". Η απάντηση είναι σε γενικές γραμμές απλή. Όλα τα ένζυμα είναι πρωτεϊνικά μόρια*. Μερικά είναι σχετικά μικρού μεγέθους, με μοριακές μάζες γύρω



ΣΧΗΜΑ 21-19. *(α) Το στερεοχημικό πρότυπο ενός μορίου λυσοζύμης, μαζί με ένα μικρότερο μόριο υποστρώματος, με το οποίο μπορεί να αλληλεπιδράσει το ένζυμο. (β) Κατά τη διάρκεια της καταλύσεως το υπόστρωμα εφαρμόζει απόλυτα στο τμήμα του ενεργού κέντρου της επιφάνειας της λυσοζύμης.*

στο 10.000. Τα περισσότερα είναι αρκετά μεγαλύτερα, με μάζες από 50 ή 100 χιλιάδες ή ακόμη μερικά εκατομμύρια. Επί πλέον, τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες του τύπου ο οποίος ονομάζεται ***σφαιρίνη***. Δηλαδή η πρωτεΐνη με τη μακρά αλυσίδα περιτυλίγεται σχηματίζοντας ένα κουβάρι (μια σφαίρα). Ένα παράδειγμα έχομε στο σχήμα 21-19α. Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο πρότυπο ενός ενζύμου με το όνομα ***λυσοζύμη***. Η δράση του συνίσταται στην αποικοδόμηση ορισμένων ενώσεων που υπάρχουν στα κυτταρικά τοιχώματα. Το πρώτο ένζυμο, του οποίου προσδιορίσθηκε λεπτομερειακά η δομή, ήταν η λυσοζύμη. Κατά τα τελευταία χρόνια έχουν προσδιορισθεί οι δομές πολλών ακόμη ενζύμων. Όλα έχουν περισσότερο ή λιγότερο σφαιρικό σχήμα.

Πώς λειτουργούν τα ένζυμα; Ποιο είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των τεραστίων πολυπλόκων μορίων, που τα καθιστά ικανά να καταλύουν αντιδράσεις; Οι ερωτήσεις αυτές δεν είναι δυνατόν να απαντηθούν ακόμη και σήμερα λεπτομερειακά σε επίπεδο ατόμων, αναμφίβολα δε οι λεπτομέρειες διαφέρουν κατά περίπτωση. Το βέβαιο όμως είναι ότι σε γενικές γραμμές οι χημικοί έχουν μάθει πάρα πολλά σχετικά με τον τρόπο δράσεώς τους.

Όπως ο κάθε καταλύτης, έτσι και ένα ένζυμο συνήθως επιτελεί τρεις λειτουργίες. (1) Θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδεθεί με την ουσία ή τις ουσίες (οι οποίες ονομάζονται υπόστρωμα), πάνω στις οποίες πρόκειται να δράσει. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται σύνδεση ***υποστρώματος***. (2) Η φύση της αλληλεπιδράσεώς του με το υπόστρωμα θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η αντίδραση να διέρχεται από ένα στάδιο με μικρότερη ενέργεια ενεργοποιήσεως από όση θα ήταν κανονικά αναγκαία. Δηλαδή, το ένζυμο οδηγεί σε ευκολότερο σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου. (3) Το ένζυμο θα πρέπει να συνδέεται με το ή τα προϊόντα της αντιδράσεως, με σχετικά ασθενή δεσμό. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα προϊόντα θα ελευθερώνονται γρήγορα, ώστε το ένζυμο να μπορεί να συνδεθεί και να ενεργοποιήσει και το υπόλοιπο υπόστρωμα.

* *Σ.τ.Μ. Όλες οι πρωτεΐνες όμως δεν έχουν ενζυματική δράση.*

Τα μόρια των ενζύμων πρέπει να είναι μεγάλα και πολύπλοκα, ώστε να εξασφαλίζουν μια θέση, η οποία ονομάζεται ***ενεργό τμήμα ή ενεργός περιοχή***, πάνω στην οποία μπορεί να συγκρατηθεί το υπόστρωμα σφικτά και σταθερά και να πραγματοποιηθεί ενεργοποίηση. Το ακριβές σχήμα του ενεργού κέντρου του ενζύμου θα πρέπει να είναι έτσι διαμορφωμένο, ώστε να μοιάζει ως συμπληρωματικό του σχήματος των μορίων του υποστρώματος*. Το σχήμα 21-19β δείχνει με πόση ακρίβεια προσαρμόζεται το υπόστρωμα, πάνω στο οποίο δρα η λυσοζύμη, με το τμήμα του ενεργού κέντρου της επιφάνειας της λυσοζύμης.

Από όσα αναφέρθηκαν, καταλαβαίνετε ότι ένα ένζυμο μπορεί να συνδεθεί μόνο με ένα ειδικό μόριο ή με μερικά παρόμοια προς αυτό. Η ιδιότητα αυτή των ενζύμων ονομάζεται ***εκλεκτικότητα*** (ή στερεοειδίκευση) των ενζύμων. Η εκλεκτικότητα είναι σημαντική για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, αν χρειάζεται ένα ειδικό ένζυμο, για να καταλύσει την αντίδραση ενός μόνο μορίου ή μερικών παρομοίων μορίων, τότε θα είναι εξαιρετικά εξειδικευμένο. Γι' αυτό θα είναι και εξαιρετικά αποτελεσματικό. Το ένζυμο είναι, όπως και ένα αρκετά πολύπλοκο εργαλείο ακριβείας, ιδανικό για μία και μόνο εργασία. Δεύτερον, η ιδιότητα αυτή χρησιμεύει στη διατήρηση της ιεραρχίας κατά τις χημικές λειτουργίες του κυττάρου. Προκειμένου να γίνει αυτό κατανοητό, φαντασθείτε τι θα γινόταν, αν κάποιο ένζυμο διέθετε την ικανότητα να υδρολύει όλους τους πεπτιδικούς δεσμούς. Θα δημιουργούνταν χάος, γιατί τα ένζυμα θα κατέληγαν να καταλύουν την αποικοδόμηση άλλων ενζύμων (τα οποία είναι επίσης πρωτεΐνες). Θα κατέστρεφαν επίσης τους πρωτεϊνικούς ιστούς, που συνισθούν τμήματα του πεπτιδικού συστήματος αλυσίδας, στα οποία θα δρούσαν πάλι τα ένζυμα.

Η τεράστια ποικιλία των ενζυμικών δομών και η λειτουργία πολλών χιλιάδων ενζύμων σε πλήρη ισορροπία και αρμονία αποτελούν ένα χημικό "θαύμα" το οποίο οι επιστήμονες προσπαθούν να κατανοήσουν προσεγγίζοντας όλο και περισσότερες λεπτομέρειες. Η διερεύνηση των ενζύμων, των δομών τους και των δραστηριοτήτων τους αποτελεί σήμερα μια από τις πιο εκπληκτικές περιοχές έρευνας των επιστημών της χημείας και της βιολογίας.

Περίληψη.

Σε σταθερή θερμοκρασία, τα μόρια ενός αερίου δείγματος έχουν διαφορετικές ταχύτητες και κινητικές ενέργειες. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και το κλάσμα των μορίων με υψηλή κινητική ενέργεια. Μόνο οι συγκρούσεις ανάμεσα σε μόρια, στα οποία η συνολική ενέργεια ξεπερνά μια ελάχιστη τιμή, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αντίδραση. Η ελάχιστη τιμή ονομάζεται ενέργεια ενεργοποιήσεως. Αυτή η ενέργεια απαιτείται για να συνδεθούν τα αντιδρώντα μόρια και να σχηματίσουν το ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Το σύμπλοκο αυτό είναι δυνατόν στη συνέχεια να διασπασθεί και να δώσει τα προϊόντα ή τα αντιδρώντα.

Με τους καταλύτες μια αντίδραση πραγματοποιείται ταχύτερα εξασφαλίζοντας διαφορετικές οδούς που απαιτούν μικρότερη ενέργεια ενεργοποιήσεως συγκριτικά με τη μη καταλυτική αντίδραση. Έτσι, σε κάθε θερμοκρασία υπάρχουν περισσότερα μόρια με αρκετή ενέργεια για να ακολουθήσουν την καταλυτική διαδρομή απ' όσα έχουν την απαραίτητη υψηλή ενέργεια, που απαιτεί η μη καταλυτική αντίδραση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Νομίζετε ότι η αντίδραση (17) θα είναι βραδύτερη ή ταχύτερη από την αντίδραση (19); Να εξηγήσετε γιατί.
2. Να περιγράψετε τι συμβαίνει κατά το μετασχηματισμό των αντιδρώντων στο ενεργοποιημένο σύμπλοκο.

* *Σ.τ.Μ. Ταιριάζουν όπως ακριβώς το κλειδί με την κλειδαριά.*

Περίληψη κεφαλαίου

Οι χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται με διαφορετικές ταχύτητες (από τις εξαιρετικά βραδείες, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές, μέχρι τις εκρηκτικά ταχείες) και αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ένας από τους παράγοντες είναι η φύση των ουσιών που αντιδρούν. Διαφορετικές αντιδράσεις έχουν διαφορετικές τάσεις πραγματοποιήσεως. Κατά συνέπεια, έχουν και διαφορετικές ταχύτητες, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία και η συγκέντρωση, είναι σχεδόν όμοιες. Δεύτερος παράγοντας είναι η συγκέντρωση (ή η μερική πίεση). Συνήθως, αν και όχι πολύ συχνά, προκειμένου για μια συγκεκριμένη αντίδραση, η ταχύτητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση ενός εκ των αντιδρώντων. Ένας τρίτος παράγοντας είναι η θερμοκρασία. Γενικά σε όλες τις αντιδράσεις η ταχύτητα αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Η θεωρία των συγκρούσεων στην περίπτωση των αντιδράσεων εξηγεί τον τρόπο δράσεως αυτών των παραγόντων. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, τα μόρια, για να αντιδράσουν, πρέπει να συγκρουσθούν. Είναι σαφές ότι, όσο πιο συχνά συγκρούονται, τόσο πιο συχνά θα αντιδρούν. Έτσι εξηγείται και γιατί η αύξηση της συγκεντρώσεως ή της μερικής πιέσεως ενός αντιδρώντος είναι δυνατόν να αυξήσει την ταχύτητα. Αν εξετασθεί ο μηχανισμός της αντιδράσεως, μπορεί να διευκρινισθεί γιατί με την αύξηση της συγκεντρώσεως δεν αυξάνεται πάντα και η ταχύτητα ή αυξάνεται λιγότερο από όσο αναμενόταν. Επειδή οι ταυτόχρονες συγκρούσεις ανάμεσα σε περισσότερα από δύο μόρια είναι πολύ σπάνιες, οι αντιδράσεις, στις οποίες συμμετέχουν πολλά μόρια πραγματοποιούνται πιθανότατα με τη μεσολάβηση μιας σειράς υποαντιδράσεων. Η ταχύτητα της συνολικής αντιδράσεως καθορίζεται από την ταχύτητα του βραδυτέρου σταδίου του μηχανισμού. Το στάδιο αυτό ονομάζεται στάδιο καθορισμού της ταχύτητας. Μόνο οι συγκεντρώσεις των μορίων που συγκρούονται κατά το στάδιο αυτό επηρεάζουν την ταχύτητα της αντιδράσεως.

Η επίδραση της θερμοκρασίας γίνεται κατανοητή, αν ληφθεί ως δεδομένο ότι δύο μόρια θα πρέπει να συγκρουσθούν με αρκετή ενέργεια, ώστε να σχηματίσουν ένα ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Το σύμπλοκο μπορεί στη συνέχεια να διαχωρισθεί ή πίσω στα αντιδρώντα ή στα προϊόντα. Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται, για να σχηματισθεί το ενεργοποιημένο σύμπλοκο, ονομάζεται ενέργεια ενεργοποιήσεως. Από τις πολλές συγκρούσεις που πραγματοποιούνται, μόνο λίγες έχουν ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από την ενέργεια ενεργοποιήσεως. Κατά συνέπεια, μόνο ένα μέρος των συγκρούσεων οδηγεί σε προϊόντα αντιδράσεως. Καθώς αυξάνεται η θερμότητα, αυξάνεται ο αριθμός των μορίων με κινητική ενέργεια μεγαλύτερη από μια ορισμένη τιμή ενέργειας. Γι' αυτό και ο αριθμός των συγκρούσεων από τις οποίες προκύπτει ενέργεια αρκετή για το σχηματισμό του ενεργοποιημένου συμπλόκου αυξάνεται και η αντίδραση προχωρεί ταχύτερα.

Οι καταλύτες είναι ουσίες οι οποίες δεν καταναλώνονται σε μια αντίδραση. Καθιστούν δυνατή κάποια πορεία ή ένα μηχανισμό με τον οποίο η απαιτούμενη μέγιστη ενέργεια ενεργοποιήσεως γίνεται χαμηλότερη από εκείνη της μη καταλυτικής αντιδράσεως. Συνάγεται λοιπόν ότι ο καταλύτης αυξάνει την ταχύτητα μιας αντιδράσεως σε ορισμένη θερμοκρασία.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Η ταχύτητα κινήσεως ενός αυτοκινήτου εκφράζεται σε ***χιλιόμετρα ανά ώρα***. Να περιγράψετε διάφορους τρόπους με τους οποίους μπορείτε να εκφράσετε την ταχύτητα μιας χημικής αντιδράσεως.
2. Φανταστείτε δύο αέρια, Α και Β, μέσα σε ένα δοχείο σε θερμοκρασία δωματίου. Τα δύο αυτά αέρια είναι δυνατόν να αντιδράσουν κατά την ακόλουθη αντίδραση:

   $$A + B = \Gamma + \Delta$$

   Να καθορίσετε και να δικαιολογήσετε τη μεταβολή της ταχύτητας της αντιδράσεως αυτών των δύο αερίων, αν:
   (α) Διπλασιασθεί η πίεση.
   (β) Διπλασιασθεί ο αριθμός των μορίων του αερίου Α.
   (γ) Μειωθεί η θερμοκρασία και παραμείνει ο όγκος σταθερός.
3. Σε τι διαφέρει ένα ομοιογενές σύστημα από ένα ανομοιογενές; Να περιγράψετε δύο καταστάσεις, στις οποίες οι αντιδρώσες ουσίες αναμιγνύονται σε ένα ετερογενές

σύστημα. Να επαναλάβετε το ίδιο για δυο ουσίες που αντιδρούν όταν αναμιγνύονται σε ένα ομοιογενές σύστημα. Να χρησιμοποιήσετε διαφορετικά συστήματα από αυτά που περιγράφονται στο βιβλίο.

4. Ποιο από τα δύο ομοιογενή συστήματα που περιγράψατε στην ερώτηση 3 έχει τη μεγαλύτερη ταχύτητα αντιδράσεως; Ποιο από τα δύο ετερογενή συστήματα θα αντιδράσει ταχύτερα; Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας. Θεωρήστε ότι ισχύουν οι ίδιες συνθήκες και στα δύο ζεύγη.
5. Γιατί ένα ξυλαράκι καίγεται με μικρή ταχύτητα στον αέρα, ενώ τα πριονίδια από το ίδιο ξύλο καίγονται πολύ γρήγορα, αν διασκορπισθούν και αναφλεγούν;
6. Κατά τη σύγκρουση σωματιδίων, ποιος πρωταρχικός παράγοντας καθορίζει το αν θα πραγματοποιηθεί η αντίδραση;
7. Με βάση όσα μάθατε σχετικά με τις αντιδράσεις, τις ταχύτητες αντιδράσεων και τη θεωρία των συγκρούσεων, να σημειώσετε ποια από τις ακόλουθες φράσεις είναι σωστή και ποια λάθος, και να δικαιολογήσετε την επιλογή σας.
   (α) Κατά την ανάμιξη δύο αερίων μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, η ελάττωση του όγκου του δοχείου περιορίζει γενικά την ταχύτητα της αντιδράσεως.
   (β) Μεταβολή στη συγκέντρωση ενός μόνο εκ των αντιδρώντων θα αυξήσει την ταχύτητα αντιδράσεως των αερίων στην ερώτηση (α).
   (γ) Η αύξηση του αριθμού των συγκρούσεων ανάμεσα σε μόρια των αντιδρώντων αυξάνει αυτόματα την ταχύτητα της αντιδράσεως.
8. Να αναφέρετε τρεις μεθόδους, με τις οποίες είναι δυνατόν να αυξηθεί η πίεση ενός αερίου συστήματος.
9. Αναφέρατε μερικούς τρόπους, με τους οποίους μπορείτε να αυξήσετε την ταχύτητα καύσεως της φλόγας ενός κεριού. Να περιγράψετε καθέναν από αυτούς.
10. Να χρησιμοποιήσετε την αρχή που ορίζει το "κατώφλι ενέργειας", για να περιγράψετε τη "ζωή" και το "θάνατο" (σπάσιμο) ενός ποτηριού του νερού (υποθέστε ότι κάποια στιγμή σας πέφτει από το χέρι).
11. Ποια σχέση υπάρχει ανάμεσα στην ταχύτητα, με την οποία συντελείται μια αντίδραση σε θερμοκρασία δωματίου, και τον αριθμό των δεσμών οι οποίοι μετατίθενται κατά την αντίδραση;
12. Να εξηγήσετε με δικά σας λόγια τι είναι ο μηχανισμός μιας αντιδράσεως. Ποιο στάδιο στο μηχανισμό μιας αντιδράσεως είναι το καθοριστικό της ταχύτητας;
13. Μια ομάδα σπουδαστών πρόκειται να ετοιμάσει 50 αντίγραφα ενός ευρετηρίου των 10 σελίδων. Οι σελίδες έχουν τυπωθεί και στοιβαχθεί σε 10 στήλες, σελίδα σελίδα. Οι σελίδες θα πρέπει (α) να τοποθετηθούν κατά αριθμητική σειρά, (β) να τακτοποιηθούν σε μια μόνο στήλη, (γ) να συρραφούν καθ' ομάδες. Αν συνεργασθούν τρεις σπουδαστές, κάνοντας ο καθένας διαφορετική δουλειά, ποιο θα είναι το στάδιο που καθορίζει την ταχύτητα; Πώς θα επηρεασθεί η συνολική ταχύτητα, αν οι σπουδαστές που εκτελούν το πρώτο στάδιο αποκτήσουν δέκα νέους βοηθούς; Πώς θα επηρεασθεί η ταχύτητα, αν οι δέκα βοηθοί συνεργασθούν με τους σπουδαστές που εκτελούν (i) το δεύτερο στάδιο, (ii) το τρίτο στάδιο;
14. Να εξηγήσετε με τη βοήθεια των μοριακών συγκρούσεων γιατί η αύξηση στη συγκέντρωση ενός εκ των αντιδρώντων οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας της αντιδράσεως.
15. Το μεθάνιο αντιδρά πολύ αργά με το οξυγόνο. Η αύξηση της συγκεντρώσεως του μεθανίου δεν επιταχύνει σημαντικά την αντίδραση. Γιατί; Αν όμως παραχθεί μια σπίθα μέσα σε ατμόσφαιρα μεθανίου-οξυγόνου, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των αντιδρώντων, τόσο ταχύτερη είναι η αντίδραση. Να το εξηγήσετε.
16. Νομίζετε ότι η παρακάτω εξίσωση της συνολικής αντιδράσεως παριστάνει το μηχανισμό καύσεως του αιθυλενίου, C_2H_4; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

$$C_2H_4(\alpha) + 3O_2(\alpha) \rightarrow 2CO_2(\alpha) + 2H_2O(\alpha)$$

17. Μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C σπανίως συνεπάγεται το διπλασιασμό της μέσης κινητικής ενέργειας των σωματιδίων. Κατά συνέπεια, και ο αριθμός των συγκρούσεων δεν διπλασιάζεται. Όμως, με αυτήν την αύξηση της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να διπλασιασθεί η ταχύτητα μιας βραδείας αντιδράσεως. Εξηγήστε γιατί.
18. Να δικαιολογήσετε, σύμφωνα με το σχή-

μα 21-12, γιατί η κινητική ενέργεια ελαττώνεται, όταν το NO_2 και το CO ανεβαίνουν στην αριστερή πλευρά του φράγματος; Γιατί η κινητική ενέργεια αυξάνεται, καθώς το CO_2 και το NO κατέρχονται τη δεξιά του πλευρά; Να δώσετε εξηγήσεις με βάση την αρχή διατηρήσεως της ενέργειας και με βάση όσα συμβαίνουν ανάμεσα στα διάφορα σωματίδια.

19. Αν λάβετε υπόψη σας ότι για τη μετατροπή του γραφίτη σε διαμάντι απαιτείται πολύ λίγη ενέργεια, τότε γιατί νομίζετε ότι η βιομηχανική παρασκευή των διαμαντιών είναι τόσο δύσκολη;
20. Ο φωσφόρος, P_4, όταν εκτεθεί στον αέρα, καίγεται αυτόματα και σχηματίζεται P_4O_{10}. Η ΔΗ αυτής της αντιδράσεως είναι –712 χιλιοθερμίδες (kilocalories) ανά mole P_4. (α) Να σχεδιάσετε ένα ενεργειακό διάγραμμα της συνολικής αντιδράσεως. Να προσδιορίσετε τα κρίσιμα σημεία της καμπύλης. (β) Πόση θερμότητα εκλύεται, όταν καίγονται 12,4 γραμμάρια φωσφόρου;
21. Εξηγήστε γιατί ένα αναμμένο σπίρτο ανάβει ένα κερί;
22. Σχεδιάσετε ένα ενεργειακό διάγραμμα για την καύση του άνθρακα, όταν ο C έχει τη μορφή μεγάλων κομματιών κάρβουνου.

$$C(\sigma\tau) + O_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha)$$

Νομίζετε ότι θα αλλάξει η καμπύλη, αν χρησιμοποιηθεί λεπτή σκόνη άνθρακα αντί για κομμάτια κάρβουνου; Εξηγήστε.

23. Σχεδιάστε ένα πρόχειρο ενεργειακό διάγραμμα που να παριστάνει μια ενδόθερμη αντίδραση. Να ονομάσετε τα τμήματα της καμπύλης που παριστάνουν το ενεργοποιημένο σύμπλοκο, την ενέργεια ενεργοποιήσεως και τη συνολική ενέργεια που απορροφάται.
24. Αναφέρατε δύο παράγοντες που αυξάνουν την ταχύτητα μιας αντιδράσεως και εξηγήστε γιατί προκαλούν αυτήν την αύξηση.
25. Κατά τη διαδικασία του ***Haber***, μια σημαντική βιομηχανική μέθοδο παραγωγής αμμωνίας, πραγματοποιείται συνολικά η παρακάτω αντίδραση:

$$N_2(\alpha) + 3H_2(\alpha) \rightarrow 2NH_3(\alpha) + 24 \text{ kcal}$$

Υπό πίεση 1000 atm και σε θερμοκρασία 200°C είναι δυνατόν να επιτευχθεί απόδοση 98%. Κατά τη διαδικασία χρησιμοποιείται ένας καταλύτης. Ο καταλύτης αποτελείται συνήθως από ανακατεμένα λεπτόκοκκα οξείδια του σιδήρου, τα οποία περιέχουν μικρές ποσότητες οξειδίου του καλίου, K_2O_3, και οξειδίου του αργιλίου, Al_2O_3.

(α) Η αντίδραση είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη;
(β) Να υποτεθεί ότι η αντίδραση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία 500°C και υπό πίεση 350 atm, γιατί θα είναι η απόδοση σε αυτές τις συνθήκες μόνο 30%;
(γ) Ποια είναι η ΔH της αντιδράσεως σε kcal/mole της $NH_3(\alpha)$;
(δ) Πόσα γραμμάρια υδρογόνου πρέπει να αντιδράσουν, για να σχηματίσουν 1,60 γραμμάρια αμμωνίας;

26. Τι ονομάζομε καταλύτη; Να περιγράψετε τον τρόπο με τον οποίο δρουν οι καταλύτες σε μια χημική αντίδραση.
27. Αν προστίθετο σε ένα αντιδρών σύστημα ένας καταλύτης, τι αποτέλεσμα θα είχαμε ***αν είχαμε,*** στην καμπύλη κατανομής της κινητικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Χημική ισορροπία



Οι αντίθετες δυνάμεις και οι αντίθετες κινήσεις των μοτοσυκλετιστών δίνουν εκ πρώτης όψεως την εντύπωση ότι δεν υπάρχει κάποια μεταβολή. Στις χημικές διαδικασίες τα σωματίδια αλληλεπιδρούν κατ' ανάλογο τρόπο και οδηγούν σε μια κατάσταση, που οι χημικοί την αποκαλούν "κατάσταση χημικής ισορροπίας".

Συνήθως με τη λέξη ισορροπία δηλώνομε μια μόνιμη, ή τουλάχιστον προσωρινά σταθερή κατάσταση, η οποία δημιουργείται από εξισορρόπηση των δυνάμεων που δρουν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Και στη χημεία η λέξη ισορροπία έχει την ίδια γενική έννοια· υπάρχουν όμως μερικές σημαντικές διαφορές.

Μέχρι τώρα υποθέταμε ότι οι χημικές αντιδράσεις ολοκληρώνονται. Δηλαδή φθάνουν στην κατάσταση εκείνη όπου, αν έχει αντιδράσει η σωστή αναλογία αντιδρώντων, δεν παραμένει υπόλοιπο αντιδρώντων και έχει παραχθεί το σύνολο της ποσότητας καθενός από τα προϊόντα που αναφέρονται στην εξίσωση. Αν και ***φαίνεται*** ότι κάτι τέτοιο συμβαίνει σε πολλές περιπτώσεις, στην πραγματικότητα δεν γίνεται έτσι. Πάντα δημιουργείται μια κατάσταση ισορροπίας, στην οποία εξακολουθεί να συνυπάρχει κάποια ποσότητα (ίσως εξαιρετικά μικρή) αντιδρώντων και προϊόντων. Αν και τα αντιδρώντα είναι αυτά που σχηματίζουν τα προϊόντα, κατά κάποιο τρόπο και τα "προϊόντα" αντιδρούν μεταξύ τους και οδηγούν στην ανασύνθεση των "αντιδρώντων".

Τι είναι αυτό που συντελεί στη "μη ολοκλήρωση" των αντιδράσεων;

Εξετάζοντας τη χημική ισορροπία από ποιοτική άποψη

22.1 Ισορροπία στις χημικές αντιδράσεις.

Στο Κεφάλαιο 21 μελετήσαμε την ταχύτητα της αντιδράσεως ανάμεσα σε CO και NO_2.

$$CO(\alpha) + NO_2(\alpha) \rightarrow CO_2(\alpha) + NO(\alpha) \qquad (1)$$

Μελετήσαμε επίσης την ταχύτητα της αντίστροφης προς την (1) αντιδράσεως. Πρόκειται για την αντίδραση ανάμεσα στο CO_2 και στο NO:

$$CO_2(\alpha) + NO(\alpha) \rightarrow CO(\alpha) + NO_2(\alpha) \qquad (2)$$

Με βάση αυτές τις αντιδράσεις δημιουργείται το παρακάτω ερώτημα: Πώς είναι δυνατόν μια αντίδραση να προχωρεί και προς τις δύο κατευθύνσεις;

Αρχικά θα πρέπει να τονίσομε ότι οφείλομε να εξηγήσομε γιατί πράγματι αυτή η αντίδραση ***οδεύει*** και προς τις δύο κατευθύνσεις. Αν αναμιχθεί $CO(\alpha)$ και $NO_2(\alpha)$, ξεκινά η αντίδραση (1). Μόλις συμβεί αυτό, σχηματίζεται $CO_2(\alpha)$ και $NO(\alpha)$. Όταν αρχίσουν να συσσωρεύονται αυτά τα δύο προϊόντα, ξεκινά η αντίδραση (2), η οποία αναιρεί την αντίδραση (1). Οι δύο αντιδράσεις αλληλοαναιρούνται. Ποια από τις δύο θα επικρατήσει;

Στην προκειμένη περίπτωση, είναι δυνατόν κάποιος να παρακολουθήσει την εξέλιξη της αντιδράσεως (1) παρατηρώντας την ένταση του καστανέρυθρου χρώματος του NO_2. Είναι δυνατόν επίσης να πραγματοποιηθεί η αντίδραση (2) ξεκινώντας από καθαρό CO_2 και NO. Και στις δύο περιπτώσεις, η ένταση του χρώματος που οφείλεται στο NO_2 θα αλλάξει στην αρχή πολύ έντονα. Στην αντίδραση (1) το χρώμα θα εξασθενήσει, ενώ στην αντίδραση (2) θα γίνει εντονότερο. Πάντως, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, θα σταματήσει η μεταβολή του χρώματος. Τη στιγμή που θα συμβεί αυτό, θεωρείται ότι η αντίδραση έφτασε σε μια ***κατάσταση ισορροπίας***.

22.2 Ισορροπία κατά την αλλαγή φάσεως.

Με το προηγούμενο παράδειγμα αντιλαμβανόμαστε πλήρως την έννοια της ισορροπίας μιας χημικής αντιδράσεως. Ένα άλλο είδος ισορροπίας, που είναι σημαντική στη χημεία, είναι εκείνη η οποία δημιουργείται κατά τις αλλαγές φάσεως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ισορροπία που υπάρχει ανάμεσα σε ένα υγρό και τους ατμούς του.

Ας εξετάσομε τι συμβαίνει, όταν αδειάζομε μια ποσότητα νερού θερμοκρασίας 20°C μέσα σε μια φιάλη και στη συνέχεια την κλείνομε αεροστεγώς. Όπως έχει προκύψει από πειράματα, φαίνεται ότι ένα μέρος των μορίων του νερού εγκαταλείπουν το υγρό και εισέρχονται στην αέρια φάση, γίνονται δηλαδή υδρατμοί. Η μερική πίεση του νερού μέσα στη φιάλη αυξάνεται. Όταν φθάσει στα 17,5 Torr, δεν παρατηρείται άλλη μεταβολή. Εφεξής, η ποσότητα του υπόλοιπου υγρού παραμένει σταθερή. Επίσης, η μερική πίεση των υδρατμών μέσα στη φιάλη παραμένει στα 17,5 Torr, όσο διάστημα η θερμοκρασία διατηρείται στους 20°C. Η μερική αυτή πίεση ονομάζεται ***τάση ατμών*** του νερού στους 20°C. Σε αυτήν την τάση ατμών το

υγροποιημένο νερό και οι υδρατμοί είναι δυνατόν να συνυπάρξουν επ' αόριστον στους 20˚C. Η τάση αυτή των ατμών, τα 17,5 Torr, είναι ίδια είτε συνυπάρχει αέρας στη φιάλη είτε όχι. Πρόκειται για ιδιότητα του νερού. Αν μέσα στη φιάλη υπήρχε κενό, το υγρό θα εξατμιζόταν πάλι μέχρι το σημείο στο οποίο η πίεσή του θα είχε ανέλθει από 0 Torr σε 17,5 Torr. Αν στη φιάλη επικρατούσε αρχικά πίεση 750 Torr, το υγρό θα εξατμιζόταν, μέχρι να ανέλθει η πίεσή του από 750 Torr σε 767,5 Torr. Με αφαίρεση της πρώτης από τη δεύτερη τιμή της πιέσεως διαπιστώνομε ότι η μερική πίεση των υδρατμών αυξήθηκε και πάλι από 0 Torr σε 17,5 Torr.

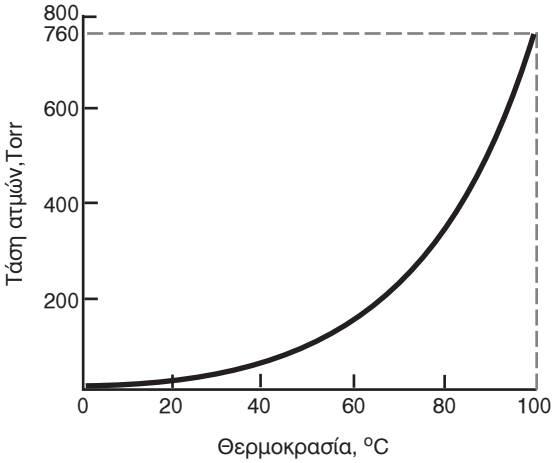
Όταν ένα υγρό είναι σε επαφή με τους ατμούς του και η μερική πίεση των ατμών αυτού του υγρού είναι ίση με την τάση των ατμών του, τότε λέμε ότι το υγρό και οι ατμοί του βρίσκονται σε ισορροπία. Κατά την ισορροπία δεν πραγματοποιούνται μεταβολές που να μπορούν να μετρηθούν.

Η τάση ατμών του νερού στους 20˚C είναι 17,5 Torr. Στους 40˚C η τάση ατμών είναι 55,3 Torr και στους 60˚C είναι 149,4 Torr. Οι αριθμοί αυτοί δείχνουν ότι η τάση ατμών του νερού αυξάνεται με τη θερμοκρασία (βλ. το διάγραμμα του σχήματος 22-1).

Η αιθυλική αλκοόλη σε θερμοκρασία δωματίου είναι επίσης υγρό. Η τάση των ατμών της στους 20˚C είναι 44 Torr, δηλαδή υψηλότερη από την τάση των ατμών του νερού στην ίδια θερμοκρασία. Στους 40˚C η αιθυλική αλκοόλη έχει τάση ατμών 134 Torr, ενώ στους 60˚C 352 Torr. Και πάλι βλέπομε ότι η τάση των ατμών της αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Αυτό ισχύει πάντα. ***Η τάση ατμών όλων των υγρών αυξάνεται, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.***

22.3 Σημείο βρασμού.

Σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, είναι δυνατόν μόρια να περάσουν από την υγρή στην αέρια φάση διαφεύγοντας από την επιφάνεια του υγρού. Τι νομίζετε ότι συμβαίνει, όταν η πίεση που δημιουργείται από τους ατμούς αυξάνεται τόσο, ώστε να εξισώνεται με την πίεση η οποία ασκείται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του υγρού; Τι συμβαίνει δηλαδή, όταν η τάση ατμών του υγρού ασκεί την ίδια πίεση που ασκεί και η ατμόσφαιρα στο υγρό; Η απάντηση είναι ότι ατμοί σχηματίζονται όχι μόνο στη επιφάνεια αλλά και ***μέσα*** στη μάζα του υγρού όπου δημιουργούνται φυσαλίδες. Όταν η τάση ατμών του υγρού γίνει τόσο μεγάλη, ώστε να εξισωθεί με την ατμοσφαιρική πίεση, τότε το υγρό βράζει. Η θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών εξισώνεται με την ατμοσφαιρική πίεση ονομάζεται ***σημείο βρασμού***.

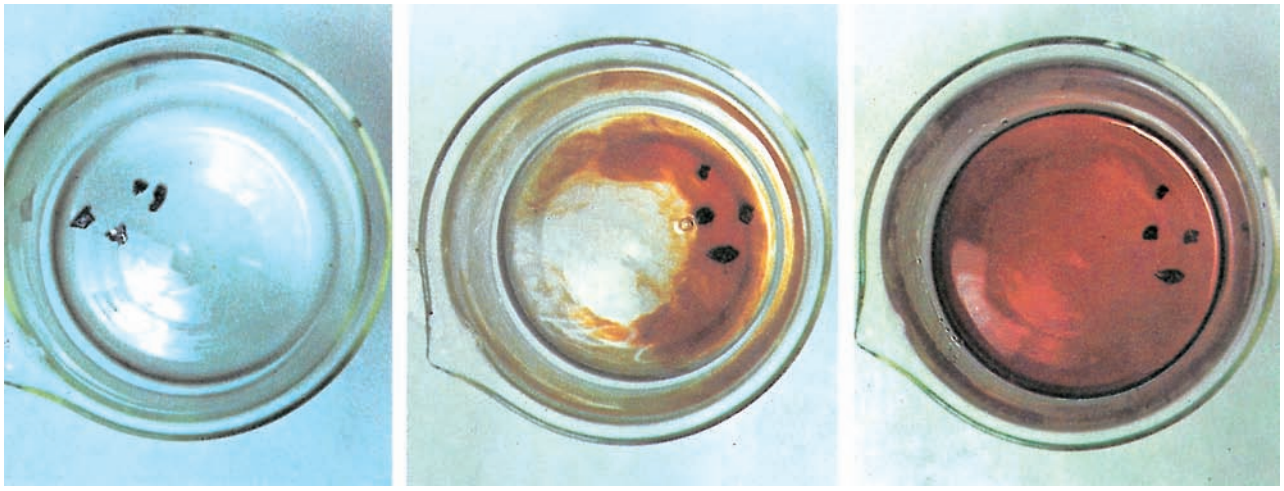


ΣΧΗΜΑ 22-1. *Η τάση των ατμών πάνω από το νερό, σε υγρή κατάσταση, αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Το σχήμα της καμπύλης είναι χαρακτηριστικό για όλα τα υγρά.*

Όπως αντιλαμβάνεστε, το σημείο βρασμού εξαρτάται από την πίεση του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, αν η πίεση του περιβάλλοντος είναι 760 Torr, το νερό βράζει στους 100˚C. Είναι η θερμοκρασία στην οποία η τάση ατμών του νερού είναι 760 Torr, όπως δείχνει και το σχήμα 21-1. Η αιθυλική αλκοόλη αποκτά τάση ατμών ίση με 760 Torr στους 78,5˚C. Όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 760 Torr, η αιθυλική αλκοόλη βράζει στους 78,5˚C. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η κανονική τάση ατμών του νερού και της αιθυλικής αλκοόλης είναι αντίστοιχα 100˚C και 78,5˚C. ***Κανονικό σημείο βρασμού*** ενός υγρού είναι η θερμοκρασία, στην οποία η τάση ατμών αυτού του υγρού ισούται ακριβώς με μία ατμόσφαιρα, 760 Torr.

Ας υποθέσομε ότι η ατμοσφαιρική πίεση πέφτει στα 750 Torr, όπως συμβαίνει καμιά φορά πριν από μια καταιγίδα*. Σε αυτήν την περίπτωση, είναι δυνατόν να σχηματισθούν φυσαλίδες ατμών οπουδήποτε μέσα στο νερό σε θερμοκρασία 99,6˚C, επειδή η τάση ατμών του νερού στους 99,6˚C είναι 750 Torr. Κατά συνέπεια, όταν η πίεση του περιβάλλοντος είναι 750 Torr, το νερό βράζει στους 99,6˚C.

* *Σ.τ.Μ. Ή στην κορυφή ενός βουνού.*



(α) (β) (γ)

ΣΧΗΜΑ 22-2. *Μόλις προσετέθηκαν κρύσταλλοι ιωδίου στο διάλυμα νερού–αλκοόλης (α). Μετά από λίγο, μέρος του ιωδίου έχει διαλυθεί (β). Είναι προφανές ότι δεν διαλύεται άλλο ιώδιο· έχει αποκατασταθεί ισορροπία (γ).*

22.4 Ισορροπία διαλυτότητας.

Το σχήμα 22-2 δείχνει την προσθήκη στερεού ιωδίου σε ένα μίγμα νερού και αλκοόλης. Αρχικά, το υγρό είναι άχρωμο, αλλά πολύ σύντομα κοντά στο στερεό εμφανίζεται ένα κόκκινο χρώμα. Με την ανάδευση του υγρού το κόκκινο χρώμα μετακινείται προς τα έξω. Η κίνηση του κόκκινου χρώματος φανερώνει ότι το στερεό ιώδιο διαλύεται και ενσωματώνεται στο υγρό. Όσο περνά η ώρα, το υγρό αποκτά όλο και εντονότερο χρώμα, ενώ το μέγεθος των κρυστάλλων του στερεού ιωδίου ελαττώνεται. Τελικά όμως, σταματά η μεταβολή του χρώματος, ενώ το στερεό εξακολουθεί να υπάρχει και το μέγεθος των κρυστάλλων του ιωδίου δεν μειώνεται. Επειδή δεν διαπιστώνεται πια άλλη αλλαγή, θεωρείται ότι υπάρχει ισορροπία.

Πολλά άλλα στερεά διαλύονται στο νερό ή σε άλλα υγρά, μέχρι να δημιουργηθεί κατάσταση ισορροπίας. Ισορροπία επιτυγχάνεται, όταν φαίνεται ότι σταματά η διαλυτοποίηση του στερεού.

22.5 Εξακρίβωση της καταστάσεως ισορροπίας.

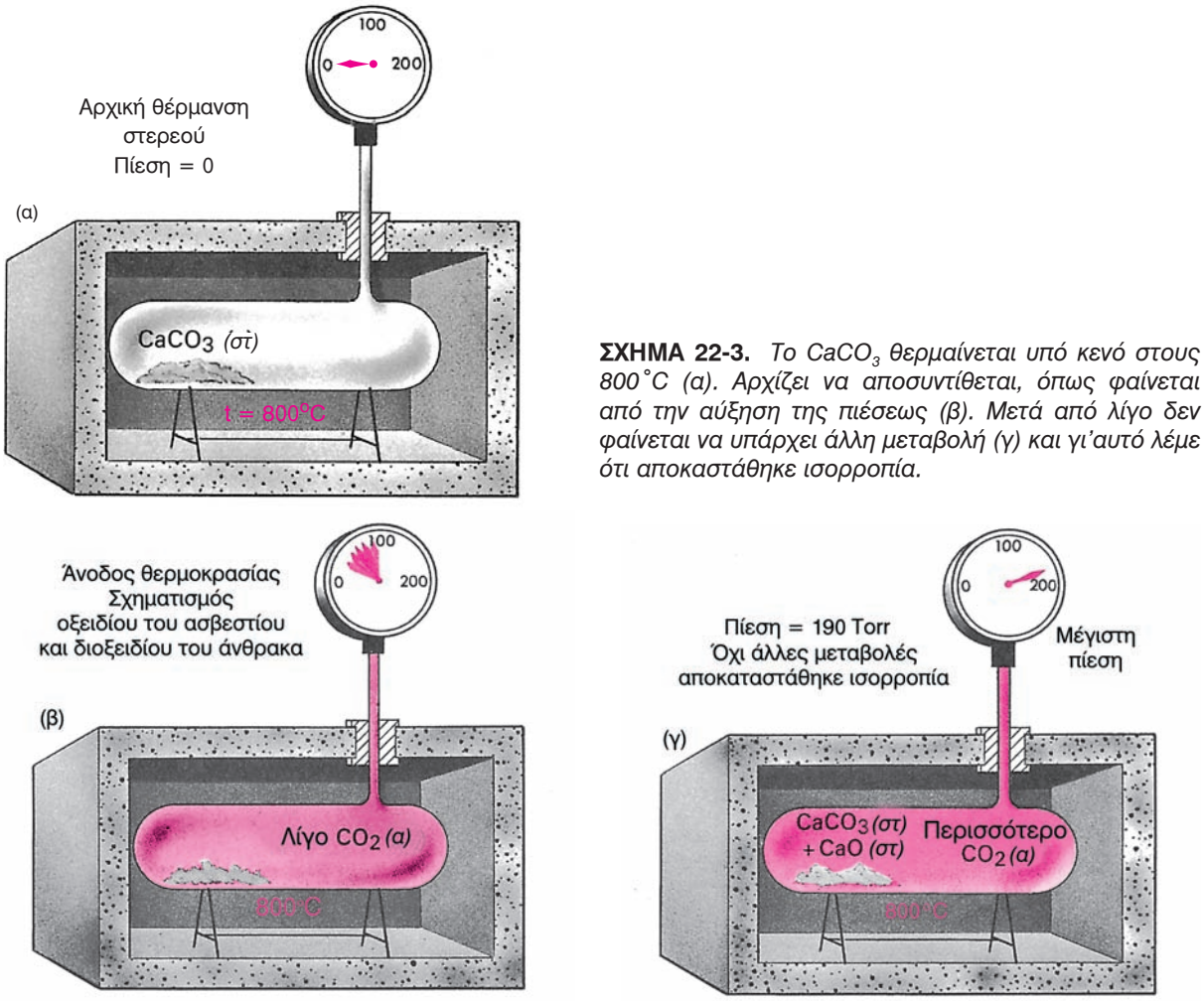
Καταστάσεις ισορροπίας, όπως αυτές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δημιουργούν μια εύλογη απορία. Πώς αντιλαμβανόμαστε την ισορροπία; Αν ξανασκεφθείτε όσα ελέχθησαν σχετικά με την ισορροπία στα παραδείγματα που εξετάσθηκαν, τότε θα βρείτε και την απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Σε όλες τις περιπτώσεις, αποκαταστάθηκε ισορροπία, όταν φάνηκε ότι δεν υπήρχε καμιά περαιτέρω μεταβολή. Όταν ιδιότητες οι οποίες μπορούν να καταγραφούν, όπως η πίεση, το χρώμα και η ποσότητα του στερεού, παύουν να μεταβάλλονται, τότε λέμε ότι έχει επέλθει ισορροπία. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί και στο κεφάλαιο 5, ιδιότητες όπως αυτές, τις οποίες μπορούμε να παρατηρήσομε κατ' ευθείαν με τις αισθήσεις μας, ονομάζονται μακροσκοπικές ιδιότητες. Κατά συνέπεια, είναι δυνατόν να πούμε ότι ***η ισορροπία χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων***.

Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα αυτό, ας εξετάσομε την παρακάτω αντίδραση. Ανθρακικό ασβέστιο,* $CaCO_3$, αποσυντίθεται κατά τη θέρμανση και σχηματίζει αέριο διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, και οξείδιο του ασβεστίου, (ασβέστης), CaO.

$$CaCO_3(\sigma\tau) \xrightarrow{\text{υψηλή θερμ.}} CaO\,(\sigma\tau) + CO_2(\alpha) \qquad (3)$$

Στο σχήμα 22-3 φαίνονται τα στάδια θερμάνσεως του στερεού $CaCO_3$, αρχικά υπό κενό, στους 800°C. Η αποσύνθεση αρχίζει σύμφωνα με την αντίδραση (3). Στο σχήμα 22-3β φαίνεται η αύξηση της πιέσεως του αερίου. Η πίεση εξακολουθεί να αυξάνει, μέχρι να φθάσει στα 190

* *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για την καθαρή μαρμαρόσκονη.*



ΣΧΗΜΑ 22-3. *Το $CaCO_3$ θερμαίνεται υπό κενό στους 800°C (α). Αρχίζει να αποσυντίθεται, όπως φαίνεται από την αύξηση της πιέσεως (β). Μετά από λίγο δεν φαίνεται να υπάρχει άλλη μεταβολή (γ) και γι'αυτό λέμε ότι αποκαστάθηκε ισορροπία.*

Torr, όπως φαίνεται στο σχήμα 22-3γ. Από το σημείο αυτό και εφεξής δεν εμφανίζεται άλλη μεταβολή. Ακριβώς επειδή δεν φαίνεται άλλη μεταβολή, λέμε ότι το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία. Όπως και προηγουμένως, η ισορροπία χαρακτηρίζεται από σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων.

Βέβαια αυτή η σταθερότητα δεν είναι η μόνη προϋπόθεση. Ας παρατηρήσομε τη φλόγα ενός εργαστηριακού λύχνου, την οποία θα φαντασθούμε ως ένα σύστημα. ***Σύστημα*** ονομάζομε κάθε χώρο και τα υλικά που υπάρχουν σε αυτόν, τα οποία επιθυμούμε κάθε φορά να μελετήσομε. Το σύστημα της φλόγας διαθέτει μια καλά καθορισμένη δομή, έναν εσωτερικό κώνο, που περιβάλλεται από μια φωτεινή περιοχή, η οποία δεν φαίνεται να αλλάζει. Η μέτρηση της θερμοκρασίας σε ένα ορισμένο σημείο της φλόγας δείχνει ότι η θερμοκρασία σε αυτό το σημείο είναι σταθερή. Σε άλλο σημείο της φλόγας η θερμοκρασία είναι ίσως διαφορετική, αλλά είναι πάλι σταθερή. Δεν αλλάζει με το χρόνο. Η μέτρηση της ταχύτητας ροής του αερίου δείχνει ότι υπάρχει μια σταθερή ροή αερίου μέσα στη φλόγα. Όμως, η φλόγα ενός εργαστηριακού λύχνου δεν βρίσκεται σε ισορροπία, γιατί πραγματοποιείται μια χημική αλλαγή. Μεθάνιο, CH_4, και οξυγόνο, O_2, τροφοδοτούν συνέχεια τη φλόγα, ενώ διοξείδιο του άνθρακα, CO_2, μαζί με νερό, H_2O, παράγονται και απομακρύνονται συνεχώς. Κάποιες ουσίες εισέρχονται και κάποιες άλλες απομακρύνονται διαρκώς. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται ανοικτό σύστημα. Επί πλέον, η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια σε όλη την περιοχή της φλόγας. Ισορροπία είναι δυνατόν να υπάρξει μόνο σε ένα ***κλειστό σύστημα με την ίδια θερμοκρασία***. Ένα ***κλειστό σύστημα*** περιέχει σταθερή ποσότητα ύλης.

Τώρα είναι δυνατόν να δοθεί μια πλήρης περιγραφή του τρόπου εξακριβώσεως της ισορροπίας. ***Ισορροπία*** είναι η σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων ενός κλειστού συστήματος με την ίδια θερμοκρασία.



Norbert Rillieux (1806 – 1894)

Ο Norbert Rillieux ήταν ο γιος του Vincent Rillieux, ιδιοκτήτη φυτειών σακχαροκαλάμων στη Νέα Ορλεάνη των ΗΠΑ, και της σκλάβας αγαπημένης του Vonstance Vivant. Ο πατέρας και η μητέρα του ζούσαν μαζί ως σύζυγοι και τον ανέθρεψαν ως ελεύθερο άνθρωπο με όλα τα προνόμια που ταίριαζαν στο γιο ενός πλούσιου ανθρώπου. Μορφώθηκε τόσο από ιδιωτικούς δασκάλους όσο και στα τοπικά καθολικά σχολεία.

Κατά τη νεανική ηλικία ο Rillieux εντυπωσιάσθηκε από την τρομακτικά σκληρή δουλειά και τις αναποτελεσματικές μεθόδους εκχυλίσεως του χυμού του σακχαροκαλάμου και μετατροπής του σε ζάχαρη. Ο χυμός από τα σπασμένα καλάμια θερμαινόταν σε μια σειρά από καζάνια και ταψιά, τα οποία συχνά ονομάζονταν και “Τρένο της Τζαμάικα”*. Πολυάριθμοι σκλάβοι μετέφεραν το χυμό από το ένα δοχείο στο άλλο με κουτάλες· έτσι, αυτός γινόταν βαθμιαία πιο παχύρρευστος, μέχρι να σχηματισθούν τελικά στο τελευταίο ταψί κρύσταλλοι ζάχαρης. Η διαδικασία αυτή ήταν κοπιαστική και επικίνδυνη. Πολλοί σκλάβοι είχαν πάθει σοβαρά εγκαύματα, όταν το θερμό υγρό έπεφτε πάνω τους. Το τελικό προϊόν δεν θύμιζε σε τίποτα την λευκή κρυσταλλική ζάχαρη, την οποία σήμερα γνωρίζομε όλοι.

Όταν ο Rillieux έφθασε σε ηλικία να σπουδάσει, ήθελε να μελετήσει μηχανική, αλλά κανένα πανεπιστήμιο στις Ηνωμένες Πολιτείες δεν τον δεχόταν. Κατόπιν αυτού, ο πατέρας του τον έστειλε στην Ecole Centrale στη Γαλλία, απ’ όπου και απεφοίτησε το 1830. Σύντομα διορίσθηκε εκεί και ήταν ο νεότερος καθηγητής που υπήρξε ποτέ σε αυτό το σχολείο.

Οι πρώτες μελέτες του στη μηχανική εστιάζονταν κυρίως στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ατμομηχανών. Γνώριζε ότι τα υγρά βράζουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, αν μειωθεί η πίεση που ασκείται πάνω σε αυτά. Καθώς θυμόταν την αναποτελεσματική μέθοδο παρασκευής της ζάχαρης, σκέφθηκε την τεράστια πρόοδο που θα σημειωνόταν, αν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί βρασμός του χυμού της ζάχαρης μέσα σε ένα κλειστό δοχείο υπό κενό. Έπειτα από προσπάθειες αρκετών ετών εφεύρε τους «πολλαπλούς συμπυκνωτές κενού». Χρησιμοποιούνταν δηλαδή οι ατμοί που δημιουργούνταν στην πρώτη συσκευή, για να θερμανθεί το περιεχόμενο του επόμενου στη σειρά συμπυκνωτή**.

Όταν επέστρεψε στις Ηνωμένες Πολιτείες, το 1843, έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (πατέντα) για την ανακάλυψή του. Με τη βοήθεια και την ενθάρρυνση αρκετών ιδιοκτητών φυτειών, κατάφερε τελικά να κατασκευάσει έναν αξιόπιστο συμπυκνωτή και το 1846 κατοχύρωσε με ένα νέο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το βελτιωμένο τύπο της συσκευής του.

Ο συμπυκνωτής του Rillieux βοήθησε αποτελεσματικά τη βιομηχανία της ζάχαρης, γιατί έτσι δινόταν πλέον η δυνατότητα παραγωγής ζάχαρης καλύτερης ποιότητας και σε εκπληκτικά μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με την παλαιά μέθοδο (τρένο της Τζαμάικα). Οι σκλάβοι δεν αντιμετώπιζαν πια τους κινδύνους της παλαιάς παραγωγικής διαδικασίας. Παράλληλα, η αποτελεσματικότητα του νέου συμπυκνωτή αύξησε σημαντικά τη ζήτηση ζάχαρης και κατά συνέπεια την ανάγκη να εργάζονται περισσότεροι σκλάβοι στις φυτείες με τα σακχαροκάλαμα.

Το 1854 ο Rillieux επέστρεψε στο Παρίσι, όπου υπηρέτησε ως καθηγητής στο παλαιό του σχολείο (Ecole Centrale). Τελικά έγινε διευθυντής του σχολείου και απέκτησε μεγάλη φήμη στον τομέα της μηχανικής.

* *Σ.τ.Μ. Με διαδοχικές εκπλύσεις παραλαμβανόταν όλη τη ζάχαρη.*

** *Σ.τ.Μ. Συνδυασμός πολλαπλών συμπυκνωτών εκ των οποίων θερμαίνεται ο πρώτος και οι ατμοί του υγρού που εξατμίζεται χρησιμοποιούνται στην επόμενη βαθμίδα.*

Περίληψη.

Κατάσταση ισορροπίας είναι δυνατόν να υπάρξει κατά τις χημικές αντιδράσεις, κατά την αλλαγή φάσεως και κατά το σχηματισμό ενός διαλύματος. Η ισορροπία ανάμεσα σε ένα υγρό και τους ατμούς του εξαρτάται από την τάση ατμών του υγρού. Η θερμοκρασία εκείνη στην οποία η τάση ατμών ενός υγρού ισούται με την ατμοσφαιρική πίεση είναι το σημείο βρασμού. Η ισορροπία χαρακτηρίζεται από τη σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων ενός κλειστού συστήματος με την ίδια θερμοκρασία.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

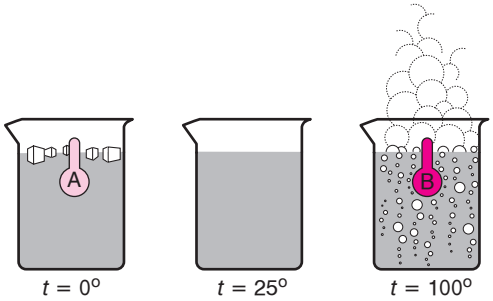
1. Τι συμβαίνει με την τάση ατμών ενός υγρού, όταν η θερμοκρασία του αυξάνεται από τους 40˚C στους 60˚C;
2. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα σε ένα ανοικτό και σε ένα κλειστό σύστημα;
3. Πώς αναγνωρίζετε την ισορροπία; Ποιες είναι οι δύο απαραίτητες συνθήκες προκειμένου να υπάρξει ισορροπία;
4. Πότε ένα υγρό εγγίζει (α) το σημείο βρασμού του, (β) το κανονικό σημείο βρασμού του;

Η ισορροπία είναι δυναμική

22.6 Η δυναμική φύση της ισορροπίας στις χημικές αντιδράσεις.

Η σταθερότητα των ιδιοτήτων κατά την ισορροπία αναφέρεται στις μακροσκοπικές ιδιότητες. Τώρα θα μελετήσομε την ισορροπία σε μοριακό επίπεδο, όπως τη βλέπουν οι χημικοί.

Ας υποθέσομε ότι δύο όμοιες σφαίρες γεμίζονται με διοξείδιο του αζώτου, NO_2, ώστε να επικρατήσουν ίσες πιέσεις. Η σφαίρα Α βυθίζεται μέσα σε ένα παγωμένο υδρόλουτρο και η σφαίρα Β μέσα σε βραστό νερό, όπως δείχνει και το σχήμα 22-4. Το αέριο μέσα στη σφαίρα Α στους 0˚C έχει ανοικτό χρώμα, ενώ το αέριο μέσα στη σφαίρα Β στους 100˚C είναι καστανέρυθρο. Είναι φανερό ότι τα μόρια στα οποία οφείλεται το καστανέρυθρο χρώμα είναι πολυπληθέστερα μέσα στη θερμή σφαίρα από ό,τι μέσα στην ψυχρή. Διάφορα πειράματα δείχνουν ότι η ψυχρή σφαίρα περιέχει κυρίως μόρια N_2O_4. Τα ίδια πειράματα δείχνουν επίσης ότι η θερμή σφαίρα περιέχει κυρίως μόρια NO_2. Τα μόρια N_2O_4 απορροφούν μη ορατό φως, γι' αυτό και το ψυχρό αέριο έχει ανοικτό χρώμα. Τα μόρια του NO_2 απορροφούν όμως μέρος του ορατού φωτός και έτσι το θερμό αέριο εμφανίζεται καστανέρυθρο.

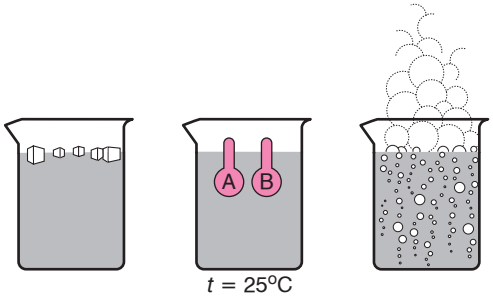


ΣΧΗΜΑ 22-4. *Το χρώμα της σφαίρας Α, μέσα στο παγωμένο υδρόλουτρο, δείχνει ότι περιέχει κυρίως μόρια N_2O_4. Το χρώμα της σφαίρας Β, στους 100˚C, δείχνει ότι υπερτερούν τα μόρια του NO_2.*

Αυτές οι δύο σφαίρες μεταφέρονται σε ένα υδρόλουτρο θερμοκρασίας δωματίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 22-5. Αμέσως το χρώμα στη σφαίρα Α αρχίζει να σκουραίνει. Ο έντονος χρωματισμός δείχνει ότι συντελείται κάποια χημική μεταβολή: από το N_2O_4 σχηματίζονται μόρια NO_2.

$$N_2O_4(\alpha) \rightarrow 2NO_2(\alpha) \qquad (4)$$

Παράλληλα, το χρώμα στη σφαίρα Β αρχίζει



ΣΧΗΜΑ 22-5. *Στην ίδια θερμοκρασία, 25˚C, και οι δύο σφαίρες Α και Β έχουν το ίδιο χρώμα, γεγονός που σημαίνει ότι το μίγμα του NO_2 και του N_2O_4 έχει*

να γίνεται ανοικτότερο. Αυτό σημαίνει ότι και σε αυτήν τη σφαίρα άρχισε να πραγματοποιείται κάποια χημική μεταβολή. Στη σφαίρα Β σχηματίζονται μόρια N_2O_4 από NO_2.

$$2NO_2(\alpha) \rightarrow N_2O_4(\alpha) \qquad (5)$$

Και στις δύο σφαίρες το χρώμα εξακολουθεί να αλλάζει: Στη σφαίρα Α γίνεται πιο σκούρο και στη σφαίρα Β γίνεται ανοικτότερο. Τελικά, όταν οι δύο σφαίρες αποκτήσουν περίπου την ίδια θερμοκρασία, 25°C, σταματά η μεταβολή των χρωμάτων. Εξετάζοντας προσεκτικότερα διαπιστώνομε ότι τώρα τα δύο χρώματα είναι ίδια.

Με άμεση παρατήρηση βλέπομε ότι το περιεχόμενο αυτών των δύο σφαιρών προσεγγίζει τη σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων (στην περίπτωση αυτή του χρώματος), που υποδηλώνει ισορροπία. Στη σφαίρα Α η ισορροπία αποκαθίσταται από την αντίδραση (4). Στη σφαίρα Β αποκαθίσταται από την αντίθετης κατευθύνσεως αντίδραση (5). Τώρα πια είναι σαφές γιατί σταμάτησε να αλλάζει το χρώμα στην κάθε σφαίρα. Η αντίδραση ανάμεσα στο NO_2 και στο N_2O_4 είναι δυνατόν να προχωρήσει και προς τις ***δύο*** κατευθύνσεις, όπως φαίνεται και από τις εξισώσεις που ακολουθούν:

$$N_2O_4(\alpha) \rightarrow 2NO_2(\alpha) \qquad (4)$$
$$N_2O_4(\alpha) \quad 2NO_2(\alpha) \qquad (5)$$

Αφού τα μόρια του N_2O_4 μπορούν να διασπασθούν ή να διαχωρισθούν μέσα στη σφαίρα Α, θα μπορούν επίσης να διασπασθούν και μέσα στη σφαίρα Β. Είναι βέβαιο ότι ένα μόριο N_2O_4 δεν είναι δυνατόν να συμπεριφερθεί διαφορετικά στη σφαίρα Α (στους 25°C) από ό,τι στη σφαίρα Β (στους 25°C). Το ίδιο ισχύει και για τη συνένωση δύο μορίων NO_2. Αν γίνει κάποια αντίδραση στη σφαίρα Β, τότε θα γίνει και στη σφαίρα Α. Η τελική μεταβολή την οποία βλέπετε, προέρχεται από τη μεταβολή του χρώματος του NO_2. Η τελική αυτή μεταβολή είναι συνέπεια της ***διαφοράς*** ανάμεσα στην ταχύτητα παραγωγής του NO_2 με βάση την αντίδραση (4) και της ταχύτητας της απώλειας του NO_2 με βάση την αντίδραση (5). Οι μακροσκοπικές μεταβολές σταματούν, όταν αυτές οι δύο ταχύτητες εξισωθούν.

Στη σφαίρα Α, η ισορροπία αποκαθίσταται από χαμηλότερη θερμοκρασία, γεγονός που ευνοεί το N_2O_4. Η αντίδραση (4) πραγματοποιείται ταχύτερα στην αρχή. Καθώς όμως σχηματίζεται όλο και περισσότερο NO_2, η αντίδραση (5) γίνεται όλο και ταχύτερη. Όταν η αντίδραση (5) αποκτήσει την ίδια ταχύτητα με την αντίδραση (4), τότε αποκαθίσταται ισορροπία. Οι μακροσκοπικές ιδιότητες δεν αλλάζουν πλέον, αν και οι δύο αντιδράσεις εξακολουθούν να πραγματοποιούνται. Πραγματοποιούνται όμως με τις ίδιες ταχύτητες, έτσι ώστε να διατηρείται κατάσταση ισορροπίας. Μπορείτε λοιπόν να αντικαταστήσετε το απλό βέλος στις προηγούμενες αντιδράσεις με ένα διπλό (⇌) ή με το σύμβολο του ίσον (=), για να δείξετε ότι υπάρχει ισορροπία (σύμφωνα με όσα μάθαμε προηγουμένως το σύμβολο του ίσον ισοδυναμεί και με ένα μόνο βέλος).

$$N_2O_4(\alpha) \rightleftharpoons 2NO_2(\alpha)$$
ή (6)
$$N_2O_4(\alpha) = 2NO_2(\alpha)$$

Στη σφαίρα Β η ισορροπία αποκαθίσταται από μια υψηλότερη θερμοκρασία, η οποία ευνοεί το NO_2. Η αντίδραση (5) στην αρχή πραγματοποιείται με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αν μεταχειρισθούμε το επιχείρημα που χρησιμοποιήσαμε στη σφαίρα Α, βλέπομε ότι με την πάροδο του χρόνου η αντίδραση (4) γίνεται όλο και ταχύτερη, ενώ σχηματίζεται N_2O_4. Επίσης, η αντίδραση (5) επιβραδύνεται, όσο καταναλώνεται το NO_2. Τέλος, όταν οι ταχύτητες εξισωθούν, αποκαθίσταται ισορροπία. Κατ' αυτόν τον τρόπο η έκφραση της ισορροπίας (6) εφαρμόζεται τόσο για τη σφαίρα Α όσο και για τη σφαίρα Β.

Είναι πλέον κατανοητό ότι προκειμένου για χημικές αντιδράσεις που βρίσκονται σε ισορροπία, οι μικροσκοπικές διαδικασίες συνεχίζονται. Όμως, οι διαδικασίες αυτές εξισορροπούνται και κατά συνέπεια δεν εμφανίζονται μακροσκοπικές αλλαγές.

22.7 Η δυναμική φύση της ισορροπίας αλλαγής φάσεως.

Στην παράγραφο 22.2 μάθαμε ότι, όταν νερό στους 20°C τοποθετηθεί σε ένα δοχείο και το δοχείο κλεισθεί, μερικά μόρια νερού εγκαταλείπουν την υγρή και εισέρχονται στην αέρια φάση. Η μερική πίεση των υδρατμών αυξάνει, καθώς όλο και περισσότερα μόρια νερού συμμετέχουν στην αέρια φάση. Τελικά, σταματά η αύξηση της πιέσεως και η μερική πίεση σταθεροποιείται. Όταν η μερική πίεση των ατμών ενός υγρού αποκτήσει μια σταθερή τιμή, την τιμή

της τάσεως των ατμών του υγρού, επέρχεται ισορροπία.

Τα μόρια του νερού κατά την ισορροπία εξακολουθούν να εξατμίζονται. Τα μόρια του υγρού δεν έχουν τρόπο να "αντιληφθούν" ότι η μερική πίεση των ατμών έχει εξισωθεί με την τάση των ατμών. Στην αέρια φάση, τα τυχαίως κινούμενα μόρια εξακολουθούν να συγκρούονται με την επιφάνεια του υγρού και να συμπυκνώνονται. Η ισορροπία ισοδυναμεί με μια τέλεια εξισορρόπηση αυτής της συνεχούς εξατμίσεως και συμπυκνώσεως. Στο σημείο αυτό δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν συνολικά κάποιες μακροσκοπικές μεταβολές.

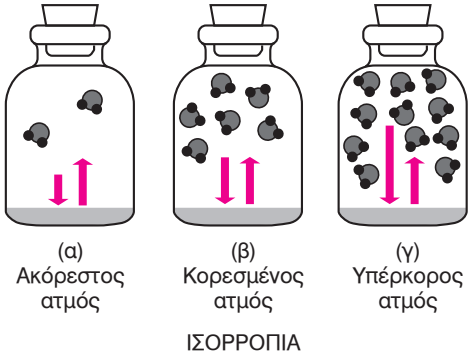
Στο σχήμα 22-6 αυτό φαίνεται σχηματικά. Στο σχήμα 22-6α η μερική πίεση των ατμών είναι μικρότερη από την τιμή ισορροπίας. Λέγεται ότι οι ατμοί είναι ***ακόρεστοι***. Η ταχύτητα εξατμίσεως είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα συμπυκνώσεως, μέχρι να εξισωθεί η μερική πίεση των ατμών με την τάση ατμών. Στο σχήμα 22-6β η μερική πίεση των ατμών είναι ίση με την τάση ατμών. Στο σχήμα 22-6γ η μερική πίεση των ατμών είναι μεγαλύτερη από την τιμή ισορροπίας. Οι ατμοί αυτοί λέγονται ***υπέρκοροι***. Εδώ, η συμπύκνωση πραγματοποιείται ταχύτερα από την εξάτμιση, μέχρι να συμπυκνωθεί η περίσσεια των ατμών.

Όπως είδαμε μόλις τώρα, η τιμή της μερικής πιέσεως των υδρατμών (σχ. 22-6β) είναι ίση με την τιμή της ισορροπίας, δηλαδή με την τάση ατμών. Γι' αυτό οι ατμοί ονομάζονται ***κορεσμένοι*** ατμοί. Η ***τάση ατμών*** αντιστοιχεί προς τη συγκέντρωση ατμών, στην οποία η συμπύκνωση και η εξάτμιση πραγματοποιούνται με την ίδια ακριβώς ταχύτητα. Έτσι, στην κατάσταση της ισορροπίας οι μικροσκοπικές διαδικασίες συνεχίζονται. Είναι όμως εξισορροπημένες και δεν δημιουργούν μακροσκοπικές μεταβολές.

22.8 Η δυναμική φύση της ισορροπίας κατά τη διάλυση.

Στην παράγραφο 22.4 είδαμε ότι το στερεό ιώδιο διαλύεται σε ένα μίγμα αλκοόλης-νερού, μέχρι να κορεσθεί το διάλυμα. Κατόπιν αυτού δεν διαλύεται άλλο στερεό και το χρώμα του διαλύματος παραμένει σταθερό.

Ανάμεσα στα μόρια όμως υπάρχει ακόμη μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Το ιώδιο διαλύεται με αποχωρισμό των μορίων της επιφανειακής στοιβάδας των κρυστάλλων του ιωδίου. Η



ΣΧΗΜΑ 22-6. *Όπως επισημαίνεται και με τη διαφορά μηκών στα βέλη του σχήματος (β) οι ταχύτητες εξατμίσεως και συμπυκνώσεως είναι ίσες, στο σχήμα (α) υπερέχει η εξάτμιση, ενώ στο σχήμα (γ) η*

ταχύτητα με την οποία γίνεται αυτό καθορίζεται από τη θερμοκρασία και τη σταθερότητα του κρυστάλλου. Η σταθερότητα του κρυστάλλου τείνει να συγκρατήσει τα μόρια στην επιφανειακή στοιβάδα, ενώ η θερμική κίνηση τείνει να τα αποσπάσει από τη θέση τους στο κρυσταλλικό πλέγμα. Όσο προχωρεί η διάλυση, αυξάνει η συγκέντρωση των μορίων ιωδίου μέσα στο διάλυμα.

Κατά τύχη, ένα μόριο, το οποίο κινείται μέσα στο διάλυμα, συναντά την επιφάνεια ενός κρυστάλλου ιωδίου και εγκαθίσταται εκεί. Η προσθήκη αυτή στον κρύσταλλο ονομάζεται ***καθίζηση*** ή ***κρυστάλλωση***. Συμβαίνει όλο και πιο συχνά, καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του ιωδίου στο διάλυμα.

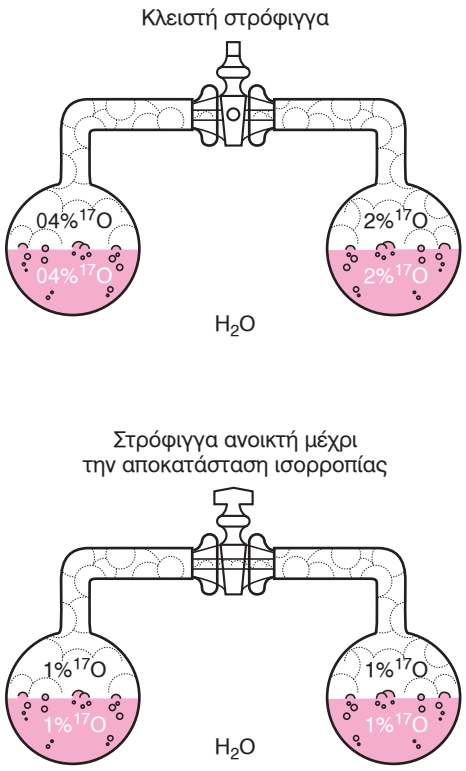
Εδώ υπάρχουν δύο αντίθετες διαδικασίες. Σε μια ορισμένη θερμοκρασία, μόρια εγκαταλείπουν την επιφάνεια του κρυστάλλου με μια σταθερή ταχύτητα, έχοντας την τάση να αυξήσουν τη συγκέντρωση μέσα στο διάλυμα, ενώ άλλα μόρια, τα οποία είναι διαλυμένα, προσπίπτουν διαρκώς στην επιφάνεια και καθιζάνουν έχοντας την τάση να ελαττώσουν τη συγκέντρωση των μορίων στο διάλυμα. Τι συμβαίνει όμως όταν η ταχύτητα επιστροφής των μορίων στην επιφάνεια του στερεού εξισώνεται με την ταχύτητα με την οποία απομακρύνονται από την επιφάνεια; Κάποια μόρια εξακολουθούν να διαλύονται, ενώ άλλα εξακολουθούν να καθιζάνουν. Έτσι τελικά δεν δημιουργείται κάποια συνολική μεταβολή. Όσο αυτές οι δύο διαδικασίες είναι εξισορροπημένες, η ποσότητα του ιωδίου που βρίσκεται διαλυμένο στη μονάδα του όγκου του διαλύματος παραμένει σταθερή. Η μακροσκοπική ιδιότητα, η διάλυση, είναι τώρα σταθερή. Το σύστημα βρίσκεται σε

κατάσταση ισορροπίας διαλυτότητας. Οι χημικοί μεταφράζουν αυτήν τη σταθερότητα ως μια εξισορρόπηση ανάμεσα σε δύο αντίθετες διαδικασίες, οι οποίες εξακολουθούν να συντελούνται και κατά την ισορροπία. Και πάλι θα πρέπει να τονισθεί ότι οι μικροσκοπικές διαδικασίες εξακολουθούν να υφίστανται και κατά την ισορροπία. Όμως εξισορροπούνται, με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται μακροσκοπικές μεταβολές*.

22.9 Άμεση απόδειξη της δυναμικής φύσεως της ισορροπίας.

Η αρχή ότι η ισορροπία επιτυγχάνεται με την ***εξισορρόπηση*** και όχι με την ***παύση*** των μεταβολών σε μοριακό επίπεδο, είχε γίνει αποδεκτή πριν από πολλά χρόνια. Η απόδειξη όμως κατέστη δυνατή μόνο κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Άμεσες ενδείξεις ελήφθησαν με τη βοήθεια των ***ανιχνευτών ισοτόπων***. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 10.8, τα ισότοπα είναι άτομα του ιδίου στοιχείου, τα οποία έχουν διαφορετικούς αριθμούς νετρονίων. Αν μια ουσία περιέχει κάποιο μικρό ποσοστό ενός ισοτόπου, η κίνηση αυτού του ισοτόπου είναι δυνατόν να ανιχνευθεί με τη βοήθεια ενός φασματογράφου μάζας, ο οποίος εξετάσθηκε στην παράγραφο 9.8. Αν το ισότοπο είναι ραδιενεργό, είναι δυνατόν να το παρακολουθήσομε με μια διάταξη ανιχνεύσεως της ραδιενέργειάς του, όπως είναι ο ανιχνευτής Geiger.

Ενώ κανονικά το οξυγόνο αποτελείται κυρίως από ^{16}O (99,76%), είναι δυνατόν να εισαχθεί το ισότοπο ^{17}O σε ποσοστό μεγαλύτερο από το συνηθισμένο (0,04%). Η παρουσία του ανιχνεύεται με φασματογράφο μάζας. Ας υποθέσομε τώρα ότι διαθέτομε τη συσκευή του σχήματος 22-7. Μια σφαίρα περιέχει νερό με συγκέντρωση ^{17}O 0,04%. Η άλλη σφαίρα περιέχει νερό, μέσα στο οποίο έχει προστεθεί ^{17}O, ώστε να αυξηθεί η συγκέντρωσή του σε 2%. Η βαλβίδα ανάμεσα στις δύο σφαίρες διατηρείται κλειστή, μέχρι να αποκτήσει η διάταξη την ίδια θερμοκρασία και να αποκατασταθεί ισορροπία στην τάση ατμών και στις δύο πλευρές. Τι θα συμβεί, όταν ανοίξει η βαλβίδα;



ΣΧΗΜΑ 22-7. *Οι ξεχωριστές σφαιρικές φιάλες (επάνω) περιέχουν διαφορετικές ποσότητες ^{17}O. Όταν όμως αρχίζουν να επικοινωνούν (κάτω), συμπεραίνομε ότι κατά την ισορροπία οι ποσότητες του ^{17}O είναι ίδιες και στις δύο σφαίρες. Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί μόνο αν κατά την ισορροπία περνούν συνεχώς μόρια από την υγρή στην αέρια φάση.*

Επειδή στην κάθε μία πλευρά υπάρχει ισορροπία στην ίδια θερμοκρασία, δεν θα παρατηρηθεί μακροσκοπική αλλαγή στο σύστημα. Τα μόρια όμως του αερίου θα περνούν ελεύθερα εμπρός πίσω και έτσι τα ίχνη του ^{17}O θα κατανεμηθούν ομοιόμορφα μέσα σε ολόκληρη την αέρια φάση. Το σημαντικό είναι ότι τελικά η συγκέντρωση του ^{17}O θα είναι ίδια και στις δύο δεξαμενές του υγρού. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να συμβεί μόνο αν τα μόρια περνούν συνεχώς από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, έστω και αν έχει αποκατασταθεί ισορροπία.

* *Σ.τ.Μ. Η ισορροπία δεν είναι στατική, αλλά δυναμική. Δηλαδή μόρια διαλύονται συνεχώς, ενώ άλλα καθιζάνουν.*

Περίληψη.

Ισορροπία σε ένα χημικό σύστημα είναι μια κατάσταση, κατά την οποία δεν πραγματοποιούνται μακροσκοπικές μεταβολές. Σε μοριακό επίπεδο, πραγματοποιούνται μεταβολές, αλλά είναι εξισορροπημένες μεταξύ τους. Όταν μια χημική αντίδραση φθάσει σε ισορροπία, οι ποσότητες των διαφόρων ενώσεων που συμμετέχουν δεν αλλάζουν πια. Η κανονική και η αντίστροφη αντίδραση εξακολουθούν να λαμβάνουν χώρα, αλλά με ίσες ταχύτητες. Κατά την εξάτμιση ενός υγρού, όπως και κατά τη διάλυση ενός στερεού μέσα σε ένα υγρό, συντελείται πάλι μια συνεχής διαδικασία μεταβολών σε μοριακό επίπεδο. Δεν σημειώνονται όμως μακροσκοπικές αλλαγές.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα στους ακόρεστους και τους κορεσμένους ατμούς;
2. Κατά την ισορροπία διαλύσεως στερεού σε υγρό, ποια διαδικασία είναι αντίθετη προς την κρυστάλλωση;

Η κατάσταση της ισορροπίας είναι δυνατόν να αλλάξει

22.10 Η κατάσταση ισορροπίας.

Κατά την περιγραφή της καταστάσεως ισορροπίας στην εξίσωση (6), δεν λάβαμε υπόψη μας ότι ο αριθμός των moles του N_2O_4 που παραμένουν είναι ίσος με το μισό του αριθμού των moles του NO_2 που παράγονται. Δηλαδή, η αντίδραση (6) δεν μας πληροφορεί σχετικά με την ποσότητα του διοξειδίου του αζώτου που υπάρχει κατά την ισορροπία. Μπορούμε εύκολα να το πιστοποιήσομε, αν αυξήσομε τη θερμοκρασία του νερού που περιβάλλει τις σφαίρες Α και Β κατά 10°C περίπου. Τα χρώματα των αερίων και στις δύο σφαίρες αλλάζουν προς ένα νέο χρώμα ισορροπίας. Το χρώμα αυτό αντιστοιχεί στην παρουσία επί πλέον NO_2. Η παρακάτω αντίδραση όμως εξακολουθεί να ισχύει:

$$N_2O_4(a) \rightleftharpoons 2NO_2(a) \qquad (6)$$

Τι δηλώνει λοιπόν αυτή η εξίσωση; Πρώτον, όπως δείχνει και το σύμβολο $\rightleftharpoons$, επικρατεί ισορροπία. Έπειτα, δηλώνει ότι υπάρχουν δύο είδη μορίων, το N_2O_4 και το NO_2. Τέλος, δηλώνει ότι ***κατά την επίτευξη*** της ισορροπίας, ***δύο*** moles NO_2 παράγονται (ή καταναλώνονται) για κάθε ***ένα*** mole N_2O_4 που καταναλώνεται (ή παράγεται). ***Δεν*** μας πληροφορεί με πόση ταχύτητα πραγματοποιείται η αντίδραση προς την κατάσταση ισορροπίας. Πρόκειται για θέματα ταχύτητας της αντιδράσεως. ***Δεν*** μας πληροφορεί επίσης αν κατά την ισορροπία θα υπάρχει πολύ ή λίγο NO_2, σε σχέση με την ποσότητα του N_2O_4.

Προκειμένου να δοθεί έμφαση στο τελευταίο σημείο, ας εξετάσομε μία ακόμη γνωστή αντίδραση.

$$H_2O(a) \rightleftharpoons H_2(a) + \tfrac{1}{2}O_2(a) \qquad (7)$$

Μέχρι να έχομε την αναγκαία πληροφόρηση, δεν μπορούμε να γνωρίζομε αν είναι πλήρης η διάσπαση του νερού κατά την ισορροπία. Το μόνο που ξέρομε είναι ότι για κάθε mole νερού που διασπάται, θα λαμβάνεται ένα mole υδρογόνου και μισό mole οξυγόνου.

Πειραματικά έχει προσδιορισθεί ότι μέσα σε ένα κλειστό δοχείο στους 2273 K και υπό συνολική πίεση μιας ατμόσφαιρας, τη στιγμή που αποκαθίσταται ισορροπία, 0,006 moles νερού διασπώνται για κάθε mole νερού που υπάρχει αρχικά. Κατά συνέπεια παραμένουν 1 – 0,006 = 0,994 moles μη διασπασμένου νερού. Με βάση τους συντελεστές της εξισώσεως γνωρίζομε ότι τα προϊόντα είναι 0,006 moles H_2 και 0,003 moles οξυγόνου. Αυτά όλα συνοψίζονται ως εξής:

	$H_2O(a)$	$\rightleftharpoons$	$H_2(a)$	+	$\tfrac{1}{2}O_2(a)$
Αρχικά moles	1		0		0
Moles κατά την ισορροπία	0,994		0,006		0,003

Όταν επιτυγχάνεται δηλαδή κατάσταση ισορροπίας στους 2273 K, δεν διασπάται πολύ νερό.

Ας μελετήσομε τώρα, τι συμβαίνει κατά την αποκατάσταση ισορροπίας, όταν έχομε αρχίσει από υδρογόνο και οξυγόνο. Ας υποθέσομε ότι

αρχίζομε με ένα mole υδρογόνου και μισό mole οξυγόνου. Αφήνομε την αντίδραση να ισορροπήσει στους 2273 K και υπό συνολική πίεση μιας ατμόσφαιρας. Κατά την ισορροπία θα έχομε πάλι 0,994 moles νερού, 0,006 moles H_2 και 0,003 moles O_2. Αυτά συνοψίζονται ως εξής:

	$H_2(a)$	+ $\frac{1}{2}O_2(a)$	$\rightleftharpoons$	$H_2O(a)$
Αρχικά moles	1	0,5		0
Moles κατά την ισορροπία	0,006	0,003		0,994

Αν αρχίσομε δηλαδή με υδρογόνο και οξυγόνο, αποκαθίσταται ισορροπία, όταν συνενωθεί η μεγαλύτερη ποσότητα του υδρογόνου με την αντίστοιχη ποσότητα του οξυγόνου και σχηματισθεί νερό. Κάτι που έχει σημασία είναι ότι κατά την ισορροπία οι μερικές πιέσεις είναι ίδιες με εκείνες που λαμβάνονται κατά την αντίστροφη αντίδραση. Οι πιέσεις ισορροπίας καθορίζονται από τη θερμοκρασία, τα αντιδρώντα, τα προϊόντα και τη συνολική πίεση. Δεν εξαρτώνται από την κατεύθυνση, από την οποία προέρχεται η ισορροπία. Η χημική εξίσωση δεν παρέχει ενδείξεις για τις συγκεντρώσεις ή τις μερικές πιέσεις, κατά την ισορροπία.

Σε πολλές αντιδράσεις η κατάσταση ισορροπίας βρίσκεται πολύ μακριά από το ένα ή το άλλο άκρο. Έτσι, όταν αποκαθίσταται ισορροπία στην αντίδραση (7), δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου H_2 ή O_2. Για διάφορους πρακτικούς λόγους, οι ποσότητες που υπάρχουν θεωρούνται αμελητέες. Για το λόγο αυτό, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η αντίστροφη αντίδραση της (7)

$$\frac{1}{2}O_2(a) + H_2(a) \rightarrow H_2O(a)$$

τείνει προς ***ολοκλήρωση****. Η έκφραση αυτή χρησιμοποιείται συχνά από τους χημικούς. Θα πρέπει όμως να θυμόμαστε ότι σε ένα κλειστό σύστημα καμμία αντίδραση δεν είναι ***απόλυτα*** πλήρης. Πάντα παραμένει μια ελάχιστη ποσότητα από τα αντιδρώντα.

Βέβαια, σε ένα ανοικτό σύστημα, μια αντίδραση είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί απόλυτα. Με την ευκαιρία αυτή, ας ξαναθυμηθούμε την αντίδραση (3).

$$CaCO_3(\sigma\tau) \xrightarrow{\text{υψηλή θερμ.}} CaO(\sigma\tau) + CO_2(a) \qquad (3)$$

Ας υποθέσομε ότι το δοχείο μέσα στο φούρνο είναι ανοικτό, ώστε το παραγόμενο CO_2 να μπορεί να διαφύγει. Στην περίπτωση αυτή, δεν είναι δυνατόν να αποκατασταθεί ισορροπία, επειδή η πίεση δεν μπορεί να φθάσει ποτέ στην πραγματική τιμή ισορροπίας της. Γι' αυτό, όλο και περισσότερο $CaCO_3$ θα διασπάται, μέχρι να μετατραπεί ολόκληρο σε CaO και CO_2. Πρέπει να θυμηθούμε ότι αυτό συμβαίνει σε ένα ανοικτό σύστημα, όταν επιτρέπεται σε μια ουσία να διαφεύγει. Σε ένα κλειστό σύστημα, όπου κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατόν, αποκαθίσταται τελικά ισορροπία.

22.11Αλλαγή της καταστάσεως ισορροπίας.

Είδαμε ότι η κατάσταση ισορροπίας ενός συστήματος χαρακτηρίζεται από τις σχετικές ποσότητες των αντιδρώντων και των προϊόντων που συνυπάρχουν. Ας εξετάσομε πάλι την αποσύνθεση του νερού, η οποία δίνεται από την αντίδραση (7). Οποιαδήποτε αλλαγή στις συνθήκες, εξ αιτίας της οποίας ποσότητα νερού που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας θα αναγκαζόταν να διασπασθεί κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 0,6%, θα τροποποιούσε την κατάσταση ισορροπίας για την αντίδραση (7).

$$H_2O(a) \rightleftharpoons H_2(a) + \frac{1}{2}O_2(a) \qquad (7)$$

Μια τέτοια αλλαγή θα ευνοούσε το σχηματισμό μεγαλύτερης ποσότητας υδρογόνου και οξυγόνου.

Ποιες συνθήκες θα ήταν δυνατόν να αλλάξουν την κατάσταση ισορροπίας; Για να απαντήσομε σε αυτήν την ερώτηση, ας ξαναθυμηθούμε ότι η συγκέντρωση και η θερμοκρασία είναι δύο βασικοί παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την ταχύτητα της αντιδράσεως. Ισορροπία επέρχεται, όταν εξισώνονται οι ταχύτητες των αντιστρόφων αντιδράσεων. Οποιαδήποτε συνθήκη, η οποία θα άλλαζε την ταχύτητα της μιας μόνο από τις αντιδράσεις που συμμετέχουν στην ισορροπία, θα επηρέαζε τις συνθήκες ισορροπίας.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η επίδραση της συγκεντρώσεως στην ισορροπία, ας εξετάσομε την παρακάτω αντίδραση ανάμεσα στο ιόν του τρισθενούς σιδήρου, Fe^{3+}, και στο θειοκυανιούχο ιόν, SCN^-.

---

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή τείνει να σχηματισθεί ποσοτικά νερό.*

$$Fe^{3+}(υδ) + SCN^{-}(υδ) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(υδ) \quad (8)$$

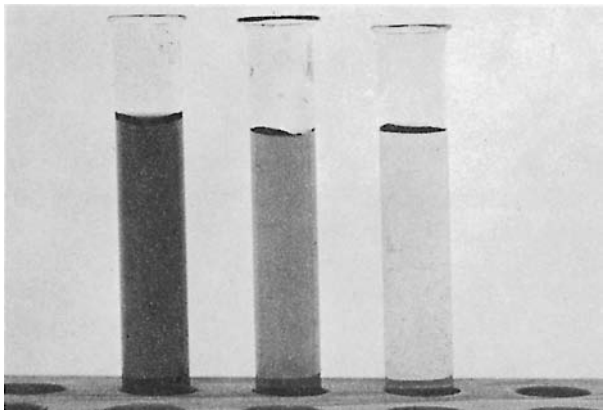
Παρατηρώντας την ένταση του χρώματος* θα έχετε οπτική ένδειξη των συγκεντρώσεων κατά την ισορροπία. Η ένταση καθορίζεται από τη συγκέντρωση του ιόντος του θειοκυανιούχου σιδήρου (III), $FeSCN^{2+}(υδ)$. Αν χρησιμοποιήσετε επί πλέον ποσότητα ιόντων σιδήρου ή θειοκυανιούχων ιόντων, είναι δυνατόν να μεταβληθεί η συγκέντρωση του ενός από τα αντιδρώντα στην εξίσωση (8). Σύμφωνα με το σχήμα 22-8, όταν το χρώμα του διαλύματος γίνεται σκοτεινότερο, αυτό σημαίνει ότι αυξήθηκε η ποσότητα του έγχρωμου ιόντος, $FeSCN^{2+}$. Με αυτόν τον τρόπο έχετε ένδειξη ότι οι συγκεντρώσεις ισορροπίας επηρεάζονται, αν μεταβληθούν οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων ή των προϊόντων.

Για να κατανοήσομε την επίδραση της θερμοκρασίας στην ισορροπία, ας εξετάσομε πάλι την εξίσωση (6):

$$N_2O_4(α) \rightleftharpoons 2NO_2(α) \quad (6)$$

Μάθαμε ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα NO_2 παράγεται. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να δούμε ότι επηρεάζεται η συγκέντρωση ισορροπίας από τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Τώρα γνωρίζομε ότι μια αλλαγή στη συγκέντρωση ή στη θερμοκρασία μεταβάλλει την κατάσταση ισορροπίας. Έχει άραγε ένας καταλύτης την ίδια επίδραση; Αν και η παρουσία ενός καταλύτη αυξάνει την ταχύτητα μιας αντιδράσεως, οι χημικοί βρήκαν πειραματικά ότι η προσθήκη ενός καταλύτη σε μια αντίδραση που βρίσκεται σε ισορροπία, δεν μεταβάλλει την κατάσταση ισορροπίας. Κατά συνέπεια, θα πρέπει να αληθεύει το γεγονός ότι οποιοσδήποτε καταλύτης έχει το ίδιο αποτέλεσμα στις ταχύτητες μιας αντιδράσεως και της αντίστροφης αυτής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η επιδράση ενός καταλύτη στις ταχύτητες των αντιδράσεων ερμηνεύεται με βάση τη μείωση της ενέργειας ενεργοποιήσεως. Η μείωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας μιας αντιδράσεως και προς τις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή και της κανονικής και της αντίστροφης αυτής. Για το λόγο αυτό, ένας καταλύτης δεν δημιουργεί συνολικά κάποια αλλαγή στις συγκεντρώσεις ισορροπίας, έστω κι αν το σύστημα φθάνει στην κατάσταση ισορροπίας πολύ ταχύτερα από ό,τι θα έφθανε χωρίς καταλύτη.



ΣΧΗΜΑ 22-8. *Οι σωλήνες αυτοί περιείχαν αρχικά την ίδια συγκέντρωση $SCN^{-}(υδ)$. Οι συγκεντρώσεις όμως του $Fe^{3+}(υδ)$, ήταν διαφορετικές (ελαττώνονταν από αριστερά προς τα δεξιά). Όπως δείχνει η φωτογραφία, η ένταση του χρώματος που οφείλεται στο προϊόν, $FeSCN^{2+}(υδ)$, ελαττώνεται επίσης από τα αριστερά προς τα δεξιά.*

22.12 Πρόβλεψη νέων συγκεντρώσεων ισορροπίας: Αρχή του Le Chatelier.

Το απλό συμπέρασμα ότι η μία ή η άλλη αλλαγή επηρεάζουν κατά κάποιο τρόπο τις συγκεντρώσεις ισορροπίας δεν είναι ικανοποιητικό για τους χημικούς. Μεταξύ άλλων, θα ήθελαν να γνωρίζουν την "κατεύθυνση" της επιδράσεως αυτής (δηλαδή αν ενισχύεται ο σχηματισμός των προϊόντων ή των αντιδρώντων).

Προς απάντηση αυτών των ζητουμένων, ο Γάλλος χημικός Henry Louis Le Chatelier αναζήτησε κάποιες νομοτέλειες βασιζόμενος σε μεγάλο αριθμό πειραματικών δεδομένων κατά την ισορροπία. Για να ανακεφαλαιώσει τις νομοτέλειες τις οποίες βρήκε, κατέληξε στο παρακάτω συμπέρασμα. ***Αν κάποιο σύστημα το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία υποστεί μια αλλαγή, τότε λαμβάνουν χώρα διάφορες διαδικασίες, οι οποίες τείνουν να αναιρέσουν μερικώς την επιβληθείσα αλλαγή*****. Το συμπέρασμα αυτό είναι γνωστό ως ***αρχή του Le Chatelier***. Πώς εφαρμόζεται αυτός ο νόμος στα προηγούμενα παραδείγματα;

* *Σ.τ.Μ. Ο θειοκυανιούχος σίδηρος στα υδατικά διαλύματά του είναι αιματέρυθρος.*

** *Σ.τ.Μ. Γι' αυτό αποδίδεται και ως αρχή της φυγής προ της βίας.*

Ας εξετάσομε πρώτα μια μεταβολή στη συγκέντρωση. Ως γνωστόν, η προσθήκη $Fe^{3+}(υδ)$ ή $SCN^{-}(υδ)$ σε ένα διάλυμα που βρίσκεται σε ισορροπία και το οποίο περιέχει και τα δύο αυτά ιόντα, κάνει εντονότερο το χρώμα του προϊόντος της αντιδράσεως (8).

$$Fe^{3+}(υδ) + SCN(υδ) \rightleftharpoons Fe\,SCN^{2+}(υδ) \quad (8)$$

Δημιουργείται μια νέα κατάσταση ισορροπίας, κατά την οποία υπάρχει περισσότερο $Fe\,SCN^{2+}(υδ)$. Αν για παράδειγμα αυξηθεί η συγκέντρωση του SCN^{-}, αυξάνεται και η συγκέντρωση του ιόντος $Fe\,SCN^{2+}$. Αυτό συμφωνεί με την αρχή του Le Chatelier. Η μεταβολή που επιβλήθηκε στο σύστημα είναι η αύξηση στη συγκέντρωση του SCN^{-}. Η αλλαγή αυτή κατά ένα μέρος εξουδετερώθηκε από μερικά ιόντα Fe^{3+} και SCN^{-}, τα οποία αντέδρασαν, για να σχηματίσουν επί πλέον $Fe\,SCN^{2+}$. Η ίδια αντιμετώπιση ισχύει και για την προσθήκη ιόντων Fe^{3+}. Και στις δύο περιπτώσεις, για το σχηματισμό του $Fe\,SCN^{2+}$ χρησιμοποιήθηκε ένα μέρος των αντιδρώντων που προσετέθησαν. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναιρέθηκε μερικώς η επιβληθείσα αλλαγή.

Ας εξετάσομε τώρα μια αλλαγή στην πίεση. Μάθαμε ότι η συγκέντρωση όλων των ***αερίων*** συστατικών μεταβάλλεται, όταν αλλάζει η πίεση υπό την οποία βρίσκονται. Ως συνέχεια αυτών, ας ξαναθυμηθούμε την αντίδραση (7).

$$H_2O(α) \rightleftharpoons H_2(α) + ½\,O_2(α) \quad (7)$$

Ας υποθέσομε ότι η συνολική πίεση διπλασιάζεται. Ο όγκος τότε γίνεται πολύ μικρότερος. Ο συνολικός αριθμός moles που υπάρχει στη μονάδα του όγκου είναι μεγαλύτερος από ό,τι ήταν υπό τις συνθήκες της αρχικής ισορροπίας. Η αλλαγή στη συγκέντρωση εξουδετερώνεται, κατά ένα μέρος, από τη συνένωση κάποιας ποσότητας του υδρογόνου και του οξυγόνου και το σχηματισμό υδρατμών. Η συνένωση αυτή ελαττώνει το συνολικό αριθμό των moles (ένα και μισό mole, για να σχηματισθεί ένα mole), που υπάρχουν. Έτσι, η αλλαγή της συγκεντρώσεως όλων των συστατικών, η οποία δημιουργείται από την αλλαγή της πιέσεως, μετατοπίζει την ισορροπία και ευνοεί με αυτόν τον τρόπο το σχηματισμό υδρατμών.

Μια μεταβολή στη συνολική πίεση δεν μετατοπίζει πάντα την ισορροπία. Ας προσέξομε την πρώτη αντίδραση που αναφέρθηκε σε αυτό το κεφάλαιο.

$$CO(α) + NO_2(α) \rightarrow CO_2(α) + NO(α) \quad (1)$$

Αν αυξηθεί η πίεση του μίγματος αυτών των τεσσάρων αερίων που βρίσκονται σε ισορροπία, τα αέρια συμπιέζονται σε μικρότερο όγκο. Για άλλη μια φορά, όλες οι συγκεντρώσεις αυξάνονται. Πώς εφαρμόζεται εδώ η αρχή του Le Chatelier; Αν η κατάσταση ισορροπίας μεταβληθεί κατά τρόπο ο οποίος να ευνοεί το σχηματισμό προϊόντων, τότε μερικά μόρια CO και NO_2 αντιδρούν και σχηματίζουν έναν ακριβώς ίδιο αριθμό μορίων CO_2 και NO. Αφού δεν υπάρχει μεταβολή στο συνολικό αριθμό μορίων, η προτεινόμενη αλλαγή ισορροπίας ***δεν*** περιορίζει μερικώς τη μεταβολή της πιέσεως. Σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier, οι διαδικασίες πραγματοποιούνται κατά τρόπο που να "αναιρεί μερικώς τη μεταβολή που επιβάλλεται". Στην προκειμένη περίπτωση ούτε μια μετατόπιση, η οποία θα ευνοούσε το σχηματισμό προϊόντων, ούτε μια άλλη που θα ευνοούσε το σχηματισμό των αντιδρώντων θα εξουδετερώσει την επιβληθείσα αλλαγή της πιέσεως.

Έτσι, η αρχή του Le Chatelier δεν ορίζει ότι πρέπει οπωσδήποτε να περιμένετε αλλαγή στην κατάσταση ισορροπίας της αντιδράσεως (1), όταν μεταβάλλεται η πίεση. Έχει βρεθεί πειραματικά ότι δεν παρατηρείται αλλαγή. Η κατάσταση ισορροπίας δεν επηρεάζεται από τη μεταβολή της πιέσεως σε οποιοδήποτε μίγμα αερίων, όταν αυτό βρίσκεται σε ισορροπία. Δεν επηρεάζεται, όταν ο αριθμός των αντιδρώντων μορίων είναι ίδιος με τον αριθμό των μορίων των προϊόντων στην αντίδραση που γίνεται.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι η συγκέντρωση των καθαρών στερεών και υγρών δεν μεταβάλλεται, όταν αλλάζει η πίεση. Ως γνωστόν, μόνο η πίεση των αερίων επηρεάζεται. Γι' αυτό, κατά την εφαρμογή της αρχής του Le Chatelier, σε συνδυασμό με τις μεταβολές της πιέσεως, θα εξετάσετε μόνο αέρια και όχι στερεά ή υγρά. Ας εξετάσομε για παράδειγμα την παρακάτω αντίδραση:

$$2HgO(α) \rightleftharpoons 2Hg(υγ) + O_2(α) \quad (9)$$

Μια αλλαγή στην πίεση θα ευνοούσε την κανονική ή την αντίστροφη αντίδραση; Για να απαντήσετε, θα πρέπει να παρατηρήσετε πρώτα ότι η μόνη ουσία στην αέρια φάση είναι το αέριο οξυγόνο. Η αύξηση της πιέσεως επηρεάζει το αέριο οξυγόνο αλλά όχι τις άλλες ουσίες. Άρα, η αύξηση της πιέσεως ευνοεί την αντίστροφη αντίδραση, κατά την οποία δεν σχηματίζονται moles αερίου.

Ας εξετάσομε τώρα τι λέει η αρχή του Le

Chatelier σχετικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Για να δώσομε απάντηση σε αυτό το ερώτημα, θα εξετάσομε το θερμικό αποτέλεσμα της αντιδράσεως (6). Η αποσύνθεση του N_2O_4 είναι ενδόθερμη, όπως δείχνουν και οι αντιδράσεις (6α) και (6β).

$$N_2O_4(\alpha) + 14{,}1 \text{ kcal} \rightleftharpoons 2NO_2(\alpha) \qquad (6\alpha)$$

$$N_2O_4(\alpha) \rightleftharpoons 2NO_2(\alpha)$$

$$\Delta H = +14{,}1 \text{ kcal} \qquad (6\beta)$$

Προηγουμένως αναφέρθηκε ότι η θέρμανση των σφαιρών που περιέχουν NO_2 και N_2O_4 προκαλεί μετατόπιση της καταστάσεως ισορροπίας προς την πλευρά του σχηματισμού του NO_2 (το καστανέρυθρο χρώμα ενισχύεται και γίνεται σκοτεινότερο). Εύκολα αποδεικνύεται ότι κάτι τέτοιο συμφωνεί με την αρχή του Le Chatelier. Αύξηση της θερμοκρασίας δημιουργείται με τη παρουσία θερμότητας. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η ισορροπία μεταβάλλεται και σχηματίζεται περισσότερο NO_2. Κατά το σχηματισμό του NO_2 απορροφάται ένα μέρος της θερμότητας που προκάλεσε την αύξηση της θερμοκρασίας.

Κατόπιν αυτών, θα πρέπει να ξαναθυμηθείτε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού αυξάνει η τάση των ατμών του. Κάτι τέτοιο συμφωνεί με την αρχή του Le Chatelier, επειδή απορροφάται θερμότητα καθώς το υγρό εξατμίζεται. Η απορρόφηση της θερμότητας αυτής εξουδετερώνει μερικώς την αύξηση της θερμοκρασίας.

22.13Εφαρμογή των κανόνων της ισορροπίας: Η διαδικασία του Haber.

Η γνώση των αρχών της χημείας βοηθά στη λύση τεχνικών προβλημάτων. Το κλειδί είναι ο έλεγχος των χημικών αντιδράσεων. Η παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα των αζωτούχων ενώσεων είναι ένα παράδειγμα πρακτικής εφαρμογής της αρχής του Le Chatelier.

Η βιομηχανική διαδικασία στοχεύει στη μετατροπή του αδρανούς αζώτου της ατμόσφαιρας σε χρήσιμες ενώσεις, όπως λιπάσματα, πλαστικά και χρώματα. Το πιο δύσκολο στάδιο αυτής της διαδικασίας είναι η αντίδραση (10) που δίνεται παρακάτω:

$$N_2(\alpha) + 3H_2(\alpha) \rightleftharpoons 2NH_3(\alpha) + 22 \text{ kcal}$$

ή

$$N_2(\alpha) + 3H_2(\alpha) \rightleftharpoons 2NH_3(\alpha)$$

$$\Delta H = -22 \text{ kcal} \qquad (10)$$

Μπορείτε να προβλέψετε τις άριστες συνθήκες για υψηλή απόδοση NH_3; Θα πρέπει να επιδιωχθεί η ισορροπία του συστήματος σε χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία; Η εφαρμογή της αρχής του Le Chatelier λέει ότι όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο η κατάσταση ισορροπίας θα ευνοεί την παραγωγή της NH_3. Θα χρησιμοποιηθεί υψηλή ή χαμηλή πίεση; Η παραγωγή NH_3 οδηγεί σε μείωση των συνολικών moles που υπάρχουν από τέσσερα σε δύο. Σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier, για να αυξηθεί η συγκέντρωση, πρέπει να αυξηθεί η πίεση.

Τι γίνεται όμως με την εφαρμογή; Επειδή οι ταχύτητες της αντιδράσεως σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι βραδείες, είναι απαραίτητος ένας συμβιβασμός. Χρειάζεται χαμηλή θερμοκρασία για μια επιθυμητή κατάσταση ισορροπίας, ενώ είναι απαραίτητη υψηλή θερμοκρασία για μια ικανοποιητική ταχύτητα. Ο συμβιβασμός που εφαρμόζεται βιομηχανικά προβλέπει μια ενδιάμεση θερμοκρασία γύρω στους 500°C. Ακόμη και έτσι, η επιτυχία της διαδικασίας εξαρτάται από την παρουσία του κατάλληλου καταλύτη, ο οποίος θα εξασφαλίσει μια λογική ταχύτητα αντιδράσεως.

Σε σχέση με την πίεση, χρειάζεται ένας άλλος συμβιβασμός, επειδή η δημιουργία εγκαταστάσεων υψηλής πιέσεως είναι δαπανηρή*.

Πρακτικά εφαρμόζεται μια πίεση περίπου 350 ατμοσφαιρών. Σε αυτές τις συνθήκες (πίεση 350 ατμόσφαιρες και θερμοκρασία 500°C), μόνο το 30% των αντιδρώντων μετατρέπεται σε NH_3. Η NH_3 απομακρύνεται από το μίγμα αφού υγροποιηθεί κάτω από συνθήκες, στις οποίες το N_2 και το H_2 παραμένουν αέρια. Το N_2 και το H_2 που δεν αντέδρασαν, στη συνέχεια επαναχρησιμοποιούνται. Για το λόγο αυτό, η συνολική ποσοστιαία μετατροπή σε αμμωνία είναι πολύ υψηλή. Στο σχήμα 22-9 (βλ. σελ. 606) φαίνονται τα στάδια αυτής της διαδικασίας.

Πριν από τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, οι κύριες πηγές αζωτούχων ενώσεων ήταν κάποια νιτρικά αποθέματα στη Χιλή. Η κατάσταση άλλαξε, όταν ο Fritz Haber, ένας Γερμανός χημικός, ανέπτυξε με επιτυχία τη μέθοδο που μόλις περιγράψαμε και η οποία τιμής ένεκεν ονομάσθηκε ***μέθοδος Haber***. Αυτή επιτρέπει στους χημικούς να χρησιμοποιούν τα σχεδόν απεριόριστα αποθέματα αζώτου της ατμόσφαιρας ως πηγή αζωτούχων ενώσεων.

* *Σ.τ.Μ. Σήμερα υπάρχουν μέταλλα ανθεκτικά και γι' αυτό πρακτικά εφαρμόζεται πίεση 1000 atm, με αποτέλεσμα, σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier, να έχομε υψηλότερο βαθμό μετατροπής.*

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΤΟ ΟΖΟΝ, Η ΖΩΗ ΣΤΗ ΓΗ ΚΑΙ ΟΙ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ (SST)*

Όπως έχετε μάθει, η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται κατά το ένα πέμπτο από οξυγόνο· αυτό το οξυγόνο αποτελείται από διατομικά μόρια. Υπάρχει μια περισσότερο δραστική μορφή οξυγόνου το οποίο ονομάζεται ***όζον*** και στο οποίο τα μόρια είναι τριατομικά, O_3. Τα μόρια του όζοντος περιέχουν περισσότερη ενέργεια από τα κανονικά μόρια οξυγόνου και γι' αυτό η παρακάτω αντίδραση πραγματοποιείται $2O_3 = 3O_2$ με παράλληλη απελευθέρωση ενέργειας. Παρά ταύτα όμως, το όζον αποσυντίθεται προς κανονικό οξυγόνο με μικρή ταχύτητα, εκτός και αν χρησιμοποιηθεί κάποιος καταλύτης.

Το όζον είναι απαραίτητο για να συνεχίσει να υπάρχει ζωή σε αυτόν τον πλανήτη. Χωρίς το όζον, λίγα (ή κανένα) από τα φυτά και τα ζώα που υπάρχουν σήμερα θα μπορούσαν να επιζήσουν. Μια στοιβάδα όζοντος, όπως φαίνεται και στο παρακείμενο σχήμα, η οποία εκτείνεται 15 έως 50 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της γης, αποδεικνύεται ότι είναι ο παράγοντας διατηρήσεως κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη. Το όζον σε αυτήν τη στοιβάδα σχηματίζεται, όταν μόρια οξυγόνου απορροφούν ισχυρή υπεριώδη ακτινοβολία από τον ήλιο. Τα μόρια του όζοντος απορροφούν επίσης ισχυρά την υπεριώδη ακτινοβολία. Το στρώμα του όζοντος συγκρατεί σχεδόν όλη την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου –εκτός από μια ελάχιστη ποσότητα– και με αυτόν τον τρόπο την εμποδίζει να φθάσει στην επιφάνεια της γης.

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει τόσο πολλή ενέργεια, ώστε, αν αυξανόταν πάρα πολύ η ποσότητά της που θα έφθανε στη γη, θα πέθαιναν όλα τα φυτά, εκτός από εκείνα που ζουν κάτω από το νερό. Επί πλέον, όλα τα ζώα θα τυφλώνονταν και, τουλάχιστον για τον άνθρωπο, ο καρκίνος του δέρματος θα έπαιρνε τη μορφή επιδημίας. Η νέκρωση των επιγείων φυτών θα σήμαινε στέρηση για τα ζώα και τον άνθρωπο βασικής και απαραίτητης τροφής και θα οδηγούσε σε παγκόσμιο λιμό. Η εισαγωγή οποιασδήποτε τεχνολογίας, η οποία θα μπορούσε να μειώσει το στρώμα του όζοντος περισσότερο από ένα ελάχιστο όριο, θα ισοδυναμούσε με αυτοκτονία της ανθρωπότητας.

Η συγκέντρωση του όζοντος στη ζώνη του όζοντος είναι δυνατόν να μειωθεί με την εισαγωγή ουσιών, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να αυξάνουν την ταχύτητα αποσυνθέσεώς του προς κανονικό οξυγόνο. Μια από αυτές τις ουσίες, όπως απεδείχθη από έναν νεαρό χημικό, τον Harold S. Johnston, το 1950, είναι το μονοξείδιο του αζώτου, NO. Ο χημικός αυτός επεξεργάσθηκε τον παρακάτω μηχανισμό καταλυτικής διαδικασίας:

$$O_3 + NO = NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O = NO + O_2$$

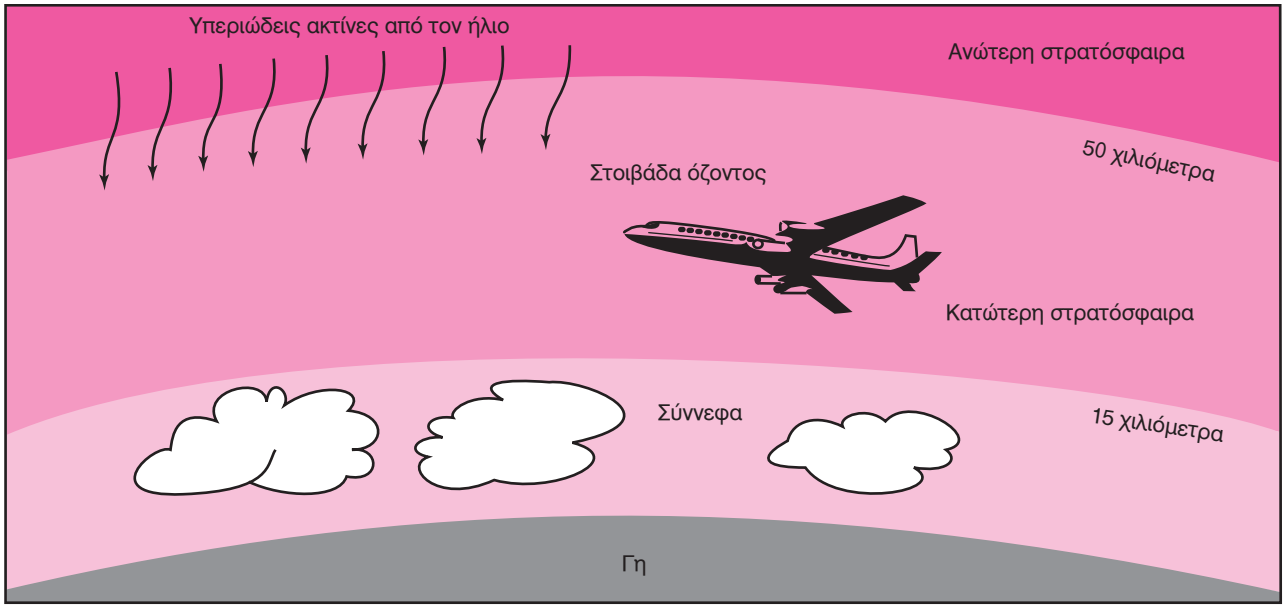
Τα άτομα οξυγόνου που χρειάζονται στο δεύτερο στάδιο προέρχονται από την ισορροπία ανάμεσα στο O_3, στο O_2 και στο O, που υπάρχουν στη ζώνη του όζοντος:

$$O_3 = O_2 + O$$

Θα πρέπει να προσέξετε ότι κατά την καταλυτική διαδικασία το NO αναγεννάται. Έτσι, και μια μικρή έστω ποσότητά του μπορεί να ανακυκλωθεί πολλές φορές και να αποσυνθέσει πολλές φορές την ανάλογη ποσότητα O_3.

Πώς είναι δυνατόν όμως να εισέλθουν στη στοιβάδα του όζοντος σημαντικές ποσότητες NO; Αν και το NO που είναι ρυπαντής σχηματίζεται κοντά στην επιφάνεια της γης από αυτοκίνητα και διάφορες άλλες διαδικασίες καύσεως, μικρή μόνο ποσότητά του είναι δυνατόν να εισέλθει στη στρατόσφαιρα. Οι στοιβάδες της ατμόσφαιρας με τις διαφορετικές θερμοκρασίες εμποδίζουν τη ροή προς υψηλότερα στρώματα. Ακόμη και τα αεροπλάνα (εκτός από τα υπερηχητικά) δεν πετούν αρκετά ψηλά ώστε να αποβάλλουν NO μέσα στη στοιβάδα του όζοντος. Τα υπερηχητικά συχνά πετούν στη στρατόσφαιρα, και οι υπερηχητικές μεταφορές SST, οι οποίες βρίσκονται σε εξέλιξη, ***πρέπει να πραγματοποιούνται σε μεγάλα ύψη για λόγους οικονομίας***. Είναι σχεδιασμένες γι'αυτόν ακριβώς το σκοπό.

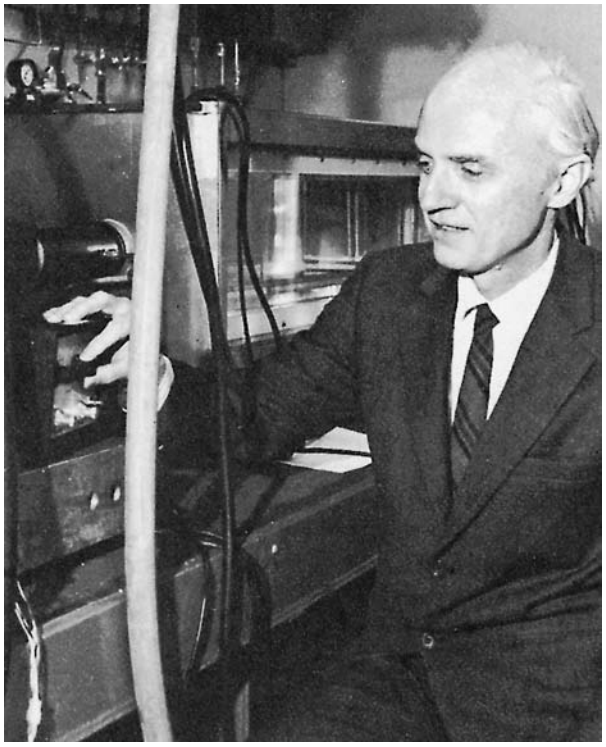
* *Σ.τ.Μ. Στην αγγλική γλώσσα τα γράμματα SST είναι τα αρχικά των λέξεων Super Sonic Transport.*



Η στοιβάδα του όζοντος βρίσκεται ανάμεσα στα 15 και 50 χιλιόμετρα πάνω από την ατμόσφαιρα της γης. Η ζώνη αυτή του όζοντος συγκρατεί σχεδόν όλη –εκτός από μια μικρή ποσότητα– την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου και την εμποδίζει να φθάσει στην επιφάνεια της γης.

Μέχρι πρόσφατα, το πρόβλημα του NO, το οποίο αποβάλλεται από τα υπερηχητικά αεροπλάνα στη στρατόσφαιρα, δεν θεωρούνταν σοβαρό. Ο καθηγητής Johnston όμως διεξήγαγε εκτεταμένους υπολογισμούς, οι οποίοι βασίσθηκαν στις δικές του μελέτες, καθώς και στις μελέτες άλλων, για την καταλυτική επίδραση του NO στην αποσύνθεση του όζοντος. Υπολογίζεται ότι κάθε υπερηχητικό αεροπλάνο αποβάλλει περίπου ***έναν τόνο*** οξειδίου του αζώτου ανά ώρα στη στρατόσφαιρα. Με ένα στόλο 500 υπερηχητικών, τα οποία πετούν κατά μέσο όρο επτά ώρες την ημέρα (με βάση στοιχεία που είχαν προβλεφθεί για το 1985), το υπάρχον όζον στη στρατόσφαιρα θα μειωνόταν στο μισό μέσα σε ένα μόνο χρόνο. Αν συνέβαινε κάτι τέτοιο, τα αποτελέσματα θα ήταν χειρότερα από έναν πυρηνικό πόλεμο.

Πρέπει να λάβομε υπόψη ότι οι υπολογισμοί του Johnston δεν είναι απόλυτα βέβαιοι. Μερικές από τις ταχύτητες των αντιδράσεων που λαμβάνουν μέρος σε αυτούς τους υπολογισμούς δεν είναι με ακρίβεια γνωστές. Υπάρχει επίσης μια αβεβαιότητα κατά την εφαρμογή εργαστηριακών συμπερασμάτων, έστω και μεγάλης ακρίβειας, για την πρόβλεψη του τι θα συμβεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Πάντως, οι υπολογισμοί δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλος κίνδυνος καταστροφής του όζοντος, αν χρησιμοποιηθούν σε ευρεία κλίμακα υπερηχητικά (SST) μέσα μεταφοράς. Η πιο σοβαρή όψη αυτού του ζητήματος είναι ότι, αν επέλθει αυτή η καταστροφή, τα αποτελέσματά της θα είναι μη αναστρέψιμα. Αν η συγκέντρωση του όζοντος μειωθεί σημαντικά, τότε με τη διακοπή μόνο της χρήσεως των υπερηχητικών μέσων (SST) δεν θα κατορθώσομε να αποκαταστήσομε τη σοβαρή αυτή απώλεια.



Harold S. Johnston
(1920 –)

Πόσο χρήσιμη είναι η βασική έρευνα; Την ερώτηση αυτή συχνά διατυπώνουν όσοι δεν ασχολούνται με τις επιστήμες. Βλέπουν τους επιστήμονες στα πανεπιστήμια και στα ερευνητικά εργαστήρια να ξοδεύουν χρόνο και χρήματα προκειμένου να μελετήσουν προβλήματα που έχουν σχέση με τις βασικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά της ύλης. Προβλήματα αυτού του είδους μοιάζουν να στερούνται οποιασδήποτε άμεσης σχέσεως με την καθημερινή ζωή.

Μέχρι πολύ πρόσφατα, αυτοί που συνηθίζουν να διατυπώνουν παρόμοιες ερωτήσεις, θα θεωρούσαν το έργο του Harold S. Johnston και των φοιτητών του στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια ως παράδειγμα "άχρηστης βασικής έρευνας". Για χρόνια ο Johnston μελέτησε επίμονα τον τρόπο πραγματοποιήσεως των αντιδράσεων ανάμεσα σε σχετικά απλά μόρια, στην αέρια φάση. Κατάφερε να προσδιορίσει τους μηχανισμούς πολλών αντιδράσεων αυτού του είδους. Δηλαδή, ανακάλυψε ποια είναι τα διάφορα στάδια μιας αντιδράσεως, με πόση ταχύτητα πραγματοποιούνται και πώς επηρεάζονται αυτές οι ταχύτητες από την προσθήκη επί πλέον αερίων.

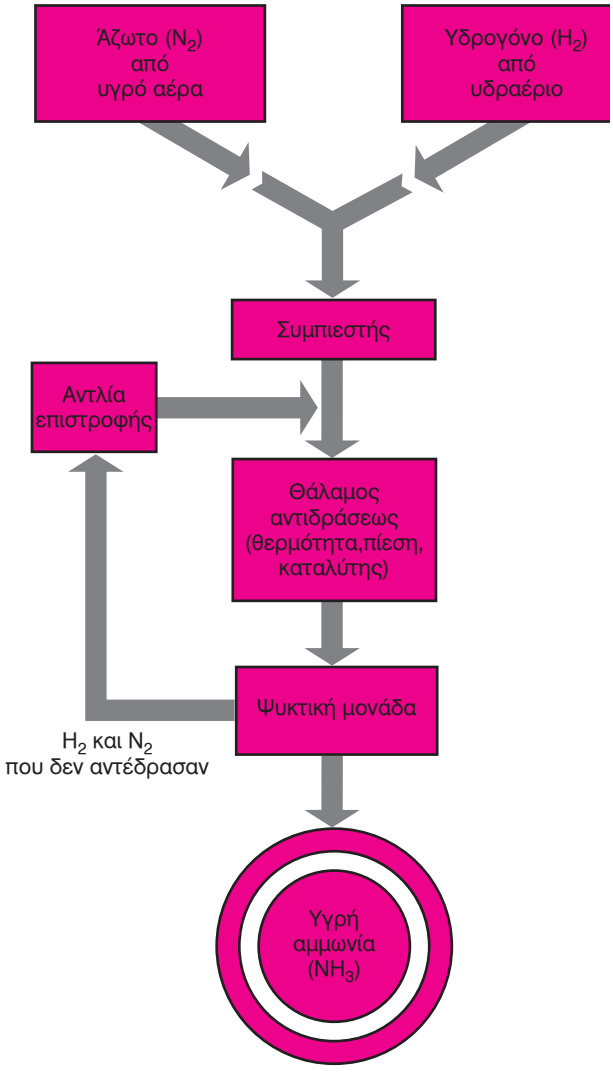
Αυτό το πρόβλημα, πώς είναι δυνατόν μια ουσία να γίνει καταλύτης της αντιδράσεως μιας άλλης, ήταν το πρώτο θέμα με το οποίο ασχολήθηκε ο Johnston, όταν ήταν ακόμη νεαρός πανεπιστημιακός στο πανεπιστήμιο του Stanford. Ειδικότερα, η αντίδραση που αποφάσισε να διερευνήσει ήταν η διάσπαση του όζοντος προς κανονικό οξυγόνο υπό την επίδραση του οξειδίου του αζώτου ως καταλύτη. Επέλεξε αυτό το πρόβλημα, επειδή νόμισε ότι η αντίδραση αυτή ήταν βασικής σημασίας· αν κατόρθωνε λοιπόν να κατανοήσει τις διαδικασίες που σχετίζονται με αυτήν, θα αποκτούσε βαθιά γνώση του τρόπου πραγματοποιήσεως των χημικών αντιδράσεων. Πράγματι, όταν ο Johnston μελέτησε αυτήν τη χαρακτηριστική αντίδραση, δεν ήταν δυνατόν να έχει κάποιον άλλο σκοπό. Κανείς δεν προέβλεπε ***τότε*** την εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Σήμερα, φαίνεται ότι το έργο του, η «άχρηστη βασική του έρευνα», ίσως να είναι ουσιαστική για την προστασία της ζωής αυτού του πλανήτη. Τα σπουδαία ερευνητικά πορίσματα του Johnston αποδεικνύουν κατά τον πιο σαφή τρόπο ότι η βασική έρευνα αποτελεί μακροπρόθεσμα το πιο ***χρήσιμο*** είδος επιστημονικής εργασίας.

Περίληψη.

Η κατάσταση ισορροπίας μπορεί να αλλάξει, αν αλλάξει η συγκέντρωση και η θερμοκρασία. Η αρχή του Le Chatelier επιτρέπει στους χημικούς να προβλέπουν την κατεύθυνση της μεταβολής της καταστάσεως ισορροπίας. Σύμφωνα με αυτήν την αρχή, αν ένα σύστημα σε κατάσταση ισορροπίας υποστεί κάποια αλλαγή, πραγματοποιούνται διαδικασίες, οι οποίες τείνουν να εξουδετερώσουν κατά ένα μέρος την επιβληθείσα μεταβολή. Ο καταλύτης, αν και αυξάνει την ταχύτητα μιας αντιδράσεως, δεν μεταβάλλει την κατάσταση ισορροπίας αυτής.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Αν το μίγμα των αερίων στις επόμενες αντιδράσεις συμπιεσθεί, είναι δυνατόν να προβλεφθεί σύμφωνα με την αρχή του Le Chatelier μια μεταβολή στις συγκεντρώσεις ισορροπίας αυτών των αντιδράσεων; Αν είναι πράγματι δυνατόν, η αλλαγή αυτή θα ευνοεί το σχηματισμό αντιδρώντων ή προϊόντων;
   (α) $N_2O_4(\alpha) \rightleftharpoons 2NO_2(\alpha)$
   (β) $H_2(\alpha) + I_2(\alpha) \rightleftharpoons 2HI(\alpha)$
   (γ) $N_2(\alpha) + 3H_2(\alpha) \rightleftharpoons 2NH_3(\alpha)$
2. Είναι δυνατόν η αντίδραση ενός κλειστού συστήματος να συμπληρωθεί ολοκληρωτικά; Εξηγήστε.
3. Γιατί η προσθήκη ενός καταλύτη σε μια αντίδραση που βρίσκεται σε ισορροπία δεν μεταβάλλει την κατάσταση ισορροπίας;



ΣΧΗΜΑ 22-9. *Τα στάδια της αντιδράσεως του Haber. Στο θάλαμο αντιδράσεως σχηματίζεται αέρια αμμωνία, η οποία στη συνέχεια ψύχεται προς υγρή αμμωνία. Ό,τι δεν αντέδρασε επανεισάγεται στον κύκλο της αντιδράσεως.*

Διερεύνηση της ισορροπίας από ποσοτική άποψη

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

22.14 Ποσοτική προσέγγιση της χημικής ισορροπίας.

Πολυάριθμοι κανόνες επιτρέπουν σε ένα χημικό να επιχειρεί ποιοτικές προβλέψεις γύρω από την κατάσταση ισορροπίας. Οι περισσότεροι από αυτούς έχουν σχέση με μακροσκοπικής φύσεως παρατηρήσεις των αντιδράσεων. Γι' αυτό και δεν επιτρέπουν την πλήρη κατανόηση, πρόβλεψη και έλεγχο αυτών των αντιδράσεων.

Είναι χρήσιμο να γνωρίζομε για παράδειγμα, ότι η αύξηση της πιέσεως ευνοεί τη βιομηχανική παραγωγή αμμωνίας, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 22.13. Ο χημικός όμως επιθυμεί να γνωρίζει με ακρίβεια πόσο

μεγάλη πίεση απαιτείται, για να αυξηθεί η παραγωγή της αμμωνίας. Δηλαδή, θέλει να γνωρίζει πώς μπορεί να ελέγχει μια αντίδραση. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να διαθέτει πληροφορίες για τις συνθήκες ισορροπίας που αφορούν στην ποσοτική παράμετρο.

ΣΚΟΠΟΣ

Με το πείραμα αυτό θα εξοικειωθείτε με μερικές ποσοτικές έννοιες των συνθηκών ισορροπίας. Θα εξετάσετε ποσοτικά την αντίδραση (8), την οποία έχετε μελετήσει ήδη ποιοτικά.

$$Fe^{3+}(υδ) + SCN^{-}(υδ) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(υδ) \qquad (8)$$

Αν προσθέσετε διάφορες συγκεντρώσεις $Fe^{3+}(υδ)$ στο διάλυμα, ενώ διατηρείτε τη συγκέντρωση του $SCN^{-}(υδ)$ σταθερή, θα εξετάσετε το αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών στις συγκεντρώσεις ισορροπίας των αντιδρώντων και των προϊόντων της αντιδράσεως.

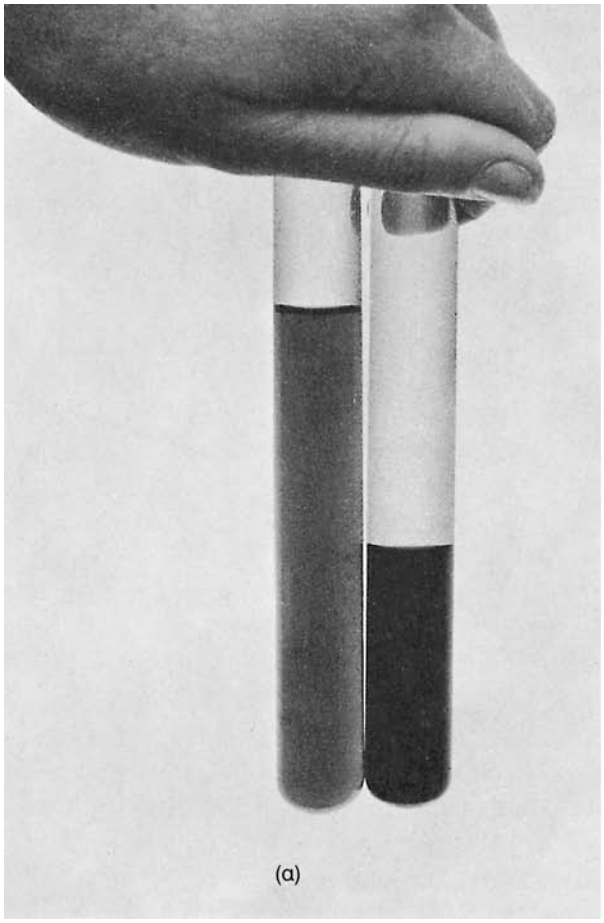
ΥΛΙΚΑ

25 ml 0,002 *M* KSCN
Ποτήρι ζέσεως, 250 ml
15 ml 0,2 *M* $Fe(NO_3)_3$
Γυάλινη ράβδος αναδεύσεως
Απεσταγμένο νερό
Λευκό χαρτί
5 δοκιμαστικοί σωλήνες, 13– x 100 mm
Υποδεκάμετρο
Ογκομετρικός κύλινδρος, 25 ml
Σταγονόμετρο

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Θα προσδιορίσετε χρωματομετρικά τις συγκεντρώσεις, δηλαδή θα συγκρίνετε τα χρώματά τους. Θα έχετε προσέξει ότι η ένταση του χρώματος ενός χρωματιστού υγρού, όπως είναι το κρύο τσάι, μέσα σε ένα ποτήρι φαίνεται διαφορετική, αν το κοιτάξομε από το πλάι του ποτηριού από ό,τι αν το κοιτάξομε κατ' ευθείαν από το πάνω μέρος. Η ένταση του χρώματος εξαρτάται από τη συγκέντρωση του υγρού ***και*** από το ύψος του διαλύματος μέσα στο δοχείο. Έτσι, ένα χρωματιστό διάλυμα συγκεντρώσεως 1 *M* βάθους 1 cm θα εμφανίζεται να έχει την ίδια ένταση χρώματος με ένα διάλυμα 0,5 *M* και ύψους 2 cm (σχ. 22-10). Ο λόγος των συγκεντρώσεων είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το λόγο των υψών. Με βάση αυτήν τη σχέση, μπορείτε να συγκρίνετε τις συγκεντρώσεις δύο διαλυμάτων μεταβάλλοντας τα σχετικά τους ύψη, μέχρι να φανεί ότι η ένταση του χρώματος έγινε ίδια. Η μέθοδος αυτή δίνει σχετικές τιμές των συγκεντρώσεων. Προκειμένου να ληφθούν απόλυτες τιμές, θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε διαλύματα αναφοράς γνωστών συγκεντρώσεων. Στο πρώτο στάδιο θα παρασκευάσετε ένα διάλυμα αναφοράς. Θα ξεκινήσετε με ένα γνωστό ιόν $SCN^{-}(υδ)$ χαμηλής συγκεντρώσεως, και θα προσθέσετε μεγάλη περίσσεια ιόντος $Fe^{3+}(υδ)$.

1. Τοποθετήστε στη σειρά πέντε δοκιμαστικούς σωλήνες της ιδίας διαμέτρου και αριθμήστε τους: 1,2,3,4,5. Προσθέστε 5,0 ml διαλύματος θειοκυανιούχου καλίου KSCN, 0,002 *M*, στον κάθε ένα από αυτούς τους δοκιμαστικούς σωλήνες. Στο σωλήνα 1 προσθέστε 5,0 ml διαλύματος νιτρικού σιδήρου, $Fe(NO_3)_3$, 0,2 *M*. Ο σωλήνας αυτός θα χρησιμοποιηθεί ως σωλήνας αναφοράς.
2. Μετρήστε 10,0 ml $Fe(NO_3)_3$ με τον ογκομετρικό κύλινδρο και προσθέστε μέχρι την ένδειξη "25 ml" απεσταγμένο νερό. Αδειάστε το διάλυμα μέσα σε ένα καθαρό, στεγνό ποτήρι και αναδεύστε το με μια γυάλινη ράβδο αναδεύσεως. Μετρήστε 5,0 ml αυτού του διαλύματος και αδειάστε το μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα 2. Φυλάξτε το υπόλοιπο διάλυμα του $Fe(NO_3)_3$, για να το χρησιμοποιήσετε στο αμέσως επόμενο στάδιο. Να υπολογίσετε τη

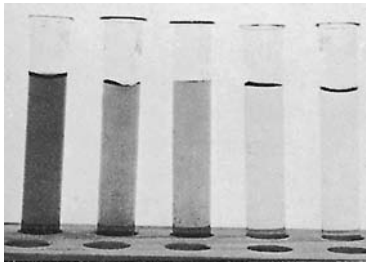




ΣΧΗΜΑ 22-10. *Το διάλυμα δεξιά στην εικόνα (α) έχει τη διπλάσια συγκέντρωση και το μισό όγκο του άλλου διαλύματος. Αν εξετασθούν από το πάνω μέρος (β), τα δύο διαλύματα έχουν την ίδια ένταση ως προς το χρώμα.*

συγκέντρωση αυτού του διαλύματος κατά την προπαρασκευαστική αυτή φάση.

3. Αδειάστε 10,0 ml του διαλύματος που παρασκευάσατε στο στάδιο 2 μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο. Χύστε το υπόλοιπο. Γεμίστε τον κύλινδρο μέχρι την ένδειξη "25,0 ml" με απεσταγμένο νερό, και μεταγγίστε το διάλυμα σε ένα καθαρό στεγνό ποτήρι και αναδεύστε. Αδειάστε 5,0 ml αυτού του διαλύματος στο δοκιμαστικό σωλήνα 3.
4. Εξακολουθήστε να αραιώνετε κατά τον ίδιο τρόπο, μέχρι να έχετε από 5,0 ml διαδοχικά αραιότερου διαλύματος μέσα στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Τα διαλύματά σας θα πρέπει να μοιάζουν με αυτά του σχήματος 22-11. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση του καθενός διαλύματος κατά την προπαρασκευαστική αυτή φάση.
5. Για να προσδιορίσετε τη συγκέντρωση του ιόντος θειοκυανιούχου σιδήρου (III), $FeSCN^{2+}$*(υδ)*, να συγκρίνετε τα διαλύματα του κάθε δοκιμαστικού σωλήνα με το διάλυμα αναφοράς (δοκιμαστικός σωλήνας 1). Για να διευκολυνθείτε, περιτυλίξτε με ένα κομμάτι χαρτί τους δοκιμαστικούς σωλήνες 1 και 2, ώστε να εμποδίζεται η διέλευση του φωτός από το πλάι. Κρατήστε τους σωλήνες πάνω από διάχυτο φως και κοιτάξτε κάθετα μέσα από τα διαλύματα, σύμφωνα και με το σχήμα 22-10β. Αν η ένταση του χρώματος είναι ίδια, μετρήστε το ύψος του κάθε διαλύματος με ακρίβεια χιλιοστού και καταγράψτε το. Αν η ένταση του χρώματος δεν μοιάζει να είναι ίδια, αφαιρέστε λίγο από το διάλυμα του σωλήνα



ΣΧΗΜΑ 22-11.

αναφοράς με ένα ιατρικό σταγονόμετρο, μέχρι να εξομοιωθούν οι εντάσεις. Την ποσότητα που απομακρύνατε να την τοποθετήσετε μέσα σε ένα καθαρό, στεγνό ποτήρι, γιατί ενδέχεται να τη χρειασθείτε αργότερα. Μπορεί να θεωρήσετε ευκολότερο να εξομοιώσετε την ένταση των διαλυμάτων αφαιρώντας αρχικά μεγαλύτερη από όση χρειάζεται ποσότητα διαλύματος αναφοράς και στη συνέχεια επαναπροσθέτοντάς το σταγόνα σταγόνα. Όταν εξομοιωθούν οι εντάσεις του χρώματος και στους δύο δοκιμαστικούς σωλήνες, μετρήστε το ύψος των δύο διαλυμάτων με ακρίβεια χιλιοστού. Επαναλάβατε τη διαδικασία συγκρίνοντας αυτήν τη φορά τους σωλήνες 1 και 3, 1 και 4, 1 και 5.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καταρτίστε στο τετράδιό σας έναν πίνακα, για να καταχωρήσετε το ύψος του διαλύματος στην καθεμία από τις τέσσερις χρωματικές συγκρίσεις.
Ύψος του διαλύματος στο δοκιμαστικό σωλήνα αναφοράς (1).
Ύψος διαλύματος στους άλλους δοκιμαστικούς σωλήνες (2, 3, 4 και 5).

Υπολογισμοί.

Ας υποτεθεί ότι τόσο ο νιτρικός σίδηρος όσο και το θειοκυανιούχο κάλιο βρίσκονται στα αντίστοιχα διαλύματά τους εξ ολοκλήρου υπό τη μορφή ιόντων, και ότι μέσα στο σωλήνα αναφοράς (1) έχουν ουσιαστικά αντιδράσει όλα τα θειοκυανιούχα ιόντα με αποτέλεσμα το σχηματισμό $FeSCN^{2+}$*(υδ)*. Έτσι, θα πρέπει να υποτεθεί ότι η συγκέντρωση ισορροπίας των ιόντων $FeSCN^{2+}$*(υδ)* μέσα στο δοκιμαστικό σωλήνα αναφοράς είναι ουσιαστικά ίση με τη συγκέντρωση των ιόντων SCN^{-}*(υδ)*, με την οποία ξεκινήσατε. Υπενθυμίζεται ότι ***και τα δύο*** διαλύματα, $Fe(NO_3)_3$*(υδ)* και KSCN*(υδ)* είναι κατά την ανάμειξή τους αραιωμένα.

Το σύμβολο [ ] χρησιμοποιείται για να δηλωθεί η συγκέντρωση. Με αυτήν την έννοια θα χρησιμοποιηθεί για την παράσταση της συγκεντρώσεως ισορροπίας σε moles ανά λίτρο του χημικού τύπου που περιέχεται μέσα στις αγκύλες. Για παράδειγμα, ο συμβολισμός $[Fe^{3+}]$ παριστάνει τη συγκέντρωση ισορροπίας των ιόντων του τρισθενούς σιδήρου Fe^{3+}*(υδ)*, σε moles ανά λίτρο.

Εκτελέστε όλους τους υπολογισμούς για τον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα (αριθμοί 2 μέχρι 5), όπως παρακάτω.

1. (α): Να υπολογίσετε το λόγο των υψών κατά τη σύγκριση των χρωμάτων. Για το δοκιμαστικό σωλήνα 2, αυτός ο λόγος διαμορφώνεται, όπως ο παρακάτω:

$$\text{Λόγος των υψών} = \frac{\text{ύψος δείγματος αναφοράς, το οποίο συγκρίθηκε με το δοκιμαστικό σωλήνα 2}}{\text{ύψος του υγρού στο δοκιμαστικό σωλήνα 2}}$$

(β): Από το λόγο αυτό, να υπολογισθούν οι συγκεντρώσεις ισορροπίας του θειοκυανιούχου ιόντος σιδήρου III, $[FeSCN^{2+}]$.

$$[FeSCN^{2+}] = \text{λόγος των υψών x συγκέντρωση διαλύματος αναφοράς}$$

2. Από τα στοιχεία αραιώσεως τα οποία διαθέτετε να υπολογίσετε την αρχική συγκέντρωση του ιόντος Fe^{3+}*(υδ)*.
3. Αφού αφαιρέσετε τη συγκέντρωση ισορροπίας του ιόντος $FeSCN^{2+}$*(υδ)* από την αρχική συγκέντρωση των ιόντων Fe^{3+}*(υδ)*, να υπολογίσετε τη συγκέντρωση ισορροπίας του ιόντος Fe^{3+}*(υδ)*, $[Fe^{3+}]$.

4. Με τον ίδιο τρόπο, να υπολογίσετε τη συγκέντρωση ισορροπίας του ιόντος $SCN^-(υδ)$, $[SCN^-]$. Σε αυτήν την περίπτωση, αφαιρέστε τη συγκέντρωση ισορροπίας των ιόντων $FeSCN^{2+}(υδ)$ από την αρχική συγκέντρωση των ιόντων $SCN^-(υδ)$.
5. Προσπαθήστε να βρείτε κάποια σταθερή αριθμητική σχέση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις ισορροπίας των ιόντων του κάθε δοκιμαστικού σωλήνα. Για να το κατορθώσετε, πολλαπλασιάστε ή διαιρέστε τις τιμές που υπολογίσατε για τον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα, για τον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα να γίνουν οι ακόλουθοι υπολογισμοί:

$$(\alpha)\ [Fe^{3+}][FeSCN^{2+}][SCN^-]$$

$$(\beta)\ \frac{[Fe^{3+}][FeSCN^{2+}]}{[SCN^-]}$$

$$(\gamma)\ \frac{[FeSCN^{2+}]}{[Fe^{3+}][SCN^-]}$$

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Στον υπολογισμό της ασκήσεως 5, ποιος από τους συνδυασμούς συγκεντρώσεων –(α), (β), ή (γ)– δίνει την πιο σταθερή αριθμητική τιμή;
2. Ο συνδυασμός, ο οποίος δίνει την πιο σταθερή αριθμητική τιμή, ονομάζεται ***σταθερά ισορροπίας***. Να διατυπώσετε περιφραστικά την έννοια αυτής της σταθεράς, χρησιμοποιώντας τους όρους ***αντιδρώντα*** και ***προϊόντα***.
3. Να εξηγήσετε γιατί πρέπει να υπάρχει μια σταθερή αριθμητική σχέση αυτού του είδους.

22.15Η σταθερά ισορροπίας μιας αντιδράσεως.

Μόλις πραγματοποιήσατε στο εργαστήριο ένα χρωματομετρικό προσδιορισμό, σύμφωνα με όσα περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο. Για την αντίδραση (8), μετρήσατε τη συγκέντρωση του προϊόντος, $FeSCN^{2+}$, μέσα από διαλύματα που περιείχαν ιόντα τρισθενούς σιδήρου και θειοκυανιούχα, Fe^{3+} και SCN^- (θυμηθείτε ότι οι αγκύλες χρησιμοποιούνται, για να δηλωθεί η συγκέντρωση· ως εκ τούτου το $[Fe^{3+}]$ διαβάζεται "συγκέντρωση των ιόντων του τρισθενούς σιδήρου").

$$Fe^{3+}(υδ) + SCN^-(υδ) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(υδ) \qquad (8)$$

Από την $[FeSCN^{2+}]$ και τις αρχικές τιμές της $[Fe^{3+}]$ και της $[SCN^-]$, υπολογίσατε τη $[Fe^{3+}]$ και τη $[SCN^-]$ κατά την ισορροπία. Στη συνέχεια, υπολογίσατε αυτές τις τιμές για διάφορους συνδυασμούς, ώστε να προσδιορίσετε ποιος λόγος βρισκόταν πλησιέστερα προς μια σταθερή τιμή.

Η χρωματομετρική ανάλυση που βασίζεται στην ανθρώπινη όραση δεν είναι πολύ ακριβής. Τα στοιχεία του πίνακα 22.1 είναι ακριβέστερα. Ο πίνακας περιέχει διάφορες συγκεντρώσεις ισορροπίας για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντιδράσεως (11).

$$2HI(\alpha) \rightleftharpoons H_2(\alpha) + I_2(\alpha) \qquad (11)$$

Τα στοιχεία εκφράζονται σε συγκεντρώσεις, αν και οι μονάδες πιέσεως είναι συνήθως πιο κατάλληλες για αντιδράσεις που περιλαμβάνουν αέρια.

Οι τιμές επάνω από τη μεσαία οριζόντια γραμμή ελήφθησαν δια θερμάνσεως υδρογόνου μαζί με ιώδιο. Οι τιμές κάτω από τη γραμμή ελήφθησαν διά θερμάνσεως καθαρού υδροϊωδίου.

Ποια αποτελέσματα προκύπτουν από αυτά τα στοιχεία; Στον πίνακα 22.2 δίνονται οι πειραματικές τιμές των παρακάτω λόγων, για την κάθε μία από τις πέντε μετρήσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.1.
Συγκεντρώσεις ισορροπίας υδρογόνου, ιωδίου και υδροϊωδίου στους 698,6 K*.

	$[H_2]$ (moles ανά λίτρο)	$[I_2]$ (moles ανά λίτρο)	[HI] (moles ανά λίτρο)
1	$1{,}8313 \times 10^{-3}$	$3{,}1292 \times 10^{-3}$	$17{,}671 \times 10^{-3}$
2	$2{,}9070 \times 10^{-3}$	$1{,}7069 \times 10^{-3}$	$16{,}482 \times 10^{-3}$
3	$4{,}5647 \times 10^{-3}$	$0{,}7378 \times 10^{-3}$	$13{,}544 \times 10^{-3}$
4	$0{,}4798 \times 10^{-3}$	$0{,}4789 \times 10^{-3}$	$3{,}531 \times 10^{-3}$
5	$1{,}1409 \times 10^{-3}$	$1{,}1409 \times 10^{-3}$	$8{,}410 \times 10^{-3}$

** Σ.τ.Μ. Οι τιμές πάνω από τη μεσαία οριζόντια γραμμή ελήφθησαν διά θερμάνσεως υδρογόνου μαζί με ιώδιο. Οι τιμές κάτω από τη γραμμή ελήφθησαν διά θερμάνσεως καθαρού υδροϊωδίου.*

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]} \qquad (12)$$

Αν και οι συγκεντρώσεις ισορροπίας είναι ακριβείς, οι πέντε τιμές αυτής της σχέσεως απέχουν πολύ από τη σταθερή τιμή. Ας εξετασθεί τώρα ο ακόλουθος λόγος:

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} \qquad (13)$$

Οι υπολογισμοί αυτής της σχέσεως συνοψίζονται στον πίνακα 22.3. Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν με αρκετά μεγάλη αξιοπιστία ότι η σχέση (13) έχει κάποια σταθερή τιμή. Η επόμενη σχέση το δείχνει αυτό με σαφή τρόπο:

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.2.

Τιμές του $\frac{[H_2][I_2]}{[HI]}$ ***(Υπολογισθείσες με βάση τα στοιχεία του πίνακα 22.1).***

Πείραμα	$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]}$
1	$32{,}429 \times 10^{-5}$
2	$30{,}105 \times 10^{-5}$
3	$24{,}866 \times 10^{-5}$
4	$6{,}495 \times 10^{-5}$
5	$15{,}477 \times 10^{-5}$

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} = \text{σταθερά}$$

$$= 1{,}835 \times 10^{-2} \text{ στους } 698{,}6 \text{ K} \qquad (14)$$

Ας προσέξομε αυτήν τη σχέση σε συνάρτηση με την αντίδραση (11). Η σχέση (13) είναι ο λόγος του γινομένου των συγκεντρώσεων ισορροπίας των ουσιών που παράγονται κατά την αντίδραση προς το τετράγωνο της συγκεντρώσεως της ουσίας που αντέδρασε. Αναφερόμενοι στο λόγο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η δύναμη στην οποία είναι υψωμένη η συγκέντρωση της κάθε ουσίας ισούται με το συντελεστή της ουσίας αυτής στην αντίδραση (11).

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.3.

Τιμές του $\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$ ***(Υπολογισθείσες με βάση τα στοιχεία του πίνακα 22.1).***

Πείραμα	$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$
1	$1{,}8351 \times 10^{-2}$
2	$1{,}8265 \times 10^{-2}$
3	$1{,}8359 \times 10^{-2}$
4	$1{,}8390 \times 10^{-2}$
5	$1{,}8403 \times 10^{-2}$

22.16 Ο νόμος της χημικής ισορροπίας.

Στη συνέχεια συνοψίζονται όσα έχετε μάθει. Για την αντίδραση

$$Fe^{3+}(υδ) + SCN^{-}(υδ) \rightleftharpoons FeSCN^{2+}(υδ) \quad (8)$$

βρέθηκε πειραματικά (ή έπρεπε να είχε βρεθεί) ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων που συμμετέχουν σε αυτήν την αντίδραση χαρακτηρίζονται από την επόμενη απλή σχέση:

$$\frac{[FeSCN^{2+}]}{[Fe^{3+}][SCN^{-}]} = \text{σταθερά} \quad (15)$$

Στη συνέχεια, εξετάσατε τα στοιχεία της ακριβούς ισορροπίας της αντιδράσεως (11).

$$2HI(α) \rightleftharpoons H_2(α) + I_2(α) \quad (11)$$

Οι συγκεντρώσεις των μορίων που εμφανίζονται στην αντίδραση (11) βρέθηκαν να χαρακτηρίζονται από την παρακάτω απλή σχέση:

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} = \text{σταθερά} \quad (14)$$

Στην κάθε μία από αυτές τις απλές σχέσεις, (14) και (15), οι συγκεντρώσεις των προϊόντων εμφανίζονται στον αριθμητή και οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων εμφανίζονται στον παρονομαστή. Στην αντίδραση (11), αντιδρούν δύο μόρια υδροϊωδίου. Η διατύπωση (14) επηρεάζεται από αυτό, επειδή είναι απαραίτητο να υψώσομε στο τετράγωνο τη συγκέντρωση του υδροϊωδίου, HI, ώστε να καταλήξομε σε ένα σταθερό λόγο.

Οι παρατηρήσεις αυτές και πολλές άλλες παρόμοιες με αυτές οδηγούν στη γενίκευση που είναι γνωστή με το όνομα ***Νόμος της Χημικής Ισορροπίας***. Σε μια αντίδραση

$$αA + βB + ... \rightleftharpoons εE + ζZ + ... \quad (16)$$

όταν αποκαθίσταται ισορροπία, θα υπάρχει μια απλή σχέση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των προϊόντων και τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. Πιο απλά, η επόμενη εξίσωση για την περίπτωση δύο μόνο προϊόντων (E και Z) και δύο αντιδρώντων (A και B) γράφεται ως εξής:

$$\frac{[E]^e[F]^f}{[A]^a[B]^b} = K \quad \text{σταθερά της χημικής αντιδράσεως σε σταθερή θερμοκρασία} \quad (17)$$

Ας προσέξομε τη γενική εξίσωση (17). Βλέπομε ότι ο αριθμητής είναι το γινόμενο των συγκεντρώσεων ισορροπίας των ουσιών που σχηματίζονται κατά τη χημική αντίδραση· οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν υψωθεί στην κατάλληλη δύναμη. Ο παρονομαστής είναι το γινόμενο των συγκεντρώσεων ισορροπίας των αντιδρώντων· οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν υψωθεί πάλι στην κατάλληλη δύναμη. Το πηλίκο παραμένει σταθερό για κάθε σταθερή θερμοκρασία. Η σταθερά K ονομάζεται σταθερά χημικής ισορροπίας. Η σταθερά αυτή και ο νόμος της χημικής ισορροπίας ισχύουν για κάθε χημική αντίδραση. Με τη βοήθεια οποιασδήποτε χημικής εξισώσεως, μπορείτε να γράψετε κατ' ευθείαν μια σχέση χρησιμοποιώντας τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων, η οποία θα είναι σταθερή για κάθε σταθερή τιμή θερμοκρασίας.

Στον πίνακα 22.4 παρουσιάζονται μερικές αντιδράσεις, μαζί με τη σχέση των συγκεντρώσεων που προκύπτει από το νόμο της χημικής ισορροπίας και τις αριθμητικές τιμές των σταθερών ισορροπίας. Κοιτάξτε προσεκτικά τον πίνακα. Ελέγξτε τη μορφή που έχουν οι σχέσεις των συγκεντρώσεων του νόμου της χημικής ισορροπίας. Η πρώτη έχει απροσδόκητη μορφή. Στην περίπτωση της αντιδράσεως (18)

$$Cu(στ) + 2Ag^{+}(υδ) \rightleftharpoons Cu^{2+}(υδ) + 2Ag(στ) \quad (18)$$

δεν βρίσκετε την παρακάτω σχέση:

$$\frac{[Cu^{2+}][Ag]^2}{[Ag^{+}]^2[Cu]} = K \quad (19)$$

Μάλλον βρίσκετε ότι ισχύει η επόμενη εξίσωση (20):

$$\frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^{+}]^2} = K \quad (20)$$

Καταλήγετε στην εξίσωση (20), γιατί οι συγκεντρώσεις του στερεού χαλκού και του στερεού αργύρου είναι ενσωματωμένες στη σταθερά ισορροπίας. Η συγκέντρωση του στερεού χαλκού είναι σταθερή και καθορίζεται από την πυκνότητα του μετάλλου. Δεν είναι

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.4.
Μερικές σταθερές ισορροπίας.

Αντίδραση	Σχέση νόμου ισορροπίας	K σε ορισμένη θερμοκρασία
$Cu(\sigma\tau) + 2Ag^+(\upsilon\delta) \rightleftharpoons Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2Ag(\sigma\tau)$	$K=\frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2}$	2×10^{15} στους 25 °C
$Ag+(\upsilon\delta) + 2NH_3(\upsilon\delta) \rightleftharpoons Ag(NH_3)_2+(\upsilon\delta)$	$K=\frac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag^+][NH_3]^2}$	$1,7 \times 10^7$ στους 25 °C
$N_2O_4(\alpha) \rightleftharpoons 2NO_2(\alpha)$	$K=\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$	0,87 στους 55 °C
$2HI(\alpha) \rightleftharpoons H_2(\alpha) + I_2(\alpha)$	$K=\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2}$	0,018 στους 423 °C
$HSO_4^-(\upsilon\delta) \rightleftharpoons H+(\upsilon\delta) + SO_4^{2-}(\upsilon\delta)$	$K=\frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]}$	0,013 στους 25 °C
$CH_3COOH(\upsilon\delta) \rightleftharpoons H^+(\upsilon\delta) + CH_3COO^-(\upsilon\delta)$	$K=\frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$	$1,8 \times 10^{-5}$ στους °C
$AgCl(\sigma\tau) \rightleftharpoons Ag^+(\upsilon\delta) + Cl^-(\upsilon\delta)$	$K=[Ag^+][Cl^-]$	$1,7 \times 10^{-10}$ στους 25 °C
$AgI(\sigma\tau) \rightleftharpoons Ag^+(\upsilon\delta) + I^-(\upsilon\delta)$	$K=[Ag+][I^-]$	10^{-16} στους 25 °C

δυνατόν να μεταβληθεί ούτε από τον χημικό ούτε από την πορεία της αντιδράσεως. Το ίδιο συμβαίνει και για την περίπτωση του στερεού αργύρου. Καμμία από αυτές τις συγκεντρώσεις δεν μεταβάλλεται, όσο στερεό υλικό και αν προστεθεί. Γι' αυτό δεν είναι ανάγκη να τις σημειώνομε κάθε φορά που θα χρειάζεται ένας υπολογισμός της ισορροπίας. Η εξίσωση (20) είναι αρκετή. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο και οι σχέσεις ισορροπίας που περιγράφουν τις διαλυτότητες του $AgCl(\sigma\tau)$ και του $AgI(\sigma\tau)$ δεν περιέχουν τις συγκεντρώσεις των στερεών αλάτων.

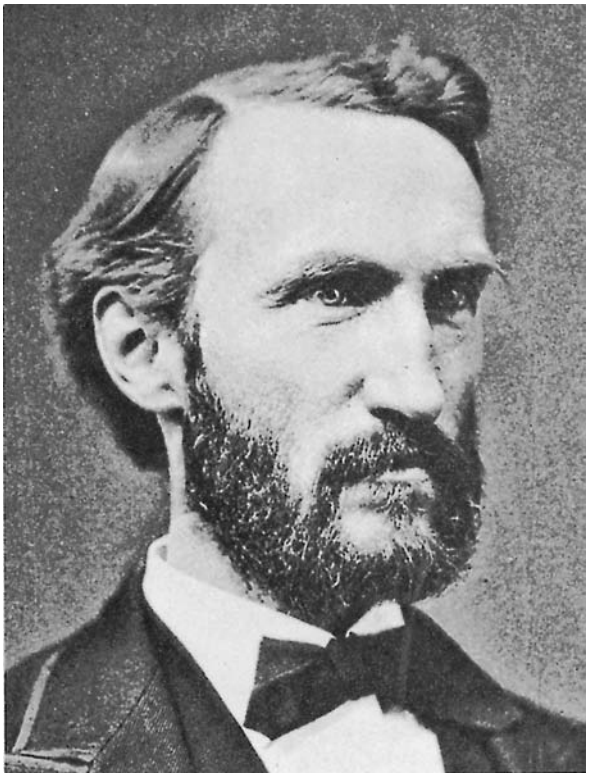
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

22.17 Προσδιορισμός του γινομένου διαλυτότητας του οξικού αργύρου.

Σε ένα κορεσμένο διάλυμα που περιέχει ιόντα σε ισορροπία με ένα στερεό, η ταχύτητα με την οποία τα ιόντα εγκαταλείπουν την επιφάνεια του στερεού κρυστάλλου ισούται με την ταχύτητα με την οποία επιστρέφουν στον κρύσταλλο. Μέσα σε ένα διάλυμα, όπως αυτό του οξικού αργύρου, εφαρμόζεται η παρακάτω εξίσωση:

$$AgCH_3COO(\sigma\tau) \rightleftharpoons (Ag^+(\upsilon\delta) + CH_3COO^-(\upsilon\delta)$$

Οι συγκεντρώσεις των ιοντικών προϊόντων, ιόντων αργύρου, $Ag^+(\upsilon\delta)$, και οξικών ιόντων, $CH_3COO^-(\upsilon\delta)$, καθορίζει την ισορροπία διαλυτότητας. Η



Josiah Willard Gibbs (1839 – 1903)

Ο J.W. Gibbs το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του υπηρέτησε ως καθηγητής της Μαθηματικής Φυσικής στο πανεπιστήμιο του Yale, των ΗΠΑ. Είναι περισσότερο γνωστός από μια σειρά δημοσιεύσεων σε ένα μάλλον άγνωστο επιστημονικό περιοδικό με τίτλο ***Πρακτικά της Ακαδημίας Επιστημών του Connecticut***, κατά τα έτη 1876-1878.

Στις αρχές του 19ου αιώνα, μερικοί διάσημοι επιστήμονες στην Ευρώπη, όπως ο Carnot, ο Joule, ο Helmholtz και ο Kalvin, είχαν δημοσιεύσει εκτεταμένες μελέτες σχετικές με τη θερμοδυναμική. Η θερμοδυναμική μελετά τις σχέσεις ανάμεσα στη θερμότητα και το μηχανικό έργο. Το έργο τους αφορούσε κατά κύριο λόγο τις θερμικές μηχανές και δεν σχετιζόταν με την επιστήμη της χημείας. Ο Hess, ο οποίος είχε μετρήσει τις θερμότητες αντιδράσεως πολλών ουσιών, είχε προβλέψει το 1840 ότι η θερμοχημεία θα έδινε απάντηση σε πολλές απορίες των χημικών.

Ο Gibbs δημοσίευσε τη θεωρία του που αφορούσε στις σχέσεις ανάμεσα στη θερμοδυναμική και τις χημικές αντιδράσεις, αλλά λίγοι Αμερικανοί χημικοί εκείνη την εποχή κατόρθωσαν να κατανοήσουν τα πολύπλοκα μαθηματικά που χρησιμοποιούσε. Το έργο του παρέμεινε αναξιοποίητο μέχρι το 1892, οπότε μεταφράστηκε τελικά στα γερμανικά και δημοσιεύθηκε στα ευρωπαϊκά περιοδικά. Στην Ευρώπη οι θεωρίες του επιδοκιμάσθηκαν αμέσως. Έναν αιώνα μετά και ενώ η επιστήμη είχε προχωρήσει σημαντικά, απεδείχθη η πληρότητα της αντιμετωπίσεως από τον Gibbs του πολύπλοκου θέματος της χημικής θερμοδυναμικής. Πολύ λίγα πράγματα ήταν δυνατόν να προστεθούν στη μελέτη του. Υπήρξε ο πρώτος που ανέπτυξε την έννοια της "ελεύθερης ενέργειας" και του "χημικού δυναμικού" για να βοηθήσει στην ερμηνεία της κινητήριας δυνάμεως που υπάρχει πίσω από τις χημικές αντιδράσεις.

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή της θεωρίας του Gibbs εντοπίζεται στον τομέα της ισορροπίας η οποία αφορά συστήματα που αποτελούνται από μερικά χημικά συστατικά και περισσότερες από μια φάσεις. Εφαρμόζοντας τη θεωρία περί θερμοδυναμικής ο Gibbs ανέπτυξε μια απλή εξίσωση, η οποία δείχνει πώς επηρεάζει ο αριθμός των συστατικών και ο αριθμός των φάσεων του συστήματος τους «βαθμούς ελευθερίας» του. Βαθμοί ελευθερίας είναι το πλήθος των τρόπων με τους οποίους μπορεί να μεταβληθεί η θερμοκρασία, η πίεση και η συγκέντρωση, ενώ το σύστημα εξακολουθεί να βρίσκεται σε ισορροπία.

Τιμώμενος για το λαμπρό έργο του ο Gibbs έλαβε το Μετάλλιο του Copley από την Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου και το 1950 συμπεριλήφθη στον "κατάλογο των διακεκριμένων Αμερικανών".

σταθερά ισορροπίας, η οποία ονομάζεται ***γινόμενο διαλυτότητας***, προσδιορίζεται από το γινόμενο των συγκεντρώσεων ισορροπίας των ιόντων.

$$\text{Γινόμενο διαλυτότητας, } K_{\gamma\delta} = [Ag^+][CH_3COO^-]$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι η "συγκέντρωση" του στερεού οξικού αργύρου δεν συμμετέχει στη διατύπωση του γινομένου των συγκεντρώσεων της ισορροπίας, επειδή δεν αλλάζει. Το γινόμενο διαλυτότητας εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία, γιατί η διαλυτότητα του οξικού αργύρου μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία.

ΣΚΟΠΟΣ

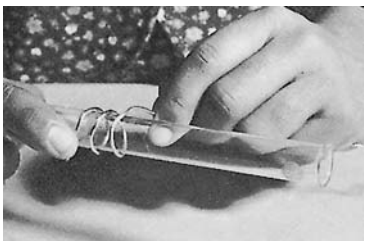
Θα προσδιορίσετε τη συγκέντρωση ισορροπίας των ιόντων αργύρου σε ένα κορεσμένο διάλυμα οξικού αργύρου, σε θερμοκρασία δωματίου. Επειδή η συγκέντρωση του οξικού ιόντος είναι ίδια με τη συγκέντρωση των ιόντων αργύρου, θα μπορέσετε να υπολογίσετε το $K_{\gamma\delta}$.

ΥΛΙΚΑ

Απεσταγμένο νερό
2 υδροβολείς
30 cm χάλκινου σύρματος
Ογκομετρικός κύλινδρος των 100ml
Ακετόνη
Ποτήρι των 250 ml
Σμυριδόπανο (ή σύρμα για τα πιάτα)
Ζυγός, σταθμά
100 ml κορεσμένου $AgCH_3COO$*(υδ)* (από το καθένα από τα τρία διαλύματα που θα έχετε παρασκευάσει με διαφορετικό

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1. Μετρήστε προσεκτικά μέσα σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο 100 ml καθενός από τα τρία κορεσμένα διαλύματα οξικού αργύρου. Να σημειώσετε τον αριθμό του δείγματος από το οποίο τα πήρατε και τη μέθοδο με την οποία το παρασκευάσατε. Αδειάστε το διάλυμα μέσα σε ένα καθαρό στεγνό ποτήρι των 250 ml.
2. Πάρτε ένα χάλκινο σύρμα μήκους 30 εκατοστών και καθαρίστε το με ένα σμυριδόπανο. Κατόπιν, τυλίξτε το σύρμα γύρω από ένα δοκιμαστικό σωλήνα, ώστε να πάρει το σχήμα ελατηρίου, σύμφωνα με το σχήμα 22-12.
3. Να υπολογίσετε τη μάζα του χάλκινου ελατηρίου με ακρίβεια 0,01g και να το τοποθετήσετε μέσα στο ποτήρι που περιέχει το κορεσμένο διάλυμα του οξικού αργύρου. Αφήστε το ελατήριο μέσα στο διάλυμα όλη τη νύκτα, ώστε να δοθεί η δυνατότητα σε όλα τα ιόντα αργύρου να αντιδράσουν.
4. Ανακινήστε τους κρυστάλλους αργύρου, αφού απομακρύνετε το χάλκινο ελατήριο από το ποτήρι. Ξεπλύνατε το σύρμα με αρκετό νερό από τη βρύση. Στη συνέχεια, ξεπλύνατέ το με ακετόνη. Όταν στεγνώσει το σύρμα, να υπολογίσετε τη μάζα του.
5. Ξεχωρίστε με απόχυση το διάλυμα από τους κρυστάλλους του αργύρου και ξεπλύνατε τους κρυστάλλους με απεσταγμένο νερό χρησιμοποιώντας υδροβολέα. Τοποθετήστε τον άργυρο σε ένα δοχείο που θα σας δώσει ο καθηγητής σας, ώστε να μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.



ΣΧΗΜΑ 22-12.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Να καταγράψετε τη μάζα του χάλκινου ελατηρίου πριν και μετά την αντίδραση.

Υπολογισμοί.

1. Να υπολογίσετε τον αριθμό των moles του Cu*(στ)* που αντέδρασε με τα ιόντα αργύρου.
2. Αν ένα mole Cu*(στ)* αντιδρά με δύο moles Ag^+*(υδ)*, πόσα moles ιόντων αργύρου, Ag^+*(υδ)*, υπάρχουν μέσα στα 100 ml του δείγματος; Ποια είναι η συγκέντωση των ιόντων αργύρου σε moles ανά λίτρο;
3. Ποια είναι η συγκέντρωση των οξικών ιόντων σε moles ανά λίτρο;
4. Να υπολογίσετε την τιμή της $K_{γδ}$ του οξικού αργύρου σε θερμοκρασία δωματίου.
5. Να συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με εκείνα των συμμαθητών σας, οι οποίοι χρησιμοποίησαν κορεσμένα διαλύματα οξικού αργύρου, που περιείχαν διαφορετικές ποσότητες στερεού, $AgCH_3COO$*(στ)*. Τι συμπέρασμα βγαίνει από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων;

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.

1. Βασιζόμενοι στη διαδικασία αυτού του πειράματος ή σε κάποια άλλη, να προτείνετε μία άλλη μέθοδο για τον προσδιορισμό της συγκεντρώσεως των Ag^+*(υδ)* στο κορεσμένο διάλυμα.
2. Ας υποτεθεί ότι κάποια ποσότητα οξικού νατρίου, $NaCH_3COO$*(στ)*, προστίθεται σε κορεσμένο διάλυμα οξικού αργύρου, το οποίο βρίσκεται σε ισορροπία με κάποια ποσότητα $AgCH_3COO$*(στ)*. Όταν διαλυθεί το οξικό νάτριο, τι αποτέλεσμα θα έχει η αύξηση της συγκεντρώσεως του οξικού ιόντος στην παρακάτω ισορροπία;

$$AgCH_3COO(στ) \rightleftharpoons Ag^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$$

3. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση των ιόντων Ag^+*(υδ)*, όταν η συγκέντρωση του οξικού ιόντος στο διάλυμα του προβλήματος 2 είναι 2,0 *M*. Συμφωνεί αυτό το αποτέλεσμα με την πρόβλεψη που επιχειρήσατε στο πρόβλημα 2;

22.18Ποσοτική προσέγγιση της ισορροπίας διαλυτότητας.

Ο Νόμος της Χημικής Ισορροπίας εφαρμόζεται στην ισορροπία διαλυτότητας, ακριβώς όπως και στην ισορροπία των χημικών αντιδράσεων. Με αυτήν την έννοια, είναι δυνατόν να αντιμετωπισθεί η διάλυση μιας στερεάς ουσίας ως μια "αντίδραση". Έτσι, η αντίδραση (21) γράφεται:

$$\text{στερεό} = \text{διαλυμένη ουσία} \qquad (21)$$

Η αντίστοιχη σταθερά ισορροπίας είναι η ακόλουθη:

$$K = \frac{[\text{διαλυμένη ουσία}]}{[\text{στερεό}]}$$

Επειδή η συγκέντρωση του στερεού είναι σταθερή για κάθε ουσία, η σταθερά ισορροπίας για την ισορροπία διαλυτότητας λαμβάνει την ακόλουθη απλή μορφή:

$$K = [\text{διαλυμένη ουσία}] \qquad (23)$$

Μερικές φορές η διαλυμένη ουσία αποτελείται εξ ολοκλήρου από μόρια ενός είδους, όπως για παράδειγμα όταν διαλύεται ιώδιο σε διάλυμα νερού-αλκοόλης. Σε περιπτώσεις όπως αυτή, η σταθερά ισορροπίας ερμηνεύεται πολύ απλά. Δεν είναι παρά η διαλυτότητα σε moles ανά λίτρο της διαλυμένης ουσίας στο συγκεκριμένο διαλύτη και σε καθορισμένη θερμοκρασία.

Στην περίπτωση όμως που οι ουσίες διαλύονται και σχηματίζουν ιόντα, η κατάσταση είναι πιο πολύπλοκη. Ως γνωστόν, οι ουσίες αυτές που σχηματίζουν ιόντα ονομάζονται ηλεκτρολύτες και τα διαλύματά τους ονομάζονται ηλεκτρολυτικά διαλύματα. Η διάλυση των ηλεκτρολυτών στο νερό εξετάσθηκε στην παράγραφο 17.18. Ας εξετάσομε τώρα τη διάλυση του χλωριούχου αργύρου, AgCl.

Όταν διαλύεται ο χλωριούχος άργυρος στο νερό, δεν υπάρχουν μόρια χλωριούχου αργύρου, AgCl. Όμως στο διάλυμα υπάρχουν ιόντα

αργύρου, $Ag^+(υδ)$, και ιόντα χλωρίου, $Cl^-(υδ)$.

$$AgCl(στ) \rightleftharpoons Ag^+(υδ) + Cl^-(υδ) \qquad (24)$$

Οι συγκεντρώσεις αυτών των ιόντων καθορίζουν την ισορροπία διαλυτότητας. Η εξίσωση (25) προσδιορίζει την κατάσταση ισορροπίας.

$$K = \text{σταθερά} = [Ag^+][Cl^-] \qquad (25)$$

Θυμηθείτε ότι η "συγκέντρωση" ενός στερεού δεν συμμετέχει στον τύπο της ισορροπίας, όπως είναι ο (25), γιατί η συγκέντρωση του δεν μεταβάλλεται.

Σε ένα άλλο παράδειγμα, ας εξετάσομε τη διαλυτότητα του χλωριούχου μολύβδου, $PbCl_2$.

$$PbCl_2(στ) \rightleftharpoons Pb^{2+}(υδ) + 2Cl^-(υδ) \qquad (26)$$

Κατά την ισορροπία ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$K = \text{σταθερά} = [Pb^{2+}][Cl^-]^2 \qquad (27)$$

Όπως μάθατε στο προηγούμενο πείραμα, στις σταθερές ισορροπίας διαλυτότητας δίνεται το χαρακτηριστικό όνομα "γινόμενο διαλυτότητας" το οποίο συμβολίζεται με το $K_{γδ}$. Το ***γινόμενο διαλυτότητας*** ενός ηλεκτρολύτη ισούται με το γινόμενο των συγκεντρώσεων των ιόντων ενός κορεσμένου διαλύματος, όπου οι συγκεντρώσεις έχουν υψωθεί στον κατάλληλο εκθέτη. ***Κορεσμένο διάλυμα*** είναι το διάλυμα που περιέχει τη μέγιστη ποσότητα διαλυμένης ουσίας που είναι δυνατόν να διαλυθεί σε ορισμένη θερμοκρασία. Μικρή τιμή του $K_{γδ}$ σημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων κατά την ισορροπία είναι μικρές. Άρα, η διαλυτότητα θα πρέπει να είναι χαμηλή. Στον πίνακα 22.5 παρουσιάζονται τα γινόμενα διαλυτότητας μερικών γνωστών ενώσεων.

22.19 Υπολογισμός της διαλυτότητας με τη βοήθεια του γινομένου διαλυτότητας.

Το γινόμενο διαλυτότητας προσδιορίζεται από μετρήσεις της διαλυτότητας. Αλλά και αντίστροφα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τον υπολογισμό της διαλυτότητας. Ας υποτεθεί ότι θέλετε να μάθετε πόσος χλωριούχος χαλκός, CuCl, θα διαλυθεί σε ένα λίτρο νερού. Προκειμέ- νου να το προσδιορίσετε, ξεκινάτε γράφοντας την εξίσωση της αντιδράσεως:

$$CuCl(στ) \rightleftharpoons Cu^+(υδ) + Cl^-(υδ) \qquad (28)$$

Από την εξίσωση αυτή μπορείτε να γράψετε τη σχέση της ισορροπίας.

$$K_{γδ} = [Cu^+][Cl^-] \qquad (29)$$

Από τον πίνακα 22.5 βρίσκετε την αριθμητική τιμή του $K_{γδ}$ στους 25°C.

$$K_{γδ} = 3{,}2 \times 10^{-}7 = [Cu^+][Cl^-] \qquad (30)$$

Η σχέση (30) δείχνει ότι ο χλωριούχος χαλκός διαλύεται μέχρι να αυξηθούν οι γραμμομοριακές συγκεντρώσεις του ιόντος χαλκού και του ιόντος χλωρίου τόσο, ώστε το γινόμενό τους να εξισωθεί με $3{,}2 \times 10^{-7}$.

Ας υποτεθεί τώρα ότι συμβολίζετε τη διαλυτότητα του χλωριούχου χαλκού στο νερό με το σύμβολο $δ$. Το σύμβολο αυτό παριστάνει τα

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.5.
Γινόμενα διαλυτότητας γνωστών χημικών ενώσεων σε θερμοκρασία δωματίου (25 °C).

Χημική ένωση	Γινόμενο διαλυτότητας	Χημική ένωση	Γινόμενο διαλυτότητας
TlCl	$1{,}9 \times 10^{-4}$	$SrCrO_4$	$3{,}6 \times 10^{-5}$
CuCl	$3{,}2 \times 10^{-7}$	$BaCrO_4$	$8{,}5 \times 10^{-11}$
AgCl	$1{,}7 \times 10^{-10}$	$PbCrO_4$	$2{,}0 \times 10^{-5}$
TlBr	$3{,}6 \times 10^{-6}$	$CaSO_4$	$2{,}4 \times 10^{-5}$
CuBr	$5{,}9 \times 10^{-9}$	$SrSO_4$	$7{,}6 \times 10^{-7}$
AgBr	$5{,}0 \times 10^{-13}$	$PbSO_4$	$1{,}3 \times 10^{-8}$
TlI	$8{,}9 \times 10^{-8}$	$BaSO_4$	$1{,}5 \times 10^{-9}$
CuI	$1{,}1 \times 10^{-12}$	$RaSO_4$	$3{,}8 \times 10^{-11}$
AgI	$8{,}5 \times 10^{-17}$	$AgBrO_3$	$5{,}4 \times 10^{-5}$
		$AgIO_3$	$3{,}1 \times 10^{-8}$

moles του στερεού χλωριούχου χαλκού, τα οποία διαλύονται σε ένα λίτρο νερού. Με τη βοήθεια της εξισώσεως (28), διαπιστώνετε ότι δ moles στερεού χλωριούχου χαλκού παράγουν δ moles ιόντων χαλκού, $Cu^+(υδ)$, και δ moles ιόντων χλωρίου, $Cl^-(υδ)$. Κατά συνέπεια, οι συγκεντρώσεις αυτές θα πρέπει να είναι ίσες.

$$[Cu^+] = [Cl^-] = \delta \text{ moles/λίτρο}$$
$$= \text{moles CuCl που έχουν διαλυθεί} \qquad (31)$$

Αν αντικατασταθεί η σχέση (31) στην εξίσωση (30) λαμβάνεται η ακόλουθη σχέση:

$$K_{sp} = 3{,}2 \times 10^{-7} = \delta \times \delta = \delta^2$$
$$\delta^2 = 3{,}2 \times 10^{-7} = 32 \times 10^{-8}$$
$$\delta = \sqrt{32 \times 10^{-8}} = 5{,}7 \times 10^{-4} \text{ moles/λίτρο}$$
$$\delta = 0{,}00057\ M \qquad (32)$$

22.20 Πότε σχηματίζεται ίζημα;

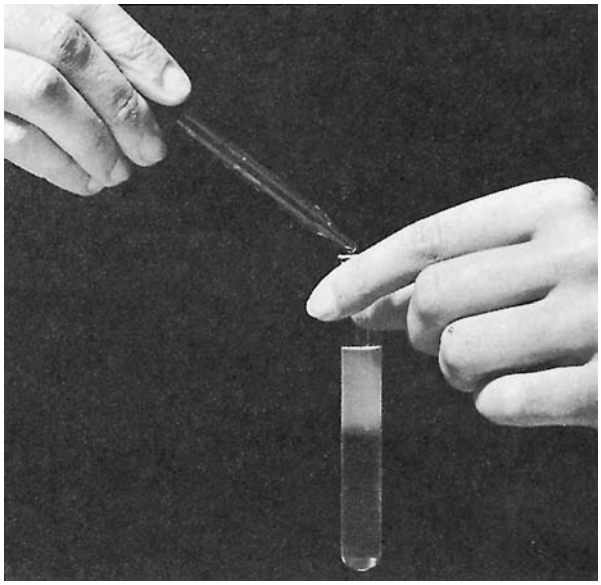
Πολλοί ηλεκτρολύτες χαρακτηρίζονται από μικρή διαλυτότητα στο νερό. Οι χημικοί συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα, που έχουν σχέση με τη συμπεριφορά των ηλεκτρολυτών με μικρή διαλυτότητα. Το θειικό ασβέστιο*, $CaSO_4$, είναι ένα καλό παράδειγμα γι' αυτήν την περίπτωση. Ας υποτεθεί ότι αναμιγνύονται δύο διαλύματα, το ένα από τα οποία περιέχει θειικά ιόντα και το άλλο ιόντα ασβεστίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο βρίσκονται μαζί στο ίδιο διάλυμα τα δύο συστατικά του θειικού ασβεστίου. Ίσως να μην βρίσκονται στην ίδια ποσότητα, όπως θα συνέβαινε, αν είχε διαλυθεί κατ' ευθείαν το θειικό ασβέστιο στο νερό. Η ερώτηση που γεννάται είναι η εξής: Για καθορισμένες συγκεντρώσεις θειικών ιόντων και ιόντων ασβεστίου, θα σχηματισθεί ίζημα θειικού ασβεστίου (στο σχήμα 22-13 φαίνεται ένα ίζημα θειικού ασβεστίου); Το γινόμενο διαλυτότητας μας βοηθά να δώσομε αξιόπιστη απάντηση σε αυτήν την ερώτηση.

Ας εξετάσομε για παράδειγμα τις επόμενες δύο αντιδράσεις.

1. Αναμιγνύονται ίσοι όγκοι 0,02 *M* $CaCl_2$ και 0,0004 *M* Na_2SO_4.
2. Αναμιγνύονται ίσοι όγκοι 0,08 *M* $CaCl_2$ και 0,02 *M* Na_2SO_4.

Θα σχηματισθεί ίζημα σε κάποια από αυτές τις αντιδράσεις; Μήπως και στις δύο;

* *Σ.τ.Μ. Πρόκειται για ένα είδος γύψου.*



ΣΧΗΜΑ 22-13. *Για να προβλέψομε αν θα σχηματιστεί κάποιο ίζημα όπως αυτό του θειικού ασβεστίου (πάνω), πρέπει να γνωρίζομε τις συγκεντρώσεις και τα γινόμενα διαλυτότητας.*

Προκειμένου να δοθεί απάντηση σε αυτές τις ερωτήσεις, πρέπει πρώτα να γραφεί η εξίσωση της αντιδράσεως για τη διάλυση του θειικού ασβεστίου στο νερό. Στη συνέχεια, γράφεται η σχέση που προκύπτει από το νόμο της ισορροπίας.

$$CaSO_4(στ) \rightleftharpoons Ca^{2+}(υδ) + SO_4^{2-}(υδ) \qquad (33)$$
$$K_{γδ} = [Ca^{2+}][SO_4^{2-}] \qquad (34)$$

Κατόπιν, υπολογίζομε τη συγκέντρωση του κάθε ιόντος. Όταν έχουν αναμιχθεί ίσοι όγκοι, το κάθε ιόν θα βρίσκεται μέσα σε διπλάσια ποσότητα του διαλύτη. Γι' αυτό η συγκέντρωση του κάθε ιόντος θα είναι μόνο η μισή εκείνης που ήταν πριν από την ανάμειξη. Ακολουθούν οι υπολογισμοί διαλυτότητας για την πρώτη αντίδραση:

$$[Ca^{2+}] = \frac{0{,}02\ M}{2} = 0{,}01\ M = 1 \times 10^{-2}\ M$$
$$[SO_4^{2-}] = \frac{0{,}0004\ M}{2} = 0{,}0002\ M$$
$$= 2 \times 10^{-4}\ M$$

Αν το γινόμενο των συγκεντρώσεων των προηγουμένων ιόντων είναι μεγαλύτερο από το $K_{γδ}$, τότε θα επέλθει καταβύθιση (σχηματισμός

ιζήματος). Αν είναι μικρότερο, δεν θα σχηματισθεί ίζημα. Για να κατανοήσομε γιατί συμβαίνει αυτό, θα πρέπει να θυμηθούμε ότι το $K_{γδ}$ περιγράφει ένα κορεσμένο διάλυμα. Κορεσμένο είναι το διάλυμα που περιέχει τη ***μέγιστη*** ποσότητα διαλυμένης ουσίας, η οποία είναι δυνατόν να διαλυθεί σε ορισμένη θερμοκρασία. Έτσι, γινόμενο συγκεντρώσεων ιόντων μεγαλύτερο από το $K_{γδ}$ δείχνει ότι ο διαλύτης δεν έχει τη δυνατότητα να διαλύσει όλα τα ιόντα. Γινόμενο συγκεντρώσεων ιόντων μικρότερο από το $K_{γδ}$ δείχνει ότι ο διαλύτης μπορεί να διαλύσει και άλλα ιόντα.

Έχοντας αυτά κατά νου, μπορείτε να κατανοήσετε τους παρακάτω υπολογισμούς.

$$[Ca^{2+}]\,[SO_4^{2-}] = (1 \times 10^{-2})(2 \times 10^{-4}) = 2 \times 10^{-6}$$

Το γινόμενο αυτό, 2×10^{-6}, είναι ***μικρότερο*** από το $K_{γδ}$, το οποίο ισούται με $2{,}4 \times 10^{-5}$. Κατά συνέπεια, στην πρώτη αντίδραση ***δεν*** θα σχηματισθεί ίζημα.

Οι υπολογισμοί της δεύτερης αντιδράσεως πραγματοποιούνται κατά τον ίδιο τρόπο.

$$\left[Ca^{2+}\right] = \frac{0{,}02\ M}{2} = 0{,}04\ M = 4 \times 10^{-2}\ M$$

$$\left[SO_4^{2-}\right] = \frac{0{,}02\ M}{2} = 0{,}01\ M = 1 \times 10^{-2}\ M$$

Υπολογίζεται πάλι το γινόμενο των ιόντων.

$$[Ca^{2+}][SO_4^{2-}] = (4 \times 10^{-2}) \times (1 \times 10^{-2}) = 4 \times 10^{-4}$$

Τη φορά αυτή το γινόμενο των ιόντων, 4×10^{-4}, είναι ***μεγαλύτερο*** από το $K_{γδ}$, το οποίο ισούται με $2{,}4 \times 10^{-5}$. Γι' αυτό, ***θα σχηματισθεί*** ίζημα $CaSO_4$. Το στερεό θειικό ασβέστιο θα εξακολουθήσει να σχηματίζεται, περιορίζοντας τις συγκεντρώσεις του $Ca^{2+}(υδ)$ και του $SO_4^{2-}(υδ)$ τόσο, ώστε το γινόμενο των συγκεντρώσεων αυτών των ιόντων να εξισωθεί με το $K_{γδ}$. Τότε θα αποκατασταθεί η ισορροπία και θα πάψει να σχηματίζεται ίζημα.

22.21 Ο Νόμος της Χημικής Ισορροπίας όπως εξετάζεται από τις ταχύτητες των αντιθέτων διαδικασιών.

Οι χημικοί θεωρούν την ισορροπία ως μια δυναμική εξισορρόπηση ανάμεσα σε αντίθετες διαδικασίες. Πάνω σε αυτήν τη βάση στηρίζεται η κατανόηση του Νόμου της Χημικής Ισορροπίας.

Ας μελετήσομε την αντίδραση ανάμεσα στο μονοξείδιο του αζώτου, NO, και στο αέριο οξυγόνο, O_2.

$$2NO(α) + O_2(α) \rightarrow 2NO_2(α) \qquad (35)$$

Η αντίδραση στη δεξιά πλευρά (Δ) πραγματοποιείται με μια ταχύτητα, η οποία βάσει πειραματικών δεδομένων εξαρτάται από την συγκέντρωση των αντιδρώντων κατά τον παρακάτω τρόπο:

$$(\text{ταχύτητα})_Δ = k_Δ[NO]^2[O_2] \qquad (36)$$

Υπενθυμίζεται ότι k είναι το σύμβολο για τη σταθερά της ταχύτητας, η οποία περιεγράφη στην παράγραφο 21.5. Οι χημικοί έχουν επίσης μελετήσει την αντίστροφη αντίδραση, αυτήν προς τα αριστερά (Α).

$$2NO_2(α) \rightarrow 2NO(α) + O_2(α) \qquad (37)$$

Η ταχύτητα αυτής της αντιδράσεως εξαρτάται από τη συγκέντρωση των προϊόντων ως ακολούθως:

$$(\text{ταχύτητα})_A = k_A[NO_2]^2 \qquad (38)$$

Οι μακροσκοπικές χημικές μεταβολές σταματούν, όταν η ταχύτητα της αντιδράσεως (35) γίνεται ακριβώς ίση με την ταχύτητα της αντιδράσεως (37). Όταν συμβεί αυτό, εξισώνονται οι σχέσεις (36) και (38).

$$(\text{ταχύτητα})_Δ = (\text{ταχύτητα})_A \qquad (39)$$

$$k_Δ[NO]^2[O_2] = k_A[NO_2]^2 \qquad (40)$$

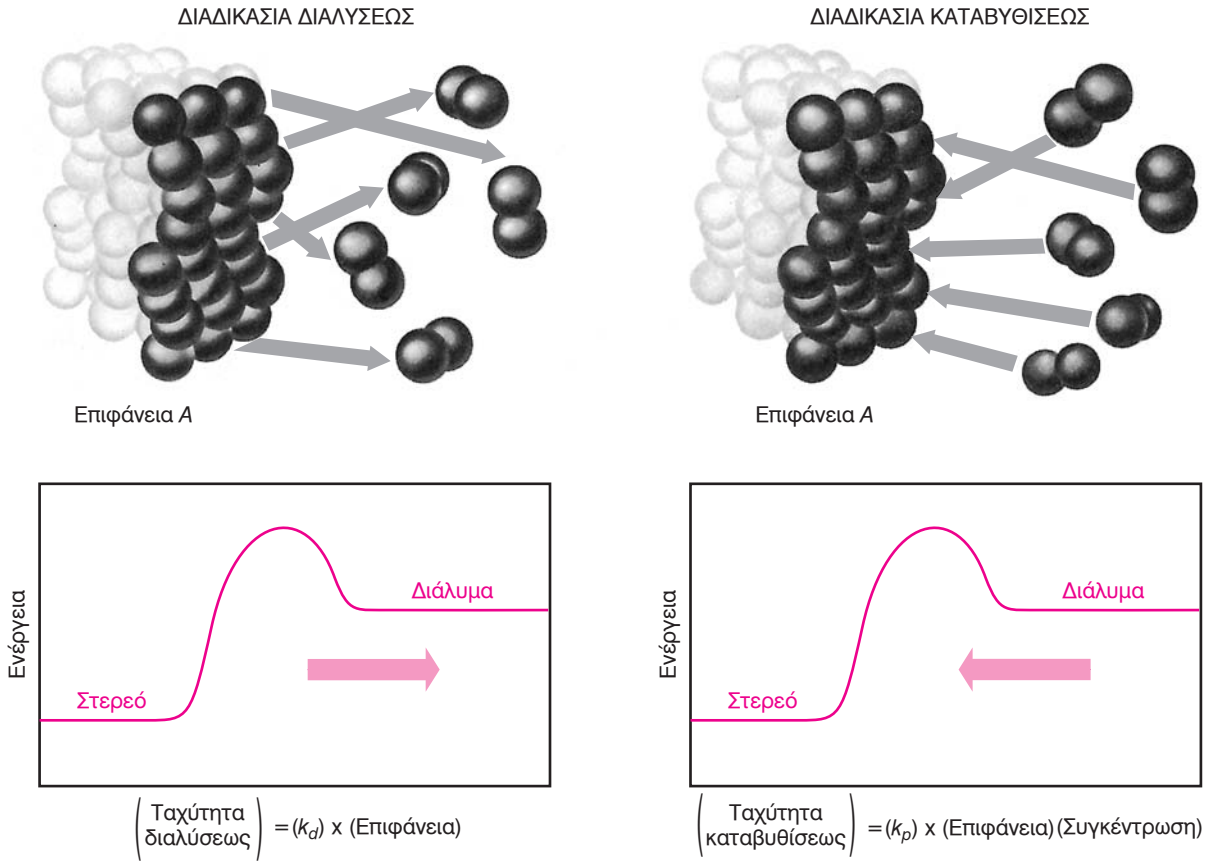
Εφαρμόζοντας μια αλγεβρική μετατόπιση, η εξίσωση (40) γράφεται ως εξής:

$$\frac{k_Δ}{k_A} = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]} \qquad (41)$$

Επειδή τόσο το $\boldsymbol{k_Δ}$ όσο και το $\boldsymbol{k_A}$ είναι σταθερά σε ορισμένη θερμοκρασία, θα είναι και ο λόγος τους σταθερός. Αυτό συνεπάγεται ότι η εξίσωση (41) αποτελεί παράδειγμα του νόμου ισορροπίας. Σε κάθε αντίδραση που έχει μελετηθεί σε βάθος, λαμβάνεται το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτός είναι και ο λόγος που οι χημικοί εμπιστεύονται τη μοριακή θεώρηση της ισορροπίας στις χημικές αντιδράσεις.

Η ισορροπία διαλυτότητας είναι όμοια με την ισορροπία στις χημικές αντιδράσεις. Στην ισορροπία διαλυτότητας οι ταχύτητες της διαλύσεως και της καταβυθίσεως πρέπει να είναι ίσες.

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διαλύσεως ενός στερεού, όπως το ιώδιο, είναι το εμβαδόν, *A*, της επιφάνειας του



ΣΧΗΜΑ 22-14. *Όπως παρατηρούμε, η διάλυση και η καθίζηση, σε μακροσκοπική κλίμακα, πραγματοποιούνται με ίσες ταχύτητες, όταν έχει αποκατασταθεί ισορροπία.*

κρυστάλλου, η οποία εφάπτεται με το υγρό. Αν διαλυθούν ταυτόχρονα πολλοί κρύσταλλοι (με μεγάλη επιφάνεια A), η ταχύτητα διαλύσεως είναι μεγαλύτερη από ό,τι αν ήταν μόνο λίγοι κρύσταλλοι (με μικρή A) μέσα στο διαλύτη. Η ταχύτητα διαλύσεως είναι ανάλογη της επιφάνειας επαφής A υγρού-στερεού.

Ένα μόριο ιωδίου για παράδειγμα, είναι πιο σταθερό στην κρυσταλλική μορφή από ό,τι σε διάλυμα. Γι' αυτό το λόγο, η δυναμική ενέργεια αυξάνεται, όταν ένα μόριο απομακρύνεται από τον κρύσταλλο. Εδώ εφαρμόζονται οι αρχές, οι οποίες ελέγχουν τις ταχύτητες των αντιδράσεων. Είναι πιθανόν να σχηματίζεται κάποιο ενεργοποιημένο σύμπλοκο κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Η ταχύτητα με την οποία τα μόρια τα οποία περνούν πάνω από το ενεργειακό φράγμα, εγκαταλείπουν ένα τετραγωνικό εκατοστό επιφάνειας, καθορίζεται από το ύψος του φράγματος και από τη θερμοκρασία. Αυτό θα μπορούσε να ονομασθεί k_δ. Η αλλαγή της θερμοκρασίας δεν επηρεάζει το ενεργοποιημένο σύμπλοκο. Μεταβάλλεται όμως η κατανομή της μοριακής ενέργειας (σχ. 21-9). Σύμφωνα και με την επόμενη εξίσωση, το k_δ είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας:

$$\text{Ταχύτητα διαλύσεως} = \left(\begin{array}{c}\text{εμβαδόν}\\ \text{επιφάνειας}\end{array}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{ταχύτητα με την οποία τα}\\ \text{μόρια εγκαταλείπουν ένα}\\ \text{τετραγωνικό εκατοστό της}\\ \text{κρυσταλλικής επιφάνειας}\end{array}\right)$$

$$\text{Ταχύτητα διαλύσεως} = A \times k_\delta \qquad (42)$$

Οι δύο αυτοί παράγοντες απεικονίζονται στο σχήμα 22-14.

Εξάλλου, η ταχύτητα καθιζήσεως είναι η ταχύτητα με την οποία επιστρέφουν τα μόρια στην

επιφάνεια και τοποθετούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα. Για να συμβεί αυτό, θα πρέπει πρώτα τα μόρια που βρίσκονται διαλυμένα να συγκρουσθούν με την επιφάνεια του κρυστάλλου. Και πάλι ισχύει το γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια, τόσο πιο συχνά έρχονται σε επαφή τα διαλυμένα μόρια με έναν κρύσταλλο. Κατά συνέπεια, η ταχύτητα καθιζήσεως είναι ανάλογη προς την επιφάνεια A.

Επί πλέον, η ταχύτητα με την οποία τα μόρια συγκρούονται στην επιφάνεια εξαρτάται από το πλήθος των μορίων που υπάρχουν στη μονάδα όγκου του διαλύματος. Καθώς αυξάνεται αυτή η συγκέντρωση, όλο και περισσότερα μόρια συγκρούονται στην επιφάνεια, στη μονάδα του χρόνου. Κατά συνέπεια, η ταχύτητα καθιζήσεως είναι ανάλογη και προς τη συγκέντρωση του ιωδίου, $[I_2]$.

Και πάλι, ο τελικός παράγοντας είναι η ταχύτητα με την οποία τα μόρια μπορούν να περάσουν πάνω από το ενεργειακό φράγμα, το οποίο σε αυτήν την περίπτωση είναι το ενεργοποιημένο σύμπλοκο της καθιζήσεως. Η σταθερά αυτή της ταχύτητας, k_p, καθορίζεται από τη θερμοκρασία και το ύψος του ενεργειακού φράγματος της καθιζήσεως.

Όπως βλέπετε, τρεις παράγοντες προσδιορίζουν την ταχύτητα της καθιζήσεως. Οι παράγοντες αυτοί αναφέρονται στο σχήμα 22.14.

$$\text{ταχύτητα καθιζήσεως} = \left(\begin{array}{c}\text{εμβαδόν}\\ \text{επιφάνειας}\end{array}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{συγκέντρωση}\\ \text{διαλυμένου } I_2\end{array}\right) \times \left(\begin{array}{c}\text{ταχύτητα διαλυμένων μορίων}\\ \text{που περνούν πάνω από το}\\ \text{ενεργειακό φράγμα}\end{array}\right)$$

$$= (A) \times [I_2] \times (k_p) \qquad (43)$$

Στην κατάσταση ισορροπίας οι εξισώσεις (42) και (43) εξισώνονται:

$$\text{ταχύτητα διαλύσεως} = \text{ταχύτητα καθιζήσεως}$$

$$A \times k_\delta = A \times [I_2] \times k_p \qquad (44)$$

Το εμβαδόν επαφής, A, εμφανίζεται τόσο στο αριστερό όσο και στο δεξιό μέρος της σχέσεως (44). Άρα, είναι δυνατόν να παραλειφθεί. Αν διαιρεθούν και τα δύο μέρη της (44) με το k_p, λαμβάνεται η επόμενη εξίσωση:

$$k_\delta/k_p = [I_2]$$

Επειδή το k_δ και το k_p εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, θα εξαρτάται και ο λόγος τους από τη θερμοκρασία. Κατά τα άλλα, είναι σταθερά. Στην εξίσωση (46) έχει αντικατασταθεί ο λόγος k_δ/k_p με το K.

$$K = [I_2] \qquad (46)$$

Η δυναμική ισορροπία ανάμεσα στις ταχύτητες διαλύσεως και καθιζήσεως, εκφράζεται με την εξίσωση (46). Η συγκέντρωση του I_2 στην ισορροπία είναι σταθερά και καθορίζεται από τη θερμοκρασία. Η σταθερά αυτή ισούται με τη διαλυτότητα του I_2, όταν εκφράζεται σε moles ανά λίτρο.

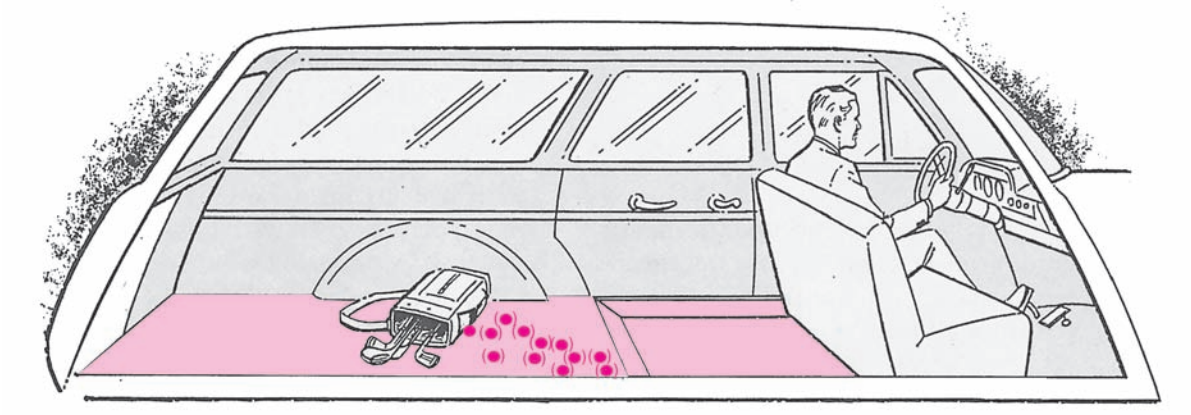
22.22Παράγοντες οι οποίοι προσδιορίζουν την ισορροπία.

Έχομε ήδη εξετάσει εκτεταμένα το θέμα της ισορροπίας. Ανακαλύψαμε ότι, ενώ αυτή χαρακτηρίζεται από σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων, οι μοριακές διαδικασίες εξακολουθούν να πραγματοποιούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρείται η ισορροπία. Όπως έγινε γνωστό, στην κατάσταση ισορροπίας η κάθε αντίδραση πραγματοποιείται με την ίδια ταχύτητα, με την οποία πραγματοποιείται και η αντίστροφή της.

Προχωρήσαμε όμως ακόμη περισσότερο και ανακαλύψαμε ότι οι συνθήκες ισορροπίας συνεπάγονται σταθερή σχέση ανάμεσα στις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων. Η σχέση αυτή ονομάζεται Νόμος της Χημικής Ισορροπίας. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, οι συνθήκες στην κατάσταση ισορροπίας είναι δυνατόν να εκφρασθούν με τη βοήθεια της σταθεράς ισορροπίας, Κ.

Παρά τη μεγάλη εξοικείωσή σας με τα προβλήματα ισορροπίας, υπάρχει ένα θέμα, το οποίο δεν εξετάσθηκε καθόλου. Τι προσδιορίζει τη σταθερά της ισορροπίας; Γιατί σε μια αντίδραση ευνοείται ο σχηματισμός των προϊόντων, ενώ σε μια άλλη ευνοείται ο επανασχηματισμός των αντιδρώντων*; Ποιοι είναι οι παράγοντες, εξ αιτίας των οποίων το χλωριούχο νάτριο έχει μεγάλη διαλυτότητα στο νερό; Γιατί η ισορροπία ευνοεί την αντίδραση του οξυγόνου με το σίδηρο, με αποτέλεσμα το

* *Σ.τ.Μ. Δηλαδή η ισορροπία είναι μετατοπισμένη προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά.*



ΣΧΗΜΑ 22-15. *Οι μπάλες του γκολφ πάνω στο πάτωμα ενός αυτοκινήτου δίνουν ένα χρήσιμο παράδειγμα για την κατανόηση των αυθορμήτων εξωθέρμων αντιδράσεων. Οι μπάλες που βρίσκονται στην υψηλότερη επιφάνεια κατρακυλούν στην επιφάνεια της χαμηλότερης δυναμικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό είναι ανάλογο με τα αντιδρώντα που σχηματίζουν προϊόντα με χαμηλότερη δυναμική ενέργεια.*

σχηματισμό Fe_2O_3 (σκουριάς), αλλά δεν ευνοεί την αντίδραση του οξυγόνου με το χρυσό; Οι επιστήμονες δεν μπορούν να αντισταθούν στον πειρασμό της αναζητήσεως των παραγόντων που καθορίζουν όλες τις συνθήκες που ισχύουν κατά την ισορροπία.

Όπως τονίσθηκε στο κεφάλαιο 1, επιστήμη δεν είναι απλά η συλλογή συμβάντων και η διερεύνηση των σχέσεων ανάμεσα στα συμβάντα. Είναι κυρίως –και αυτό κατά κάποιο τρόπο αποτελεί τη μεγαλύτερη απόλαυση για τους επιστήμονες– η αναζήτηση της ερμηνείας των συμβάντων, αλλά και η ανακάλυψη των ποικίλων μηχανισμών και των σχέσεων που παρατηρούνται.

Η ερμηνεία συνίσταται στην ανεύρεση μιας ομοιότητας, η οποία συνδέει το εξεταζόμενο σύστημα με κάποιο πρότυπο, δηλαδή με ένα σύστημα περισσότερο οικείο. Ας εξετάσομε για παράδειγμα το σχήμα 22-15. Βλέπομε μια τσάντα του γκολφ τοποθετημένη στο πίσω μέρος ενός αυτοκινήτου. Η θήκη με τις μπάλες ήταν ανοικτή και έτσι όλες οι μπάλες του γκολφ κύλησαν έξω, πάνω στο πάτωμα του αυτοκινήτου. Επειδή το πάτωμα έχει ένα σκαλοπάτι, οι μπάλες που βρίσκονται στο υψηλότερο σημείο του πατώματος διαθέτουν κάποια δυναμική ενέργεια, ενέργεια θέσεως, και τείνουν να κατρακυλήσουν αυτόματα στο χαμηλότερο σημείο, όπως δείχνει και το σχήμα 22-16. Όταν συμβεί αυτό, η δυναμική ενέργεια μιας μπάλας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενέργεια κινήσεως. Τελικά, αυτή η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα και διασκορπίζεται. Τώρα οι μπάλες του γκολφ βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας στο χαμηλότερο επίπεδο του πατώματος.

Η κατάσταση αυτή είναι όμοια με τη χημική μεταβολή σε μια αυθόρμητη, εξώθερμη αντίδραση. Τα αντιδρώντα με το υψηλό θερμικό περιεχόμενο αντιδρούν αυθόρμητα, για να σχηματίσουν προϊόντα με χαμηλότερο θερμικό περιεχόμενο. Καθώς πραγματοποιείται η κάθε μοριακή αντίδραση, η περίσσεια του θερμικού περιεχομένου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Τα μόρια των προϊόντων απομακρύνονται μεταξύ τους με μεγάλη κινητική ενέργεια. Όταν συγκρούονται με άλλα μόρια, αυτή η ενέργεια διασκορπίζεται υπό μορφή θερμότητας.

Στο σχήμα 22-16 συγκρίνεται μια χημική αντίδραση με την κατάσταση μιας μπάλας του γκολφ. Παρακάτω συνοψίζονται τα αποτελέσματα αυτής της συγκρίσεως.

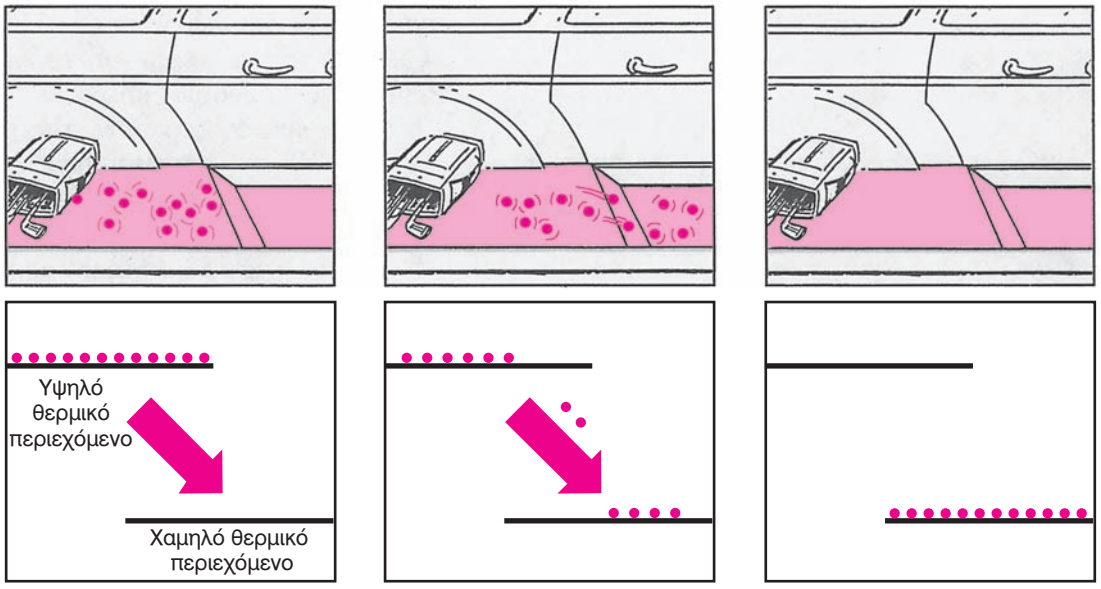
1. Το κάθε σύστημα έχει δύο καταστάσεις:

	Αρχική κατάσταση	*Τελική κατάσταση*
Μπάλες γκολφ	στο πάνω επίπεδο	→ στο κάτω επίπεδο
Αντίδραση	αντιδρώντα	→ προϊόντα

2. Η δυναμική ενέργεια στην αρχική κατάσταση είναι υψηλότερη από τη δυναμική ενέργεια στην τελική κατάσταση:

	Αρχική κατάσταση	*Τελική κατάσταση*
Μπάλες γκολφ	υψηλή δυναμική ενέργεια	→ χαμηλή δυναμική ενέργεια
Αντίδραση	υψηλό θερμικό περιεχόμενο	→ χαμηλό θερμικό περιεχόμενο

3. Καθώς προχωρεί η αλλαγή από την αρχική στην τελική κατάσταση, η μορφή ενέργειας αλλάζει:



ΣΧΗΜΑ 22-16. *Το πρότυπο με τις μπάλες του γκολφ έχει πολλές ομοιότητες με τα διαγράμματα της θερμότητας των αυθορμήτων αντιδράσεων. Αρχικά, οι μπάλες διαθέτουν υψηλή δυναμική ενέργεια· αναλόγως, και τα αντιδρώντα έχουν υψηλό θερμικό περιεχόμενο. Και στις δύο περιπτώσεις, η (αντιστοίχως δυναμική και θερμική) ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, και στη συνέχεια σε θερμότητα, μέχρι να διαμορφωθεί η τελική κατάσταση. Και οι δύο μεταβολές*

	Αρχική κατάσταση	*Τελική κατάσταση*
Μπάλες γκολφ	δυναμική ενέργεια	→ κινητική ενέργεια
Αντίδραση κινητική	θερμικό	→ μοριακή
	περιεχόμενο	ενέργεια και μετά θερμότητα

4. Οι αλλαγές από την αρχική στην τελική κατάσταση προχωρούν αυθόρμητα προς τη χαμηλότερη δυναμική ενέργεια, δηλαδή προς την κατεύθυνση που αντιστοιχεί με "το κατρακύλισμα προς τα κάτω":

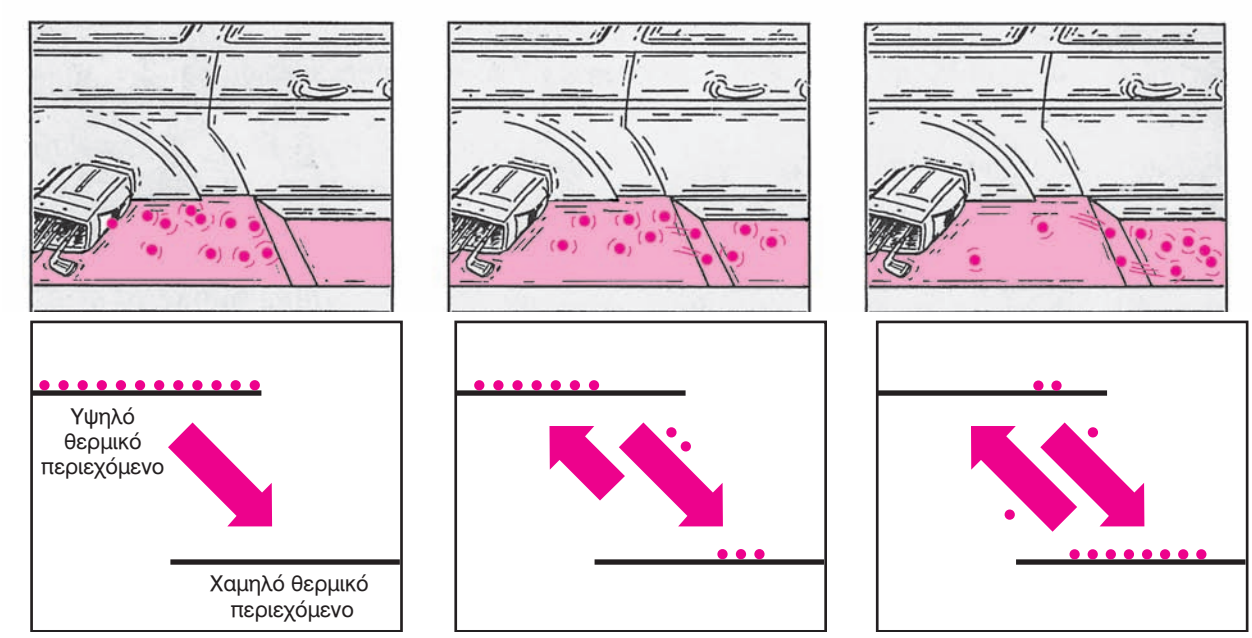
Αρχική κατάσταση → *Τελική κατάσταση*	
Μπάλες γκολφ	αυθόρμητα
Αντίδραση	αυθόρμητα

Αφού καθορίσαμε αυτές τις ομοιότητες, μπορούμε να προτείνομε ένα γενικό κανόνα:

Εφ' όσον οι μπάλες του γκολφ κατρακυλούν αυθόρμητα πάντα προς τα κάτω είναι πιθανό οι αντιδράσεις να πραγματοποιούνται αυθόρμητα πάντα προς την κατεύθυνση της ελάχιστης ενέργειας.

Από αυτόν το γενικό κανόνα είναι πιθανόν να φαντασθεί κάποιος ότι μια αντίδραση τείνει να πραγματοποιηθεί αυθόρμητα, μόνο αν τα προϊόντα έχουν λιγότερη ενέργεια από τα αντιδρώντα. Αυτός ο συλλογισμός συμφωνεί με μερικές πειραματικές ενδείξεις, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για εκείνες τις εξώθερμες αντιδράσεις οι οποίες ελευθερώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας.

Όμως, με αυτήν την ερμηνεία που δόθηκε υπάρχουν δύο βασικές και σοβαρές δυσκολίες. Πρώτον, μερικές ***ενδόθερμες*** αντιδράσεις πραγματοποιούνται αυθόρμητα. Παράδειγμα αποτελεί η εξάτμιση ενός υγρού. Το νερό εξατμίζεται αυθόρμητα και κατά την εξάτμισή του απορροφά θερμότητα. Όταν διαλυθεί στο νερό χλωριούχο αμμώνιο, το διάλυμα γίνεται ψυχρότερο. Απορροφάται και πάλι θερμότητα, ενώ το χλωριούχο αμμώνιο διαλύεται. Η δεύτερη δυσκολία είναι ότι οι αυθόρμητες χημικές αντιδράσεις δεν ολοκληρώνονται. Μια αυθόρμητη αντίδραση, έστω και αν είναι εξώθερμη, προχωρεί μόνο μέχρι να φθάσει στην κατάσταση ισορροπίας. Στην περίπτωση του ανάλογου παραδείγματος με τις μπάλες του γκολφ, αποκαθίσταται ισορροπία, όταν ***όλες*** οι μπάλες βρεθούν στο χαμηλότερο επίπεδο. Κατά συνέπεια, θα αναμενόταν ότι μια εξώθερμη αντίδραση θα προχωρούσε μέχρι να μετατραπούν ***όλα*** τα αντιδρώντα σε προϊόντα και όχι μέχρι να



ΣΧΗΜΑ 22-17. *Το παράδειγμα με τις μπάλες του γκολφ, αν υποτεθεί ότι το αυτοκίνητο κινείται σε έναν πολύ ανώμαλο δρόμο, μας δίνει επί πλέον πληροφορίες: Με τις συγκρούσεις, οι μπάλες μπορούν να φθάσουν στην υψηλότερη δυναμική ενέργεια της υπερυψωμένης επιφάνειας. Μόλις οι μπάλες που ανεβαίνουν ψηλά εξισωθούν με τις μπάλες που κατρακυλούν, δημιουργείται ισορροπία.*

επικρατήσει δυναμική ισορροπία.

Οι πιο πάνω δυσκολίες δείχνουν ότι οι ερμηνείες τις οποίες προτείναμε έχουν ανάγκη τροποποιήσεως, πρέπει δηλαδή να προταθεί κάποια άλλη αναλογία. Η αναλογία αυτή θα πρέπει να συμφωνεί περισσότερο με τη συμπεριφορά των χημικών αντιδράσεων. Πώς θα μπορούσε να τροποποιηθεί το παράδειγμα με τις μπάλες του γκολφ, ώστε να συμφωνεί καλύτερα με τις πειραματικές ενδείξεις; Πρέπει να εισαχθεί ένας άλλος συντελεστής.

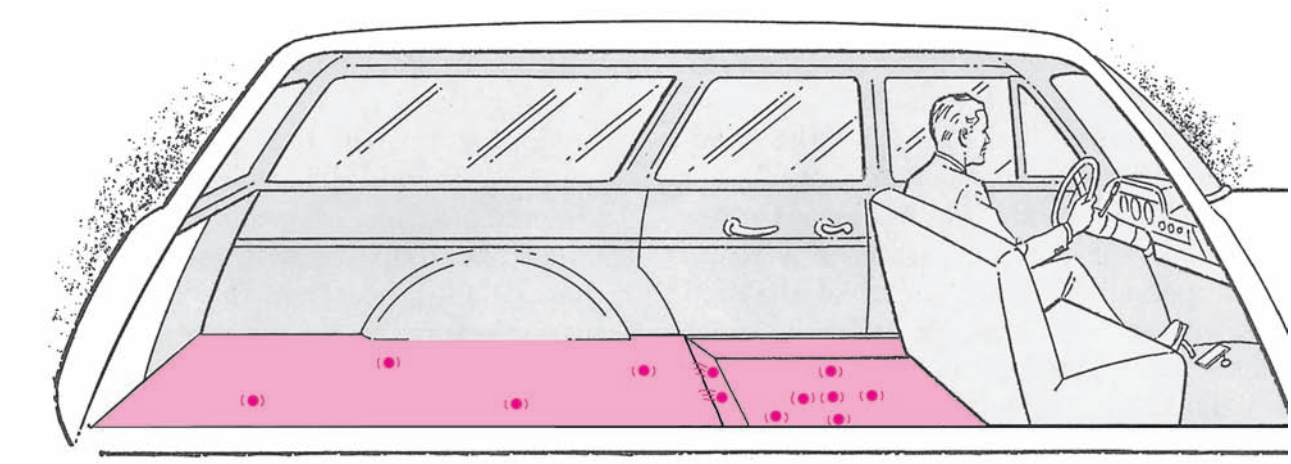
Ας εξετάσομε πώς θα αλλάξει η θέση την οποία κατέχουν οι μπάλες του σχήματος 22-16α, όταν το αυτοκίνητο οδηγηθεί σε έναν ανώμαλο δρόμο. Οι μπάλες στην περίπτωση αυτή κινούνται τριγύρω και συγκρούονται μεταξύ τους. Από τη μια στιγμή στην άλλη όλο και κάποια από τις μπάλες συγκεντρώνει αρκετή ενέργεια από τις συγκρούσεις, ώστε να επιστρέψει στο υψηλότερο επίπεδο του πατώματος του αυτοκινήτου. Βέβαια, η κάθε μπάλα που ανεβαίνει έχει την τάση να επιστρέφει λίγο αργότερα πίσω, στο χαμηλό επίπεδο. Όσο όμως το αυτοκίνητο συνεχίζει να κινείται στον ανώμαλο δρόμο, δημιουργείται μια κατάσταση, όπου οι μπάλες του γκολφ ανεβαίνουν στο υψηλότερο επίπεδο με την ίδια ταχύτητα που κατρακυλούν στο χαμηλότερο. Αφού η ταχύτητα με την οποία ανεβαίνουν και εκείνη με την οποία κατρακυλούν είναι ίσες, σημαίνει ότι υπάρχει μια δυναμική ισορροπία (σχ. 22-17).

Η αναλογία αυτή λύνει το πρόβλημα. Το ανώμαλο έδαφος περιέχει ένα νέο χαρακτηριστικό που προσφέρει μια βάση ώστε να αναμένεται μία "αντίδραση" προς την ενδόθερμη κατεύθυνση.

Μερικές μπάλες, αν δονηθούν αρκετά δυνατά, κυλούν ανεβαίνοντας προς τα πάνω. Λόγω της τάσεως την οποία έχουν όμως να κατρακυλούν πάλι πίσω, συνεχώς επιστρέφουν στο χαμηλό επίπεδο. Τελικά, όταν η ταχύτητα με την οποία κατρακυλούν εξισώνεται με εκείνη με την οποία ανεβαίνουν ψηλά, αποκαθίσταται ισορροπία.

Τι συμβαίνει όμως όταν ο δρόμος γίνεται ομαλός; Η αντίδραση με την οποία ανεβαίνουν ψηλά ευνοείται λιγότερο. Οι συνθήκες ισορροπίας αλλάζουν κατά τρόπο, ο οποίος ευνοεί τις μπάλες που βρίσκονται στο χαμηλό επίπεδο.

Αν επιστρέψομε στη χημική αντίδραση, ποιο είναι κατ' αναλογία το χαρακτηριστικό του χημικού συστήματος που θα αντιδράσει και το οποίο αντιστοιχεί στον ανώμαλο δρόμο; Είναι η ***θερμοκρασία***. Σε κάθε θερμοκρασία, με εξαίρεση το απόλυτο μηδέν, υπάρχει μια σταθερά τυχαίων συγκρούσεων των μορίων. Κάποια μόρια έχουν χαμηλές και κάποια άλλα υψηλές κινητικές



ΣΧΗΜΑ 22-18. *΄Οταν απομακρυνθεί η τσάντα του γκολφ, δημιουργείται μεγαλύτερος χώρος στο υψηλότερο επίπεδο, άρα περισσότερες μπάλες μπορούν να παραμένουν σε υψηλότερη ενέργεια. Αυτός ο "διαθέσιμος χώρος" είναι ανάλογος με την αέρια φάση, στην οποία τα μόρια ισορροπούν παρά την υψηλότερη κινητική τους ενέργεια.*

ενέργειες, σύμφωνα και με όσα περιεγράφησαν στην παράγραφο 21.7. Μερικά από τα μόρια θα έχουν ευκαιριακά αρκετή ενέργεια, για να "μετατοπισθούν προς τα πάνω" σε άλλες λιγότερο σταθερές μορφές. ΄Οσο μεγαλύτερη είναι η κινητική ενέργεια, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο αριθμός των μορίων που θα "μετατοπίζονται προς τα πάνω".

Αφ' ενός, οι μοριακές μεταβολές πραγματοποιούνται κατά την κατεύθυνση της ελάχιστης ενέγειας. Αφ' ετέρου, τυχαίες συγκρούσεις ή μεταφορές ενέργειας μεταθέτουν τα μόρια σε καταστάσεις υψηλότερης ενέργειας. ΄Οταν αυτές οι αντίθετες διαδικασίες πραγματοποιούνται με την ίδια ταχύτητα, υπάρχει μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας.

Η αναλογία που αναφέρθηκε θα πρέπει να βοηθήσει στην κατανόηση των χημικών αντιδράσεων και της ισορροπίας. Τώρα πια, είναι σαφή τα επόμενα χαρακτηριστικά των χημικών αντιδράσεων.

1. Οι χημικές αντιδράσεις οδεύουν αυτόματα προς την κατάσταση ισορροπίας.
2. Ένας παράγοντας που καθορίζει την κατάσταση ισορροπίας είναι η ενέργεια. Η ισορροπία έχει την τάση να ευνοεί την κατάσταση με τη χαμηλότερη ενέργεια.
3. Ο άλλος παράγοντας που καθορίζει την κατάσταση ισορροπίας είναι η αταξία που προκαλείται από τη θερμοκρασία. Η ισορροπία έχει την τάση να ευνοεί την κατάσταση με τη μεγαλύτερη αταξία.
4. Η κατάσταση ισορροπίας είναι ένας συμβιβασμός ανάμεσα σε αυτούς τους δύο παράγοντες, την ελάχιστη ενέργεια και τη μέγιστη αταξία. Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, η ενέργεια τείνει να είναι ο σημαντικότερος παράγοντας. Κατά συνέπεια, η ισορροπία ευνοεί το σχηματισμό μορίων με το χαμηλότερο θερμικό περιεχόμενο. Στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, η τυχαία διάταξη καθίσταται πιο σημαντική. Σε αυτήν την περίπτωση η ισορροπία ευνοεί μια τυχαία κατανομή ανάμεσα στα αντιδρώντα και τα προϊόντα χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ενεργειακές διαφορές.

Το προηγούμενο παράδειγμα είναι δυνατόν να επεκταθεί ως προς ένα ακόμη σημείο. Είναι πιθανόν να δημιουργήθηκε η εξής απορία: Κατά πόσο μπορεί το σχετικό εμβαδόν του υπερυψωμένου επιπέδου ως προς εκείνο του χαμηλού επιπέδου να καθορίσει την κατανομή που θα έχουν οι μπάλες του γκολφ; Τελικά, φαίνεται ότι, αν ο "διαθέσιμος χώρος" του υπερυψωμένου επιπέδου είναι μικρός, όπως δείχνει το σχήμα 22-15, θα παραμένουν σε αυτόν λίγες μπάλες του γκολφ. Αντίθετα, το σχήμα 22-18 δείχνει ότι, όταν απομακρυνθεί η τσάντα του γκολφ, τότε στο υπερυψωμένο επίπεδο υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ελεύθερη επιφάνεια. Οι μπάλες που φθάνουν στο επάνω επίπεδο έχουν μεγαλύτερα περιθώρια κινήσεων. Μπορούν να κυλούν περισσότερη ώρα πάνω σε αυτό το επίπεδο, πριν να επιστρέψουν στο πιο χαμηλό. Αν ελευθερωθεί το υπερυψωμένο επίπεδο, τότε το ποσοστό από τις μπάλες που βρίσκονται σε αυτό

κατά την "ισορροπία" αυξάνεται.

Η τροποποίηση αυτή του προτύπου μας βοηθά να κατανοήσομε ευκολότερα τις χημικές αντιδράσεις. Για παράδειγμα, ας θεωρήσομε την εξάτμιση ενός υγρού. Είναι αλήθεια ότι τα μόρια, όταν πλησιάζουν πολύ κοντά, όπως στην υγρή φάση, έχουν χαμηλότερη ενέργεια. Επίσης, στην αέρια κατάσταση υπάρχει διαθέσιμο ένα ευρύτερο υπερυψωμένο επίπεδο. Το κάθε μόριο που εξατμίζεται διαθέτει πολύ μεγαλύτερο χώρο από όσο είχε μέσα στο υγρό όπου ο "συνωστισμός" ήταν έντονος. Αυτός ο παράγοντας του "διαθέσιμου χώρου" και οι τυχαίες συγκρούσεις εξ αιτίας της θερμοκρασίας, που έχουν ως συνέπεια την υπερκάλυψη της διαφοράς της δυναμικής ενέργειας, βοηθούν την εξάτμιση.

Ας θυμηθούμε πάλι τι συμβαίνει, όταν μια στερεά ουσία θερμαίνεται αρχικά λιγότερο και στη συνέχεια πολύ περισσότερο. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του στερεού, η χαμηλότερη ενέργεια του κανονικού στερεού γίνεται ασήμαντη σε σχέση με τη θερμική ενέργεια. Το στερεό τήκεται εγκαταλείποντας την ενεργειακή του σταθερότητα και μεταπίπτει στην αταξία της υγρής καταστάσεως. Αν ανυψωθεί ακόμη περισσότερο η θερμοκρασία, οι ενέργειες έλξεως ανάμεσα στα μόρια γίνονται ασήμαντες σε σύγκριση με τις θερμικές ενέργειες της μεγαλύτερης αταξίας. Τότε το υγρό εξατμίζεται, παραχωρώντας τη θέση της χαμηλής δυναμικής ενέργειας στην ακόμη μεγαλύτερη ακαταστασία της αέριας φάσεως. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί ακόμη περισσότερο, οι ενέργειες που συγκρατούν μεταξύ τους τα μόρια αρχίζουν να γίνονται ασήμαντες σε σχέση με τις τυχαίες θερμικές ενέργειες. Τέλος, σε εξαιρετικά υψηλές ενέργειες, τα μόρια δεν υφίστανται πλέον. Όλα τείνουν προς το χάος. Πρόκειται για μια χημική κατάσταση, η οποία υπάρχει στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες μέσα στον ήλιο*.

Περίληψη.

Η κατάσταση ισορροπίας σε οποιαδήποτε καθορισμένη θερμοκρασία ορίζεται ποσοτικά από το Νόμο της Χημικής Ισορροπίας. Ο νόμος αυτός συνδέει τις συγκεντρώσεις των προϊόντων με εκείνες των αντιδρώντων. Ο αριθμητής αυτής της σχέσεως είναι το γινόμενο των συγκεντρώσεων των ουσιών που σχηματίζονται σε μια αντίδραση, εκ των οποίων η κάθε συγκέντρωση έχει υψωθεί στη κατάλληλη δύναμη. Στον παρονομαστή τοποθετούνται κατ' ανάλογο τρόπο όλες οι ουσίες που εμφανίζονται στο αριστερό μέρος της αντιδράσεως. Ο Νόμος της Χημικής Ισορροπίας ορίζει ότι το σχηματιζόμενο πηλίκο είναι σταθερό για κάθε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Ο Νόμος της Χημικής Ισορροπίας εφαρμόζεται επίσης στην ισορροπία διαλύσεως, όπως και στην ισορροπία των αντιδράσεων. Προκειμένου για διαλύματα ηλεκτρολυτών, η σταθερά της ισορροπίας διαλύσεως ονομάζεται γινόμενο διαλυτότητας. Χρησιμοποιείται, για να υπολογίζομε αν μια ουσία θα σχηματίσει ίζημα, όταν αναμιχθούν διαλύματα που περιέχουν τα ιόντα που τη συνιστούν.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να ορίσετε το Νόμο της Χημικής Ισορροπίας.
2. Να γράψετε τους τύπους για τις σταθερές χημικής ισορροπίας των επομένων αντιδράσεων:
   (α) $Cu(\sigma\tau) + 2Ag^+(\upsilon\delta) \rightleftharpoons Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2Ag(\sigma\tau)$
   (β) $H_2O_2(a) \rightleftharpoons H_2O_2(a) + \frac{1}{2}\, O_2(a)$

Περίληψη κεφαλαίου

Όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται μέσα σε ένα κλειστό σύστημα, σε ομοιόμορφη θερμοκρασία, στην πραγματικότητα τείνουν προς μία κατάσταση ισορροπίας. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από σταθερότητα των μακροσκοπικών ιδιοτήτων του συστήματος. Η ισορροπία όμως είναι δυναμική, γιατί σε μοριακό επίπεδο εξακολουθούν να γίνονται μεταβολές. Οι

* *Σ.τ.Μ. Ονομάζεται κατάσταση πλάσματος.*

ταχύτητες των αντιστρόφων αντιδράσεων ή διαδικασιών είναι ίσες και γι' αυτό αλληλοεξουδετερώνονται. Έτσι, σε ένα κλειστό σύστημα, στην πραγματικότητα, ποτέ καμμία χημική αντίδραση δεν ολοκληρώνεται. Αν και μικρές, κάποιες καθορισμένες συγκεντρώσεις του καθενός από τα αντιδρώντα πρέπει να παραμένουν πάντα, όταν αποκαθίσταται ισορροπία. Σε ένα ανοικτό σύστημα μια αντίδραση μπορεί να ολοκληρωθεί εξ αιτίας της διαφυγής ή της απομακρύνσεως ενός ή περισσοτέρων από τα προϊόντα.

Η ταχύτητα με την οποία οι διάφορες αντιδράσεις ή συστήματα ισορροπούν ποικίλλει σημαντικά. Ένας καταλύτης επιταχύνει τόσο την κανονική αντίδραση όσο και την αντίστροφή της κατά τον ίδιο βαθμό. Γι' αυτό απλά και μόνο αυξάνει την ταχύτητα με την οποία μια αντίδραση φθάνει στην ισορροπία. Δεν επηρεάζει τη θέση αυτής της ισορροπίας.

Τα ποιοτικά αποτελέσματα που έχουν οι αλλαγές της πιέσεως, της θερμοκρασίας και της συγκεντρώσεως πάνω στη θέση της ισορροπίας προβλέπονται από την Αρχή του Le Chatelier. Η αρχή αυτή ορίζει ότι, όταν ένα σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία, πραγματοποιούνται σε αυτό τέτοιες διαδικασίες που τείνουν να αναιρέσουν οποιαδήποτε αλλαγή στη θερμοκρασία, την πίεση ή τη συγκέντρωση.

Η θέση της ισορροπίας καθορίζεται ποσοτικά για μια ορισμένη θερμοκρασία από την αριθμητική τιμή της σταθεράς ισορροπίας της αντιδράσεως. Προκειμένου για την αντίδραση

$$\alpha A + \beta B + \gamma \Gamma = \delta \Delta + \varepsilon E + \zeta Z$$

η σταθερά ισορροπίας είναι η ακόλουθη:

$$K = \frac{[\Delta]^{\delta}[E]^{\varepsilon}[Z]^{\zeta}}{[A]^{\alpha}[B]^{\beta}[\Gamma]^{\gamma}}$$

Πρόκειται για το Νόμο Χημικής Ισορροπίας.

Σε αυτόν το νόμο υπακούει επίσης η ισορροπία διαλυτότητας. Για απλά μοριακά διαλύματα η σταθερά ισορροπίας είναι όμοια με τη διαλυτότητα σε moles ανά λίτρο. Για ιοντικά διαλύματα, ο τύπος της ισορροπίας ονομάζεται γινόμενο διαλυτότητας.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Πότε λέγεται ότι ένα υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του;
2. Να δώσετε ένα παράδειγμα που να καθιστά σαφή την εξής διατύπωση: "Η ισορροπία χαρακτηρίζεται από σταθερότητα μακροσκοπικών ιδιοτήτων".
3. Τι σημαίνει ακριβώς η έννοια της "ισότητας" σε μια χημική αντίδραση που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας;
4. Τι εννοούμε λέγοντας ότι μια αντίδραση "οδηγείται σε ολοκλήρωση"; Νομίζετε ότι αυτό συμβαίνει σε ένα κλειστό ή σε ένα ανοικτό σύστημα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
5. Μπορεί μια σταγόνα νερού, όταν τοποθετηθεί μέσα σε ένα κλειστό δοχείο, να δημιουργήσει μια κατάσταση ισορροπίας λόγω της τάσεως των ατμών του; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
6. Γιατί αναφέρονται οι χημικές ισορροπίες ως δυναμικές;
7. Τι επίδραση έχει ένας καταλύτης στις συνθήκες ισορροπίας ενός χημικού συστήματος;
8. Σε ποια συμπεράσματα σχετικά με την ισορροπία μας οδηγούν τα πειράματα που ακολουθούν και τα οποία πραγματοποιήθηκαν στους 25°C;
   (α) Σε ένα κιλό αλάτι προστίθεται σταδιακά ένα λίτρο νερό (λίγα κυβικά εκατοστά κάθε φορά). Μόνο μέρος του αλατιού διαλύεται.
   (β) Ένα μεγάλο δοχείο περιέχει ένα κιλό αλάτι, το οποίο ρίχνομε σταδιακά μέσα σε ένα λίτρο νερού. Διαλύεται η ίδια ποσότητα αλατιού που διαλύθηκε και στο πείραμα (α).
9. Γιατί σε όλες τις αναφορές που έγιναν σχετικά με τη χημική ισορροπία οι συγκεντρώσεις εκφράσθηκαν πάντα σε moles ανά μονάδα όγκου και όχι σε γραμμάρια ανά μονάδα όγκου;
10. Η επόμενη χημική εξίσωση παριστάνει την αντίδραση ανάμεσα σε υδρογόνο και χλώριο με σχηματισμό υδροχλωρίου:

    $H_2(\alpha) + Cl_2(\alpha) \rightleftharpoons 2HCl(\alpha) + 44{,}0$ kcal

    (α) Να αναφέρετε τέσσερα σημαντικά

συμβάντα που εκφράζονται με αυτήν την αντίδραση.

(β) Ποιοι είναι τρεις σημαντικοί παράγοντες που ενδιαφέρουν όσον αφορά στην εξέλιξη αυτής της αντιδράσεως και για τους οποίους δεν δίνεται κάποια πληροφορία;

11. Προσέξτε την αλλαγή φάσεως που περιγράφεται από την επόμενη εξίσωση:

$$\text{θερμότητα} + H_2O(\upsilon\gamma) \rightleftharpoons H_2O(\alpha)$$

(α) Τι αποτέλεσμα θα έχει η μείωση του όγκου που προκαλείται με αύξηση της πιέσεως;

(β) Τι αποτέλεσμα θα έχει αύξηση της θερμοκρασίας;

(γ) Τι αποτέλεσμα θα έχει η εισαγωγή ποσότητας ατμού στο κλειστό σύστημα;

12. Προσέξτε την ακόλουθη αντίδραση:

$$4HCl(\alpha) + O_2(\alpha) \rightleftharpoons 2H_2O(\alpha) + 2Cl_2(\alpha) + 27\ \text{kcal}$$

Ποια επίδραση θα έχουν οι επόμενες αλλαγές στη συγκέντρωση του Cl_2; Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

(α) Αύξηση της θερμοκρασίας.

(β) Μείωση της συνολικής πιέσεως.

(γ) Αύξηση της συγκεντρώσεως του O_2.

(δ) Αύξηση του όγκου του δοχείου της αντιδράσεως.

(ε) Προσθήκη ενός καταλύτη.

13. Να γράψετε την εξίσωση διασπάσεως του $HI(\alpha)$ στα στοιχεία που το αποτελούν.

(α) Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, το HI θα διασπάται περισσότερο ή λιγότερο; $\Delta H = -6{,}2$ kcal/mole $HI(\alpha)$.

(β) Αν διασπασθούν 0,050 moles HI, πόσα γραμμάρια ιωδίου θα υπάρχουν κατά την ισορροπία;

14. Παρατηρήστε τα επόμενα δύο ξεχωριστά κλειστά συστήματα κατά την ισορροπία.

(α) HI και τα στοιχεία από τα οποία σχηματίσθηκε.

(β) H_2S και τα στοιχεία από τα οποία σχηματίσθηκε.

Τι θα συμβεί στο κάθε σύστημα, αν αυξηθεί η συνολική πίεση; Να υποτεθεί ότι όλα τα αντιδρώντα και τα προϊόντα είναι αέρια.

15. Το καθένα από τα επόμενα συστήματα βρίσκεται σε ισορροπία. Όταν προστεθεί στο κάθε σύστημα το αντιδρών που αναφέρεται στη συνέχεια, νομίζετε ότι η συγκέντρωση ισορροπίας της κάθε ουσίας θα αυξηθεί, θα μειωθεί ή δεν θα δείξει να μεταβάλεται;

(α) Αντίδραση: $C_2H_6(\alpha) \rightleftharpoons H_2(\alpha) + C_2H_4(\alpha)$
Αντιδρών που προστίθεται: $H_2(\alpha)$

(β) Αντίδραση:
$Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 4NH_3(\alpha) \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}(\upsilon\delta)$
Αντιδρών που προστίθεται: $CuSO_4(\sigma\tau)$

(γ) Αντίδραση:
$Ag^+(\upsilon\delta) + Cl^-(\upsilon\delta) \rightleftharpoons AgCl(\sigma\tau)$
Αντιδρών που προστίθεται: $AgCl(\sigma\tau)$

(δ) Αντίδραση:
$PbSO_4(\sigma\tau) + H^+(\upsilon\delta) \rightleftharpoons Pb^{2+}(\upsilon\delta) + (HSO_4^-(\upsilon\delta)$
Αντιδρών που προστίθεται: $Pb(NO_3)_2(\sigma\tau)$

16. Προσέξτε την επόμενη ισορροπία:

$$SO_2(\alpha) + \tfrac{1}{2}O_2(\alpha) \rightleftharpoons SO_3(\alpha) + 23\ \text{kcal}$$

(α) Ποιες συνθήκες ευνοούν υψηλή συγκέντρωση ισορροπίας του SO_3;

(β) Πόσα γραμμάρια αερίου οξυγόνου χρειάζονται, για να σχηματισθεί 1,00 γραμμάριο SO_3;

17. Η επόμενη αντίδραση πραγματοποιείται σε ένα κλειστό σύστημα σε θερμοκρασία 450°C. Η σταθερά ισορροπίας της στη συγκεκριμένη θερμοκρασία είναι 50,0.

$$H_2(\alpha) + I_2(\alpha) \rightleftharpoons 2HI(\alpha)$$

Ποια είναι η σταθερά ισορροπίας της αντίστροφης αντιδράσεως στους 450°C;

18. Να γράψετε τη σχέση του νόμου ισορροπίας για καθεμιά από τις επόμενες αντιδράσεις:

(α) $N_2(\alpha) + 3H_2(\alpha) \rightleftharpoons 2NH_3(\alpha)$

(β) $CO(\alpha) + NO_2(\alpha) \rightleftharpoons CO_2(\alpha) + NO(\alpha)$

(γ) $Zn(\sigma\tau) + 2Ag^+(\upsilon\delta) \rightleftharpoons Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2Ag(\sigma\tau)$

(δ) $PbI_2(\text{στ}) \rightleftharpoons Pb^{2+}(\upsilon\delta) + 2I^-(\upsilon\delta)$

(ε) $CN^-(\upsilon\delta) + H_2O(\upsilon\gamma) \rightleftharpoons HCN(\upsilon\delta) + OH^-(\upsilon\delta)$

19. Με τη βοήθεια των σταθερών ισορροπίας, οι οποίες δίνονται, να ορίσετε ποια από τις επόμενες αντιδράσεις πλησιάζει περισσότερο στην ολοκλήρωσή της. Να δικαιολογήσετε τις απαντήσεις σας.

(α) $CH_3COOH(\upsilon\delta) \rightleftharpoons H^+(\upsilon\delta) + CH_3COO^-(\upsilon\delta)$ $K = 1{,}8 \times 10^{-5}$

(β) $CdS(\sigma\tau) \rightleftharpoons Cd^{2+}(\upsilon\delta) + S^{2-}(\upsilon\delta)$ $K = 7{,}1 \times 10^{-28}$

(γ) $H^+(\upsilon\delta) + HS^-(\upsilon\delta) \rightleftharpoons H_2S(\upsilon\delta)$

$K = 1{,}0 \times 10^{7}$

20. Παρατηρήστε την επόμενη αντίδραση:

$$2HI(\alpha) \rightleftharpoons H_2(\alpha) + I_2(\alpha)$$

Οι μερικές πιέσεις των αερίων σε ισορροπία, στους 448°C, είναι οι ακόλουθες:
$HI = 4 \times 10^{-3}$ atm
$H_2 = 7{,}5 \times 10^{-3}$atm
$I_2 = 4{,}3 \times 10^{-5}$atm
Ποια είναι η σταθερά ισορροπίας αυτής της αντιδράσεως;

21. Σε ένα φλυτζάνι του καφέ προστίθεται ζάχαρη, μέχρις ότου να μην διαλύεται άλλη ποσότητα. Η προσθήκη μιας επί πλέον κουταλιάς ζάχαρης θα αυξήσει άραγε την ταχύτητα με την οποία τα μόρια της ζάχαρης εγκαταλείπουν την κρυσταλλική φάση και εισέρχονται στην υγρή; Με την τελευταία προσθήκη ζάχαρης θα αυξηθεί η γλυκιά γεύση του υγρού; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
22. Ως προς τι διαφέρει ένα υδατικό διάλυμα ιωδίου από ένα υδατικό διάλυμα άλατος;
23. Ας υποτεθεί ότι οι ακόλουθες ενώσεις διαλύονται σε νερό και σχηματίζουν στο διάλυμα χωριστά ιόντα. Να γράψετε τους τύπους και τα ονόματα των ιόντων, τα οποία αναμένετε να σχηματισθούν.

(α) HI	(δ) $Ba(OH)_2$
(β) $CaCl_2$	(ε) KNO_3
(γ) Na_2CO_3	(στ) NH_4Cl

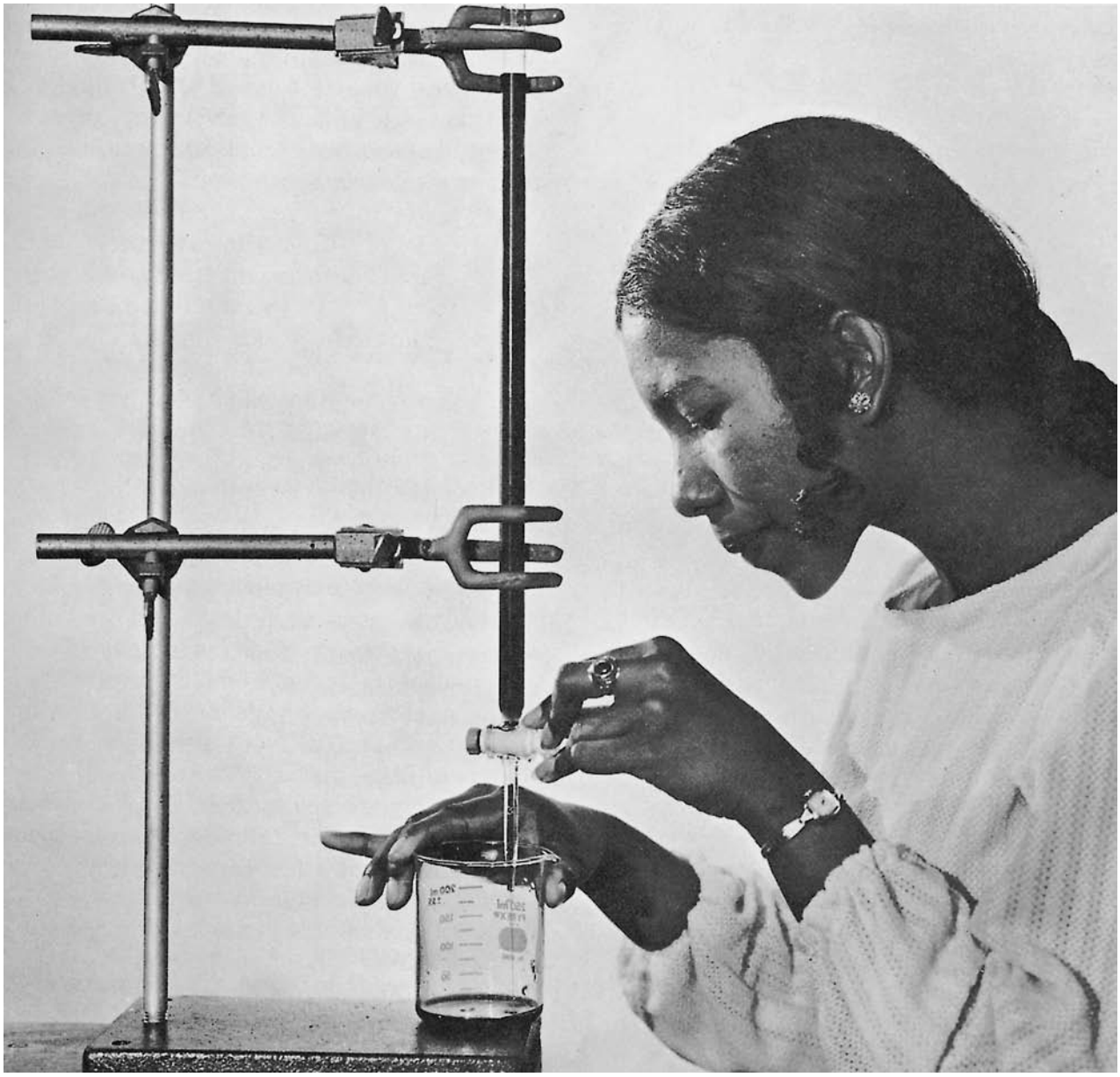
24. Να γράψετε τον τύπο του γινομένου διαλυτότητας ενός υδατικού διαλύματος της κάθε μιας από τις επόμενες ενώσεις: (α) ανθρακικού ασβεστίου, (β) θειούχου αργύρου, (γ) υδροξειδίου του αργιλίου.
25. Το γινόμενο διαλυτότητας του AgCl στους 100°C είναι $1{,}4 \times 10^{-4}$. Να υπολογίσετε τη διαλυτότητα του χλωριούχου αργύρου σε βραστό νερό, σε moles ανά λίτρο.
26. Πειράματα δείχνουν ότι 0,0059 γραμμάρια του $SrCO_3$ διαλύονται σε 1,0 λίτρο νερού στους 25°C. Ποια είναι η $K_{\gamma\delta}$ του $SrCO_3$;
27. Να γράψετε τον τύπο του γινομένου διαλυτότητας για κάθε μία από τις επόμενες αντιδράσεις:

(α) $BaSO_4(\sigma\tau) \rightleftharpoons Ba^{2+}(\upsilon\delta) + SO_4^{2-}(\upsilon\delta)$
(β) $Zn(OH)_2 \rightleftharpoons Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2OH^{-}(\upsilon\delta)$
(γ) $Ca_3(PO_4)_2\,(\sigma\tau) \rightleftharpoons 3Ca^{2+}(\upsilon\delta) + 2PO_4^{3-}(\upsilon\delta)$

28. Πόσα χιλιοστά του γραμμαρίου βρωμιούχου αργύρου διαλύονται σε 20 λίτρα νερού, στους 25°C; Να χρησιμοποιήσετε τα στοιχεία του πίνακα 22.5.
29. Σε ένα λίτρο 0,001 *M* H_2SO_4 προστίθενται 0,002 moles στερεού $Pb(NO_3)_2$. Όταν διαλύεται ο νιτρικός μόλυβδος, νομίζετε ότι θα καταβυθισθεί θειικός μόλυβδος; Να χρησιμοποιήσετε τα στοιχεία του πίνακα 22.5.
30. Ας υποτεθεί ότι 10 ml $AgNO_3$ 1,0 *M* αραιώνονται σε ένα λίτρο με νερό της βρύσης. Αν η συγκέντρωση χλωριώντων (Cl^-) στο νερό είναι περίπου $10^{-}5$ *M*, θα σχηματιστεί ίζημα χλωριούχου αργύρου; Να χρησιμοποιήσετε τα στοιχεία του πίνακα 22.5.
31. Αν αναμιχθούν 0,5 λίτρα διαλύματος 2×10^{-3} *M* $AlCl_3$ και 0,5 λίτρα διαλύματος 4×10^{-2} *M* NaOH και αραιωθούν στα 10^3 λίτρα με νερό, σε θερμοκρασία δωματίου, θα προκύψει ένα ίζημα σε ισορροπία; Η $K_{\gamma\delta}$ για το $Al(OH)_3$ είναι 5×10^{-33}.
32. Η διαλυτότητα του χλωριούχου αργύρου είναι τόσο χαμηλή, ώστε, όταν προστεθεί περίσσεια διαλύματος χλωριούχου νατρίου σε διάλυμα νιτρικού αργύρου, σχεδόν όλος (εκτός από μια ελάχιστη ποσότητά του) καθιζάνει. Πόσο ίζημα θα σχηματισθεί, όταν προστεθούν 100 ml 0,5 *M* NaCl σε 50 ml 0,1 *M* $AgNO_3$;
33. Αναφέρατε τους παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα διαλύσεως. Να προτείνετε δύο μεθόδους, για να αυξήσετε την ταχύτητα διαλύσεως του ιωδίου στο νερό.
34. Να συγκρίνετε την ταχύτητα διαλύσεως στο νερό ενός μόνο κρυστάλλου άλατος με μάζα ενός γραμμαρίου, με εκείνη λεπτών κόκκων άλατος με συνολική μάζα επίσης ενός γραμμαρίου.
35. Ποιος είναι ο συντελεστής, ο οποίος, αν και δεν υπεισέρχεται στον προσδιορισμό της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

Οξέα και βάσεις



Το οξύ ή η βάση που περιέχεται σε ένα διάλυμα είναι δυνατόν να μετρηθεί εύκολα με την απλή διάταξη που εικονίζεται στην φωτογραφία.

Τα οξέα και οι βάσεις έχουν "χημικές ιδιότητες", που τις γνωρίζετε από την καθημερινή σας εμπειρία. Οι ιδιότητες αυτές βοηθούν γενικά στον προσδιορισμό ενός οξέος ή μιας βάσεως. Για παράδειγμα, τα οξέα διαβρώνουν το μέταλλο και έχουν όξινη γεύση. Τόσο το ξύδι όσο και ο χυμός του λεμονιού περιέχουν οξέα. Η γνωστή διάβρωση που πραγματοποιείται γύρω από τους πόλους ενός συσσωρευτή αυτοκινήτου είναι αποτέλεσμα της δράσεως του θειικού οξέος, που περιέχεται στο συσσωρευτή.

Και οι βάσεις,* (η στάκτη, η αμμωνία και η σόδα του εμπορίου) προκαλούν διάβρωση. Όταν τρίψομε με τα δάκτυλά μας έστω και ένα αραιό διάλυμα κάποιας βάσεως, το αισθανόμασθε να γλιστρά. Τόσο τα οξέα όσο και οι βάσεις** είναι χημικές ουσίες–κλειδιά για όλες τις χημικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται κυρίως σε υδατικά διαλύματα.

Πολλές είναι οι ενδιαφέρουσες και βασικές ερωτήσεις που προβάλλουν από τη στιγμή που αρχίζει κάποιος να διερευνά αυτούς τους δύο ξεχωριστούς τύπους ενώσεων. Ποια σχέση έχουν τα οξέα και οι βάσεις με το νερό; Υπάρχουν κάποια άτομα ή ομάδες ατόμων κοινά σε όλα, ή τουλάχιστον στα περισσότερα οξέα ή βάσεις, τα οποία είναι υπεύθυνα γι' αυτές τις γενικές ομοιότητές τους; Τα οξέα και οι βάσεις ενισχύουν ή εξουδετερώνουν το ένα τις ιδιότητες του άλλου; Στο κεφάλαιο που

Ακόμα και το νερό είναι ένας ηλεκτρολύτης

23.1 Ισχυροί και ασθενείς ηλεκτρολύτες.

Οι ηλεκτρολύτες εξετάσθηκαν στα κεφάλαια 17 και 22. Πρόκειται για ουσίες, οι οποίες διαλύονται στο νερό και δίνουν διαλύματα που περιέχουν ιόντα. Διαλύματα αυτού του είδους είναι αγώγιμα. Παραδείγματα αποτελούν τα διαλύματα των ηλεκτρολυτών $HCl(\alpha)$ και $NaOH(\sigma\tau)$.

$$HCl(\alpha) + \text{νερό} \rightarrow H^+(\upsilon\delta) + Cl^-(\upsilon\delta) \qquad (1)$$

$$NaOH(\sigma\tau) + \text{νερό} \rightarrow Na^+(\upsilon\delta) + OH^-(\upsilon\delta) \qquad (2)$$

Σύμφωνα με την αντίδραση (1), όταν διαλύεται αέριο HCl σε νερό, όλα τα μόρια του HCl διασπώνται ή διίστανται σε ιόντα $H^+(\upsilon\delta)$ και $Cl^-(\upsilon\delta)$. Δεν υπάρχει πειραματική ένδειξη της παρουσίας μορίων HCl σε υδατικά διαλύματα υδροχλωρικού οξέος. Για το λόγο αυτό οι χημικοί θεωρούν ότι η διάσταση του HCl είναι πλήρης. Κατά ανάλογο τρόπο, δεν υπάρχει ένδειξη για την παρουσία μορίων NaOH σε υδατικά διαλύματα. Είναι προφανές ότι οι κρύσταλλοι του υδροξειδίου του νατρίου διασπώνται τελείως σε ιόντα νατρίου, $Na^+(\upsilon\delta)$, και υδροξυλιόντα, $OH^-(\upsilon\delta)$. Μια ουσία, η οποία διαλύεται και διίσταται πλήρως σε ιόντα, ονομάζεται ***ισχυρός ηλεκτρολύτης***.

Όλες οι ουσίες οι οποίες σχηματίζουν αγώγιμα διαλύματα δεν διασπώνται εξ ίσου τέλεια. Για παράδειγμα το ξύδι είναι υδατικό διάλυμα του οξικού οξέος. Ένα διάλυμα αυτού του είδους άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σε αυτό ιόντα:

$$CH_3COOH(\upsilon\delta) \rightleftharpoons H^+(\upsilon\delta) + CH_3COO^-(\upsilon\delta) \qquad (3)$$

Όμως, η αγωγιμότητα ενός διαλύματος 0,1 *M* οξικού οξέος είναι πολύ μικρότερη από αυτήν ενός διαλύματος 0,1 *M* υδροχλωρικού οξέος. Αυτό μαζί με άλλα παραδείγματα δείχνουν ότι μόνο ένα μικρό μέρος του διαλυμένου οξικού οξέος σχημάτισε ιόντα. Μια ουσία αυτού του είδους, που διαλύεται αλλά διίσταται μερικώς σε ιόντα, ονομάζεται ***ασθενής ηλεκτρολύτης***.

23.2 Το νερό είναι ένας ασθενής ηλεκτρολύτης.

Το καθαρό νερό δεν άγει εύκολα το ηλεκτρικό ρεύμα. Όμως, ένα ευαίσθητο όργανο μετρήσεως δείχνει ότι ακόμη και το πιο καθαρό νερό χαρακτηρίζεται από μία, έστω πολύ μικρή, αγωγιμότητα. Κατά συνέπεια, το νερό θα πρέπει να διίσταται σε πολύ μικρό βαθμό και να σχηματίζει ιόντα. Πρόκειται για τα ιόντα υδρογόνου, $H^+(\upsilon\delta)$, και τα υδροξυλιόντα, $OH^-(\upsilon\delta)$.

---

* *Σ.τ.Μ. Οι βάσεις ονομάζονται και αλκάλια, επειδή οι ισχυρότερες βάσεις σχηματίζονται από τα μέταλλα των αλκαλίων.*

** *Σ.τ.Μ. Εννοεί τα ανόργανα οξέα και τις βάσεις.*

$$H_2O(υγ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + OH^-(υδ) \qquad (4)$$

Είναι μια ισορροπία, η οποία περιλαμβάνει τρία είδη στην υγρή φάση, το $H_2O(υδ)$, το $H^+(υδ)$ και το $OH^-(υδ)$. Η σχέση το νόμου ισορροπίας για την εξίσωση (4) είναι η παρακάτω:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \qquad (5)$$

Η συγκέντρωση των moles του H_2O μέσα στα υδατικά διαλύματα, στην πραγματικότητα είναι 55,5 *M*. Επειδή ένα λίτρο νερού σε θερμοκρασία δωματίου έχει μάζα 1000 g, σε ένα λίτρο νερού θα υπάρχουν $\frac{1000\ g}{18,0\ g/mole}$ ή 55,5 moles νερού.

Αφού σχηματίζονται τόσο λίγα ιόντα, η συγκέντρωση των μη διισταμένων μορίων του H_2O θεωρείται εξαιρετικά σταθερή. Κατά συνέπεια, ο τύπος (5) απλοποιείται, συνήθως ενσωματώνοντας το συντελεστή 55,5 μέσα στη σταθερά. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, οι χημικοί συνηθίζουν να συμβολίζουν τη σταθερά με το K_w, για να δηλώνουν ότι περιλαμβάνεται στο συντελεστή και η συγκέντρωση του νερού, $[H_2O]$. Έτσι, K_w ορίζεται ως το γινόμενο $[H^+]$ επί $[OH^-]$:

$$K_w = [H^+]\,[OH^-] \qquad (6)$$

Εύκολα διαπιστώνετε τη σχέση που έχει αυτό το γινόμενο με το *K*. Αν πολλαπλασιασθούν και τα δύο μέλη της εξισώσεως (5) με το $[H_2O]$, λαμβάνεται η εξής σχέση: $[H_2O] \times K = [H^+]\,[OH^-]$. Από την εξίσωση αυτή αποδεικνύεται εύκολα η επόμενη σχέση:

$$K_w = [H^+]\,[OH^-] = 55,5 \times K \qquad (6α)$$

Η K_w ονομάζεται ***σταθερά διαστάσεως*** (ή ιοντισμού). Το μέγεθος της K_w στους 25°C είναι:

$$K_w = 1,00 \times 10^{-14}\ \text{mole}^2/\text{λίτρο}^2 \qquad (7)$$

Όπως όλες οι σταθερές ισορροπίας, η τιμή της ποικίλλει με τη θερμοκρασία. Σχεδόν όλοι όμως οι υπολογισμοί σε υδατικά διαλύματα έχουν γίνει στους 25°C. Στο βιβλίο αυτό θα ασχοληθούμε με την K_w μόνο σε αυτήν τη θερμοκρασία. Η τιμή της K_w, 10^{-14}, είναι κάτι που πρέπει κάποιος να το θυμάται, επειδή το νερό αποτελεί τον πιο σημαντικό διαλύτη. Αν είναι γνωστή η τιμή της K_w, τότε μπορούν να υπολογισθούν οι συγκεντρώσεις των ιόντων. Εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς της διαλυτότητας.

Στην αντίδραση (4), για κάθε ιόν $OH^-(υδ)$ σχηματίσθηκε ένα ιόν $H^+(υδ)$. Άρα, στο καθαρό νερό, όπου η μόνη πηγή ιόντων είναι η αντίδραση (4), οι συγκεντρώσεις των ιόντων $H^+(υδ)$ και $OH^-(υδ)$ θα πρέπει να είναι ίσες.

$$[OH^-] = [H^+] \qquad (8)$$

Αν αντικατασταθεί η εξίσωση (8) στον τύπο της ισορροπίας (6), υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των δύο ειδών ιόντων.

$$\begin{aligned} K_w &= [H^+][OH^-] = [H^+][H^+] \\ &= [H^+]^2 \\ [H^+] &= \sqrt{K_w} = \sqrt{1,00 \times 10^{-14}} \\ [H^+] &= 1,00 \times 10^{-7}\ M \end{aligned} \qquad (9)$$

Με τη βοήθεια της εξισώσεως (8), γράφεται και η παρακάτω σχέση:

$$[OH^-] = [H^+] = 1,00 \times 10^{-7}\ M \qquad (10)$$

Τώρα γίνεται κατανοητή η μικρή αγωγιμότητα του καθαρού νερού. Αν και το νερό διίσταται σε ιόντα $H^+(υδ)$ και $OH^-(υδ)$, αυτό συμβαίνει σε πολύ μικρό βαθμό. Στην ισορροπία, οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι μόνο 10^{-7} *M*. Γι' αυτό το νερό είναι ένας πολύ ασθενής ηλεκτρολύτης.

23.3 Αλλαγή των συγκεντρώσεων των ιόντων H^+ και OH^-.

Μάθαμε ότι η κάθε μία από τις συγκεντρώσεις των ιόντων H^+ και OH^- στο καθαρό νερό και στους 25°C είναι ίση με 10^{-7} *M*. Ας υποτεθεί ότι προστίθεται στο νερό κάποιος ηλεκτρολύτης ο οποίος δημιουργεί ιόντα H^+ ή OH^-. Πώς θα επηρεάσει αυτή η προσθήκη τις συγκεντρώσεις των δύο ιόντων; Ας υποτεθεί για παράδειγμα ότι προστίθεται λίγο HCl.

Το HCl είναι ένας ισχυρός ηλεκτρολύτης· όταν διαλύεται, δίνει ιόντα $H^+(υδ)$ και $Cl^-(υδ)$. Το υδροχλώριο προσθέτει στο διάλυμα ιόντα $H^+(υδ)$ αλλά όχι ιόντα $OH^-(υδ)$. Από αυτήν τη στιγμή και εφεξής, οι συγκεντρώσεις $[H^+]$ και $[OH^-]$ δεν είναι πια ίσες. Εξακολουθούν όμως να συνδέονται με τη σχέση ισορροπίας (6).

$$K_w = [H^+]\,[OH^-] \quad (6)$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} \quad (11)$$

Ο τύπος (11) δείχνει ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των ιόντων H^+, τόσο μειώνεται η συγκέντρωση των ιόντων OH^-.

Ας υποτεθεί επίσης ότι σε καθαρό νερό προστίθεται υδροξείδιο του νατρίου, NaOH. Το υδροξείδιο του νατρίου είναι και αυτό ένας ισχυρός ηλεκτρολύτης, ο οποίος προσθέτει στο διάλυμα ιόντα OH^-. Τώρα η εξίσωση (6) μπορεί να ξαναγραφεί με τον επόμενο τρόπο:

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} \quad (12)$$

Είναι εμφανές ότι αύξηση της συγκεντρώσεως των OH^- μειώνει τη συγκέντρωση των H^+.

Αυτό που έχει σημασία να κατανοήσετε είναι ότι πρέπει πάντα να διατηρείται η εξίσωση ισορροπίας (6). Η συγκέντρωση του καθενός από τα ιόντα, H^+ ή OH^-, μπορεί να αυξηθεί μόνο αν ταυτόχρονα μειωθεί η συγκέντρωση του άλλου. Επί πλέον, υπάρχει μια ακριβής ποσοτική σχέση. Το γινόμενο των δυο συγκεντρώσεων θα πρέπει πάντα να έχει την ίδια τιμή, την τιμή της σταθεράς K_w, ανεξάρτητα από την ποσότητα του ενός ή του άλλου ιόντος που έχει προστεθεί στο διάλυμα.

Ας δούμε ένα παράδειγμα. Υποθέτομε ότι 0,10 moles υδροχλωρίου διαλύονται σε 1,0 λίτρο νερού. Επειδή το HCl είναι ισχυρός ηλεκτρολύτης, τα 0,10 moles του υδροχλωρίου σχηματίζουν στον όγκο του ενός λίτρου 0,10 moles ιόντων H^+*(υδ)* και 0,10 moles ιόντων Cl^-*(υδ)*. Ο συνολικός αριθμός των ιόντων H^+ που υπάρχουν θα είναι μεγαλύτερος από 0,10 moles γιατί η διάσταση του νερού παρέχει επίσης αυτά τα ιόντα, H^+. Γρήγορα όμως καταλαβαίνετε ότι η συμβολή αυτή είναι τόσο μικρή, σε σχέση με την ποσότητα που παρέχεται από το HCl, ώστε μπορεί να αγνοηθεί. Προκειμένου να γίνει κατανοητό αυτό, ας θυμηθούμε ότι στο καθαρό νερό η συγκέντρωση των ιόντων H^+ που σχηματίζονται από τη διάσταση των μορίων του νερού είναι μόνο 10^{-7} *M*. Η τεράστια συγκέντρωση των ιόντων H^+ που προκλήθηκε με την προσθήκη του HCl σημαίνει ότι η $[OH^-]$ θα πρέπει να μειωθεί, ώστε να διατηρηθεί το γινόμενο $[H^+]\,[OH^-] = K_w$. Με αυτήν την προσθήκη του HCl διίστανται ακόμη λιγότερα μόρια νερού. Γι' αυτό το ίδιο το νερό θα σχηματίσει ακόμα λιγότερα από 10^{-7} moles ιόντα H^+ ανά λίτρο. Μια συγκέντρωση της τάξεως του 10^{-7} (0,0000001 *M*) είναι τόσο μικρή, σε σύγκριση με την 0,10 *M*, ώστε είναι δυνατόν να αγνοηθεί. Αποτελεί μόνο το 0,0001 τοις εκατό του συνόλου. Μπορεί έτσι να λεχθεί ότι σε ένα διάλυμα 0,10 *M* HCl, η συγκέντρωση των ιόντων H^+ είναι 0,10 *M*.

Αν το $[H^+]$ είναι 0,10 *M*, ο τύπος (11) επιτρέπει τον υπολογισμό του $[OH^-]$.

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{1{,}00 \times 10^{-14}}{0{,}10}$$

$$= \frac{1{,}00 \times 10^{-14}}{1{,}0 \times 10^{-1}}$$

$$[OH^-] = 1{,}0 \times 10^{-13}$$

Η προσθήκη των 0,10 moles του HCl στο 1,0 λίτρο του νερού ελαττώνει τη συγκέντρωση των ιόντων OH^- από 10^{-7} *M* που είναι η τιμή τους στο καθαρό νερό σε 10^{-13} *M*. Δηλαδή η $[OH^-]$ αλλάζει κατά ένα συντελεστή της τάξεως του ενός εκατομμυρίου (10^6).

Είναι σαφές ότι αν διαλυθούν σε ένα λίτρο νερού 0,10 moles NaOH, η $[OH^-]$ ισούται με 0,10 *M* και η συγκέντρωση των ιόντων H^+ θα μειωθεί κατά ένα συντελεστή της τάξεως του ενός εκατομμυρίου, στην τιμή $1{,}0 \times 10^{-13}$ *M*.

$$[H^+] = \frac{1{,}00 \times 10^{-14}}{0{,}10} = 1{,}0 \times 10^{-13}$$

Η ευκολία με την οποία μπορούν οι χημικοί να ελέγξουν και να μεταβάλουν τις συγκεντρώσεις των H^+*(υδ)* και OH^-*(υδ)* έχει μεγάλη σημασία. Τα ιόντα H^+*(υδ)* και OH^-*(υδ)* συμμετέχουν σε πολλές σημαντικές αντιδράσεις οι οποίες πραγματοποιούνται μέσα σε υδατικά διαλύματα. Έτσι, αν τα ιόντα H^+*(υδ)* είναι τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα μιας αντιδράσεως η μεταβολή της συγκεντρώσεως του ιόντος υδρογόνου κατά ένα συντελεστή της τάξεως του 10^6 μπορεί να έχει τεράστιες συνέπειες. Μια αλλαγή αυτού του είδους σε μια αντίδραση που βρίσκεται σε ισορροπία απαιτεί σημαντική αλλαγή στις συγκεντρώσεις όλων των άλλων αντιδρώντων και προϊόντων, ώστε να εξακολουθήσει να ισχύει ο νόμος της ισορροπίας. Επί πλέον, υπάρχουν πολλές αντιδράσεις για τις οποίες ή το ιόν του υδρογόνου ή το υδροξυλιόν δρα ως καταλύτης. Για παράδειγμα, η κατάλυση της αποσυνθέσεως του μυρμηκικού οξέος από το θειικό οξύ αναφέρθηκε στην παράγραφο 21.10. Το μυρμηκικό οξύ είναι αρκετά σταθερό, μέχρι να

αυξηθεί η συγκέντρωση του ιόντος υδρογόνου. Τότε, η ταχύτητα της αντιδράσεως αποσυνθέσεώς του γίνεται πολύ ταχεία, όπως δείχνει και το σχήμα 23-1.

Επιδρώντας στις συνθήκες ισορροπίας και αλλάζοντας τις ταχύτητες αντιδράσεως, οι συγκεντρώσεις των ιόντων H^+*(υδ)* και OH^-*(υδ)* βοηθούν τους χημικούς να ελέγχουν αντιδράσεις μέσα σε υδατικά διαλύματα.

23.4 Όξινα, βασικά και ουδέτερα διαλύματα. Προσδιορισμός του pH.

Στο καθαρό νερό ισχύει η σχέση $[H^+] = [OH^-]$. Οι συγκεντρώσεις αυτών των δύο ιόντων θα παραμείνουν ίσες, έστω και αν διαλυθεί κάποια ουσία στο νερό, με την προϋπόθεση ότι η ουσία αυτή δε σχηματίζει ούτε ιόντα H^+ αλλά ούτε και ιόντα OH^-, ή δεν αντιδρά με αυτά τα ιόντα. Το σκέτο καθαρό νερό ή κάθε διάλυμα μέσα, στο οποίο ισχύει η σχέση $[H^+] = [OH^-]$, λέγεται ότι είναι ουδέτερο.

Όξινο είναι ένα διάλυμα, στο οποίο η $[H^+]$ είναι μεγαλύτερη από την $[OH^-]$. Σε ένα όξινο διάλυμα στους 25°C, η $[H^+]$ είναι μεγαλύτερη από 10^{-7} *M* και η $[OH^-]$ είναι μικρότερη από 10^{-7} *M*.

Βασικό είναι εκείνο το διάλυμα, στο οποίο η $[OH^-]$ είναι μεγαλύτερη από την $[H^+]$. Σε ένα βασικό διάλυμα στους 25°C, η $[OH^-]$ είναι μεγαλύτερη από 10^{-7} *M*, ενώ η $[H^+]$ είναι μικρότερη από 10^{-7} *M*.

Η οξύτητα των διαλυμάτων είναι απαραίτητο να αναφέρεται πολύ συχνά. Γι' αυτό, είναι χρήσιμο να υπάρχει κάποιος τρόπος εκφράσεως της οξύτητας πιο απλός από την αριθμητική έκφραση της $[H^+]$, η οποία συνήθως είναι μια παράσταση του τύπου $1{,}00 \times 10^{-4}$ mole/λίτρο. Σε αυτό μας βοηθά η κλίμακα του *p*H.

Ο τύπος του *p*H δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$pH = -\log_{10}[H^+] \qquad (13)$$

Το καθαρό νερό στους 25°C έχει $[H^+] = 1{,}00 \times 10^{-7}$ mole/λίτρο. Έτσι, η τιμή του *p*H ενός ουδέτερου διαλύματος ισούται με:

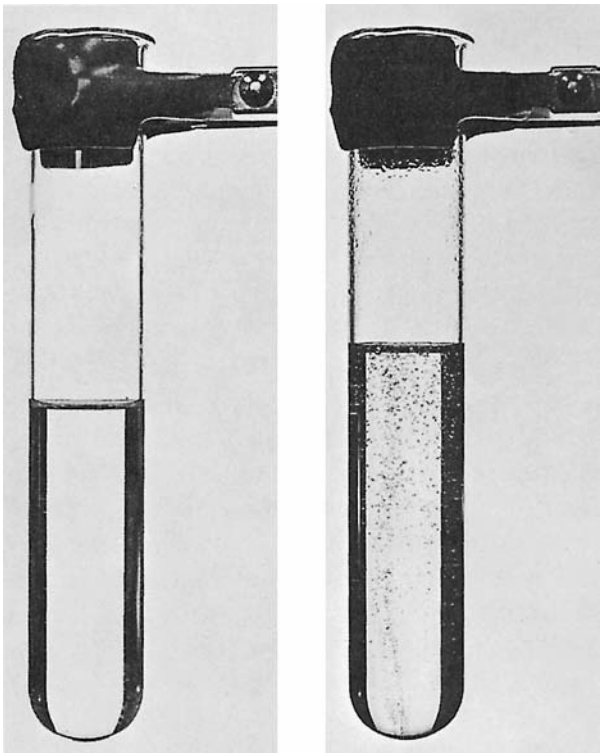
$$-\log_{10}(1{,}00 \times 10^{-7}) = -\log_{10}(1{,}00) - \log_{10}10^{-7}.$$

Επειδή $\quad -\log_{10}(1{,}00) = 0$

$$pH = -\log_{10}[10^{-7}] = -(-7) = 7$$

Ένα διάλυμα το οποίο έχει *p*H μικρότερο από 7, είναι ***όξινο***. Για παράδειγμα, ένα διάλυμα 0,001 *M* HCl έχει $[H^+] = 10^{-3}$ mole ανά λίτρο. Το *p*H του υπολογίζεται με τον παρακάτω τρόπο:

$$pH = -\log_{10}[10^{-3}] = -(-3) = 3$$



ΣΧΗΜΑ 23-1. *Μυρμηκικό οξύ στο οποίο δεν προσετέθησαν επί πλέον ιόντα H^+ (αριστερά). Η προσθήκη μικρής ποσότητας θειικού οξέος προκαλεί ταχεία αποσύνθεση του μυρμηκικού οξέος (δεξιά).*

Εξ άλλου, ένα βασικό διάλυμα έχει *p*H μεγαλύτερο του 7. Για παράδειγμα, ένα διάλυμα 0,001 *M* NaOH έχει *p*H, το οποίο υπολογίζεται από τις επόμενες εξισώσεις:

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} \qquad (12)$$

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11}$$

$$pH = -\log_{10}\left[10^{-11}\right] = -(-11) = 11$$

Το σύμβολο *p*H χρησιμοποιήθηκε πρώτα από τον Δανό χημικό Sorenson. Το *p* προκύπτει από τη δανέζικη λέξη ***potenz*** (δύναμη) και το H από το ιόν υδρογόνου. Μια κοινή μέθοδος ευρέσεως του *p*H ενός διαλύματος είναι η χρήση ενός *p*H-μέτρου (πεχαμέτρου), όπως αυτό που εικονίζεται στο σχήμα 23-2.



ΣΧΗΜΑ 23-2. *Συχνά, για να βρεθεί η συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου ενός διαλύματος (pH) χρησιμοποιείται ένα pH-μετρο, όπως αυτό που*

23.5 Η μεταβολή της K_w με τη θερμοκρασία.

Πειράματα δείχνουν ότι η αντίδραση (4), σύμφωνα και με την επόμενη εξίσωση, απορροφά ενέργεια:

$$H_2O(υγ) + 13{,}68\ kcal \rightarrow H^+(υδ) + OH^-(υδ) \quad (14)$$

ή

$$H_2O(υγ) \rightarrow H^+(υδ) + OH^-(υδ)\ \Delta H = 13{,}68\ kcal \quad (15)$$

Όπως φαίνεται και από τις εξισώσεις (14) και (15), χρειάζονται 13,68 kcal, για να διασπασθεί ένα mole νερού στα συστατικά του.

Η επίδραση αυτής της θερμότητας χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της αλλαγής που θα εμφανίζει η K_w με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Η αρχή του Le Chatelier προβλέπει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα μετατοπίζει την κατάσταση ισορροπίας προς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιόντων (έτσι ώστε να απορροφάται η θερμότητα). Κατά συνέπεια, η K_w αυξάνεται, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Στον πίνακα 23.1 εμφανίζονται πειραματικές τιμές για την K_w σε διάφορες θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 23.1.
Τιμές της K_w σε διάφορες θερμοκρασίες.

Θερμοκρασία (°C)	K_w
0	$0{,}114 \times 10^{-14}$
10	$0{,}295 \times 10^{-14}$
20	$0{,}676 \times 10^{-14}$
25	$1{,}00 \times 10^{-14}$
60	$9{,}55 \times 10^{-14}$

Περίληψη.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ηλεκτρολυτών. Οι ισχυροί μέσα σε υδατικά διαλύματα διίστανται τελείως σε ιόντα ενώ οι ασθενείς μερικώς. Το νερό είναι ένας ασθενής ηλεκτρολύτης. Στους 25°C η σταθερά ιοντισμού K_w ισούται με $1{,}00 \times 10^{-14}$ mole^2/λίτρο^2. Αν και ο ιοντισμός αυτός είναι ελάχιστος έχει τεράστια επίδραση σε πολλές χημικές διαδικασίες μέσα σε υδατικά διαλύματα. Και μια μικρή ακόμη συγκέντρωση ουσίας που περιέχει ιόντα H^+ μεταβάλλει τη συγκέντρωση του ιόντος OH^- εκθετικά. Η προσθήκη ιόντων OH^- έχει εξ ίσου μεγάλη επίδραση στη συγκέντρωση του ιόντος H^+.

Το καθαρό νερό και όλα τα διαλύματα στα οποία ισχύει η σχέση $[H^+] = [OH^-]$ ονομάζονται ουδέτερα και έχουν pH = 7. Διαλύματα στα οποία η $[H^+]$ είναι μεγαλύτερη της $[OH^-]$ ονομάζονται όξινα και έχουν pH μικρότερο του 7. Διαλύματα στα οποία η $[OH^-]$ είναι μεγαλύτερη της $[H^+]$ ονομάζονται βασικά και έχουν pH μεγαλύτερο του 7.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Σε τι διαφέρουν οι ισχυροί ηλεκτρολύτες από τους ασθενείς;
2. Ποιο είναι το αποτέλεσμα που προκύπτει πάντα από το γινόμενο της $[H^+]$ επί την $[OH^-]$ οποιουδήποτε υδατικού διαλύματος στους 25°C;
3. Τι συμβαίνει στη συγκέντρωση των ιόντων H^+ ενός υδατικού διαλύματος, όταν προστεθεί μια επί πλέον πηγή ιόντων OH^-;
4. Ποια είναι η τιμή του pH στους 25°C των διαλυμάτων με τις παρακάτω συγκεντρώσεις;
   (α) $[H^+] = 10^{-3}\ M$
   (β) $[OH^-] = 10^{-4}\ M$

Τα οξέα και οι βάσεις έχουν χαρακτηριστικές ιδιότητες

23.6 Ιδιότητες των υδατικών διαλυμάτων των οξέων.

Οι χημικοί από πολύ παλιά έχουν αναγνωρίσει τη σημαντική επίδραση που είχαν τα $H^+(υδ)$ και $OH^-(υδ)$ σε υδατικά διαλύματα. Κατά συνέπεια, είχαν από καιρό χαρακτηρίσει αυτές τις κατηγορίες ουσιών που αλλάζουν τη συγκέντρωση αυτών των δύο ιόντων με τα ονόματα "οξέα" και "βάσεις" αντίστοιχα.

Ας εξετάσομε τις επόμενες ενώσεις:

HCl	υδροχλωρικό οξύ ή υδροχλώριο
HNO_3	νιτρικό οξύ
CH_3COOH	οξικό οξύ
H_2SO_4	θειικό οξύ
H_3PO_4	φωσφορικό οξύ

Η κάθε μία από αυτές τις πέντε ουσίες ονομάζεται οξύ. Έχουν όλες το ίδιο όνομα, γιατί χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω σημαντικές κοινές ιδιότητες:

Περιέχουν υδρογόνο. Η κάθε μία από αυτές τις ενώσεις περιέχει υδρογόνο.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η κάθε μία από αυτές τις ενώσεις διαλύεται στο νερό και σχηματίζει διαλύματα, που άγουν τον ηλεκτρισμό. Στα υδατικά τους διαλύματα υπάρχουν ιόντα.

Απελευθέρωση αερίου υδρογόνου. Όταν προστεθεί μεταλλικός ψευδάργυρος στα υδατικά διαλύματα της καθεμιάς από τις παραπάνω ενώσεις, παράγεται αέριο υδρογόνο, H_2.

Χρωματίζουν το χάρτη του ηλιοτροπίου. Το ηλιοτρόπιο, είναι μια χρωστική που έχει την ιδιότητα να αλλάζει το χρώμα της σε κόκκινο παρουσία υδατικών διαλυμάτων οξέων.

Γεύση. Τα αραιά υδατικά διαλύματα της καθεμιάς από τις παραπάνω ουσίες έχουν όξινη γεύση. Πάντως, επειδή (όπως πολλές άλλες χημικές ουσίες) κάποια οξέα και βάσεις είναι δηλητήρια, ***δεν θα πρέπει*** να δοκιμάσετε ποτέ κάποιο άγνωστο διάλυμα, θέλοντας να αποφανθείτε κατά πόσο είναι όξινο ή βασικό.

Επειδή για υδατικά διαλύματα αυτών των ενώσεων οι προηγούμενες ιδιότητες είναι κοινές, είναι ευνόητο ότι οι ενώσεις αυτές κατατάσσονται στην ίδια κατηγορία και χαρακτηρίζονται ως οξέα. Στην πραγματικότητα το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων αποτελεί και την απλούστερη περιγραφή ενός οξέος. Δίνουν τη δυνατότητα να αποφασίσει κάποιος αν μια ένωση θα πρέπει να χαρακτηρισθεί ως οξύ. Μερικά από τα γνωστά οξέα αναφέρονται στο σχήμα 23-3.

Ποιος είναι ο κοινός παράγοντας, εξ αιτίας του οποίου αυτές οι διαφορετικές ουσίες συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο; Στο νερό σχηματίζουν όλες αγώγιμα διαλύματα. Άρα, όλες στο νερό σχηματίζουν ιόντα. Η κάθε ουσία περιέχει υδρογόνο και αντιδρά με μεταλλικό ψευδάργυρο παράγοντας αέριο υδρογόνο. Ίσως όλα αυτά τα υδατικά διαλύματα να περιέχουν το ***ίδιο*** ιόν και αυτό το ιόν να ευθύνεται για το σχηματισμό του $H_2(α)$. Με βάση τις ιδιότητες των οξέων, είναι λογική η πρόταση ότι το κοινό ιόν είναι το $H^+(υδ)$. Προκύπτει ότι ένας ορισμός των οξέων θα μπορούσε να είναι ο εξής: ***Μια ουσία έχει τις ιδιότητες του οξέος, αν διίσταται σε ιόντα υδρογόνου***.

23.7 Ιδιότητες των υδατικών διαλυμάτων των βάσεων.

Ας παρατηρήσομε τις επόμενες ενώσεις:

NaOH	υδροξείδιο του νατρίου
KOH	υδροξείδιο του καλίου
$Mg(OH)_2$	υδροξείδιο του μαγνησίου
Na_2CO_3	ανθρακικό νάτριο*
NH_3	αμμωνία

Η κάθε μία από αυτές τις πέντε ενώσεις ονομάζεται βάση. Έχουν όλες το ίδιο όνομα, γιατί χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες σημαντικές ιδιότητες (κοινές και για τις πέντε):

Ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όπως και τα οξέα, οι ενώσεις αυτές διαλύονται στο νερό και

* *Σ.τ.Μ. Για τα οξέα και τις βάσεις υπάρχουν διάφοροι ορισμοί· οι πιο συνηθισμένοι είναι ο παλαιότερος ορισμός του Arrhenius και οι νεότεροι του Lewis, των Brönsted–Lowry και των Lux–Flood. Έτσι, κάποια ουσία μπορεί να είναι βάση κατά έναν ορισμό και κατά έναν άλλο να μην είναι. Για παράδειγμα, η NH_3, κατά τη θεωρία του Arrhenius, δεν μπορεί να θεωρηθεί βάση, γιατί δεν περιέχει στο μόριό της OH. Όμως η NH_3 έχει τις ιδιότητες βάσεως. Για να συμπεριληφθεί λοιπόν και η NH_3 στις βάσεις κατά Arrhenius, συνηθίζεται να τη γράφομε συμβατικά και NH_4OH (χρησιμοποιούμε δηλαδή το χημικό τύπο ουσίας που δεν υπάρχει στην πραγματικότητα). Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με το Na_2CO_3, που στην υπάρχουσα ελληνική βιβλιογραφία χαρακτηρίζεται ως άλας.*



ΣΧΗΜΑ 23-3. *Μερικές από τις γνωστές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή ζωή, όπως αυτές που εικονίζονται, έχουν κάποιες ιδιότητες, οι οποίες είναι κοινές σε όλα τα οξέα.*

σχηματίζουν αγώγιμα διαλύματα. Στο υδατικό διάλυμα μιας βάσεως υπάρχουν ιόντα.

Αντίδραση με οξέα. Όταν ενωθούν ίσες ποσότητες οξέων και βάσεων, αναιρούνται όλες οι προαναφερθείσες ιδιότητες ενός όξινου διαλύματος, εκτός από την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Βέβαια, είναι δυνατόν να λεχθεί το ίδιο και για τα οξέα, ότι δηλαδή παύουν να ισχύουν όλες οι προαναφερθείσες ιδιότητες του βασικού διαλύματος εκτός από την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Χρωματίζουν το ηλιοτρόπιο. Το χρώμα του ηλιοτροπίου γίνεται κυανό αν προστεθεί σε υδατικό διάλυμα οποιαδήποτε από τις παραπάνω βασικές ενώσεις.

Γεύση. Τα αραιά υδατικά διαλύματα των βάσεων έχουν πικρή γεύση. Θυμηθείτε ότι ***δεν πρέπει*** να αποπειραθείτε να προσδιορίσετε με τη γεύση τη φύση κάποιου διαλύματος.

Αφή. Τα υδατικά διαλύματα τα αισθάνεται κάποιος (διά της αφής) να γλιστρούν.

Και πάλι το σύνολο αυτών των ιδιοτήτων αποτελεί και την απλούστερη περιγραφή μιας βάσεως. Βοηθά κάποιον να αποφασίσει αν μια ουσία πρέπει να καταταγεί στις βάσεις. Στο σχήμα 23-4 δίνονται μερικές από τις γνωστές βάσεις.

23.8 Μια ερμηνεία των ιδιοτήτων των βάσεων.

Αν ακολουθήσομε την ίδια συλλογιστική πορεία όπως στην περίπτωση των οξέων, θα



ΣΧΗΜΑ 23-4. *Ουσίες καθημερινής χρήσεως, όπως αυτές που εικονίζονται εδώ, χαρακτηρίζονται από τις κύριες βασικές ιδιότητες των βάσεων.*

πρέπει να θεωρηθεί ότι και στις βάσεις θα υπάρχει κάποιος κοινός παράγοντας που ευθύνεται για τις ομοιότητές τους. Για την αγωγιμότητα ίσως να αναζητηθεί κάποιο ιόν. Για την ικανότητα να εξουδετερώνουν τις ιδιότητες των οξέων θα πρέπει να ευθύνεται κάποιο ιόν, το οποίο μπορεί να απομακρύνει το ιόν $H^+(υδ)$ από το διάλυμα. Υπενθυμίζεται ότι το $H^+(υδ)$ ευθύνεται για τις ιδιότητες των οξέων.

Το υδροξείδιο του νατρίου (καυστικό νάτριο), όταν διαλυθεί σε νερό, δίνει ένα διάλυμα με τις ιδιότητες μιας βάσεως. Τα υδροξείδια των άλλων στοιχείων, από τα αριστερά προς τα δεξιά του περιοδικού πίνακα, συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο. Είναι πιθανόν να διαλύονται και να σχηματίζουν ιόντα σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$NaOH(στ) \rightarrow Na^+(υδ) + OH^-(υδ) \qquad (16)$$

$$KOH(στ) \rightarrow K^+(υδ) + OH^-(υδ) \qquad (17)$$

$$Mg(OH)_2(στ) \rightleftharpoons Mg^{2+}(υδ) + 2OH^-(υδ) \qquad (18)$$

$$Ca(OH)_2(στ) \rightleftharpoons Ca^{2+}(υδ) + 2OH^-(υδ) \qquad (19)$$

Το υδροξυλιόν, $OH^-(υδ)$, θα μπορούσε να αντιδράσει με το υδρογόνο και έτσι να δικαιολογηθεί η δεύτερη ιδιότητα των βάσεων, η απομάκρυνση των οξίνων ιδιοτήτων, σύμφωνα με την εξίσωση (20):

$$OH^-(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons H_2O \qquad (20)$$

Οι ομοιότητες ανάμεσα στα διάφορα υδροξείδια είναι προφανείς. Ας συγκριθεί τώρα το ανθρακικό νάτριο και η αμμωνία. Το ανθρακικό νάτριο διαλύεται στο νερό και δίνει ένα διάλυμα με τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν μια βάση. Ποσοτικές μελέτες της διαλυτότητας των ανθρακικών δείχνουν ότι το ανθρακικό ιόν, CO_3^{2-}, αντιδρά με το νερό κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$Na_2CO_3(στ) \rightarrow 2Na^+(υδ) + CO_3^{2-}(υδ) \qquad (21)$$

$$CO_3^{2-}(υδ) + H_2O \rightleftharpoons HCO^{3-}(υδ) + OH^-(υδ) \qquad (22)$$

Η αντίδραση (22) δείχνει ότι η παρουσία του ανθρακικού ιόντος στο νερό αυξάνει τη συγκέντρωση του OH^-. Το ιόν OH^- υπάρχει στα διαλύματα των NaOH, KOH, $Mg(OH)_2$ και $Ca(OH)_2$:

Η αντίδραση (22) διευκολύνει επίσης την κατανόηση της αναιρέσεως των ιδιοτήτων των οξέων. Αν το CO_3^{2-} σχηματίζει εύκολα όξινο ανθρακικό ιόν, HCO_3^-, φαίνεται ότι πραγματοποιείται η επόμενη αντίδραση:

$$CO_3^{2-}(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons HCO_3^-(υδ) \qquad (23)$$

Η παραγωγή του $HCO_3^-(υδ)$ αυξάνει τη $[OH^-]$, επειδή κατά τη διαδικασία μειώνεται η $[H^+]$.

Θα πρέπει πλέον να λαμβάνεται ως δεδομένο ότι για τη γλιστερή αίσθηση και την υπόπικρη γεύση των βασικών διαλυμάτων, ευθύνονται τα $OH^-(υδ)$. Η σταθερότητα των οξίνων ανθρακικών ιόντων της αντιδράσεως (23) εξηγεί επίσης την αναίρεση των ιδιοτήτων των οξέων, γιατί απομακρύνονται από το διάλυμα ιόντα $H^+(υδ)$.

Στην παράγραφο 23.7, η πέμπτη ουσία που αναφέρεται ως βάση είναι η αμμωνία, NH_3. Η αμμωνία σχηματίζει εύκολα το ιόν του αμμωνίου, NH_4^+ και αντιδρά με το νερό, αλλά και με το ιόν του υδρογόνου.

$$NH_3(υδ) + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+(υδ) + OH^-(υδ) \qquad (24)$$

$$NH_3(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons NH_4^+(υδ) \qquad (25)$$

Ο σχηματισμός του NH_4^+ ευθύνεται για τις ιδιότητες των βάσεων, τις οποίες έχει η αμμωνία. Κατά την αντίδραση (24) παράγεται υδροξυλιόν. Σύμφωνα με την προηγούμενη βασική αρχή, το ιόν αυτό είναι υπεύθυνο για την πικρή γεύση και τη γλιστερή αίσθηση στην αφή των διαλυμάτων των βάσεων. Η αντίδραση (25) δείχνει πώς δρα η αμμωνία, προκειμένου να αναιρέσει τις όξινες ιδιότητες ενός διαλύματος, το οποίο περιέχει ιόντα υδρογόνου, $H^+(υδ)$.

Η διερεύνηση των ιδιοτήτων και άλλων ενώσεων, οι οποίες εμφανίζουν τις ιδιότητες των βάσεων, δείχνει ότι κάθε τέτοια ένωση μπορεί να σχηματίσει στο νερό ιόντα υδροξυλίου. Τα ιόντα OH^- είναι δυνατόν να σχηματισθούν απ' ευθείας, όπως στις εξισώσεις (16) και (19). Μπορούν όμως να σχηματισθούν και έμμεσα, διά αντιδράσεων με το νερό, όπως στην περίπτωση των εξισώσεων (22) και (24).

Η κάθε ουσία, η οποία μπορεί να σχηματίσει στο νερό υδροξυλιόντα, μπορεί επίσης να αντιδράσει και με ιόντα υδρογόνου.

$$OH^-(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons H_2O \qquad (20)$$

$$CO_3^{2-}(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons HCO_3^-(υδ) \qquad (23)$$

$$NH_3(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons NH_4^+(υδ) \qquad (25)$$

Η παραγωγή των ιόντων $OH^-(υδ)$ και η αντίδραση με τα ιόντα $H^+(υδ)$ πραγματοποιούνται μαζί μέσα σε υδατικά διαλύματα. Γι' αυτό, μια βάση είναι δυνατόν να ορισθεί ***ή*** ως μια ουσία που σχηματίζει ιόντα $OH^-(υδ)$ ***ή*** ως μια ουσία η οποία μπορεί να αντιδράσει με ιόντα $H^+(υδ)$. Σε διαλύτες διαφορετικούς από το νερό, ο δεύτερος ορισμός είναι κατά βάση πιο χρήσιμος. Γενικά, ***μια ουσία έχει τις ιδιότητες των βάσεων, αν μπορεί να συνδεθεί με ιόντα υδρογόνου***.

Περίληψη.

Οξέα είναι ουσίες που περιέχουν υδρογόνο και οι οποίες, όταν διαλυθούν στο νερό, χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω ιδιότητες: Είναι αγωγοί του ηλεκτρισμού, αντιδρούν με μεταλλικό ψευδάργυρο και δίνουν $H_2(α)$, χρωματίζουν το ηλιοτρόπιο κόκκινο και έχουν όξινη γεύση. Όλες αυτές οι ιδιότητες οφείλονται στο γεγονός ότι ένα οξύ σχηματίζει ιόντα H^+.

Βάσεις είναι ουσίες οι οποίες, όταν διαλύονται στο νερό, εμφανίζουν τις επόμενες ιδιότητες: Άγουν τον ηλεκτρισμό, αντιδρούν με τα οξέα και αναιρούν τις όξινες ιδιότητές τους, χρωματίζουν το ηλιοτρόπιο κυανό, έχουν πικρή γεύση και είναι γλιστερές στην αφή. Μια ουσία είναι βάση, αν μπορεί να ενωθεί με ιόντα υδρογόνου.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιο είναι το χαρακτηριστικό ιόν των οξέων;
2. Ποιο είναι το χαρακτηριστικό ιόν των βάσεων;

Προσδιορισμός ποσοτήτων οξέων και βάσεων

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

23.9 Προσδιορισμός της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου ενός διαλύματος με τη βοήθεια δεικτών.

Πολλές χημικές αντιδράσεις απαιτούν ακριβή μέτρηση και προσεκτικό έλεγχο της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου στα διαλύματά τους προκειμένου να διεξαχθούν σωστά. Μερικά φυτά αναπτύσσονται καλά σε εδάφη τα οποία είναι ελαφρώς όξινα, ενώ άλλα αναπτύσσονται σε ελαφρώς βασικά (αλκαλικά) εδάφη. Αν έχομε τη δυνατότητα να μετρήσομε τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου μέσα στο υγρό έδαφος, μπορούμε να προσδιορίσομε ποιες χημικές ουσίες πρέπει να προσθέσομε στο έδαφος, για να εξασφαλίσομε τις καλύτερες συνθήκες αναπτύξεως.

Για να προσδιορίσομε με μεγάλη ακρίβεια τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου διαφόρων διαλυμάτων, χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά *p*H-μετρα (σχ. 23-2.). Αν δεν υπάρχουν τέτοια όργανα, μπορούμε να χρησιμοποιήσομε δείκτες οξέων-βάσεων, ώστε να λάβομε μια καλή ένδειξη για τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου.

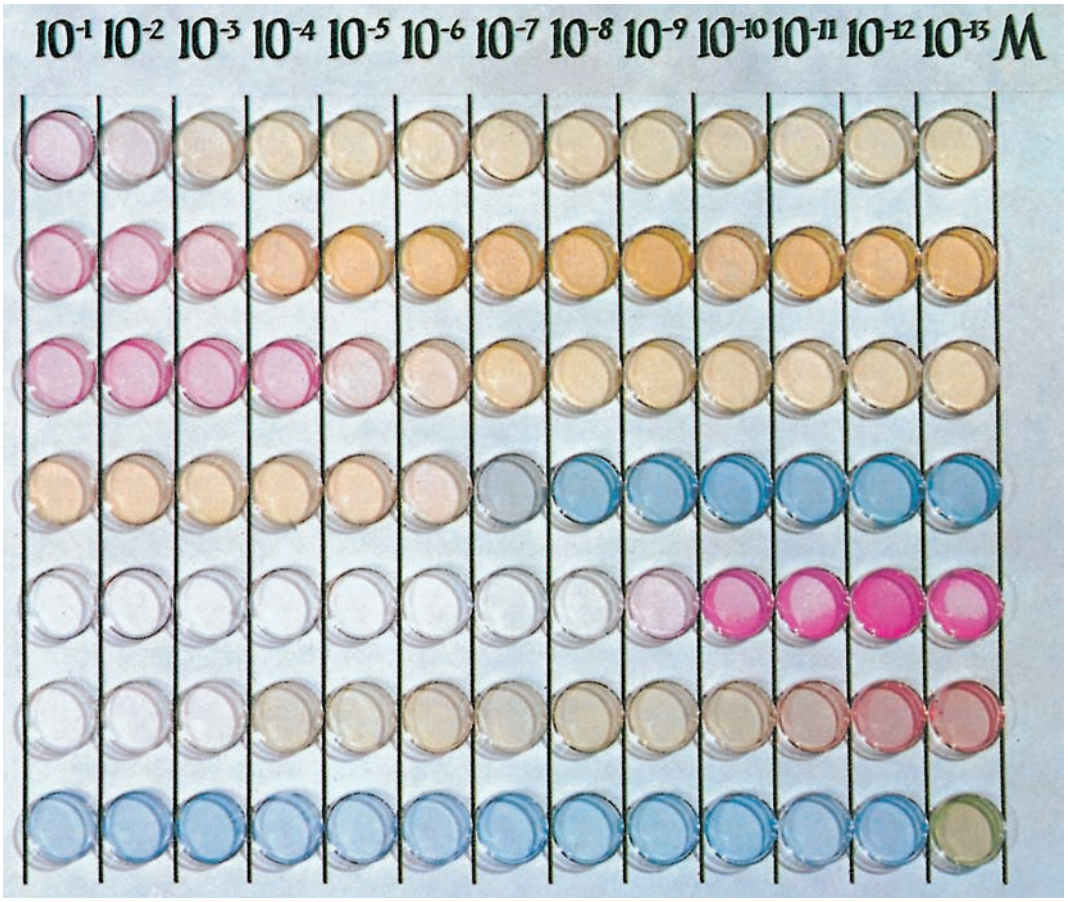
Οι δείκτες οξέων-βάσεων είναι χρωστικές ουσίες. Το χρώμα τους εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου, $[H^+]$, του διαλύματος. Υπάρχουν πολλές κατάλληλες χρωστικές ουσίες· καθεμία από αυτές αλλάζει χρώμα σε μια ιδιαίτερη περιοχή συγκεντρώσεων ιόντων υδρογόνου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 23-5. Γνωρίζετε ήδη ότι το ηλιοτρόπιο γίνεται κόκκινο όταν $[H^+] = 10^{-6}\,M$ ή μεγαλύτερη, ενώ γίνεται κυανό, όταν $[H^+] = 10^{-8}\,M$ ή μικρότερη. Για το πείραμα θα χρησιμοποιηθούν δύο δείκτες, οι οποίοι εμφανίζουν αλλαγή χρώματος στην όξινη περιοχή, η ηλιανθίνη και το πορτοκαλόχρωμο IV, και δύο δείκτες για την περιοχή των βάσεων, η ινδικοκαρμίνη και το κίτρινο της αλιζαρίνης R.

ΣΚΟΠΟΣ

Με τη βοήθεια μιας σειράς ετοίμων διαλυμάτων γνωστής συγκεντρώσεως, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως πρότυπα διαλύματα αναφοράς όσον αφορά στο χρώμα τους, θα προσδιορίσετε την $[H^+]$ ενός αγνώστου διαλύματος, αφού συγκρίνετε το χρώμα του με τα χρώματα των διαλυμάτων αναφοράς. Θα προσδιορίσετε επίσης τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου ενός διαλύματος ασθενούς οξέος και θα υπολογίσετε τη σταθερά ισορροπίας του. Παράλληλα, με τη βοήθεια ενός δείκτη, θα συγκρίνετε τον όγκο του 0,1 *M* NaOH που χρειάζεται, για να αντιδράσει με ίσους όγκους 0,1 *M* HCl και 0,1 *M* οξικού οξέος, CH_3COOH.

ΥΛΙΚΑ

Χαρτί ηλιοτροπίου, ερυθρό και κυανό
6 ml 0,1 *M* HCl
7 ml 0,1 *M* NaOH
5 ml "αγνώστου" διαλύματος
6 ml 0,1 *M* οξικό οξύ
5 ml 0,1 *M* οξικό οξύ
Ογκομετρικός κύλινδρος, 10 ml
22 δοκιμαστικοί σωλήνες, 13 x 100 mm
Σταγονόμετρο
Μαρκαδόροι
Απεσταγμένο νερό
Διαλύματα δεικτών μέσα σε σταγονομετρικά φιαλίδια
Πορτοκαλόχρωμο IV
Ηλιανθίνη (= πορτοκαλί του μεθυλίου)
Ινδικοκαρμίνη
Κίτρινο της αλιζαρίνης R
Φαινολοφθαλεΐνη



ΣΧΗΜΑ 23-5. *Οι δείκτες παίρνουν χαρακτηριστικές αποχρώσεις, όταν αλλάζουν οι συγκεντρώσεις των ιόντων υδρογόνου. Από επάνω προς τα κάτω οι δείκτες αυτοί είναι: Πορτοκαλόχρωμο IV, ηλιανθίνη, ερυθρό του μεθυλίου, κυανό της βρωμοθυμόλης, φαινολοφθαλεΐνη, κίτρινο της αλιζαρίνης R και ινδικοκαρμίνη.*

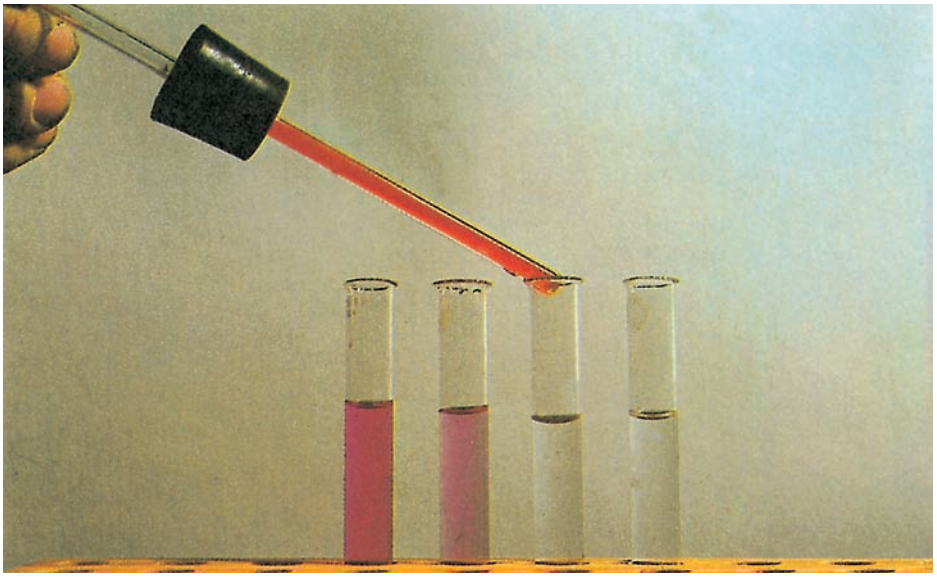
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Προκειμένου να γίνει αυτό το πείραμα, θα πρέπει να εργασθείτε ανά δύο. Ο ένας σπουδαστής θα ετοιμάσει τα πρότυπα διαλύματα αναφοράς για την όξινη περιοχή. Ο άλλος θα επαναλάβει το ίδιο, αλλά για την περιοχή των βάσεων. Να σημειώσετε τους δοκιμαστικούς σωλήνες, κατά τρόπο που ο καθένας σας να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει τα πρότυπα διαλύματα αναφοράς για τη μέτρηση της $[H^+]$ ενός "αγνώστου" διαλύματος στο Γ μέρος του πειράματος. Στα μέρη Δ και Ε θα πρέπει να συνεργασθείτε αλλά ο καθένας σας να κρατά ξεχωριστές σημειώσεις.

Μέρος Α. Παρασκευή προτύπων διαλυμάτων (διαλυμάτων αναφοράς) στην όξινη περιοχή:

$[H^+] = 10^{-1}\ M$ μέχρι $10^{-4}\ M$

1. Μέσα σε ένα καθαρό, στεγνό δοκιμαστικό σωλήνα διαστάσεων 13 x 100 mm τοποθετούνται περίπου 5 ml 0,1 *M* HCl. Αυτός ο δοκιμαστικός σωλήνας χαρακτηρίζεται ως $[H^+] = 0{,}1\ M$. Επειδή το υδροχλωρικό οξύ είναι ένα ισχυρό οξύ, είναι δυνατόν να υποτεθεί ότι μέσα σε αυτό, το αραιό διάλυμα θα είναι πλήρως ιοντισμένο.



ΣΧΗΜΑ 23-6. *Σε ορισμένα διαλύματα αναφοράς προστίθεται ο δείκτης ηλιανθίνη. Τα χρώματα αυτών των διαλυμάτων χρησιμοποιούνται για υπολογισμό της [H⁺] άλλων διαλυμάτων, τα οποία περιέχουν επίσης ηλιανθίνη και έχουν [H⁺], η οποία βρίσκεται μέσα στην ίδια περιοχή.*

2. Να παρασκευάσετε διάλυμα 0,01 *M* HCl αραιώνοντας έναν όγκο 0,1 *M* HCl με εννέα όγκους απεσταγμένου νερού, με τη βοήθεια ενός βαθμονομημένου σιφωνίου ή ενός σταγονόμετρου. Επειδή ο όγκος που χρειάζεται τελικά είναι 5 ml, να χρησιμοποιήσετε 0,5 ml του 0,1 *M* HCl και 4,5 ml απεσταγμένου νερού. Αναμίξετε το διάλυμα προσεκτικά και χαρακτηρίστε το ως $[H^+] = 0{,}01\ M$ ή $10^{-2}\ M$.
3. Παρασκευάστε με ανάλογο τρόπο 5 ml 0,001 *M* HCl αραιώνοντας λίγο από το διάλυμα αναφοράς που παρασκευάσθηκε στο στάδιο 2. Αναμίξετε και αυτό το διάλυμα προσεκτικά και χαρακτηρίστε το ως $[H^+]=0{,}001\ M$ ή $10^{-3}\ M$.
4. Τέλος, παρασκευάστε 5 ml 0,0001 *M* HCl με αραίωση λίγου διαλύματος αναφοράς που παρασκευάσθηκε στο στάδιο 3. Αναδεύστε το προσεκτικά και χαρακτηρίστε το ως $[H^+] = 0{,}0001\ M$ ή $10^{-4}\ M$.
5. Αδειάστε το μισό από το κάθε διάλυμα αναφοράς μέσα σε καθαρούς δοκιμαστικούς σωλήνες, ώστε να έχετε δύο σειρές δειγμάτων αναφοράς. Τοποθετήστε ετικέτες και στους νέους σωλήνες αναγράφοντας τα χαρακτηριστικά εκείνων από τους οποίους προήλθαν. Στον καθένα από τους τέσσερις δοκιμαστικούς σωλήνες της μιας σειράς προσθέστε από μια σταγόνα διαλύματος του δείκτη πορτοκαλόχρωμο IV. Στον καθένα από τους τέσσερις δοκιμαστικούς σωλήνες της άλλης σειράς προσθέστε μια σταγόνα διαλύματος του δείκτη ηλιανθίνη (σχ. 23-6).
6. Να καταγράψετε τα χρώματα που εμφανίζονται στο κάθε διάλυμα με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων H^+. Φυλάξτε αυτά τα διαλύματα (θα αναφερθούν στα μέρη Γ και Δ).

Μέρος Β. Παρασκευή προτύπων διαλυμάτων αναφοράς στην περιοχή των βάσεων:

$$[OH^-] = 10^{-1}\ M \text{ μέχρι } 10^{-4}\ M$$

Για να παρασκευάσετε διαλύματα αναφοράς στην περιοχή των βάσεων,

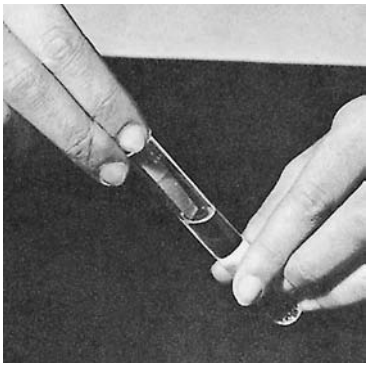
ακολουθήστε τις οδηγίες του μέρους Α (στάδια 1-4), αλλά αντί για 0,1 *M* HCl, να χρησιμοποιήσετε 0,1 *M* NaOH.

Επειδή το υδροξείδιο του νατρίου είναι ισχυρός ηλεκτρολύτης, μπορούμε να υποθέσομε ότι το αραιό διάλυμα του NaOH έχει ιονισθεί πλήρως. Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση του υδροξυλιόντος του 0,1 *M* NaOH είναι 0,1 *M* ή 10^{-1} *M*.

Να χαρακτηρίσετε τα διαλύματα που παρασκευάσατε ως $[OH^-] = 10^{-2}$ *M*, $[OH^-] = 10^{-3}$ *M* και $[OH^-] = 10^{-4}$ *M* αντίστοιχα.

1. Χωρίστε τα διαλύματα σε δυο σειρές, η κάθε μία από τις οποίες να περιέχει από τέσσερα διαλύματα αναφοράς, όπως ακριβώς κάνατε και στο Α μέρος, (στάδιο 5). Στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα της μιας σειράς, να προσθέσετε από μια σταγόνα διαλύματος δείκτη ινδικοκαρμίνης. Στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα της άλλης σειράς να προσθέστε από μια σταγόνα κίτρινο της αλιζαρίνης R.
2. Καταγράψτε τα χρώματα του κάθε διαλύματος με τις διαφορετικές συγκεντρώσεις των ιόντων OH^- και φυλάξτε τα διαλύματα αυτά (θα αναφερθούν στο Γ μέρος).

Μέρος Γ. Προσδιορισμός της συγκεντρώσεως ιόντων υδρογόνου ενός "αγνώστου" υδατικού διαλύματος (να γίνει από τον καθένα ξεχωριστά).



ΣΧΗΜΑ 23-7.

1. Πάρτε από τον καθηγητή σας περίπου 5 ml του "αγνώστου" διαλύματος, μέσα σε έναν καθαρό, στεγνό δοκιμαστικό σωλήνα. Δοκιμάστε με χαρτί του ηλιοτροπίου, όπως δείχνει το σχήμα 23-7, για να προσδιορίσετε αν η $[H^+]$ βρίσκεται στην περιοχή επάνω ή κάτω από 10^{-7} *M*.
2. Τοποθετήστε από 2 ml περίπου του "αγνώστου" διαλύματος μέσα σε δύο μικρούς δοκιμαστικούς σωλήνες. Αν το διάλυμα βρίσκεται στην όξινη περιοχή, προσθέστε μια σταγόνα διαλύματος του δείκτη πορτοκαλόχρωμο IV στον ένα δοκιμαστικό σωλήνα και μια σταγόνα ηλιανθίνη στον άλλο. Αν το διάλυμα βρίσκεται στην περιοχή των βάσεων, χρησιμοποιήστε τους δείκτες ινδικοκαρμίνη και κίτρινο της αλιζαρίνης R.
3. Συγκρίνατε τα χρώματα με εκείνα των διαλυμάτων αναφοράς που παρασκευάσατε εσείς ή ο συνεργάτης σας. Να καταγράψετε τη συγκέντρωση του ιόντος υδρογόνου του "αγνώστου" διαλύματος.

Μέρος Δ. Προσδιορισμός της συγκεντρώσεως του ιόντος υδρογόνου ενός διαλύματος ασθενούς οξέος: Αιθανικό ή οξικό οξύ, CH_3COOH.

1. Μέσα σε ένα μικρό, καθαρό, στεγνό δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετούνται 5 ml διαλύματος οξικού οξέος. Παρατηρήστε και καταγράψτε τη συγκέντρωση. Ορισμένοι μαθητές θα χρησιμοποιήσουν διάλυμα 0,1 *M*, ενώ άλλοι 1,0 *M*.
2. Τοποθετήστε περίπου από 2 ml του οξικού οξέος που σας έχει δοθεί μέσα σε δυο μικρούς, καθαρούς δοκιμαστικούς σωλήνες. Προσθέστε στον ένα σωλήνα μια σταγόνα διαλύματος του δείκτη πορτοκαλόχρωμο IV και στον άλλο μια σταγόνα διαλύματος του δείκτη ηλιανθίνη.
3. Να συγκρίνετε τα χρώματα που σχηματίσθηκαν με τα χρώματα των διαλυμάτων αναφοράς. Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση $[H^+]$ του διαλύματος του οξικού οξέος, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Καταγράψτε τη συγκέντρωση $H^+(υδ)$. Θα σας χρησιμεύσει για τον υπολογισμό της σταθεράς ισορροπίας της διασπάσεως του οξικού οξέος.

Μέρος Ε. Προσδιορισμός του όγκου του 0,1 M NaOH που θα αντιδράσει με ίσους όγκους 0,1 M HCl και 0,1 M CH_3COOH

1. Με τη βοήθεια ενός καθαρού, βαθμονομημένου σταγονόμετρου, μετρήστε μέσα σε έναν καθαρό, μικρό δοκιμαστικό σωλήνα, 1,0 ml 0,1 *M* HCl. Για να βαθμονομήσετε ένα σταγονόμετρο, γεμίστε το με νερό και στη συνέχεια μετρήστε τον αριθμό των σταγόνων που χρειάζονται, για να συμπληρωθεί 1,0 ml υγρού μέσα σε ένα καθαρό, στεγνό ογκομετρικό κύλινδρο των 10 ml. Βεβαιωθείτε ότι ο πυθμένας του μηνίσκου μέσα στον κύλινδρο συμπίπτει ακριβώς με την ένδειξη 1,0 ml. Να γράψετε τον αριθμό των σταγόνων ανά κυβικό εκατοστό του σταγονόμετρου.
2. Ξεπλύνατε προσεκτικά το σταγονόμετρο και μετρήστε μέσα σε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα 1, 0 ml 0,1 *M* CH_3COOH.
3. Προσθέστε μία σταγόνα διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης στον κάθε δοκιμαστικό σωλήνα. Η φαινολοφθαλεΐνη είναι μια χρωστική, η οποία στην κλίμακα από $[H^+] = 10^{-1}$ *M* μέχρι $[H^+] = 10^{-9}$ M είναι άχρωμη. Όταν η $[H^+]$ γίνεται περίπου 10^{-9} *M*, παίρνει ρόδινο χρώμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 23-5.
4. Ξεπλύνατε το σταγονόμετρο προσεκτικά και γεμίστε το με 0,1 *M* NaOH. Προσθέστε αυτό το διάλυμα της βάσεως, σταγόνα-σταγόνα, στο κάθε όξινο διάλυμα, μέχρι να αποκτήσει ο δείκτης ρόδινο χρώμα, το οποίο να μην εξαφανίζεται κατά την ανάδευση. Καταγράψτε τον αριθμό των σταγόνων που χρειάσθηκαν στην κάθε περίπτωση.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Υπολογισμοί.

Να υπολογισθεί η σταθερά ισορροπίας για την ισορροπία που υφίσταται στο υδατικό διάλυμα του οξικού οξέος.

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$$

Να χρησιμοποιήσετε την τιμή του $[H^+]$ που προσδιορίσθηκε στο στάδιο 3 του Δ μέρους. Θα πρέπει να υποθέσετε ότι η συγκέντρωση του οξικού ιόντος είναι ίση με τη συγκέντρωση $[H^+]$ και ότι η συγκέντρωση του οξικού οξέος, CH_3COOH, είναι ακριβώς η συγκέντρωση του διαλύματος που χρησιμοποιήσατε, 0,1 *M* ή 1,0 *M*.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Να προβλέψετε ποιοτικά την επίδραση που θα έχει το καθένα από τα επόμενα πειράματα στην ισορροπία του οξικού οξέος. Η $[H^+]$ αυξάνεται ή μειώνεται;
   (α) Μέσα στο διάλυμα του 0,1 *M* οξικού οξέος διαλύεται λίγο άλας οξικού νατρίου, το οποίο σχηματίζει ιόντα $Na^+(υδ)$ και $CH_3COO^-(υδ)$.
   (β) Στο 0,1 *M* CH_3COOH προστίθεται σταγόνα-σταγόνα λίγο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου.
2. Πώς δικαιολογείτε τα αποτελέσματα που σημειώθηκαν στο Ε μέρος, όπου

συγκρίνατε τον όγκο του 0,1 *M* NaOH, ο οποίος χρειάσθηκε να αντιδράσει με ίσους όγκους 0,1 *M* HCl και 0,1 *M* CH_3COOH;

3. Η συγκέντρωση H^+*(υδ)* ενός διαλύματος 1 *M* βενζοϊκού οξέος είναι 8×10^{-3} *M*.
   (α) Ποιο ποσοστό βενζοϊκού οξέος, C_6H_5COOH, ιοντίζεται μέσα σε αυτό το υδατικό διάλυμα;
   (β) Να προβλέψετε τον όγκο του 1 *M* NaOH που θα χρειασθεί να αντιδράσει με 10 ml 1 *M* C_6H_5COOH. Θεωρήστε ότι η αντίδραση συνεχίζεται μέχρι του σημείου όπου η φαινολοφθαλεΐνη αποκτά ρόδινο χρώμα, όπως στο Ε μέρος.
4. Να υπολογισθεί η συγκέντρωση H^+*(υδ)* σε καθένα από τα διαλύματα που παρασκευάσθηκαν στο Β μέρος. Να χρησιμοποιήσετε την επόμενη σχέση:

$$[H^+]\,[OH^-] = 10^{-14}$$

23.10 HCl και NaOH στο ίδιο διάλυμα.

Προηγουμένως δεν εξετάσθηκε τι συμβαίνει όταν στο ίδιο διάλυμα διαλυθεί HCl μαζί με NaOH. Προτού να το εξετάσομε, θα πρέπει να υπενθυμίσομε τι συμβαίνει, όταν το HCl και το NaOH διαλύονται σε ξεχωριστά διαλύματα.

Αν για παράδειγμα σε ένα λίτρο νερό προστεθούν 0,10 moles HCl, σχηματίζεται ένα διάλυμα, στο οποίο η $[H^+]$ είναι 0,10 *M*. Θα πρέπει όμως να εξακολουθεί να ισχύει η σχέση, που δίνεται από την εξίσωση (6).

$$K_w = 10^{-14} = [H^+]\,[OH^-] \qquad (6)$$

Με βάση αυτήν τη σχέση, η τιμή της $[OH^-]$ περιορίζεται σε 10^{-13} *M*.

Μπορεί να αναρωτηθείτε τι γίνονται τα ιόντα OH^-, τα οποία χάνονται, ώστε να μειωθεί η $[OH^-]$ από 10^{-7} *M* σε 10^{-13} *M*. Η απάντηση είναι ότι συνδέονται με ιόντα H^+ και σχηματίζουν μόρια νερού. Στη συνέχεια όμως θα υποβάλετε μια άλλη ερώτηση. Αν μερικά ιόντα H^+ καταναλωθούν, για να αντιδράσουν με ιόντα OH^- και να σχηματίσουν μόρια νερού, δεν απομένουν ***λιγότερα*** ιόντα H^+ από 0,10 moles στο λίτρο; Η απάντηση είναι όχι!

Κατά τη μείωση της $[OH^-]$ από 10^{-7} *M* σε 10^{-13} *M*, ουσιαστικά όλα τα αρχικά 10^{-7} moles/λίτρο των ιόντων OH^-*(υδ)* συνδέονται με ιόντα H^+*(υδ)* και σχηματίζουν νερό. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα 10^{-13} είναι μόνο το ένα εκατομμυριοστό του 10^{-7} και γι' αυτό θεωρείται συγκριτικά αμελητέο. Αρχικά, από τη διάσταση του νερού υπάρχουν επίσης 10^{-7} moles ιόντων H^+ στο λίτρο. Ως γνωστόν, για να σχηματισθούν μόρια νερού, θα πρέπει να συνδεθούν ίσοι αριθμοί ιόντων H^+ και OH^-. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση των ιόντων H^+ που προέρχονται από τη διάσταση του νερού ελαττώνεται από 10^{-7} *M* σε 10^{-13} *M*, όπως συμβαίνει και με τη συγκέντρωση των OH^-. Τα υπόλοιπα ελεύθερα ιόντα H^+ από τη διάσταση του νερού είναι αμελητέα. Κατά συνέπεια, η πραγματική συγκέντρωση των ιόντων H^+ μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας είναι, με πολύ μεγάλη ακρίβεια, ίση με τη συγκέντρωση των ιόντων H^+ που προήλθαν από τη διάσταση του HCl. Η συγκέντρωση αυτή είναι 0,10 *M* (βέβαια, δεν υπάρχει διαφορά ανάμεσα στα ιόντα H^+ που προέρχονται από τη διάσταση του νερού και σε αυτά της διαστάσεως του HCl· αναφέρονται σαν να είναι διαφορετικά, μόνο και μόνο για να γίνει η προηγούμενη ερμηνεία σαφέστερη).

Κατ' ανάλογο τρόπο, αν σε ένα λίτρο νερού προστεθούν 0,10 moles NaOH, η $[OH^-]$ γίνεται 0,10 *M* με ***πολύ*** μεγάλο βαθμό ακριβείας. Η τιμή της $[H^+]$ μειώνεται σε 10^{-13} *M*.

$$\frac{10^{-14}}{10^{-1}} = 10^{-13}$$

Ας υποτεθεί τώρα ότι το HCl και το NaOH προστίθενται στο ίδιο διάλυμα. Για την ακρίβεια, ας υποτεθεί ότι 0,10 moles HCl και 0,10 moles NaOH προστίθενται σε ένα λίτρο νερού. Είναι σαφές ότι αν η κάθε διαλυμένη ουσία συμπεριφέρεται όπως αν ήταν μόνη της, η $[H^+]$ θα ισούται με 0,10 *M*· και η $[OH^-]$ θα ισούται με 0,10 *M*. Γι' αυτό θα επαληθεύεται η επόμενη εξίσωση:

$$[H^+]\,[OH^-] = (0{,}10)(0{,}10) = 10^{-2}$$

Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι δυνατόν να ισχύει, γιατί αντιβαίνει στο νόμο της ισορροπίας. Το γινόμενο $[H^+]\,[OH^-]$ πρέπει να είναι ίσο και ***όχι***

Η χημεία και το περιβάλλον μας.

ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΧΙΟΝΙ

Θα έχετε ακούσει πιθανότατα την έκφραση “καθαρός σαν το φρέσκο χιόνι”. Με λύπη μας όμως θα σας πληροφορήσομε ότι θα πάψει πια να ισχύει αυτή η καλή παρομοίωση. Υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι το χιόνι –και η βροχή–δεν είναι πια πολύ καθαρά. Τις τελευταίες δεκαετίες η βροχή γίνεται όλο και περισσότερο όξινη. Η τάση αυτή φαίνεται να συνδέεται με τις αυξανόμενες ποσότητες των αερίων ρυπαντών και κυρίως των προϊόντων του θείου και του αζώτου.

Ως γνωστόν, το καθαρό νερό στους 25˚C έχει *p*H = 7,0. Η συγκέντρωση τόσο του H^+ όσο και του OH^- είναι ίσες με 10^{-7} *M*. Το νερό της βροχής ήταν πάντα ελαφρώς πιο όξινο εξ αιτίας του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Όταν δεν υπάρχει ρύπανση, ένα *p*H γύρω στο 5,7 θεωρείται κανονικό για το νερό της βροχής.

Πρόσφατες μελέτες, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, έδειξαν ότι στα χρόνια μας το χιόνι και η βροχή έχουν συνήθως *p*H ανάμεσα στο 5 και στο 3. Έχουν προσδιορισθεί και τιμές τόσο χαμηλές, όσο το 2,8. Υπενθυμίζεται ότι *p*H = 3 σημαίνει 0,001 *M* διαλύματος ιόντων υδρογόνου. Οι περισσότεροι θα το ονόμαζαν αραιό οξύ.

Αιτίες αυτής της αυξημένης οξύτητας είναι κυρίως το θειικό και το νιτρικό οξύ, H_2SO_4 και HNO_3, που περιέχονται στη βροχή και το χιόνι. Τα οξέα αυτά είναι τα τελικά υδατοδιαλυτά προϊόντα του SO_2 και των οξειδίων του αζώτου, NO και NO_2, τα οποία εισέρχονται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλες ποσότητες από σταθμούς παραγωγής ενέργειας, εξατμίσεις αυτοκινήτων ή αεροπλάνων και διάφορα βιομηχανικά αέρια υποπροϊόντα. Μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες είχε υπολογισθεί ότι πριν από μερικά χρόνια εκπέμπονταν στον αέρα το χρόνο, περίπου 32 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του θείου και άλλοι τόσοι οξειδίων του αζώτου. Ο υπόλοιπος κόσμος θα πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι υπεύθυνος για την εκπομπή άλλων τόσων ποσοτήτων.

Τα αποτελέσματα αυτής της ατμοσφαιρικής ρυπάνσεως είναι προφανή (αιθαλομίχλη και άλλες άμεσες συνέπειες). Είναι εντυπωσιακό και σημαντικό να συνειδητοποιήσομε ότι αυτού του είδους η ρύπανση είναι δυνατόν να μας δημιουργήσει σωρεία προβλημάτων μέσω της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή δεν είναι καθαρό νερό που περιέχει μικρή ποσότητα διαλυμένου CO_2, αλλά αντίθετα είναι ένα (όχι και πολύ αραιό)



διάλυμα θειικού οξέος και νιτρικών οξέων.

Τι συνέπειες έχει η όξινη βροχή; Μόλις πριν από μερικά χρόνια αρχίσαμε να κατανοούμε ακριβώς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες είναι σαφές ότι δεν μπορεί να είναι καλές. Δεν χωρεί αμφιβολία ότι κτήρια, εργοστάσια και διάφορα καλλιτεχνικά δημιουργήματα υποφέρουν από κάποιο είδος διαβρώσεως, η οποία είναι αποτέλεσμα μακράς εκθέσεως στα αραιά οξέα. Μεγαλύτερη σημασία όμως έχουν διάφορες πολύπλοκες, ευρείας κλίμακας επιδράσεις στη φύση.

Αύξηση των οξέων στο έδαφος οδηγεί με βεβαιότητα σε αυξημένες ταχύτητες διαχωρισμού ουσιών ζωτικής σημασίας για τη διατροφή, όπως είναι το ασβέστιο. Επίσης, φαίνεται να έχομε άμεσα αρνητικές επιπτώσεις στη βλάστηση, αλλά μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συστηματικές μελέτες προκειμένου να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις αυτές. Είναι όμως γνωστόν ότι πολύ σοβαρές είναι οι επιπτώσεις της αυξανόμενης οξύτητας των υπογείων υδάτων στην υδρόβια ζωή. Μια μελέτη που έγινε στη Νορβηγία έδειξε ότι η όξινη βροχή έχει μεταβάλει τόσο πολύ το *p*H ορισμένων ποταμών, ώστε να μην μπορούν να αναπτυχθούν πια εκεί τα αυγά των σολομών. Η ζωή των σολομών έχει περιορισθεί σε μερικά ποτάμια της νότιας Νορβηγίας.

Το πρόβλημα της όξινης βροχής είναι ένα ιδιαίτερα καλό παράδειγμα του παγκόσμιου χαρακτήρα των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι διάφορες συνέπειές της, όπως είναι η όξινη βροχή και το όξινο χιόνι, ισοδυναμούν κατά κάποιον τρόπον με έναν αθέμιτο χημικό πόλεμο.

να υπερβαίνει την τιμή 10^{-14}. Το αίτημα αυτό ικανοποιείται, μόνο αν συνδεθούν αρκετά ζεύγη ιόντων H^+ και OH^-, και σχηματίσουν μόρια H_2O.

Προκειμένου να σχηματισθεί H_2O, πρέπει να συνδεθεί ίσος αριθμός ιόντων H^+ και OH^-. Γι' αυτό, η $[H^+]$ και η $[OH^-]$ παραμένουν ίσες, αφού σχηματίζονται μόρια H_2O. Θα παραμείνουν ίσες, και όταν αποκατασταθεί ισορροπία. Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση του κάθε ιόντος θα ισούται με 10^{-7}. Αυτή είναι βέβαια και η τιμή της συγκεντρώσεως του κάθε ιόντος μέσα στο καθαρό νερό. Έτσι, ισχύει η εξίσωση (10).

$$[OH^-] = [H^+] = 1{,}00 \times 10^{-7}\, M \qquad (10)$$

Οι συγκεντρώσεις των δυο ιόντων είναι ίδιες πριν και μετά την προσθήκη ισοτόπων σε moles διαλυμάτων του HCl και του NaOH. Αυτό σημαίνει ότι ***όλα*** τα ιόντα H^+ και OH^- που προέρχονται από αυτές τις ουσίες πρέπει να συνδέονται και να σχηματίζουν H_2O. Από την αντίδραση (20) προκύπτει ότι 0,10 moles ιόντων $H^+(υδ)$ και 0,10 moles ιόντων $OH^-(υδ)$ σχηματίζουν 0,10 moles νερού.

$$H^+(υδ) + OH^-(υδ) \rightleftharpoons H_2O(υγ) \qquad (20)$$

Ας υποτεθεί τώρα ότι σε ένα λίτρο νερού προστίθενται 0,20 moles HCl και 0,10 moles NaOH. Και πάλι, αν η κάθε διαλυμένη ουσία συμπεριφερόταν ανεξάρτητα από την άλλη, θα παραβιαζόταν ο νόμος της ισορροπίας, επειδή θα ίσχυε η επόμενη σχέση:

$$[H^+]\,[OH^-] = (0{,}20)(0{,}10) = 2 \times 10^{-2}$$

Ο μόνος τρόπος, για να διατηρηθεί ο νόμος της ισορροπίας είναι να αντιδράσουν αρκετά ζεύγη ιόντων $H^+(υδ)$ και $OH^-(υδ)$ και να σχηματίσουν μόρια H_2O. Έτσι, το γινόμενο των υπολοίπων ιόντων H^+ και OH^- που δεν αντέδρασαν, θα ισούται με 10^{-14}.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο διάλυμα υπάρχουν περισσότερα ιόντα H^+ από όσα ιόντα OH^-. Σύμφωνα με την αντίδραση (20), για το σχηματισμό του H_2O καταναλώνονται σχεδόν όλα τα 0,10 moles των OH^- του NaOH. Ειδικότερα, 0,10 moles ιόντων H^+ από το HCl συνδέονται με 0,10 moles ιόντων OH^- και σχηματίζουν 0,10 moles H_2O. Αυτό σημαίνει ότι παραμένουν ελεύθερα 0,10 moles ιόντων H^+ από το HCl. Έτσι, $[OH^-] = 1{,}0 \times 10^{-13}$.

$$[OH^-] = \frac{[K_w]}{[H^+]} = \frac{1{,}00 \times 10^{-14}}{0{,}10} = 1{,}0 \times 10^{-13}$$

Αν και προκειμένου να τηρηθεί ο νόμος της ισορροπίας παραμένουν 10^{-13} moles ιόντων OH^-, αυτά αποτελούν μόνο το ένα εκατομμυριοστό του εκατομμυριοστού των 0,10 moles που είχαν αρχικά προστεθεί. Οι χημικοί σε αυτήν την περίπτωση λένε ότι η βάση έχει, για πρακτικούς σκοπούς, ***εξουδετερωθεί*** εντελώς από την περίσσεια του οξέος. Στην περίπτωση όπου θα προστεθεί κάποιο οξύ σε περίσσεια κάποιας βάσεως, θα εξουδετερωθεί εντελώς το οξύ από τη βάση.

Αν και η συνένωση των ιόντων $H^+(υδ)$ και $OH^-(υδ)$ με σχηματισμό H_2O είναι η μόνη αντίδραση που πραγματοποιείται, θα πρέπει να συμβαίνει και κάτι άλλο, όταν ένα οξύ αντιδρά με μια βάση. Το οξύ περιέχει κάποιο αρνητικό ιόν, το οποίο εισέρχεται στο διάλυμα μαζί με τα ιόντα του H^+, ενώ τα ιόντα OH^- της βάσεως συνοδεύονται από κάποιο θετικό ιόν. Μετά την αμοιβαία εξουδετέρωση των ιόντων H^+ και OH^-, αυτά τα άλλα ιόντα παραμένουν στο διάλυμα. Για παράδειγμα, η πλήρης αντίδραση για την εξουδετέρωση του διαλύματος HCl από το διάλυμα NaOH είναι η παρακάτω:

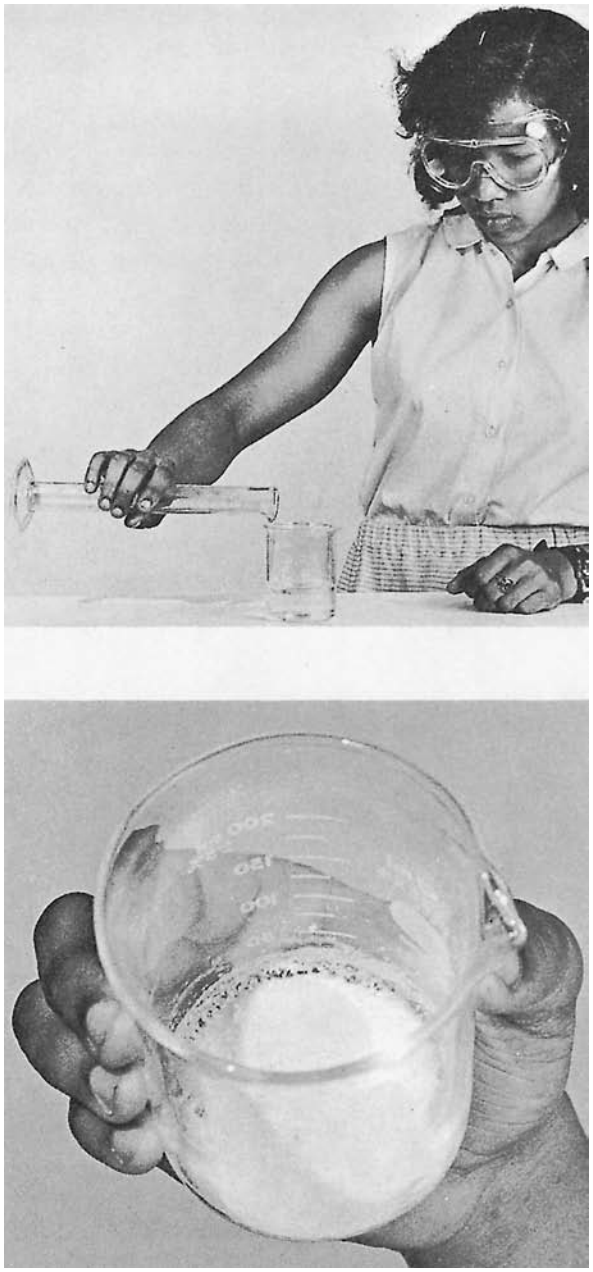
$$Na^+(υδ) + OH^-(υδ) + H^+(υδ) + Cl^-(υδ) \rightleftharpoons H_2O + Na^+(υδ) + Cl^-(υδ)$$

Αν αυτό το διάλυμα εξατμιζόταν, θα συλλεγόταν κρυσταλλικό χλωριούχο νάτριο, NaCl (σχ. 23-8). Το NaCl είναι βέβαια η ουσία με το γνωστό όνομα άλας.

Πιο συγκεκριμένα, το NaCl είναι ένα μόνο από τα πολλά άλατα. ***Άλατα*** είναι ενώσεις που σχηματίζονται, όταν ένα οξύ και μία βάση εξουδετερώνονται μεταξύ τους. Το σχηματιζόμενο άλας περιέχει το θετικό ιόν της βάσεως και το αρνητικό ιόν του οξέος. Άλλο παράδειγμα σχηματισμού άλατος από εξουδετέρωση είναι η αντίδραση ανάμεσα σε θειικό οξύ, H_2SO_4, και υδροξείδιο του ασβεστίου, $Ca(OH)_2$. Προϊόν της αντιδράσεως είναι ένα διάλυμα του άλατος θειικό ασβέστιο, $CaSO_4$, σύμφωνα και με την αντίδραση που ακολουθεί:

$$2H^+ + SO_4^{2-}(υδ) + Ca^{2+}(υδ) + 2OH^-(υδ) \rightarrow 2H_2O + Ca^{2+}(υδ) + SO_4^{2-}(υδ)$$

Με βάση τα παραπάνω δίνεται ο ορισμός της εξουδετερώσεως: ***Εξουδετέρωση*** καλείται η αντίδραση, κατά την οποία τα ιόντα H^+ ενός οξέος και τα ιόντα OH^- μιας βάσεως ενώνονται και σχηματίζουν νερό. Τα άλλα ιόντα που απομένουν είναι ίδια με τα ιόντα του διαλύματος



ΣΧΗΜΑ 23-8. *Όταν αναμιχθεί NaOH(υδ) και HCl(υδ), πραγματοποιείται εξουδετέρωση (επάνω). Ένα από τα προϊόντα της αντιδράσεως είναι το χλωριούχο νάτριο, NaCl, το οποίο παραμένει ως στερεό μετά την εξάτμιση του νερού (κάτω).*

ενός άλατος. Θα πρέπει να συγκρατήσετε επίσης την εξουδετέρωση και με τη μορφή της επόμενης γενικής αντιδράσεως:

$$\text{οξύ} + \text{βάση} \rightleftharpoons \text{άλας} + \text{νερό}$$

23.11Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως από θεωρητικής απόψεως.

Τιτλοδότηση είναι το όνομα που δίνεται στη διαδικασία, κατά την οποία προσδιορίζεται ο όγκος του διαλύματος που χρειάζεται να αντιδράσει με ορισμένη μάζα ή όγκο κάποιου δείγματος. Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται εκτεταμένα στην ποσοτική μελέτη των αντιδράσεων οξέων-βάσεων.

Κατά την ***τιτλοδότηση*** ενός οξέος με μια βάση, ή αντίστροφα, κάποιο διάλυμα του ενός προστίθεται λίγο λίγο σε ένα διάλυμα του άλλου, μέχρι να εξισωθούν οι ποσότητες των H^+*(υδ)* και των OH^-*(υδ)*. Ας εξετάσομε για παράδειγμα την τιτλοδότηση των διαλυμάτων HCl και NaOH. Για το διάλυμα που προκύπτει, όταν αναμιχθούν ίσες ποσότητες οξέος και βάσεως, θα ισχύει η σχέση $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ *M*. Αυτό αποτελεί το ***ισοδύναμο σημείο*** ή το ***τελικό σημείο*** της τιτλοδοτήσεως.

Πώς διαπιστώνομε ότι φθάσαμε στο ισοδύναμο σημείο; Ένας από τους πιο απλούς τρόπους είναι η προσθήκη ηλιοτροπίου ή κάποιου άλλου δείκτη οξέων-βάσεων. Το ηλιοτρόπιο έχει κόκκινο χρώμα μέσα στο διάλυμα ενός οξέος και μετατρέπεται σε κυανό, όταν το διάλυμα είναι βασικό. Αν ξεκινήσετε με ένα όξινο διάλυμα που περιέχει ηλιοτρόπιο, το διάλυμα θα είναι κόκκινο. Καθώς προστίθεται αργά NaOH, το χρώμα θα παραμένει κόκκινο, μέχρι να προστεθεί ακριβώς τόση βάση, ώστε να εξουδετερωθεί όλο το οξύ. Μόλις προστεθεί ελάχιστη επί πλέον ποσότητα βάσεως, το χρώμα θα μετατραπεί σε κυανό. Αν παρατηρήσομε προσεκτικά, είναι δυνατόν να διακρίνομε αυτήν την αλλαγή του χρώματος, με ακρίβεια μιας ***σταγόνας*** βάσεως.

Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως εφαρμόζεται για τη σύγκριση των συγκεντρώσεων οξέων και βάσεων. Ας υποτεθεί ότι έχετε ένα διάλυμα NaOH συγκεντρώσεως 0,100 *M* και ένα διάλυμα HCl άγνωστης συγκεντρώσεως. Ας υποτεθεί ακόμη ότι, όταν τιτλοδοτήσατε 100,0 ml του όξινου διαλύματος με τη βάση, βρήκατε ότι για να εξουδετερωθούν τα 100,0 ml, χρειάσθηκαν 75,0 ml διαλύματος του NaOH. Αυτό σημαίνει ότι τα 75,0 ml διαλύματος NaOH περιέχουν τόσα moles OH^-*(υδ)*, όσα είναι τα moles του H^+*(υδ)* μέσα στα 100,0 ml του διαλύματος του HCl.

Επειδή υπάρχουν 0,100 moles NaOH μέσα σε ένα λίτρο διαλύματος 0,100 *M* NaOH, θα πρέπει να υπάρχουν 0,00750 moles του NaOH μέσα στα 75,0 ml του διαλύματος 0,100 *M* NaOH.

$$0{,}100 \text{ moles} \left(\frac{75{,}0 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \right) = 0{,}00750 \text{ moles}$$

Γι' αυτό, θα πρέπει να υπάρχουν και 0,00750 ή 7,5 x 10^{-3}, moles HCl μέσα σε 100,0ml του διαλύματος HCl. Συνάγεται ότι μέσα σε ένα λίτρο διαλύματος HCl θα πρέπει να υπάρχουν 7,5 x 10^{-2} moles HCl.

$$7{,}50 \times 10^{-3} \left(\frac{1000 \text{ ml}}{100{,}0 \text{ ml}} \right) = 7{,}50 \times 10^{-2} \text{ moles}$$

Άρα, η συγκέντρωση του διαλύματος HCl είναι 0,0750 *M*.

Συντήρηση των προχοΐδων.

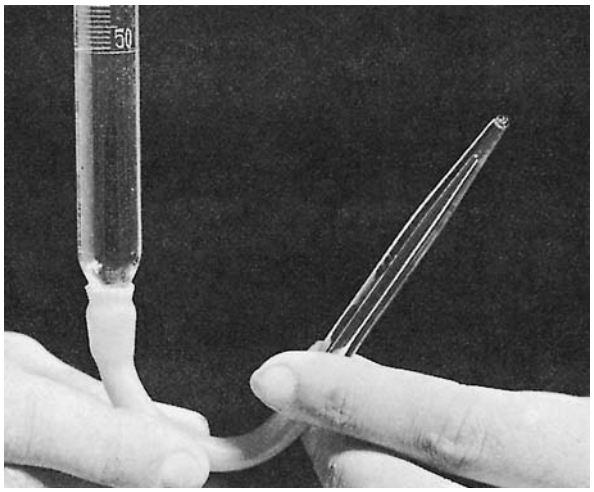
1. ***Καθαρισμός.***
   Μέσα στην προχοΐδα προσθέστε λίγα κυβικά εκατοστά διαλύματος απορρυπαντικού και στη συνέχεια με τη βοήθεια μιας ειδικής βούρτσας για προχοΐδες καθαρίστε την εσωτερική επιφάνεια, όπως φαίνεται στο σχήμα 23-9. Στη συνέχεια, ξεπλύντε την καλά με νερό της βρύσης και κατόπιν με απεσταγμένο νερό. Αφού στεγνώσει, ελέγξτε μήπως έχουν απομείνει μερικές ακόμη σταγόνες στα εσωτερικά τοιχώματα. Αν πράγματι υπάρχουν, σημαίνει ότι δεν έχει πλυθεί καλά και πρέπει να ξαναπλυθεί. Όταν το γυαλί είναι καθαρό, το νερό φεύγει αμέσως.
2. ***Προετοιμασία για χρήση.***
   Αφού καθαρίσετε την προχοΐδα, προσθέστε 5–10 ml του διαλύματος που πρόκειται να μετρηθεί. Αφήστε μερικά κυβικά εκατοστά να τρέξουν έξω. Τοποθετήστε την προχοΐδα σε οριζόντια θέση και με μια περιστροφική κίνηση αδειάστε από το επάνω μέρος της το υπόλοιπο του διαλύματος. Πρέπει να βεβαιωθείτε ότι το διάλυμα έβρεξε τελείως το εσωτερικό της. Για να ξεπλυθεί καλύτερα θα πρέπει να επαναληφθεί η όλη διαδικασία.

   Η προχοΐδα συμπληρώνεται μέχρι επάνω με το διάλυμα που θα χρησιμοποιηθεί. Οι φυσαλίδες του αέρα που βρίσκονται στο κάτω άκρο της, απομακρύνονται γυρίζοντάς το προς τα επάνω, όπως στο σχήμα 23-10. Ρέει το διάλυμα από τη στρόφιγγα, μέχρι να φθάσει ο πυθμένας του μηνίσκου στο σημείο μηδέν ή και πιο κάτω.

   Αν στην άκρη της, πριν αρχίσει η τιτλοδότηση, κρέμεται μια σταγόνα, την απομακρύνετε μεταφέροντάς την σε ένα ποτήρι. Αντίθετα, μια σταγόνα που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της τιτλοδοτήσεως, συλλέγεται στο δοχείο της τιτλοδοτήσεως ακουμπώντας την προχοΐδα στα τοιχώματά του και παρασύρεται προς τα κάτω με απεσταγμένο νερό.
3. **Ανάγνωση του όγκου.**
   Όταν διαβάζετε τον όγκο επάνω στην



ΣΧΗΜΑ 23-9.



ΣΧΗΜΑ 23-10.

προχοΐδα, βεβαιωθείτε ότι το επίπεδο του ματιού σας συμπίπτει με το κάτω μέρος του μηνίσκου· διαβάστε προσεκτικά την ένδειξη που αντιστοιχεί σε αυτό το κάτω μέρος της καμπύλης του. Σε κάθε τιτλοδότηση φροντίστε να έχετε πάντα έναν όγκο τουλάχιστον 10 ml από το κάθε διάλυμα, ώστε να επιτυγχάνετε ακρίβεια 1%.

4. **Φροντίδα μετά τη χρήση.**
Ξεπλύντε την προχοΐδα αρκετές φορές με νερό της βρύσης, και κατά την τελευταία έκπλυση χρησιμοποιήστε απεσταγμένο νερό. Επειδή το γυαλί αντιδρά με διαλύματα βάσεως, θα πρέπει η προχοΐδα να πλένεται με ιδιαίτερη προσοχή, όταν έχουν χρησιμοποιηθεί διαλύματα αυτού του είδους. Μια έκπλυση με αραιό οξύ μετά από έκπλυση με νερό εξασφαλίζει την πλήρη απομάκρυνση της βάσεως. Μετά από αυτό θα ακολουθήσουν πάλι εκπλύσεις με νερό.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

23.12 Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως στην πράξη.

Η διαδικασία της τιτλοδοτήσεως αποτελεί μια από τις πιο χρήσιμες τεχνικές που διαθέτει ένας αναλυτικός χημικός. Αφού παρασκευασθούν "πρότυπα διαλύματα αναφοράς", η μέθοδος αυτή χρησιμεύει για τον ταχύ και ακριβή προσδιορισμό της συστάσεως πολλών διαφορετικών τύπων υγρών και στερεών. Η τιτλοδότηση είναι ένα είδος ***ογκομετρικής*** αναλύσεως. Μετρώντας τους όγκους (και τις συγκεντρώσεις) των αντιδραστηρίων, βρίσκομε τις σχετικές ποσότητες των ουσιών που αντιδρούν και που σχηματίζονται. Στη ***σταθμική*** ανάλυση μετράμε βάρη. Με τη μέτρηση της μάζας των αρχικών ουσιών και των προϊόντων που σχηματίζονται βρίσκομε μια ποσοτική σχέση ανάμεσα στις μάζες των προϊόντων και τις μάζες των ουσιών που αντιδρούν.

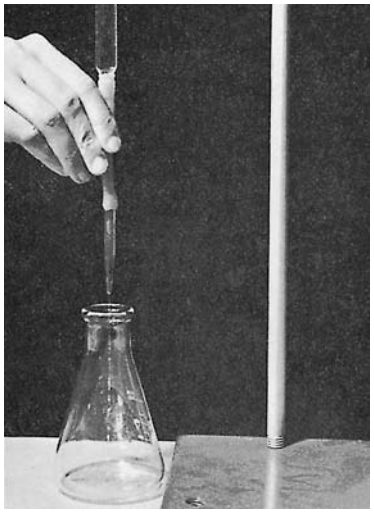
Για να πετύχει μια τιτλοδότηση, θα πρέπει η αντίδραση ανάμεσα στις ουσίες που πρόκειται να μετρηθούν να πραγματοποιείται με μεγάλη ταχύτητα. Επίσης, όταν αναμιχθούν ισοδύναμες ποσότητες αντιδρώντων, δηλαδή κατά το ***τελικό σημείο***, θα πρέπει οι ιδιότητες του μίγματος να μεταβάλλονται απότομα και κατά ευδιάκριτο τρόπο. Αυτό το τελικό σημείο προσδιορίζεται συνήθως με τη βοήθεια ενός κατάλληλου δείκτη. Σε μερικές τιτλοδοτήσεις ο εντοπισμός του τελικού σημείου εξαρτάται από μια μεταβολή στο χρώμα ή τη διαύγεια του ιδίου του μίγματος ή σε μια ξαφνική μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητάς του.

ΣΚΟΠΟΣ

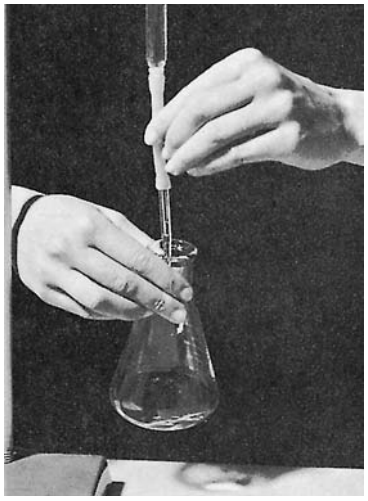
Θα παρασκευάσετε πρώτα ένα διάλυμα αναφοράς υδροξειδίου του νατρίου τιτλοδοτώντας το με υδροχλωρικό οξύ γνωστής συγκεντρώσεως. Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσετε αυτό το τυποποιημένο διάλυμα της βάσεως, για να τιτλοδοτήσετε γνωστή μάζα άγνωστου στερεού οξέος. Και στις δύο περιπτώσεις, θα χρησιμοποιηθεί ως δείκτης η φαινολοφθαλεΐνη.

ΥΛΙΚΑ

Στήριγμα δακτυλίων
Βούρτσες προχοΐδων
Κωνική φιάλη Erlenmeyer των 250 ml
Απορρυπαντικό
Υδροβολέας με απεσταγμένο νερό
2 προχοΐδες των 50 ml (ή μία προχοΐδα και ένα βαθμονομημένο σιφώνιο των 10 ml)
2 απλές ή 1 διπλή λαβίδα για προχοΐδες
2 ποτήρια βρασμού των 250 ml (ή 1 των 250– και 1 των 400 ml)
Μερικές σταγόνες διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης
75-100 ml τυποποιημένου οξέος (=γνωστής συγκεντρώσεως)



ΣΧΗΜΑ 23-11.



ΣΧΗΜΑ 23-12.

100-150 ml βάσεως άγνωστης συγκεντρώσεως
1-2 γραμμάρια άγνωστου στερεού οξέος

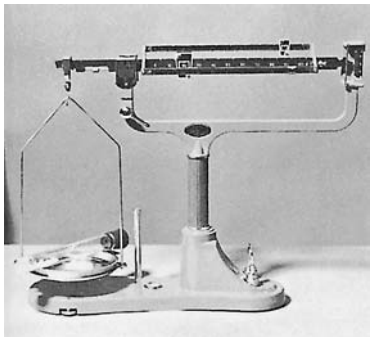
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μέρος Α. Τυποποίηση του διαλύματος της βάσεως.

1. Πάρτε δύο προχοΐδες. Συμβουλευθείτε την παράγραφο που αναφέρεται στη φροντίδα των προχοΐδων. Καθαρίστε τες και ξεπλύντε τη μία με 10 ml υδροχλωρικού οξέος γνωστής συγκεντρώσεως (= τυποποιημένο). Γεμίστε τη με το τυποποιημένο υδροχλωρικό οξύ. Ξεπλύντε την άλλη με 10 ml διαλύματος υδροξειδίου του νατρίου που πρόκειται να χρησιμοποιήσετε. Γεμίστε τη με τη βάση. Αν δεν υπάρχουν αρκετές προχοΐδες, θα σας δείξει ο καθηγητής σας πώς να χρησιμοποιήσετε ένα βαθμονομημένο σιφώνιο, για να μετρήσετε τον όγκο του οξέος.
2. Σημειώστε τον όγκο του υγρού μέσα στην κάθε προχοΐδα διαβάζοντας το κάτω μέρος του μηνίσκου με ακρίβεια 0,1 ml. Αφήστε να περάσουν περίπου 10 ml υδροχλωρικού οξέος μέσα σε μια κωνική φιάλη Erlenmeyer, όπως φαίνεται στο σχήμα 23-11. Προσθέστε περίπου 15 ml απεσταγμένο νερό και τρεις σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης.
3. Κρατήστε τη φιάλη Erlenmeyer με το ένα χέρι, ώστε με το άλλο να χειρίζεστε την προχοΐδα. Καθώς προσθέτετε το υδροξείδιο του νατρίου, πρέπει να ανακινείτε ελαφρά τη φιάλη, ώστε να αναμιγνύονται τα διαλύματα (σχ. 23-12). Εξακολουθήστε να προσθέτετε υδροξείδιο του νατρίου, μέχρι να εμφανισθεί το πρώτο αμυδρό ρόδινο χρώμα. Αν εξαφανισθεί το χρώμα κατά την ανάμιξη των διαλυμάτων, προσθέστε σταγόνα-σταγόνα επί πλέον υδροξείδιο του νατρίου, μέχρι να δημιουργηθεί ένα μόνιμο ρόδινο χρώμα. Αν ξεπεράσετε αυτό το τελικό σημείο, μπορείτε να προσθέσετε μερικές ακόμη σταγόνες οξέος και στη συνέχεια να συμπληρώσετε την τιτλοδότηση με μερικές ακόμα σταγόνες υδροξειδίου του νατρίου (προσέξτε να μην ξεπεράσετε την τελευταία ένδειξη της προχοΐδας). Σημειώστε την ένδειξη του όγκου στο κάτω μέρος του μηνίσκου της κάθε προχοΐδας. Προτού να επαναλάβετε την τιτλοδότηση, ξεπλύντε τη φιάλη Erlenmeyer με απεσταγμένο νερό.
4. Πραγματοποιήστε τουλάχιστον μια ακόμη τιτλοδότηση. Αν χρειάζεται, ξαναγεμίστε τις προχοΐδες. Συνεχίστε, αν συμφωνεί και ο καθηγητής σας, μέχρις ότου οι λόγοι των όγκων του οξέος ως προς τους όγκους της βάσεως να διαφέρουν μόνο κατά 1 ή 2%.

Μέρος Β. Τιτλοδότηση άγνωστου οξέος.

1. Ο καθηγητής σας θα σας δώσει ένα στερεό άγνωστο οξύ. Να βρείτε τη μάζα του φιαλιδίου ή του δοκιμαστικού σωλήνα μαζί με το δείγμα που περιέχει, με ακρίβεια 0,01 g (σχ. 23-13). Μέσα σε μια καθαρή φιάλη τοποθετήστε την ποσότητα του στερεού οξέος που θα σας υποδείξει ο καθηγητής σας. Η μεταφορά μπορεί να γίνει με ελαφρό κτύπημα του δοκιμαστικού σωλήνα επάνω στη φιάλη, όπως δείχνει το σχήμα 23-14. Στη συνέχεια, υπολογίστε πάλι τη μάζα του φιαλιδίου και του περιεχομένου του. Διαλύστε το δείγμα με 50 ml απεσταγμένο νερό και προσθέστε 3 σταγόνες φαινολοφθαλεΐνης. Αν το οξύ δεν διαλυθεί από την πρώτη στιγμή, θα διαλυθεί αργότερα, κατά τη διάρκεια της τιτλοδοτήσεως όταν το οξύ θα μετατραπεί σε άλας του νατρίου, που είναι πιο ευδιάλυτο.
2. Γεμίστε πάλι την κατάλληλη προχοΐδα με λίγο από το διάλυμα της βάσεως



ΣΧΗΜΑ 23-13.

που χρησιμοποιήσατε προηγουμένως και σημειώστε την αρχική ένδειξη. Προσθέστε τη βάση στο διάλυμα του οξέος, μέχρι να εμφανισθεί σταθερό ρόδινο χρώμα. Προσέξτε να μην υπερβείτε το τελικό σημείο. Αν αυτό συμβεί, προσθέστε λίγο ακόμη από το στερεό οξύ και ξαναζυγίστε το φιαλίδιο πριν και μετά την προσθήκη του επί πλέον οξέος. Βεβαιωθείτε ότι συμπεριλάβατε στη μάζα του δείγματός σας και τη μάζα του κάθε επί πλέον στερεού οξέος που προσθέσατε. Επαναλάβατε την τιτλοδότηση μέχρι το τελικό σημείο και σημειώστε την ένδειξη της προχοΐδας.

3. Επαναλάβατε την τιτλοδότηση με ένα όμοιο δείγμα. Να αξιοποιήσετε τις γνώσεις που αποκτήσατε κατά την πρώτη τιτλοδότηση. Για παράδειγμα, ας υποτεθεί ότι χρησιμοποιήσατε 40 ml βάσεως για να τιτλοδοτήσετε κάποια μάζα οξέος, και ότι κατά τη δεύτερη δοκιμή χρειασθήκατε περίπου την ίδια μάζα οξέος. Μπορείτε να προσθέσετε 35 ml βάσεως μέσα στη φιάλη και μετά να ολοκληρώσετε την τιτλοδότηση προσεκτικά και γρήγορα.



ΣΧΗΜΑ 23-14.

Μέρος Γ. Προαιρετική τιτλοδότηση.

Αν ο χρόνος σας το επιτρέπει, μπορείτε να φέρετε από το σπίτι σας όξινες ή βασικές ουσίες καθημερινής χρήσεως, και να τις τιτλοδοτήσετε με τα τυποποιημένα διαλύματα των οξέων ή των βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων συνηθισμένων ουσιών είναι ο χυμός του λεμονιού, το ξύδι, η οικιακή αμμωνία και τα απορρυπαντικά. Προσδιορισμοί που μπορούν να γίνουν είναι η εκατοστιαία αναλογία του οξικού οξέος, CH_3COOH, στο ξύδι, η εκατοστιαία αναλογία του κιτρικού οξέος, $C_6H_8O_7$, στο χυμό του λεμονιού και η εκατοστιαία αναλογία της αμμωνίας, NH_3, στην οικιακή αμμωνία*. Ο καθηγητής σας θα ορίσει την ποσότητα του κάθε δείγματος που θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε, όπως και τον κατάλληλο δείκτη.

Τα δισκία ασπιρίνης περιέχουν ως δραστικό συστατικό ακετυλοσαλικυλικό οξύ και, επί πλέον, κάποια αδρανή υλικά. Μπορείτε να βρείτε την ποσότητα του ακετυλοσαλικυλικού οξέος που περιέχεται σε ένα δισκίο ασπιρίνης. Για το σκοπό αυτό διαλύετε το δισκίο της ασπιρίνης μέσα σε ένα μίγμα νερού και θερμής αλκοόλης** και τιτλοδοτείται με πρότυπο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου, χρησιμοποιώντας ως δείκτη τη φαινολοφθαλεΐνη.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Υπολογισμοί.

1. Από τη δοθείσα συγκέντρωση και τον όγκο που χρησιμοποιήθηκε, υπολογίζεται ο αριθμός των moles του υδροχλωρικού οξέος που χρησιμοποιήθηκε κατά την τιτλοδότηση του Α Μέρους. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιήθηκαν 10 ml 0,05 *M* HCl, ο αριθμός των moles που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αντίδραση υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\frac{10\ \text{ml}}{1000\ \text{ml/λίτρα}} \times \frac{0{,}05\ \text{moles}}{\text{λίτρα}} = 0{,}0005\ \text{moles}$$

2. Από την εξίσωση της αντιδράσεως να υπολογισθούν τα moles της βάσεως που χρησιμοποιήθηκαν ανά mole οξέος κατά το Α Μέρος.
3. Να βρεθούν τα moles της βάσεως που χρησιμοποιήθηκαν κατά την

* *Σ.τ.Μ. Εννοείται εδώ το NH_4OH, γιατί πρόκειται για υδατικό διάλυμα.*

** *Σ.τ.Μ. Η αλκοόλη πρέπει να θερμανθεί σε υδρόλουτρο χωρίς φλόγα.*

τιτλοδότηση, με τη βοήθεια της σχέσεως που προκύπτει κατά τον υπολογισμό 2.
4. Να υπολογισθεί η μοριακότητα (molarity) της βάσεως.
5. Από τη μάζα του στερεού οξέος και τους όγκους των χρησιμοποιηθέντων κατά την τιτλοδότηση διαλυμάτων, να υπολογισθεί η μάζα του άγνωστου στερεού οξέος που θα αντιδράσει με ένα mole της βάσεως.
6. Ο τύπος του οξέος και η εξίσωση της αντιδράσεώς του θα σας δοθούν από τον καθηγητή σας. Να υπολογισθεί η θεωρητική τιμή της μάζας του οξέος που θα αντιδράσει με ένα mole της βάσεως.
7. Να προσδιορισθεί το εκατοστιαίο σφάλμα με τη βοήθεια της θεωρητικής τιμής που βρέθηκε κατά τον υπολογισμό 6.

Περίληψη.

Όταν στο ίδιο διάλυμα προστεθούν ιόντα H^+ και ιόντα OH^-, θα πρέπει να αντιδράσουν μεταξύ τους και να σχηματίσουν H_2O, μέχρι η συγκέντρωσή τους να ελαττωθεί τόσο, ώστε να ικανοποιείται ο νόμος της ισορροπίας του νερού, δηλαδή, $K_{υδ} = 10^{-14} = [H^+][OH^-]$. Εξουδετέρωση είναι μια αντίδραση, κατά την οποία ένα οξύ και μια βάση αντιδρούν και σχηματίζουν άλας και νερό. Η διαδικασία κατά την οποία ένα οξύ (ή βάση) προστίθεται σε ένα διάλυμα βάσεως (ή οξέος), μέχρι να σχηματισθεί ένα ουδέτερο διάλυμα, ονομάζεται τιτλοδότηση. Με τη βοήθεια της τιτλοδοτήσεως, είναι δυνατόν να μετρηθεί η συγκέντρωση ενός διαλύματος, αν είναι γνωστή η συγκέντρωση του άλλου. Το σημείο στο οποίο $[H^+] = [OH^-]$ γίνεται αντιληπτό από τη μεταβολή του χρώματος ενός δείκτη για οξέα–βάσεις.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να αποδειχτεί ότι, αν προστεθεί ένα λίτρο διαλύματος 0,120 *M* HCl σε ένα λίτρο διαλύματος 0,140 *M* NaOH, η $[OH^-]$ του τελικού διαλύματος θα είναι 0,01 *M*.
2. Πόσα ml διαλύματος 0,05 *M* HCl χρειάζονται, για να εξουδετερωθούν 100 ml διαλύματος 0,15 *M* NaOH;

Η ισχύς των οξέων διαφέρει

23.13 Ασθενή οξέα.

Στην παράγραφο 23.1 μάθατε ότι οι ηλεκτρολύτες θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως ισχυροί, αν μέσα στα διαλύματα διίστανται τελείως σε ιόντα, ενώ ως ασθενείς, αν διίστανται μερικώς. Επειδή τα οξέα είναι ηλεκτρολύτες, μπορούν να χαρακτηρισθούν και αυτά με τους όρους ισχυρός και ασθενής. Κατά συνέπεια υπάρχουν ***ισχυρά οξέα,*** όπως είναι το HCl και το HNO_3, τα οποία διίστανται πλήρως σε ιόντα. Σχηματίζουν ένα mole $H^+(υδ)$ ανά mole οξέος. Η απλή αυτή συμπεριφορά δεν χρειάζεται άλλα σχόλια. Όμως πολλά ***ασθενή οξέα,*** όπως είναι το οξικό οξύ, CH_3COOH, ή το υδροφθορικό οξύ, HF, διίστανται σε περιορισμένο βαθμό. Η διάσταση των ασθενών οξέων είναι δυνατόν να εξετασθεί και με τη βοήθεια των τύπων των σταθερών ισορροπίας. Για παράδειγμα, ας εξετάσομε τη διαφορετική συμπεριφορά δύο ασθενών οξέων, όπως είναι το οξικό οξύ και το υδροφθορικό οξύ.

$$CH_3COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ) \quad (26)$$

$$HF(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + F^-(υδ) \quad (27)$$

Μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας διαλυμάτων των δύο αυτών οξέων δείχνουν ότι στο διάλυμα του HF υπάρχουν περισσότερα ιόντα από όσα στο διάλυμα του οξικού οξέος. Κατά συνέπεια το οξικό οξύ είναι ασθενέστερο οξύ από ό,τι το HF. Το ίδιο εκφράζεται ποσοτικά με τις σταθερές ισορροπίας που δίνονται από τις εξισώσεις (28) και (29) οι οποίες αντιστοιχούν στις αντιδράσεις (26) και (27).

$$K_{CH_3COOH} = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1{,}8 \times 10^{-5} \quad (28)$$

$$K_{HF} = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]} = 6{,}7 \times 10^{-4} \quad (29)$$

Επειδή η K_{HF} έχει μεγαλύτερη τιμή από την K_{CH_3COOH}, το υδροφθορικό οξύ διίσταται (ιοντίζεται) στο νερό περισσότερο από ό,τι το οξικό οξύ. Αν και το HF είναι ασθενές οξύ (διίσταται μόνο μερικώς), είναι ισχυρότερο οξύ από το οξικό οξύ.

Οι έννοιες αυτές περιγράφονται με τη βοήθεια ενός οξέος, έστω του τύπου HB. Η όξινη φύση του HB είναι αποτέλεσμα της ικανότητάς του να ελευθερώνει ιόντα υδρογόνου.

$$HB(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + B^-(υδ) \quad (30)$$

Η σταθερά ισορροπίας της αντιδράσεως (30), K_A, εκφράζει το πόσο εύκολα το HB ελευθερώνει ιόντα H^+. Για τη ***σταθερά ισορροπίας του οξέος*** χρησιμοποιείται το σύμβολο K_A.

$$K_A = \frac{[H^+][B^-]}{[HB]} \quad (31)$$

Στον πίνακα 23.2 δίνονται οι τιμές της K_A διαφόρων οξέων (προσδιορίζεται η ισχύς των οξέων, στοιχείο χρήσιμο για τη σύγκριση διαφόρων οξέων και την πρόβλεψη των ιδιοτήτων τους).

Στον πίνακα 23.2 είναι προφανές ότι η ισχύς των οξέων από πλευράς ισορροπίας δείχνει ότι και το νερό το ίδιο είναι ένα ασθενές οξύ. Ελευθερώνει ιόντα υδρογόνου. Η έκταση με την οποία συμβαίνει αυτό δίνεται από τη σταθερά ισορροπίας του, ακριβώς όπως και στα άλλα οξέα.

Επειδή η οξύτητα ενός διαλύματος επηρεάζει σημαντικά τις χημικές του ιδιότητες, είναι σημαντικό να μπορούμε να προσδιορίζομε και να ελέγχομε τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με εφαρμογή του νόμου της ισορροπίας. Έχοντας παράδειγμα το βενζοϊκό οξύ, C_6H_5COOH, θα δοθούν δύο τρόποι υπολογισμού βασισμένοι σε αυτόν το νόμο. Κατά τον πρώτο τρόπο, η K_A θα προσδιορισθεί από πειραματικά δεδομένα. Κατά το δεύτερο τρόπο, η $[H^+]$ θα υπολογισθεί με τη βοήθεια της K_A.

ΠΙΝΑΚΑΣ 23.2.
Σχετική ισχύς οξέων σε υδατικά διαλύματα, σε θερμοκρασία δωματίου.

$$K_A = \frac{[H^+][B^-]}{[HB]}$$

Οξύ	Ισχύς	Αντίδραση	K_A
HCl	πολύ ισχυρό	$HCl(υδ) \rightarrow H^+(υδ) + Cl^-(υδ)$	πολύ μεγάλη
HNO_3		$HNO_3(υδ) \rightarrow H^+(υδ) + NO_3^-(υδ)$	πολύ μεγάλη
H_2SO_4	πολύ ισχυρό	$H_2SO_4(υδ) \rightarrow H^+(υδ) + HSO_4^-(υδ)$	μεγάλη
HSO_4^-	ισχυρό	$HSO_4^-(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + SO_4^{2-}(υδ)$	$1{,}3 \times 10^{-2}$
HF	ασθενές	$HF(υδ) \rightleftharpoons + H^+(υδ) + F^-(υδ)$	$6{,}7 \times 10^{-4}$
C_6H_5COOH		$C_6H_5COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + C_6H_5COO^-(υδ)$	$6{,}6 \times 10^{-5}$
CH_3COOH		$CH_3COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$	$1{,}8 \times 10^{-5}$
HNO_2		$HNO_2(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + NO_2^-(υδ)$	$6{,}0 \times 10^{-6}$
$H_2CO_3(CO_2 + H_2O)$		$H_2CO_3(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + HCO_3^-(υδ)$	$4{,}4 \times 10^{-7}$
H_2S	ασθενές	$H_2S(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + HS^-(υδ)$	$1{,}0 \times 10^{-7}$
NH_4^+		$NH_4^+(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + NH_3(υδ)$	$5{,}7 \times 10^{-10}$
HCO_3^-		$HCO_3^-(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CO_3^{2-}(υδ)$	$4{,}7 \times 10^{-11}$
H_2O	πολύ ασθενές	$H_2O(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + OH^-(υδ)$	$1{,}8 \times 10^{-16}$ *

* *Η σταθερά ισορροπίας, K_A, του νερού, αν αυτό θεωρηθεί ως οξύ, ισούται με* $\frac{K_w}{[H_2O]} = \frac{1{,}00 \times 10^{-14}}{55{,}5}$

23.14 Προσδιορισμός της K_A.

Για να εφαρμόσει ένας χημικός το νόμο της ισορροπίας στα διαλύματα των οξέων, πρέπει να γνωρίζει την τιμή της σταθεράς ισορροπίας, K_A του οξέος. Πειράματα που παρέχουν αυτήν την πληροφορία προϋποθέτουν τη μέτρηση της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου. Δείκτες ευαίσθητοι στα οξέα, όπως είναι το ηλιοτρόπιο, μας βοηθούν να εκτιμήσομε κατά τον πιο εύκολο τρόπο την $[H^+]$.

Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Το βενζοϊκό οξύ, C_6H_5COOH, είναι μια στερεά ουσία, ελάχιστα διαλυτή στο νερό. Το υδατικό διάλυμά του άγει τον ηλεκτρισμό και έχει τις άλλες ιδιότητες των οξέων που αναφέρονται στην παράγραφο 23.6. Η όξινη συμπεριφορά του και η σχέση της ισορροπίας του δίνονται αντίστοιχα από τις εξισώσεις (32) και (33):

$$C_6H_5COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + C_6H_5COO^-(υδ) \quad (32)$$

$$K_A = \frac{[H^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} \quad (33)$$

Το επόμενο πείραμα εκτελείται, για να προσδιορισθεί η σταθερά ισορροπίας του οξέος από την εξίσωση (33). Ένα δείγμα 1,22 g βενζοϊκού οξέος διαλύεται σε 1,00 λίτρο νερού στους 25°C. Με τη βοήθεια καταλλήλων δεικτών υπολογίζεται ότι η συγκέντρωση του $H^+(υδ)$ είναι 8×10^{-4} M.

Για να χρησιμοποιηθεί αυτό το στοιχείο, θα πρέπει αρχικά να μετατραπούν όλες οι ποσότητες σε moles. Ένα mole βενζοϊκού οξέος C_6H_5COOH έχει μάζα 122 g. Έτσι προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\text{Αριθμός των moles, } C_6H_5COOH = \frac{1{,}22\ \text{g}}{122\ \text{g/mole}} = 0{,}010\ \text{mole}$$

Τελικά, επειδή ο αριθμός αυτών των moles διαλύθηκε σε ένα λίτρο, η συγκέντρωση είναι 0,010 moles ανά λίτρο ή $1{,}00 \times 10^{-2}$ *M*. Βέβαια, η συγκέντρωση των ολοκλήρων μορίων του C_6H_5COOH δεν μπορεί να είναι τόσο μεγάλη, γιατί ένα μέρος του διίσταται. Είναι γνωστό ότι το βενζοϊκό οξύ ποιοτικώς είναι ένα εξαιρετικά ασθενές οξύ. Γι' αυτό, μπορείτε να δεχθείτε (ή να θεωρήσετε κατά προσέγγιση) ότι το κλάσμα που διίσταται είναι μικρό. Έτσι, η πραγματική συγκέντρωση θα δίνεται με αρκετή ακρίβεια από την εξίσωση (34):

$$[C_6H_5COOH] = 1{,}00 \times 10^{-2} \quad (34)$$

Προσεκτική μέτρηση δείχνει ότι

$$[H^+] = 8 \times 10^{-4} M \quad (35)$$

Επειδή μόνο περίπου 8 % του οξέος διίσταται, αυτή η προσέγγιση θεωρείται αρκετά ικανοποιητική.

Τώρα πια είναι γνωστές δύο από τις συγκεντρώσεις της σχέσεως (33). Για να συμπληρωθούν οι υπολογισμοί, θα πρέπει να βρεθεί η συγκέντρωση του βενζοϊκού ιόντος, $[C_6H_5COO^-]$. Επειδή το βενζοϊκό οξύ διαλύθηκε μέσα σε καθαρό νερό, η μόνη πηγή ιόντων $C_6H_5COO^-$ είναι αυτή που δίνεται από την αντίδραση (32). Η ίδια αντίδραση είναι επίσης η πηγή των ιόντων $H^+(υδ)$. Και τα δύο αυτά ιόντα όμως παράγονται μόνο κατά την αντίδραση (32), γι' αυτό και οι συγκεντρώσεις τους μέσα στο διάλυμα θα είναι ίσες.

$$[H^+] = [C_6H_5COO^-]$$

Αφού $[H^+] = 8 \times 10^{-4}$, θα ισχύει και η επόμενη εξίσωση:

$$[C_6H_5COO^-] = 8 \times 10^{-4} \quad (36)$$

Αν συνδυασθούν τώρα οι εξισώσεις (34), (35) και (36) με τη σχέση (33), συμπληρώνονται οι υπολογισμοί.

$$K_A = \frac{[H^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{[8 \times 10^{-4}][8 \times 10^{-4}]}{[1{,}0 \times 10^{-2}]} = \frac{64 \times 10^{-8}}{1{,}0 \times 10^{-2}}$$

$$K_A = 64 \times 10^{-6} = 6{,}4 \times 10^{-5}$$

Αν και η τιμή της $[C_6H_5COOH]$ υπολογίσθηκε κατά προσέγγιση, η υπολογισθείσα τιμή της K_A βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτήν που δίνει ο πίνακας 23.2.

23.15 Υπολογισμός της $[H^+]$.

Συχνά, όταν οι χημικοί εργάζονται με οξέα και με τα άλατά τους, πρέπει να υπολογίσουν με τη βοήθεια της K_A την $[H^+]$ ενός όξινου διαλύματος. Στο παράδειγμα που ακολουθεί περιγράφεται

ένας υπολογισμός αυτού του είδους.

Ας υποτεθεί ότι θέλετε να μάθετε την $[H^+]$ μέσα σε ένα διάλυμα που περιέχει 0,010 *M* βενζοϊκό οξύ, C_6H_5COOH, και 0,030 *M* βενζοϊκό νάτριο, C_6H_5COONa. Θα μπορούσατε βέβαια να ακολουθήσετε την πειραματική οδό και να μελετήσετε τα χρώματα διαφόρων δεικτών, τους οποίους θα προσθέτατε στο διάλυμα. Είναι όμως δυνατόν (και ευκολότερο) να υπολογίσετε την $[H^+]$ με τη βοήθεια της τιμής της K_A του βενζοϊκού οξέος. Για τη λύση αυτού του προβλήματος είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσετε την ακριβή τιμή της K_A που δίνει ο πίνακας 23.2 και όχι αυτήν που υπολογίσατε στην προηγούμενη παράγραφο. Το βενζοϊκό νάτριο είναι ισχυρός ηλεκτρολύτης. Τα υδατικά του διαλύματα βρίσκεται ότι περιέχουν ιόντα νατρίου, $Na^+(υδ)$ και βενζοϊκά ιόντα, $C_6H_5COO^-(υδ)$. Και σε αυτήν την περίπτωση, η ισορροπία περιγράφεται, όπως και προηγουμένως:

$$C_6H_5COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + C_6H_5COO^-(υδ) \quad (32)$$

Κατά την ισορροπία, οι συγκεντρώσεις θα πρέπει να πληρούν τη σχέση ισορροπίας.

$$K_A = \frac{[H^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} = 6,6 \times 10^{-5} \quad (37)$$

Η μικρή τιμή αυτής της σταθεράς δείχνει ότι η ποσότητα του βενζοϊκού οξέος που διαλύεται είναι μικρή. Κατά συνέπεια, η συγκέντρωση του μη ιοντισμένου οξέος είναι περίπου ίση με αυτήν του ιοντισμένου οξέος. Γι' αυτό θεωρούμε ότι $[C_6H_5COOH] = 0,010\ M$, όπως προκύπτει και από την εξίσωση (34). Ακόμη, η ποσότητα των ιόντων $C_6H_5COO^-$ που σχηματίζονται από τη διάσταση είναι μικρή σε σχέση με τη συγκέντρωση των ιόντων $C_6H_5COO^-$ που οφείλονται στο C_6H_5COONa. Αυτός είναι ο λόγος που είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι $[C_6H_5COO^-] = 0,030\ M$. Από την εξίσωση (38) υπολογίζεται τώρα η $[H^+]$.

$$K_A = \frac{[H^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{[H^+](0,030)}{(0,010)} \quad (38)$$

Αν μετασχηματισθεί η εξίσωση (38), λαμβάνεται το παρακάτω αποτέλεσμα:

$$[H^+] = K_A \times \frac{(0,010)}{(0,030)} =$$

$$= 6,6 \times 10^{-5} \times \frac{1,010}{0,030}$$

$$[H^+] = 2,2 \times 10^{-5}$$

Ο υπολογισμός αυτός δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης, αν δεν ελεγχθούν όλες οι υποθέσεις. Είναι δικαιολογημένη η υπόθεση ότι οι συγκεντρώσεις των βενζοϊκών ιόντων και του βενζοϊκού οξέος δεν μεταβάλλονται κατά την αντίδραση (32); Για να επιβεβαιωθεί αυτό, πρέπει να συγκρίνομε το μέγεθος της $[H^+]$, $2,2 \times 10^{-5}\ M$, με τις συγκεντρώσεις του βενζοϊκού ιόντος και του βενζοϊκού οξέος. Η σύγκριση αυτή δείχνει ότι η $[C_6H_5COOH] = 0,010\ M$ είναι περίπου 500 φορές μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ιόντων H^+, $2,2 \times 10^{-5}\ M$. Το ίδιο επιχείρημα ισχύει και για την $[C_6H_5COO^-]$. Αυτό σημαίνει ότι οι υποθέσεις ήταν ορθές.

23.16 Ανταγωνισμός για H^+ ανάμεσα σε ασθενή οξέα.

Οι ιδιότητες των οξέων ερμηνεύθηκαν με βάση την ικανότητά τους να ελευθερώνουν ιόντα υδρογόνου, $H^+(υδ)$. Σύμφωνα με αυτήν την ερμηνεία, το οξικό οξύ είναι ένα ασθενές οξύ εξ αιτίας του περιορισμένου ιοντισμού του σύμφωνα με την αντίδραση (26).

$$CH_3COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ) \quad (26)$$

Οι ιδιότητες των βάσεων ερμηνεύθηκαν με βάση την ικανότητά τους να ***αντιδρούν*** με ιόντα υδρογόνου. Έτσι, η αμμωνία είναι βάση, γιατί αντιδρά σύμφωνα με την εξίσωση (25).

$$NH_3(υδ) + H^+(υδ) \rightleftharpoons NH_4^+(υδ) \quad (25)$$

Ας εξετάσομε τώρα το αποτέλεσμα της αναμίξεως υδατικών διαλυμάτων οξικού οξέος και αμμωνίας. Η αντίδραση που θα πραγματοποιηθεί μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα της επόμενης σειράς των αντιδράσεων:

$$CH_3COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$$
$$NH_3(υδ) \rightleftharpoons NH_4^+(υδ)$$

Η συνολική αντίδραση είναι η αντίδραση (39).

$$CH_3COOH(υδ) + NH_3(υδ) \rightleftharpoons$$
$$CH_3COO^-(υδ) + NH_4^+(υδ) \quad (39)$$



Gilbert Newton Lewis (1875 – 1946)

Μια από τις πρώτες θέσεις του Gilbert Lewis, αφού έλαβε το διδακτορικό του δίπλωμα από το πανεπιστήμιο του Harvard των ΗΠΑ, ήταν η θέση του προϊσταμένου χημικού του τομέα μέτρων και σταθμών, στο Γραφείο Επιστημών των Φιλιππίνων. Αργότερα, υπηρέτησε επτά χρόνια στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασσαχουσέτης, όπου και αναγορεύθηκε καθηγητής. Από εκεί πήγε στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, στο Berkley. Εκεί έγινε τελικά πρόεδρος του τμήματος χημείας, γεγονός που συνέβαλε στο να αποκτήσει εξέχουσα φήμη.

Το 1916, διετύπωσε την άποψη ότι οι ομοιοπολικοί δεσμοί σχηματίζονται από ζεύγη ηλεκτρονίων, τα οποία μοιράζονται ανάμεσα στα συνδεόμενα άτομα. Η άποψη αυτή οδήγησε στη χρήση της γνωστής σήμερα απεικονίσεως των δεσμών των ενώσεων με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών τύπων.

Επί πολλά χρόνια οι χημικοί προσπαθούσαν να βρουν έναν ικανοποιητικό τρόπο ορισμού των οξέων και των βάσεων. Ο Arrhenius το 1884 είχε ορίσει ως οξέα τις ενώσεις, οι οποίες σε διάλυμα σχηματίζουν ιόντα υδρογόνου, ενώ ως βάσεις, αντίστοιχα, τις ενώσεις που σχηματίζουν υδροξυλιόντα. Πολλοί, επιστήμονες όμως είχαν την εντύπωση ότι ήταν απαραίτητο να δοθεί ένας ευρύτερος ορισμός.

Το 1923, ο J. M. Brønsted και ο T.M. Lowry εργαζόμενοι ανεξάρτητα διετύπωσαν την άποψη ότι τα οξέα είναι ενώσεις, οι οποίες κατά τη διάρκεια μιας αντιδράσεως μπορούν να παραχωρήσουν ένα πρωτόνιο, ενώ οι βάσεις είναι ενώσεις που δέχονται ένα πρωτόνιο. Ο Lewis είχε μια διαφορετική άποψη. Προκειμένου να συμπεριλάβει μεγαλύτερη ποικιλία ενώσεων στην πολύ ευρεία θεωρία του, υποστήριξε ότι οξύ είναι μια ουσία ικανή να δεχθεί ένα ζεύγος ηλεκτρονίων και να σχηματίσει ένα δεσμό, ενώ βάση είναι μια ουσία, η οποία μπορεί να προσφέρει ένα ζεύγος ηλεκτρονίων για το σχηματισμό ενός δεσμού. Η θεωρία του Lewis δεν απέκλειε τις ενώσεις εκείνες οι οποίες περιλαμβάνονταν στις θεωρίες του Arrhenius και των Brønsted και Lowry, αλλά διηύρυνε την έννοια των οξέων και των βάσεων, ώστε να περιληφθούν πολλές ενώσεις, οι οποίες δεν περιείχαν ιόντα υδρογόνου ή την ομάδα του υδροξυλίου.

Ένα κλασικό παράδειγμα της θεωρίας του Lewis είναι ο συνδυασμός του BF_3 και της NH_3 προς σχηματισμό F_3BNH_3. Η εξέταση του BF_3 δείχνει, ότι διαθέτει ένα κενό τροχιακό, το οποίο μπορεί να δεχθεί δύο ακόμη ηλεκτρόνια στη στοιβάδα του σθένους του, ενώ το μόριο της NH_3 διαθέτει ένα ασύζευκτο ζεύγος ηλεκτρονίων, το οποίο μπορεί να παραχωρήσει στο μόριο του BF_3. Στην περίπτωση αυτή, το μόριο του BF_3 χαρακτηρίζεται ως οξύ, ενώ το μόριο της NH_3 θεωρείται ως βάση.

Με τη βοήθεια αυτής της θεωρίας ο Lewis ήταν ο πρώτος επιστήμονας που κατόρθωσε να συνθέσει βαρύ νερό. Διετύπωσε επίσης μια θεωρία για τις καταστάσεις διεγερμένων ηλεκτρονίων, η οποία βοηθά στην ερμηνεία φαινομένων, όπως είναι το χρώμα, ο φθορισμός και ο φωσφορισμός των οργανικών ενώσεων. Αν και ο Lewis δεν τιμήθηκε ποτέ για το έργο του με το βραβείο Νόμπελ, πολλοί από τους χημικούς που φοίτησαν στο πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια έχοντάς τον καθηγητή, μεταξύ των ετών 1912 και 1942, έλαβαν αυτό το μεγάλο βραβείο.

Πρακτικώς, το αποτέλεσμα των αντιδράσεων (26) και (25) είναι η αντίδραση (39). Στην αντίδραση (26) το οξικό οξύ ελευθερώνει ιόντα υδρογόνου και σχηματίζονται $H^+(υδ)$, ενώ στην αντίδραση (39) τα ιόντα υδρογόνου που ελευθερώνονται δεσμεύονται από την αμμωνία και σχηματίζονται NH_4^+. Με άλλα λόγια, η αμμωνία στην αντίδραση (39) παίζει το ρόλο της βάσεως και αντιδρά με τα ιόντα υδρογόνου, που ελευθερώνονται από το οξικό οξύ. Η αντίδραση (39) θεωρείται έτσι ως μια αντίδραση οξέος-βάσεως, αν και η συνολική αντίδραση δεν δείχνει με σαφήνεια την παρουσία $H^+(υδ)$.

Αν προχωρήσομε ακόμη ένα βήμα, μπορούμε να θεωρήσομε τις αντιδράσεις οξέος-βάσεως με μια ευρύτερη έννοια. Υποθέτομε ότι αναμιγνύονται υδατικά διαλύματα χλωριούχου αμμωνίου, NH_4Cl, και οξικού νατρίου, CH_3COONa. Από τη μυρωδιά διαπιστώνετε ότι σχηματίζεται αμμωνία. Η αντίδραση που πραγματοποιείται είναι η παρακάτω:

$$NH_4^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ) \rightleftharpoons CH_3COOH(υδ) + NH_3(υδ) \qquad (40)$$

Η αντίδραση (40) δεν είναι τίποτα άλλο παρά η αντίστροφη της αντιδράσεως (39). Αν την παρατηρήσομε, ανακαλύπτομε ότι η αντίδραση (40) είναι ***επίσης*** μια αντίδραση οξέος-βάσεως. Για άλλη μια φορά υπάρχει ένα οξύ που ελευθερώνει ιόντα H^+, και μια βάση που δέχεται ιόντα H^+. Το τελικό αποτέλεσμα της αντιδράσεως είναι και πάλι η μεταφορά ενός ιόντος υδρογόνου από το ένα είδος στο άλλο. Η αντίδραση οξέος-βάσεως ανάμεσα στο οξικό οξύ και την αμμωνία έδωσε δύο προϊόντα, ένα που είναι οξύ, NH_4^+, και ένα που είναι βάση, CH_3COO^-. Με λίγη σκέψη αντιλαμβανόμαστε ότι ***κάθε*** αντίδραση οξέος-βάσεως έχει το ίδιο αποτέλεσμα. Η μεταφορά ενός ιόντος υδρογόνου από ένα οξύ σε μια βάση σημαίνει κατ' ανάγκην ότι ***ίσως*** μεταφερθεί και πάλι πίσω. Η μεταφορά κατά την αντίστροφη πορεία (η αντίστροφη αντίδραση), είναι επίσης μια μεταφορά υδρογόνου (έτσι δικαιολογείται το όνομα αντίδραση οξέος-βάσεως), ακριβώς όμοια με την αρχική μεταφορά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τις προηγούμενες αντιδράσεις μεταφέρονταν ιόντα υδρογόνου από ένα οξύ σε μια βάση χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα ιόντα H^+ του ιονισμένου νερού. Ένα ιόν H^+ δεν είναι τίποτα άλλο από ένα πρωτόνιο. Κατά συνέπεια, είναι τώρα δυνατόν να δοθεί ένας γενικότερος ορισμός των αντιδράσεων οξέων-βάσεων, ο οποίος μπορεί να βασίζεται στη ***μεταφορά πρωτονίων***. Η μεγαλύτερη σημασία αυτού του ορισμού είναι ότι εφαρμόζεται σε μεγαλύτερο αριθμό χημικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων και συστημάτων μη υδατικών.

Με βάση αυτόν τον ορισμό, η αντίδραση του τύπου οξύ-βάση γενικεύεται κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$\underset{\text{οξύ}}{CH_3COOH} + \underset{\text{βάση}}{NH_3} \rightleftharpoons \underset{\text{οξύ}}{NH_4^+} + \underset{\text{βάση}}{CH_3COO^-} \qquad (39)$$

Το οξικό οξύ αντιδρά ως οξύ και ελευθερώνει το πρωτόνιό του, ενώ σχηματίζει το οξικό ιόν, CH_3COO^-, ουσία η οποία μπορεί να δράσει ως βάση. Η γενική μορφή της εξισώσεως (39) είναι η εξής:

$$HB_1 + B_2 \rightleftharpoons HB_2 + B_1 \qquad (41)$$
$$\text{οξύ}_1 + \text{βάση}_2 \rightleftharpoons \text{οξύ}_2 + \text{βάση}_1$$

Βλέπομε ότι ***ένα οξύ και μια βάση αντιδρούν διά μεταφοράς πρωτονίων και σχηματίζουν ένα άλλο οξύ και μια άλλη βάση.***

Οι χημικοί χρησιμοποιούν αυτόν το γενικότερο ορισμό, για να εξετάσουν την ισχύ των οξέων. Κατά την αντίδραση (41), η μεταφορά του πρωτονίου σημαίνει ότι ο χημικός δεσμός στο HB_1 θα πρέπει να σπάσει και να σχηματισθεί ο δεσμός στο HB_2. Αν ο δεσμός στο HB_1 σπάζει εύκολα, τότε το HB_1 θα είναι ισχυρό οξύ. Έτσι, η ισορροπία έχει την τάση να ευνοεί τη μεταφορά ενός πρωτονίου από τη βάση B_1 σε μια άλλη βάση B_2. Αν εξάλλου ο δεσμός στο HB_1 είναι εξαιρετικά σταθερός, τότε αυτή η ουσία θα είναι ασθενές οξύ. Η ισορροπία έχει την τάση να ευνοεί τη μεταφορά ενός πρωτονίου από κάποιο άλλο οξύ HB_2, στη βάση B_1, με αποτέλεσμα το σχηματισμό του σταθερού δεσμού HB_1.

23.17Το ιόν υδρογόνου στη θεωρία μεταφοράς πρωτονίου από τα οξέα.

Σύμφωνα με τη θεωρία της μεταφοράς πρωτονίου κατά τις αντιδράσεις οξέων-βάσεων, ένα οξύ και μια βάση αντιδρούν και σχηματίζουν ένα άλλο οξύ και μια άλλη βάση. Ας εξετάσομε πώς εφαρμόζεται αυτή η θεωρία στην περίπτωση της απλής αντιδράσεως ανάμεσα σε ιόντα $H^+(υδ)$ και ιόντα $OH^-(υδ)$ όπως και κατά τον ιοντισμό του οξικού οξέος.

$$H^+(υδ) + OH^-(υδ) \rightleftharpoons H_2O$$
$$CH_3COOH(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$$

Η εφαρμογή της προηγούμενης θεωρίας επιτυγχάνεται κάνοντας μια υπόθεση σχετικά με τη φύση των σωματιδίων $H^+(υδ)$. Θεωρούμε ότι έχουν το μοριακό τύπο $H_3O^+(υδ)$. Κατά συνέπεια, η αντίδραση διαλύσεως του HCl στο νερό γράφεται ως ακολούθως:

$$HCl(α) + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+(υδ) + Cl^-(υδ)$$

Όταν εμφανίζεται ένα $H^+(υδ)$ στην εξίσωση μιας αντιδράσεως, αντικαθίσταται από το ιόν του ***οξωνίου***, H_3O^+, και στο άλλο σκέλος της εξισώσεως προστίθεται ένα μόριο νερού. Σύμφωνα με αυτά, ο ιοντισμός του οξικού οξέος γράφεται με τον παρακάτω τρόπο:

$$CH_3COOH(υδ) + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$$

Τώρα πια η διάσπαση του οξικού οξέος μπορεί να θεωρηθεί ως μια αντίδραση οξέος-βάσεως. Το οξύ CH_3COOH μεταφέρει ένα πρωτόνιο στη βάση H_2O σχηματίζοντας το οξύ H_3O^+ και τη βάση CH_3COO^-.

Ο σχηματισμός του νερού από τα ιόντα του γράφεται ως ακολούθως:

$$H_3O^+(υδ) + OH^-(υδ) \rightleftharpoons H_2O + H_2O$$

Στην προηγούμενη αντίδραση το οξύ H_3O^+ μεταφέρει ένα πρωτόνιο στη βάση OH^- και σχηματίζει ένα οξύ, H_2O, και μια βάση, H_2O. Στα πλαίσια της θεωρίας μεταφοράς πρωτονίου, το μόριο του νερού έχει τις ιδιότητες ενός οξέος, αλλά και τις ιδιότητες μιας βάσεως.

Ο χαρακτηρισμός των ιόντων $H^+(υδ)$ ως ιόντων οξωνίου, H_3O^+, δεν επιβάλλεται από πειραματικές ενδείξεις. Δεν υπάρχει ένδειξη για τη μοναδική ύπαρξη αυτού του ιόντος, H_3O^+, μέσα σε αραιά υδατικά διαλύματα. Το γεγονός όμως ότι το νερό είναι ένα πολικό μόριο, δύσκολα μας πείθει ότι μπορεί να υπάρξει ένα θετικά φορτισμένο πρωτόνιο μέσα σε ένα υδατικό διάλυμα χωρίς να προσκολλάται στο αρνητικά φορτισμένο άκρο του μορίου του νερού. Η υπόθεση αυτή είναι αρκετή, για να δικαιολογήσει τη χρήση της ως μέσου συσχετίσεως της συμπεριφοράς οξέων-βάσεων.

Περίληψη.

Τα οξέα, τα οποία δεν διίστανται πλήρως όταν βρίσκονται υπό μορφή διαλύματος, ονομάζονται ασθενή οξέα. Πρόκειται βέβαια για ένα είδος ασθενούς ηλεκτρολύτη. Ο ποσοτικός προσδιορισμός αυτών επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της σταθεράς ισορροπίας των οξέων, K_A. Η σχετική ισχύς ορισμένων οξέων δίνεται στον πίνακα ο οποίος περιέχει τις τιμές των K_A. Ως ισχύς οξέος ορίζεται η ικανότητά του να ελευθερώνει ιόντα H^+. Η K_A προσδιορίζεται από πειραματικά δεδομένα. Όταν είναι γνωστή η K_A κάποιου οξέος, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η $[H^+]$ οποιουδήποτε διαλύματος περιέχει αυτό το οξύ.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Ποιο από τα παρακάτω οξέα είναι το ισχυρότερο και ποιο το ασθενέστερο;
   (α) Νιτρώδες οξύ, HNO_2
   $K_{HNO_2} = 5,1 \times 10^{-4}$
   (β) Θειώδες οξύ, H_2SO_3
   $K_{H_2SO_3} = 1,7 \times 10^{-2}$
   (γ) Φωσφορικό οξύ, H_3PO_4
   $K_{H_3PO_4} = 7,1 \times 10^{-3}$
2. Να υπολογισθεί η $[H^+]$, όταν ένα διάλυμα νιτρώδους οξέος περιέχει ίσες συγκεντρώσεις των HNO_2 και NO_2^-.
3. Να γράψετε μια εξίσωση, η οποία να δείχνει τον ιοντισμό του μυρμηκικού οξέος, HCOOH, μέσα σε υδατικό διάλυμα, κάνοντας την υπόθεση ότι υπάρχουν ιόντα οξωνίου.

Περίληψη κεφαλαίου

Υπάρχουν δύο τρόποι για τον ορισμό ενός οξέος μέσα σε υδατικό διάλυμα. Ο ένας είναι άμεσος, με τη βοήθεια των ιδιοτήτων, τις οποίες μπορούμε να παρατηρήσομε: (1) Το οξύ περιέχει υδρογονοϊόντα. (2) Τα διαλύματά του άγουν τον ηλεκτρισμό. (3) Διάφορα μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος, αντιδρούν μαζί του και ελευθερώνουν υδρογόνο. (4) Χρωματίζει το ηλιοτρόπιο κόκκινο. (5) Έχει ξινή γεύση.

Από πειράματα γνωρίζομε ότι όλες αυτές οι ιδιότητες οφείλονται στην παρουσία των ιόντων H^+ μέσα στο διάλυμα. Γι' αυτό, ένας δεύτερος τρόπος ορισμού είναι ο εξής: Οξύ είναι μια ουσία, η οποία όταν διαλυθεί στο νερό παρέχει ιόντα $H^+(υδ)$.

Ως βάση μπορεί να ορισθεί η ουσία, η οποία εξουδετερώνει ένα οξύ. Δηλαδή, αντιδρά με ιόντα $H^+(υδ)$ και τα απομακρύνει από τα όξινα διαλύματα. Το πιο συχνό και χαρακτηριστικό ιόν των βάσεων είναι το $OH^-(υδ)$. Οι βάσεις χαρακτηρίζονται επίσης από τις επόμενες ιδιότητες: (1) Τα διαλύματά τους άγουν τον ηλεκτρισμό. (2) Χρωματίζουν το ηλιοτρόπιο κυανό. (3) Έχουν πικρή γεύση. (4) Τα υδατικά τους διαλύματα δίνουν μια γλιστερή αίσθηση κατά την αφή.

Προκειμένου να κατανοήσομε τη συμπεριφορά των οξέων και των βάσεων σε υδατικά διαλύματα, ας προσέξομε την επόμενη ισορροπία:

$$H_2O(υγ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + OH^-(υδ)$$
$$K_w = 10^{-14} \text{ στους } 25\,^\circ C$$

Όταν στο ίδιο διάλυμα προστίθεται ένα οξύ και μια βάση, το αποτέλεσμα καθορίζεται από την ισορροπία. Τα ιόντα H^+ και OH^- θα αντιδράσουν μεταξύ τους, μέχρι το γινόμενο των συγκεντρώσεών τους να πάρει τέτοιες τιμές, ώστε να ικανοποιεί τη σταθερά ισορροπίας. Η αντίδραση ενός οξέος με μια βάση και ο σχηματισμός εξ αυτής νερού και ενός άλατος ονομάζεται εξουδετέρωση. Η διαδικασία κατά την οποία ένα οξύ (ή μια βάση) προστίθεται προσεκτικά σε ένα διάλυμα βάσεως (ή οξέος), μέχρι να πραγματοποιηθεί εξουδετέρωση, ονομάζεται τιτλοδότηση.

Το *p*H είναι ένας εύχρηστος τρόπος για την έκφραση της οξύτητας ενός διαλύματος. Ορίζεται ως $-\log_{10}[H^+]$. Τα όξινα διαλύματα έχουν *p*H μικρότερο από το επτά. Τα βασικά διαλύματα έχουν *p*H μεγαλύτερο από το επτά.

Πολλά οξέα είναι ασθενή. Δεν διίστανται πλήρως σε $H^+(υδ)$ και αρνητικά ιόντα. Η συμπεριφορά των διαλυμάτων τους ελέγχεται από μια σταθερά ισορροπίας. Για την περίπτωση ενός οξέος HB, ο νόμος της ισορροπίας λαμβάνει την παρακάτω μορφή:

$$K_A = \frac{[H^+][B^-]}{[HB]}$$

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Να γράψετε τα ονόματα και τους τύπους τριών σημαντικών οξέων.
2. Γιατί ένα οξύ αποκαλείται δότης ηλεκτρονίων;
3. Να εξηγήσετε με συντομία γιατί η κλίμακα του *p*H είναι ένας τρόπος εκφράσεως της οξύτητας ή της βασικότητας ενός υδατικού διαλύματος.
4. Αν το *p*H ενός διαλύματος είναι 5, ποια θα είναι η $[H^+]$; Το διάλυμα θα είναι όξινο ή βασικό;
5. Ποιο είναι το *p*H ενός διαλύματος, στο οποίο $[H^+] = 10^{-8}$; Το διάλυμα είναι όξινο ή βασικό;
6. Το ξύδι, ο χυμός λεμονιού και το χαλασμένο γάλα έχουν όλα ξινή γεύση. Ποιες άλλες κοινές ιδιότητες νομίζετε ότι έχουν;
7. (α) Δίνονται τα ακόλουθα οξέα: ιόντα αμμωνίου, NH_4^+ (σε διάλυμα χλωριούχου αμμωνίου), όξινο θειικό ιόν, HSO_4^- (σε διάλυμα $KHSO_4$) και υδρόθειο, H_2S. Ποιο είναι το ισχυρότερο οξύ; Ποιο είναι το ασθενέστερο;
   (β) Αν παρασκευασθούν διαλύματα 0,1 *M* από το NH_4Cl, το $KHSO_4$ και το H_2S, σε ποιο θα είναι η $[H^+]$ μεγαλύτερη και σε ποιο θα είναι μικρότερη;
8. Τι σημαίνει εξουδετέρωση; Να την εκφράσετε με μια εξίσωση.
9. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά που καθιστούν ένα οξύ ισχυρό ή ασθενές; Να προσδιορίσετε ένα ισχυρό οξύ και να το ονομάσετε.
10. Να περιγράψετε τη διαδικασία της τιτλοδοτήσεως. Για ποιο σκοπό χρησιμοποιείται;
11. Να δώσετε τα ονόματα και τους τύπους των

τριών ενώσεων που περιέχουν υδρογόνο και δεν κατατάσσονται στα οξέα. Για την κάθε μία ένωση, να αναφέρετε μία ή περισσότερες από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των οξέων, τις οποίες δεν διαθέτουν.

12. Όταν ένα διάλυμα υδροξειδίου του βαρίου αναμιγνύεται με διάλυμα θειικού οξέος, σχηματίζεται λευκό ίζημα και η ηλεκτρική αγωγιμότητα περιορίζεται σημαντικά. Να γράψετε τις εξισώσεις για τις αντιδράσεις που πραγματοποιούνται και ευθύνονται για την αλλαγή της αγωγιμότητας.
13. Ένα οξύ είναι μια ουσία, HB, η οποία μπορεί να σχηματίσει ιόντα $H^+(υδ)$ σύμφωνα με την εξίσωση ισορροπίας:

$$HB(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + B^-(υδ).$$

(α) Αν πρόκειται για ισχυρό οξύ, η ισορροπία θα ευνοεί τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα;
(β) Αν πρόκειται για ασθενές οξύ, η ισορροπία θα ευνοεί τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα;
(γ) Αν το οξύ HB_1 είναι ισχυρότερο από το οξύ HB_2, η K_1 θα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την K_2;

$$K_1 = \frac{[H^+][B_1^-]}{[HB_1]}, \quad K_2 = \frac{[H^+][B_2^-]}{[HB_2]}$$

14. Ποια είναι η συνολική ιοντική εξίσωση για την αντίδραση εξουδετερώσεως;
15. Ποια είναι η συγκέντρωση των ιόντων $H^+(υδ)$ μέσα σε ένα υδατικό διάλυμα, όπου $[OH^-] = 1{,}0 \times 10^{-13}$ *M*;
16. Το νιτρικό οξύ είναι ένα πολύ ισχυρό οξύ. Ποια είναι η $[H^+]$ σε ένα διάλυμα 0,050 *M* HNO_3;
17. Αν σε 10,0 λίτρα νερού θερμοκρασίας 20°C διαλυθούν 23 γραμμάρια μυρμηκικού οξέος, HCOOH, η $[H^+]$ υπολογίζεται ότι είναι $3{,}0 \times 10^{-3}$ *M*. Να υπολογίσετε την K_A.
18. Ένας χημικός διαλύει 25 γραμμάρια CH_3COOH σε αρκετό νερό, ώστε να παρασκευάσει ένα λίτρο διαλύματος. Ποια είναι η συγκέντρωση των ιόντων $H^+(υδ)$; Να ανατρέξετε στον πίνακα 23.2, και να θεωρήσετε ότι η μεταβολή του CH_3COOH που οφείλεται σε διάσταση είναι αμελητέα.
19. Να δείξετε ότι η προσθήκη 0,010 moles στερεού NaOH σε 1,0 λίτρο νερού περιορίζει τη συγκέντρωση των $H^+(υδ)$ σε $1{,}0 \times 10^{-12}$ *M*.
20. Ας υποτεθεί ότι σε 10,0 λίτρα νερού διαλύονται 3,65 γραμμάρια HCl. Ποια είναι η $[H^+]$; Να δείξετε ότι $[OH^-] = 1{,}00 \times 10^{-12}$ *M*.
21. Υποθέστε ότι προστίθενται 0,099 moles στερεού NaOH σε 0,100 λίτρα 1,00 *M* HCl.
    (α) Πόσα παραπάνω moles HCl υπάρχουν στο διάλυμα από τα moles του NaOH;
    (β) Από τον αριθμό των επί πλέον moles και τον όγκο, να υπολογίσετε τη συγκέντρωση της περίσσειας των ιόντων $H^+(υδ)$.
    (γ) Να υπολογίσετε την επί πλέον συγκέντρωση των ιόντων $H^+(υδ)$ από τη διαφορά ανάμεσα στις αρχικές συγκεντρώσεις του HCl και του NaOH.
    (δ) Να υπολογίσετε τη συγκέντρωση των $OH^-(υδ)$ κατά την ισορροπία.
22. 100 ml του διαλύματος HCl που εξετάσθηκε στην άσκηση 21 αραιώνονται με νερό στο 1,00 λίτρο. Ποια θα είναι η συγκέντρωση των $H^+(υδ)$; Ποια θα είναι η $[OH^-]$ μέσα σε αυτό το διάλυμα;
23. Ένα σταγονόμετρο βαθμονομείται μετρώντας τον αριθμό των σταγόνων που χρειάζονται για να συμπληρωθεί 1,0 ml. Υπολογίζεται ότι απαιτούνται είκοσι σταγόνες.
    (α) Ποιος είναι ο όγκος της σταγόνας;
    (β) Ας υποτεθεί ότι μια τέτοια σταγόνα διαλύματος 0,20 *M* HCl προστίθεται σε 100 ml νερού. Ποια είναι η $[H^+]$;
    (γ) Πόσες φορές μεταβλήθηκε η $[H^+]$, όταν προσετέθη η μια σταγόνα;
24. Ας υποτεθεί ότι προστίθενται σταγόνες (από το ίδιο σταγονόμετρο) διαλύματος 0,10 *M* NaOH, μία κάθε φορά, στα 100 ml του HCl της ασκήσεως 23β.
    (α) Ποια θα είναι η $[H^+]$, μετά την προσθήκη μιας σταγόνας;
    (β) Ποια θα είναι η $[H^+]$, μετά την προσθήκη δύο σταγόνων;
    (γ) Ποια θα είναι η $[H^+]$, μετά την προσθήκη τριών σταγόνων;
25. Να υπολογίσετε την $[H^+]$ και την $[OH^-]$ σε διάλυμα που σχηματίζεται από την ανάμιξη 50,0 ml 0,200 *M* HCl και 49,0 ml 0,200 *M* NaOH.
26. Να υπολογίσετε την $[H^+]$ και την $[OH^-]$ διαλύματος που σχηματίζεται από ανάμιξη 50,0 ml 0,200 *M* HCl και 49,9 ml 0,200 *M* NaOH.
27. Πόσο επί πλέον διάλυμα 0,200 *M* NaOH πρέπει να προστεθεί στο διάλυμα της

ασκήσεως 26, ώστε να μεταβληθεί η $[H^+]$ σε 10^{-7} *M*;

28. Ένα διάλυμα 0,25 *M* βενζοϊκού οξέος (ας το ονομάσομε HB) υπολογίζεται ότι έχει συγκέντρωση υδρογόνου $[H^+] = 4 \times 10^{-3}$ *M*.
    (α) Αν δεχθούμε την απλή αντίδραση $HB(υδ) \rightleftharpoons H^+(υδ) + B^-(υδ)$, να υπολογιστεί η K_A του βενζοϊκού οξέος.
    (β) Να συγκριθούν οι τιμές των [HB], $[H^+]$, $[B^-]$ και η K_A που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα με τις αντίστοιχες ποσότητες που υπήρχαν κατά τον υπολογισμό του βενζοϊκού οξέος που παρουσιάστηκε στο κείμενο του μαθήματος.
29. Κατά την παρασκευή ορισμένων χρωμάτων, είναι απαραίτητο να γνωρίζομε την ποσότητα του υδροχλωρικού οξέος μέσα στο μίγμα της αντιδράσεως, σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Αν ένα δείγμα του μίγματος βάρους 2,00 γραμμαρίων, εξουδετερωθεί όταν τιτλοδοτηθεί με 22,0 moles 0,1 *M* NaOH, ποιο θα είναι το ποσοστό –επί τοις εκατό– του υδροχλωρικού οξέος στο δείγμα;
30. Ένα δείγμα 0,150 γραμμαρίων καθαρού οξέος εξουδετερώνεται, όταν τιτλοδοτηθεί με 9,85 ml 0,200 *M* NaOH. Πόσα γραμμάρια υπάρχουν σε ένα mole του οξέος;
31. Τι είναι το ιόν οξωνίου; Ποια είναι η σημασία του κατά την περιγραφή της διαστάσεως του οξικού οξέος ως αντιδράσεως οξέος-βάσεως;
32. Όταν σε υδατικό διάλυμα υδροφθορίου, HF, προστεθεί οξικό νάτριο, CH_3COONa, πραγματοποιείται μια αντίδραση, όπου το ασθενές οξύ HF χάνει H^+.
    (α) Να γράψετε την εξίσωση της αντιδράσεως.
    (β) Ποια ασθενής βάση ανταγωνίζεται με το F^- για την απόκτηση των H^+;
33. (α) Να γράψετε την εξίσωση, η οποία δείχνει την αντίδραση οξέος-βάσεως ανάμεσα στο υδρόθειο, H_2S, και το ανθρακικό ιόν, CO_3^{2-}.
    (β) Ποιες είναι οι δύο βάσεις που ανταγωνίζονται για το H^+;
    (γ) Από την τιμή της K_A που δίνεται στον πίνακα 23.2 για τα δυο αντίστοιχα οξέα, να προβλέψετε αν η ισορροπία ευνοεί τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα.
34. Να γράψετε την εξίσωση για την αντίδραση ανάμεσα σε κάθε ένα από τα παρακάτω ζεύγη οξέος-βάσεως:
    (α) $HNO_2(υδ) + NH_3(υδ)$
    (β) $NH_4^+(υδ) + F^-(υδ)$
    (γ) $C_6H_5COOH(υδ) + CH_3COO^-(υδ)$
35. Για κάθε μία από τις αντιδράσεις της ασκήσεως 34, να προβλέψετε αν ευνοούνται τα αντιδρώντα ή τα προϊόντα (χρησιμοποιήστε την τιμή της K_A που δίνεται στο πίνακα 23.2).
36. Να γράψετε τις εξισώσεις για τις αντιδράσεις ανάμεσα σε καθένα από τα παρακάτω ζεύγη οξέος-βάσεως:
    (α) $HNO_2(υδ) + HCO_3^-(υδ)$
    (β) $H_2CO_3(υδ) + NO_2^-(υδ)$
    (γ) $H_2CO_3(υδ) + CO_3^{2-}(υδ)$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής



Οι επιστήμονες αυτοί συναρμολογούν ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο λιθίου/σελινίου. Η ενέργεια που παράγεται από τα ηλεκτροχημικά στοιχεία προέρχεται από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Τις αντιδράσεις (από τις πλέον σημαντικές) που πραγματοποιούνται κάθε φορά που αναβοσβήνετε έναν ηλεκτρικό φανό οι χημικοί τις ονομάζουν αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Μια προσεκτική προσέγγιση των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής θα σας βοηθήσει να κατανοήσετε διατάξεις, όπως είναι οι συσσωρευτές (μπαταρίες).

Πώς λειτουργεί ένας συσσωρευτής; Γιατί παράγει ηλεκτρικό ρεύμα; Γιατί αδειάζει ένας συσσωρευτής; Σε αυτό το κεφάλαιο θα απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα. Θα κατανοήσετε επίσης μεγάλο αριθμό άλλων χημικών διαδικασιών, οι οποίες είναι όμοιες με αυτές των συσσωρευτών. Χαρακτηριστικό αυτών των αντιδράσεων είναι η μεταφορά ηλεκτρονίων από μόρια ή ιόντα σε άλλα μόρια ή ιόντα. Η μεταφορά των ηλεκτρονίων βρίσκεται στην καρδιά των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων.

Επειδή η διερεύνηση μιας χημικής διαδικασίας είναι ο καλύτερος τρόπος για να τη γνωρίσεις, το κεφάλαιο αυτό ξεκινά με ένα πείραμα, κατά το οποίο εξετάζεται μια ηλεκτροχημική αντίδραση. Πρόκειται για μια αντίδραση, κατά την οποία πραγματοποιούνται

Κατανόηση των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

24.1 Η χημεία ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου.

Το 1807 ο Sir Humphry Davy απομόνωσε, με ηλεκτροχημικό τρόπο, το στοιχείο κάλιο από μία ένωσή του. Διαβίβασε ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από υδροξείδιο του καλίου. Από τότε, η ηλεκτροχημεία χρησιμοποιήθηκε σε πλήθος εφαρμογών, πολλές εκ των οποίων εξαρτώνται από τη χρήση ενός απλού ηλεκτροχημικού στοιχείου.

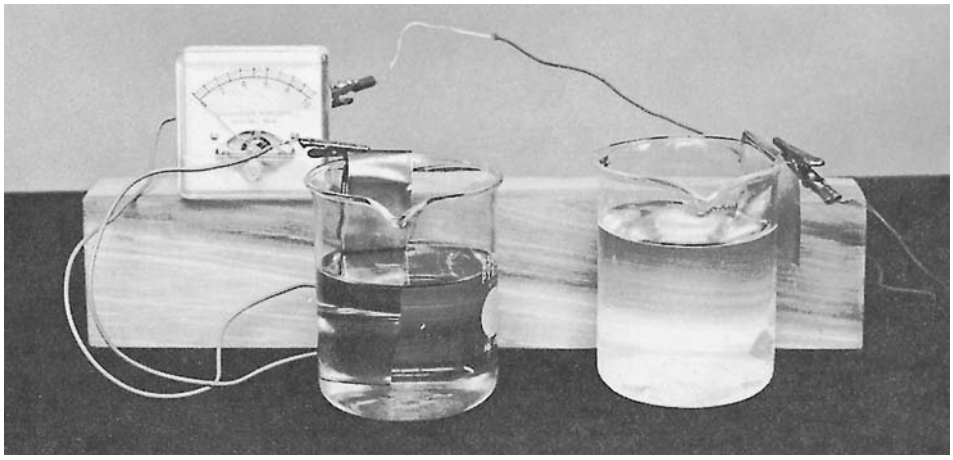
ΣΚΟΠΟΣ

Στο πείραμα που ακολουθεί θα κατασκευάσετε και θα χρησιμοποιήσετε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο. Στη συνέχεια, θα προσδιορίσετε τα προϊόντα της αντιδράσεως, η οποία πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, και θα υπολογίσετε το λόγο της ποσοτικής αναλογίας αυτών των προϊόντων.

ΥΛΙΚΑ

200 ml 0,5 *M* $AgNO_3$*(υδ)*
2 ποτήρια ζέσεως, 250 ml
200 ml 0,5 *M* $CuSO_4$*(υδ)*
Αμπερόμετρο
50 ml 0,5 *M* NH_4NO_3*(υδ)*
Πορώδης υαλοβάμβακας
Λεπτό έλασμα Ag, 2# x 10# cm
Σύρμα καθαρισμού οικιακών σκευών
Λεπτό έλασμα Cu, 2# x 10# cm
Υδροβολέας
30 ml απεσταγμένο νερό
Κωνική φιάλη Erlenmeyer 125 ml
Διηθητικό χαρτί
Δακτύλιος και ορθοστάτης
Χωνί
Ζυγός, σταθμά
Σωλήνας σχήματος U, του οποίου η κάθε πλευρά να είναι περίπου 8-10 cm
Ηθμός διηθήσεως
2 κομμάτια μήκους 46 cm από μονωμένα καλώδια στις άκρες των οποίων έχουν κολληθεί κροκοδειλάκια (λαβίδες που χρησιμοποιούν συνήθως οι ηλεκτρονικοί).

Ειδικές προφυλάξεις. Όταν θα χρησιμοποιήσετε τον υαλοβάμβακα, φορέστε γάντια, για να μην μπουν στο δέρμα σας μικρά κομμάτια υάλου. Να προσέξετε να μην έρθει σε επαφή με τα χέρια σας ο νιτρικός άργυρος, γιατί θα δημιουργήσει μαύρες κηλίδες που φεύγουν πολύ δύσκολα. Αν όμως το διάλυμα έρθει σε επαφή με τα χέρια σας, ξεπλύνετέ τα αμέσως με άφθονο



ΣΧΗΜΑ 24-1.

νερό. Για να μην γίνουν λεκέδες στον πάγκο εργασίας και στο πάτωμα, σκουπίστε αμέσως κάθε σταγόνα και ξεπλύντε τα με νερό.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

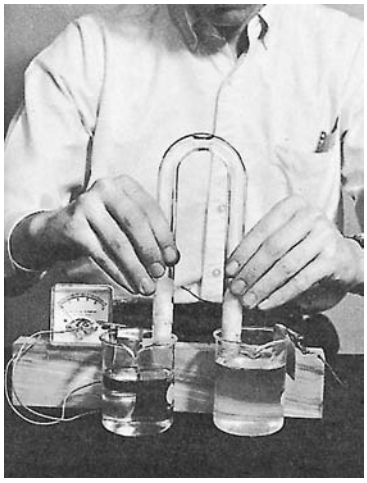
Μέρος Α. Κατασκευή και λειτουργία του ηλεκτροχημικού στοιχείου.

1. Γεμίστε ένα ποτήρι κατά τα δύο τρίτα περίπου με διάλυμα $AgNO_3$. Προσδιορίστε προσεκτικά τη μάζα του ελάσματος του αργύρου, με ακρίβεια 0,01 g. Τοποθετήστε το έλασμα αργύρου μέσα στο ποτήρι έτσι, ώστε το κάτω άκρο του να είναι καλά βυθισμένο μέσα στο διάλυμα (σχ. 24-1).
2. Γεμίστε και το άλλο ποτήρι κατά τα δύο τρίτα περίπου με το διάλυμα $CuSO_4$. Καθαρίστε την επιφάνεια του ελάσματος του χαλκού με ένα κομμάτι σύρμα καθαρισμού. Προσδιορίστε τη μάζα του ελάσματος, με ακρίβεια 0,01g. Βυθίστε το έλασμα του χαλκού μέσα στο ποτήρι του $CuSO_4$ και στερεώστε το, όπως κάνατε και με το έλασμα του αργύρου στο πρώτο ποτήρι.
3. Με το καλώδιο που έχει στις άκρες του τα κροκοδειλάκια συνδέστε το έλασμα του αργύρου με το αμπερόμετρο*. Χρησιμοποιώντας το άλλο καλώδιο (με τα κροκοδειλάκια του) συνδέστε το έλασμα του χαλκού με το άλλο άκρο του αμπερόμετρου (σχ. 24-1). Σημειώστε στο τετράδιό σας ό,τι δείχνει η βελόνα του αμπερόμετρου.
4. Με τη βοήθεια της φιάλης Erlenmeyer κι ενός χωνιού, γεμίστε το σωλήνα σχήματος U με διάλυμα NH_4NO_3 (σχ. 24-2). Κλείστε τα άκρα του σωλήνα με πορώδη υαλοβάμβακα. Χρησιμοποιήστε αυτήν τη διάταξη, γνωστή με το όνομα "γέφυρα άλατος", για να συνδέσετε τα ποτήρια που περιέχουν τα δύο διαλύματα, όπως φαίνεται στο σχήμα 24-3. Προσέξτε τη βελόνα του αμπερόμετρου και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας.
5. Απομακρύνατε τα κροκοδειλάκια από τους ακροδέκτες του οργάνου. Αντιστρέψτε τη συνδεσμολογία, τοποθετώντας το καλώδιο του ελάσματος χαλκού στον ακροδέκτη που προηγουμένως συνδεόταν με το έλασμα του αργύρου και αντίστροφα. Προσέξτε τις ενδείξεις στο όργανο και σημειώστε τις παρατηρήσεις σας.



ΣΧΗΜΑ 24-2.

* *Σ.τ.Μ. Το αμπερόμετρο μετρά τα Ambère. Ambère είναι η μονάδα εντάσεως ηλεκτρικού ρεύματος και δηλώνει το αριθμό ηλεκτρονίων που διέρχονται από τη διατομή ενός αγωγού ανά δευτερόλεπτο).*



ΣΧΗΜΑ 24-3.

6. Όταν το στοιχείο βρίσκεται σε λειτουργία, να παρατηρήσετε τι συμβαίνει στις επιφάνειες των μετάλλων που βρίσκονται βυθισμένα μέσα στα διαλύματα. Αφήστε το στοιχείο να λειτουργήσει για δέκα έως δεκαπέντε λεπτά.

Μέρος Β. Μέτρηση των προϊόντων της ηλεκτροχημικής αντιδράσεως.

1. Απομακρύνατε τη γέφυρα άλατος και αποσυνδέστε τα καλώδια από τα ελάσματα του αργύρου και του χαλκού. Εξετάστε τα μεταλλικά ελάσματα και καταγράψτε οποιαδήποτε αλλαγή παρατηρείτε σε αυτά.
2. Απομακρύνατε το έλασμα του χαλκού από το διάλυμα του $CuSO_4$ και ξεπλύντε το με απεσταγμένο νερό, με τη βοήθεια ενός υδροβολέα.
3. Απομακρύνατε προσεκτικά το έλασμα του αργύρου από το διάλυμα του $AgNO_3$. Με τη βοήθεια απεσταγμένου νερού, ξεπλύντε μέσα στο διάλυμα κάθε ελεύθερο κομματάκι του ελάσματος.
4. Μετρήστε τη μάζα ενός χάρτινου ηθμού με ακρίβεια 0,01 g. Με την τεχνική του σχήματος 19-7, διηθήστε το διάλυμα του $AgNO_3$ μέσα από το χάρτινο ηθμό. Ξεπλύντε το υπόλειμμα πάνω στο χάρτινο ηθμό με απεσταγμένο νερό, ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος διαλύματος από τον ηθμό και από το στερεό υπόλειμμά του. Τοποθετήστε τα ελάσματα αργύρου και χαλκού μαζί με το χάρτινο ηθμό και το στερεό υπόλειμμά του πάνω σε ένα καθαρό κομμάτι χαρτοπετσέτας. Φυλάξτε τα όλα μαζί σε ένα ασφαλές μέρος, για να στεγνώσουν.
5. Όταν όλα τα κομμάτια των ελασμάτων και ο ηθμός στεγνώσουν εντελώς, προσδιορίστε τη μάζα του ελάσματος του χαλκού και σημειώστε το αποτέλεσμα στο τετράδιό σας. Στη συνέχεια, τοποθετήστε πάνω στο ζυγό το έλασμα του αργύρου, μαζί με το χάρτινο ηθμό και το περιεχόμενο σε αυτόν υπόλειμμα, και προσδιορίστε τη συνολική μάζα τους. Αφαιρώντας από το αποτέλεσμα τη μάζα του χάρτινου ηθμού, υπολογίστε τη μάζα του αργύρου.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Βεβαιωθείτε ότι στο τετράδιό σας έχετε καταγράψει τις ακόλουθες μετρήσεις:

Αρχική μάζα ελάσματος χαλκού
Τελική μάζα ελάσματος χαλκού
Αρχική μάζα ελάσματος αργύρου
Τελική μάζα ελάσματος αργύρου, χάρτινου ηθμού και υπολείμματος
Μάζα χάρτινου ηθμού

Υπολογισμοί.

1. Προσδιορίστε τη μεταβολή της μάζας, σε γραμμάρια, του ελάσματος του χαλκού. Να τη χαρακτηρίσετε ως αποκτηθείσα ή απολεσθείσα μάζα.
2. Να επαναλάβετε τον υπολογισμό 1 για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μάζας του αργύρου.
3. Μετατρέψτε την αποκτηθείσα ή απολεσθείσα κατά τη διάρκεια αυτού του πειράματος μάζα του κάθε μετάλλου, σε αποκτηθέντα ή απωλεσθέντα ***moles***.
4. Προσδιορίστε τη σχέση του αριθμού των moles του αποκτηθέντος ή απωλεσθέντος αργύρου με τον αριθμό των moles του αποκτηθέντος ή απωλεσθέντος χαλκού, αντίστοιχα.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Όταν στη διάταξη του στοιχείου συμπεριελήφθη η γέφυρα άλατος, η ένδειξη του αμπερόμετρου άλλαξε;
2. Τι ρόλο παίζει η γέφυρα άλατος στη λειτουργία αυτού του ηλεκτροχημικού στοιχείου;
3. Παρατηρήθηκαν και ποιες μεταβολές, κατά την αντιστροφή της συνδέσεως με τους ακροδέκτες του αμπερόμετρου; Τι συμπεραίνετε από αυτές τις παρατηρήσεις;
4. Αφού λειτούργησε για λίγη ώρα το στοιχείο, ποιες μεταβολές πραγματοποιήθηκαν πάνω στην επιφάνεια των δύο μετάλλων; Να περιγράψετε με δικά σας λόγια τις διαδικασίες που οδήγησαν σε αυτές τις μεταβολές του στοιχείου.
5. Να εξηγήσετε τη σχέση που προσδιορίσατε με τους υπολογισμούς που κάνατε στην υπ' αριθμόν 4 άσκηση της παραγράφου υπό τον τίτλο "υπολογισμοί".

24.2 Εξέταση του ηλεκτροχημικού πειράματος.

Πριν από λίγο ολοκληρώσατε ένα χαρακτηριστικό ηλεκτροχημικό πείραμα. Τώρα θα το μελετήσομε με κάθε λεπτομέρεια. Ας υποτεθεί ότι προσδιορίσατε ότι το έλασμα του χαλκού έχασε 1,27 γραμμάρια, ενώ του αργύρου απέκτησε 4,32 γραμμάρια επί πλέον. Αν μετατρέψετε τη μάζα που χάθηκε ή που αποκτήθηκε από το κάθε μέταλλο σε αυτήν την αντίδραση, σε moles μετάλλων που χάθηκαν ή αποκτήθηκαν, προκύπτει η ακόλουθη ενδιαφέρουσα σχέση:

$$\frac{\text{μάζα απωλεσθέντος Cu}}{\text{μάζα ενός mole Cu}} = \frac{1{,}27\ \text{g}}{63{,}5\ \frac{\text{g}}{\text{mole}}} = 0{,}020\ \text{moles}$$

$$\frac{\text{μάζα Ag που αποκτήθηκε}}{\text{μάζα ενός mole Ag}} = \frac{4{,}32\ \text{g}}{108\ \frac{\text{g}}{\text{mole}}} = 0{,}040\ \text{moles}$$

Είναι σαφές ότι για κάθε mole Cu που διαλύεται κατά την αντίδραση, εναποτίθενται δύο moles Ag πάνω στο έλασμα του Ag. Είναι δυνατόν για τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται μέσα στο κάθε ποτήρι να γραφούν χημικές εξισώσεις. Στο ποτήρι που περιέχει το έλασμα του Cu, άτομα Cu, τα οποία συμβολίζονται ως $Cu(\sigma\tau)$, εγκαταλείπουν την επιφάνεια του ελάσματος και εισέρχονται στο διάλυμα. Στο διάλυμα υπάρχουν ως ιόντα, $Cu^{2+}(\upsilon\delta)$, τα οποία περιβάλλονται από μόρια νερού. Δύο ηλεκτρόνια, που συμβολίζονται $2e^-$, έχουν παραμείνει στο στερεό χαλκό. Αυτό περιγράφεται με την επόμενη χημική εξίσωση:

$$Cu(\sigma\tau) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \qquad (1)$$

Τα ηλεκτρόνια περνούν διά μέσου του ελάσματος του χαλκού και του αμπερόμετρου και στο έλασμα του αργύρου. Εκεί συνδέονται με τα ιόντα του Ag^+ του διαλύματος του $AgNO_3$, τα οποία βρίσκονται στην επιφάνεια του μετάλλου, και σχηματίζουν ουδέτερα άτομα Ag, τα οποία τελικά εναποτίθενται πάνω στο έλασμα του Ag.

$$Ag^+(\upsilon\delta) + e^- \longrightarrow Ag(\sigma\tau) \qquad (2)$$

Το κάθε άτομο Cu που διαλύεται, σχηματίζει ένα ιόν Cu^{2+} και ελευθερώνει δύο ηλεκτρόνια. Έτσι, το κάθε άτομο του Cu, όταν διαλύεται, παρέχει αρκετά ηλεκτρόνια, ώστε να αποτεθούν δύο ιόντα Ag^+ από το διάλυμα ως άτομα Ag. Δηλαδή, από κάθε mole Cu, το οποίο διαλύεται κατά την αντίδραση, εναποτίθενται πάνω στο έλασμα του Ag δύο moles Ag.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αντιδράσεις (1) και (2) διαφέρουν λίγο από εκείνες που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, διότι εκτός από τα άτομα, τα μόρια και τα ιόντα, εμφανίζονται σε αυτές και ηλεκτρόνια.

Το πείραμα που μόλις περιγράψαμε έχει τα κύρια χαρακτηριστικά ***ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου***. Τα βασικά τμήματα ενός τέτοιου στοιχείου είναι τα παρακάτω:

1. Μια αντίδραση, η οποία παρέχει ηλεκτρόνια.
2. Μια αντίδραση, η οποία δέχεται ηλεκτρόνια.

Επειδή η συνολική χημική διαδικασία μέσα σε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο έχει δύο ξεχωριστά τμήματα, το κάθε τμήμα ή αντίδραση ονομάζεται ***αντίδραση ημιστοιχείου***.

Η αντίδραση ημιστοιχείου που πραγματοποιείται στο ποτήρι των $Cu–CuSO_4$ είναι η αντίδραση (1).

$$Cu(\sigma\tau) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \qquad (1)$$

Η αντίδραση ημιστοιχείου που πραγματοποιείται μέσα στο ποτήρι των $Ag–AgNO_3$ είναι η αντίδραση (2).

$$2Ag^+(\upsilon\delta) + 2e^- \longrightarrow 2Ag(\sigma\tau) \qquad (2\alpha)$$

Η συνολική αντίδραση βρίσκεται με πρόσθεση των εξισώσεων των αντιδράσεων των ημιστοιχείων.

$$Cu(\sigma\tau) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \qquad (1)$$

$$2Ag^+(\upsilon\delta) + 2e^- \longrightarrow 2Ag(\sigma\tau) \qquad (2\alpha)$$

$$Cu(\sigma\tau) + 2Ag^+(\upsilon\delta) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2Ag(\sigma\tau) \qquad (3)$$

Στην εξίσωση της συνολικής χημικής αντιδράσεως αυτού του στοιχείου δεν εμφανίζονται ηλεκτρόνια. Κατά συνέπεια, τα ιόντα Ag^+ χρησιμοποίησαν τόσα ηλεκτρόνια, όσα παρήχθησαν από τα άτομα του Cu, τα οποία διαλύθηκαν. Προτού να προστεθούν οι αντιδράσεις των ημιστοιχείων, θα πρέπει να υπολογισθούν οι συντελεστές τους κατά τρόπο, ο οποίος να επαληθεύει αυτήν τη διαπίστωση. Επειδή το κάθε άτομο Cu, όταν διαλύεται για να σχηματίσει ιόντα Cu^{2+} ελευθερώνει δύο ηλεκτρόνια, θα πρέπει η εξίσωση της αντιδράσεως του ημιστοιχείου των $Ag–AgNO_3$ να γραφεί όπως η εξίσωση (2α). Όταν συνδυάζονται οι δύο αντιδράσεις ημιστοιχείων, η απώλεια των ηλεκτρονίων εξισώνεται με την πρόσληψη των ηλεκτρονίων. Αυτό οδηγεί στην εξίσωση της συνολικής αντιδράσεως, την εξίσωση (3), στην οποία δεν εμφανίζονται ηλεκτρόνια.

Θα πρέπει να ακολουθηθεί τώρα κάποια πολύ χρήσιμη ορολογία για την περιγραφή των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται μέσα στα ηλεκτροχημικά στοιχεία.

1. Η αντίδραση ημιστοιχείου κατά την οποία ελευθερώνονται ηλεκτρόνια ονομάζεται ***οξείδωση***. Οξείδωση πραγματοποιήθηκε στο ποτήρι των $Cu–CuSO_4$, όπου διαλύθηκαν άτομα Cu και ελευθερώθηκαν δύο ηλεκτρόνια.

$$Cu(\sigma\tau) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \qquad (1)$$

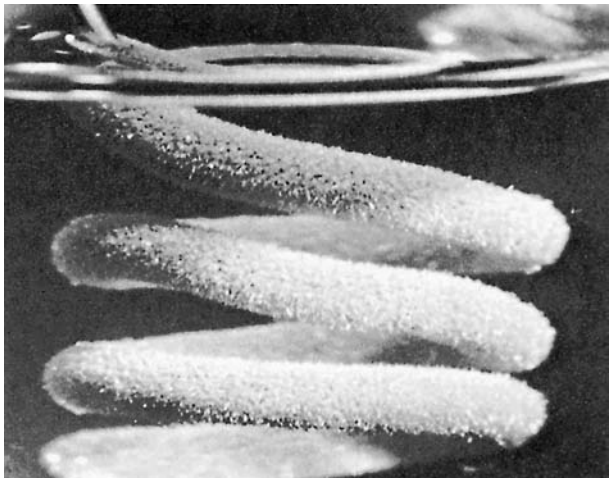
Τα άτομα του Cu λέγεται ότι ***οξειδώθηκαν***.

2. Η αντίδραση του ημιστοιχείου κατά την οποία προσλαμβάνονται ηλεκτρόνια ονομάζεται ***αναγωγή***. Αναγωγή πραγματοποιήθηκε μέσα στο ποτήρι των $Ag–AgNO_3$ όπου ιόντα Ag^+ προσέλαβαν ηλεκτρόνια και έγιναν άτομα Ag.

$$2Ag^+(\upsilon\delta) + 2e^- \longrightarrow 2Ag(\sigma\tau) \qquad (2\alpha)$$

Τα ιόντα του Ag^+ λέγεται ότι ***έχουν αναχθεί***.

3. Η ουσία η οποία προκαλεί αναγωγή σε κάποια άλλη λέγεται ***αναγωγικό μέσο***. Η ουσία η οποία προκαλεί οξείδωση σε μια άλλη, λέγεται ***οξειδωτικό μέσο***. Στο πείραμα που εξετάζεται τώρα, ο $Cu(\sigma\tau)$ είναι το αναγωγικό μέσο ενώ ο $Ag^+(\upsilon\delta)$ είναι το οξειδωτικό μέσο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα αναγωγικό μέσο οξειδώνεται και ένα οξειδωτικό μέσο ανάγεται. Η συνολική αντίδραση που προκύπτει από συνδυασμό των δύο επιμέρους αντιδράσεων ημιστοιχείων ονομάζεται αντίδραση ***οξειδοαναγωγής*** ή ***redox***. Ο όρος "redox" είναι η συντομογραφία της ονομασίας αυτής και προκύπτει από το συνδυασμό των αρχικών συλλαβών των αγγλικών λέξεων reduction–oxidation.



ΣΧΗΜΑ 24-4. *Όταν ένα χάλκινο ελατήριο βυθιστεί μέσα σε διάλυμα νιτρικού αργύρου, επικαλύπτεται από κρυστάλλους αργύρου.*

24.3 Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μέσα σε ένα ποτήρι.

Αν ένα κομμάτι μεταλλικού Cu βυθισθεί μέσα σε ένα ποτήρι που περιέχει διάλυμα $AgNO_3$, παρατηρείται ένα ενδιαφέρον φαινόμενο. Ο χαλκός αρχίζει να επικαλύπτεται από λεπτούς κρυστάλλους μεταλλικού αργύρου, οι οποίοι επικάθηνται στην επιφάνειά του, όπως δείχνει και το σχήμα 24-4. Το άχρωμο διαυγές διάλυμα του $AgNO_3$ αρχίζει να γίνεται γαλάζιο, δηλώνοντας

την παρουσία των διαλυθέντων ιόντων Cu^{2+}.

Παρατηρώντας προσεκτικότερα συμπεραίνομε ότι οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται εδώ είναι όμοιες με εκείνες που περιεγράφησαν στην παράγραφο 24.2. Φαίνεται ότι τα καλώδια, η γέφυρα άλατος και το αμπερόμετρο δεν είναι απαραίτητα για την αντίδραση ανάμεσα στα άτομα του Cu και στα ιόντα του Ag^+. Και σε αυτήν την περίπτωση, ακριβώς όπως και στην περίπτωση του πειράματος του ηλεκτροχημικού στοιχείου, τα άτομα στερεού χαλκού διαλύονται και σχηματίζουν ιόντα Cu^{2+}, ενώ παράλληλα ελευθερώνουν δύο ηλεκτρόνια ανά άτομο.

$$Cu(\sigma\tau) \longrightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^-$$

Τα ιόντα Ag^+ του διαλύματος συνδέονται με αυτά τα ηλεκτρόνια και εναποτίθενται ως ουδέτερα άτομα Ag.

$$2Ag^+(\upsilon\delta) + 2e^- \longrightarrow 2Ag(\sigma\tau)$$

Ας υποτεθεί ότι προσδιορίζετε την απώλεια της μάζας του χαλκού και την εναπόθεση του αργύρου πάνω στο χαλκό, όπως κάνατε και στο προηγούμενο πείραμα. Θα βρείτε ότι ο λόγος ενός mole του χαλκού που διαλύθηκε προς τα δύο moles του αργύρου που εναποτέθηκε εξακολουθεί να ισχύει. Είναι προφανές ότι η μεταφορά των ηλεκτρονίων μπορεί και πραγματοποιείται κατ' ευθείαν ανάμεσα στο μέταλλο και στα ελεύθερα κινούμενα ιόντα στο διάλυμα στο οποίο βρίσκονται.

24.4 Ο ρόλος της γέφυρας άλατος.

Στην προηγούμενη παράγραφο μάθατε ότι δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας γέφυρας άλατος για την αντίδραση ανάμεσα τα άτομα του Cu και τα ιόντα του Ag^+. Γιατί ήταν όμως μια απαίτηση του πειράματος της παραγράφου 24.1; Η απάντηση έχει σχέση με τα φορτία αυτών των διαλυμάτων.

Καθώς εισέρχονται νέα ιόντα Cu^{2+} από το έλασμα του χαλκού στο διάλυμα του θειικού χαλκού, το διάλυμα αρχίζει να αποκτά περίσσεια θετικών φορτίων. Ταυτόχρονα, τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στο διάλυμα του νιτρικού αργύρου απομακρύνουν από αυτό ιόντα Ag^+. Υπάρχει εδώ μια τάση δημιουργίας περίσσειας αρνητικών ιόντων. Ο σχηματισμός της περίσσειας θετικών και αρνητικών φορτίων δεν μπορεί να διαρκέσει για πολύ. Πράγματι, μόνο μικρή ποσότητα ρεύματος είναι δυνατόν να διέλθει, προτού να εξουδετερωθεί η αρχική διάθεση για πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας από τη συσσώρευση περίσσειας φορτίων, η οποία έχει αντίθετα αποτελέσματα. Για να συνεχισθεί η διαδικασία θα πρέπει τα αρνητικά και τα θετικά φορτία μέσα στα δύο διαλύματα να παραμένουν εξισορροπημένα. Κατόπιν αυτού, τα ιόντα θα πρέπει να μπορούν να κυκλοφορούν από το ένα ποτήρι στο άλλο, χωρίς ταυτόχρονα να έρχονται σε επαφή τα ιόντα του Ag^+ με το έλασμα του Cu. Η γέφυρα άλατος επιτρέπει στα ιόντα του NO_3^- να απομακρύνονται από το διάλυμα του $AgNO_3$ και να εισέρχονται στο διάλυμα του $CuSO_4$. Κάτι τέτοιο αποτρέπει τη συσσώρευση υπερβολικού αριθμού ιόντων στο διάλυμα του $AgNO_3$. Εξασφαλίζει επίσης τα απαραίτητα αρνητικά ιόντα για την εξισορρόπηση των φορτίων των νέων ιόντων Cu^{2+} μέσα στο ποτήρι του $CuSO_4$. Κατ' αυτόν τον τρόπο με τη μεταφορά ιόντων, και κυρίως ιόντων NO_3^-, τα διαλύματα και στα δύο ποτήρια παραμένουν ηλεκτρικώς ουδέτερα. Τα ιόντα αυτά δεν συμμετέχουν στην αντίδραση οξειδοαναγωγής που προκαλεί το ρεύμα.

Ως γνωστόν, οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μπορούν να πραγματοποιηθούν πάντα εξ ίσου εύκολα όσο και οι καθαρά χημικές αντιδράσεις. Για να γίνει αυτό, έρχεται απλά σε άμεση επαφή η ουσία που θα οξειδωθεί (για παράδειγμα μεταλλικός Cu) με την ουσία που θα αναχθεί (για παράδειγμα τα ιόντα Ag^+). Στη συνέχεια, διέρχονται "διά επαφής" ηλεκτρόνια κατ' ευθείαν από το ένα υλικό στο άλλο. Αν η αντίδραση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, θα πρέπει να εμποδισθεί αυτή η άμεση επαφή. Για το σκοπό αυτόν, το κάθε μέταλλο πρέπει να βυθισθεί σε ένα διάλυμα των δικών του ιόντων και να τοποθετηθεί σε ξεχωριστό ποτήρι. Προκειμένου τώρα τα ηλεκτρόνια να μεταβούν από το μέταλλο που οξειδώνεται στα ιόντα του άλλου που ανάγεται, πρέπει να συνδεθούν τα δύο ελάσματα των μετάλλων με έναν αγωγό των ηλεκτρονίων, δηλαδή με ένα καλώδιο. Για τον ίδιο σκοπό, δηλαδή για να διατηρηθεί η ροή κάποιου ιόντος ή ιόντων από το ένα ποτήρι στο άλλο, ώστε να κρατηθούν εξισορροπημένα τα αρνητικά με τα θετικά ιόντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γέφυρα άλατος.

24.5 Μερικές ακόμα αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Στο κεφάλαιο των οξέων και των βάσεων αναφέρθηκε ότι η αντίδραση διαλυμάτων οξέων με κάποια μέταλλα, όπως είναι ο ψευδάργυρος, αποτελεί χαρακτηριστική ιδιότητα των οξέων. Ας εξετάσομε τώρα αυτό το είδος της αντιδράσεως πιο προσεκτικά. Αν προστεθεί σε θειικό οξύ μεταλλικός ψευδάργυρος, ο ψευδάργυρος διαλύεται και απελευθερώνει αέριο υδρογόνο. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 24-5.

Ένας αρχάριος σπουδαστής θα μπορούσε να γράψει την παρακάτω αντίδραση:

$$Zn(\sigma\tau) + H_2SO_4(\upsilon\delta) \longrightarrow ZnSO_4(\upsilon\delta) + H_2(\alpha)$$

Είναι όμως αυτό που πραγματικά συμβαίνει σε αυτήν την αντίδραση; Όπως γνωρίζετε, ο Zn αντιδρά με κάθε διάλυμα οξέος και ελευθερώνει υδρογόνο. Είναι επίσης γνωστόν ότι στα διαλύματα των οξέων υπάρχουν ιόντα $H^+(\upsilon\delta)$, και ότι αυτά ευθύνονται για τις όξινες ιδιότητες των διαλυμάτων. Σύμφωνα με αυτά, η προηγούμενη αντίδραση μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$Zn(\sigma\tau) + 2H^+(\upsilon\delta) \longrightarrow Zn^{2+}(\upsilon\delta) + H_2(\alpha)$$

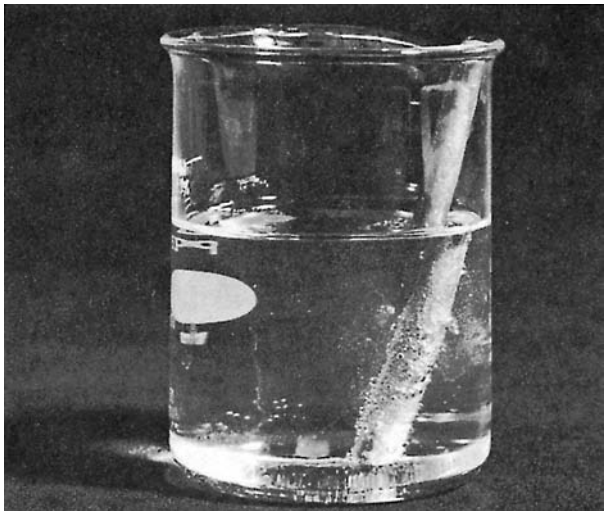
Είναι προφανές ότι τα άτομα του Zn διαλύονται στα όξινα διαλύματα και ελευθερώνουν ηλεκτρόνια. Τα ιόντα H^+ προσλαμβάνουν αυτά τα ηλεκτρόνια και μετατρέπονται σε ουδέτερα άτομα H. Αυτά τα άτομα συνδέονται άμεσα προς μόρια H_2 και διαφεύγουν ως φυσαλίδες αερίου υδρογόνου. Αυτό αποτελεί ένα επί πλέον παράδειγμα αντιδράσεως οξειδοαναγωγής. Ηλεκτρόνια χάνονται από το μέταλλο Zn (οξείδωση) και ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται από τα ιόντα H^+ (αναγωγή). Οι εξισώσεις των αντιδράσεων των ημιστοιχείων γράφονται όπως οι παρακάτω:

$$Zn(\sigma\tau) \longrightarrow Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^-$$
$$2H^+(\upsilon\delta) + 2e^- \longrightarrow H_2(\alpha)$$

Αν τις προσθέσομε, λαμβάνομε την επόμενη συνολική αντίδραση:

$$Zn(\sigma\tau) + 2H^+(\upsilon\delta) \longrightarrow Zn^{2+}(\upsilon\delta) + H_2(\alpha)$$

Προηγουμένως αναφέραμε ότι τα οξέα αντιδρούν με μερικά μέταλλα, όπως ο Zn, και ελευθερώνουν υδρογόνο. Επί πλέον μελέτες έδειξαν ότι πολλά άλλα μέταλλα αντιδρούν με τα οξέα, ακριβώς όπως ο ψευδάργυρος. Ανάμεσα σε αυτά είναι ο σίδηρος, το νικέλιο, το αργίλιο και το μαγνήσιο. Πολλά άλλα όμως δεν αντιδρούν με οξέα. Ανάμεσά τους είναι ο χαλκός, ο χρυσός, ο άργυρος και ο υδράργυρος. Στην επόμενη παράγραφο θα αρχίσετε να κατανοείτε πώς είναι δυνατόν να προβλέψετε αν αυτές αλλά και άλλου τύπου αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν.



ΣΧΗΜΑ 24-5. *Όταν προστεθεί μεταλλικός ψευδάργυρος σε θειικό οξύ, ο ψευδάργυρος διαλύεται και παράγεται αέριο υδρογόνο.*

24.6 Ανταγωνισμός ηλεκτρονίων.

Αν ένα έλασμα ψευδαργύρου εμβαπτισθεί σε διάλυμα νιτρικού χαλκού, σχηματίζεται πάνω στον ψευδάργυρο ένα κοκκινωπό μεταλλικό στρώμα χαλκού. Φαίνεται ότι πρόκειται για αντίδραση οξειδοαναγωγής, κατά την οποία ο ψευδάργυρος χάνει ενώ τα ιόντα χαλκού προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια.

$$Zn(\sigma\tau) + Cu^{2+}(\upsilon\delta) \rightarrow Cu(\sigma\tau) + Zn^{2+}(\upsilon\delta)$$

Το γαλάζιο χρώμα του διαλύματος (που οφείλεται στην παρουσία ιόντων Cu^{2+}) βαθμιαία εξασθενεί, γεγονός που σημαίνει ότι τα ιόντα του Cu^{2+} εξαντλούνται όσο προχωρεί η αντίδραση αυτή. Επίσης, απλά χημικά πειράματα δείχνουν την παρουσία ιόντων Zn^{2+} μέσα στο διάλυμα. Τα ιόντα αυτά δεν υπήρχαν στο διάλυμα πριν από την έναρξη της αντιδράσεως. Η ***οξείδωση*** σε αυτό το παράδειγμα συνίσταται στην ***απώλεια ηλεκτρονίων*** από το μεταλλικό Zn και στο σχηματισμό ιόντων Zn^{2+}.

$$Zn(\sigma\tau) \rightarrow Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^-$$

Η ***αναγωγή*** είναι η ***πρόσληψη ηλεκτρονίων*** από τα ιόντα του Cu^{2+} και ο σχηματισμός καθαρού $Cu(\sigma\tau)$.

$$Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Cu(\sigma\tau)$$

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 24.2, αντιδράσεις αυτού του είδους δεν πραγματοποιούνται μεμονωμένες και ονομάζονται αντιδράσεις ημιστοιχείων. Στο κύκλωμα του στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε κατά το ηλεκτροχημικό πείραμα, δεν κυκλοφορούσε ρεύμα μέχρι τη στιγμή που τα δύο ημιστοιχεία συνδέθηκαν με τη βοήθεια των καλωδίων και της γέφυρας άλατος.

Αξίζει να σημειωθεί και το γεγονός ότι, αν μέσα σε ένα διάλυμα νιτρικού ψευδαργύρου τοποθετηθεί ένα έλασμα μεταλλικού χαλκού, δεν παρατηρείται κάποια αντίδραση. Είναι φανερό ότι οι συνθήκες ισορροπίας ευνοούν σε αυτήν την αντίδραση το σχηματισμό των προϊόντων, δηλαδή του $Cu(\sigma\tau)$ και του $Zn^{2+}(\upsilon\delta)$.

Αν συνεχισθεί η διερεύνηση των αντιδράσεων ανάμεσα σε διάφορα μέταλλα και σε υδατικά διαλύματα άλλων μεταλλικών ιόντων, θα καταλήξομε και σε άλλα παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των προηγουμένων αντιδράσεων. Είδαμε ότι ο χαλκός έχει την τάση, όταν έλθει σε επαφή με ιόντα Ag^+, να δίνει ηλεκτρόνια και να διαλύεται με τη μορφή των ιόντων Cu^{2+}. Δεν έχει όμως την τάση να δίνει ηλεκτρόνια, όταν έλθει σε επαφή με ιόντα Zn^{2+}. Αντίθετα, τα ιόντα Cu^{2+}, όταν έλθουν σε επαφή με $Zn(\sigma\tau)$, ανάγονται σε $Cu(\sigma\tau)$. Είναι φανερό ότι κατά τις αντιδράσεις αυτές σημειώνεται ένας πραγματικός ανταγωνισμός ηλεκτρονίων και κάποια αντιδρώντα ανταγωνίζονται με μεγαλύτερη επιτυχία κάποια άλλα.

Στην πραγματικότητα, οι αντιδράσεις ημιστοιχείων που εξετάσθηκαν μέχρι εδώ είναι δυνατόν να καταταγούν κατά τη φθίνουσα σειρά της τάσεως για πρόσληψη ηλεκτρονίων. Υπενθυμίζεται ότι στο πείραμα της παραγράφου 24.1, το ιόν Ag^+ δέχεται ένα ηλεκτρόνιο από το Cu. Γι' αυτό, το ιόν Ag^+ έχει μεγαλύτερη τάση προσλήψεως ηλεκτρονίων από ό,τι τα ιόντα Cu^{2+}. Οι δύο εξισώσεις που παριστάνουν τις αντιδράσεις του ημιστοιχείου στο πείραμα, μπορούν να γραφούν με το ιόν Ag^+, που προσλαμβάνει ευκολότερα ηλεκτρόνια, πάνω από το ιόν Cu^{2+}.

$$Ag^+(\upsilon\delta) + e^- \rightarrow Ag(\sigma\tau)$$
$$Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Cu(\sigma\tau)$$

Επειδή το ιόν Cu^{2+} δέχεται εύκολα ηλεκτρόνια από τον ψευδάργυρο , το ιόν Zn^{2+} τοποθετείται κάτω από το ιόν Cu^{2+}.

$$Ag^+(\upsilon\delta) + e^- \rightarrow Ag(\sigma\tau)$$
$$Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Cu(\sigma\tau)$$
$$Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Zn(\sigma\tau)$$

Η κατάταξη αυτή βοηθά να προβλέπομε ότι, αφού το ιόν Cu^{2+} έχει μεγαλύτερη τάση να προσλαμβάνει ηλεκτρόνια από το ιόν Zn^{2+}, το ιόν Ag^+ θα πρέπει να δέχεται ένα ηλεκτρόνιο από τον ψευδάργυρο. Για να ελεγχθεί αυτή η πρόβλεψη, τοποθετείται ένα έλασμα μεταλλικού ψευδαργύρου μέσα σε διάλυμα νιτρικού αργύρου. Σε αυτήν την περίπτωση διαπιστώνομε ότι εναποτίθεται μεταλλικός άργυρος πάνω στον ψευδάργυρο και ότι στο διάλυμα εμφανίζονται ιόντα ψευδαργύρου.

Υπενθυμίζεται ότι ο ψευδάργυρος αντιδρά εύκολα με τα οξέα, ελευθερώνοντας αέριο υδρογόνο, ενώ ο χαλκός δεν αντιδρά με τα οξέα κατά ανάλογο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι το ιόν H^+ δέχεται ευκολότερα ηλεκτρόνια από ό,τι το ιόν Zn^{2+}, αλλά όχι τόσο εύκολα όσο το ιόν Cu^{2+}. Έτσι, το ιόν H^+ τοποθετείται πάνω από το ιόν Zn^{2+} και κάτω από το ιόν Cu^{2+}. Με αυτήν την προσθήκη, η κατάταξη δείχνει τώρα την τάση προσλήψεως ηλεκτρονίων για όλες τις περιπτώσεις των αντιδράσεων που εξετάσθηκαν.

$$Ag^+(\upsilon\delta) + e^- \rightarrow Ag(\sigma\tau)$$
$$Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Cu(\sigma\tau)$$
$$2H^+(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow H_2(\alpha)$$
$$Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow Zn(\sigma\tau)$$

Με προσεκτική εργαστηριακή διερεύνηση, είναι δυνατόν να επεκταθεί αυτή η κατάταξη, ώστε να περιληφθούν σε αυτήν πολλές αντιδράσεις αναγωγής ημιστοιχείων. Σημειώνεται ότι η κάθε μία αντίδραση ημιστοιχείου σε μια τέτοια κατάταξη είναι δυνατόν να συνδυασθεί με την αντίστροφη κάποιας άλλης αντιδράσεως ημιστοιχείου και να σχηματίσει μια πιθανή χημική αντίδραση. Επί πλέον μελέτη των δεδομένων των ηλεκτροχημικών στοιχείων δίνει ***ποσοτικές*** πληροφορίες σχετικά με αυτές τις αντιδράσεις.

Περίληψη.

Αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (redox) είναι εκείνες, κατά τις οποίες μια ουσία χάνει ηλεκτρόνια (οξειδώνεται), ενώ μια άλλη προσλαμβάνει ηλεκτρόνια (ανάγεται). Οι αντιδράσεις αυτές ή πραγματοποιούνται άμεσα (μέσα σε ένα ποτήρι) ή έμμεσα (με τη μορφή ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου, το οποίο δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα). Κατά την άμεση αντίδραση, οι ουσίες που πρόκειται να οξειδωθούν και να αναχθούν έρχονται σε άμεση επαφή και διέρχονται ηλεκτρόνια από τη μια στην άλλη. Στο ηλεκτροχημικό στοιχείο, τα ηλεκτρόνια περνούν από το ένα αντιδρών στο άλλο μέσα από έναν αγωγό, ένα καλώδιο. Προκειμένου να διατηρηθούν ουδέτερα τα δύο διαλύματα, μέσα στα οποία σχηματίζονται ή καταναλώνονται ιόντα, θα πρέπει τα διαλύματα να συνδεθούν με γέφυρα άλατος. Η γέφυρα άλατος επιτρέπει στα ιόντα που δεν συμμετέχουν άμεσα στην αντίδραση της οξειδοαναγωγής να περνούν από το ένα δοχείο της αντιδράσεως στο άλλο. Τα τμήματα οξειδώσεως και αναγωγής της συνολικής αντιδράσεως μπορούν να γραφούν ξεχωριστά και να αποτελέσουν τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων. Οι αντιδράσεις των ημιστοιχείων κατατάσσονται με βάση την ευχέρεια διεξαγωγής τους. Κατόπιν αυτού, οποιοδήποτε ζεύγος από αυτές (η μια γραμμένη αντίστροφα) μπορεί να συνδυασθεί και να δώσει μια χημική αντίδραση.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Πότε μια χημική αντίδραση θεωρείται ότι είναι αντίδραση οξειδοαναγωγής;
2. Σε μια αντίδραση οξειδοαναγωγής ποιες ουσίες οξειδώνονται και ποιες ανάγονται;
3. Να ξαναγράψετε την επόμενη αντίδραση, για να δείξετε τι συμβαίνει στην πραγματικότητα ανάμεσα στους ηλεκτρολύτες και να ορίσετε τι οξειδώνεται και τι ανάγεται.

$$Mg(στ) + 2HCl(υδ) \rightarrow MgCl_2(υδ) + H_2(α)$$

Πώς γίνεται η πρόβλεψη των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής;

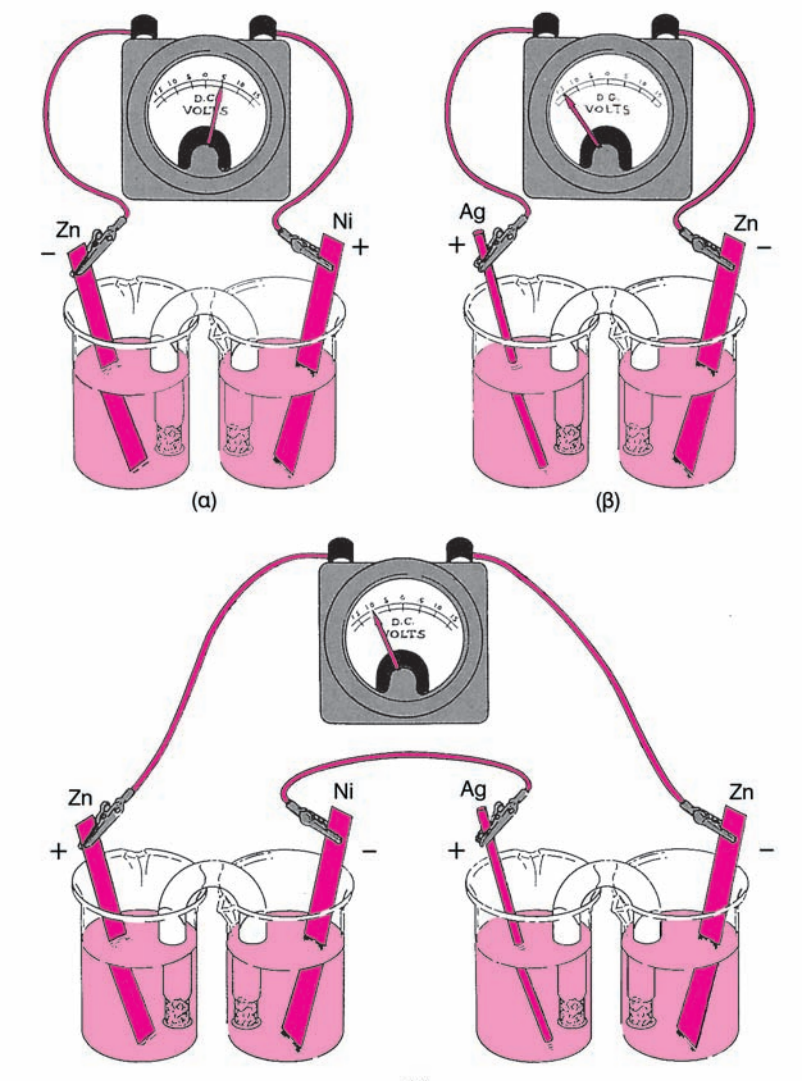
24.7 Μέτρηση των δυναμικών των στοιχείων.

Από απλά πειράματα προκύπτουν πληροφορίες, οι οποίες μας βοηθούν να προβλέψομε αν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί κάποια αντίδραση οξειδοαναγωγής. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιείται ένα όργανο που λέγεται ***βολτόμετρο***. Στο πείραμα της παραγράφου 24.1 χρησιμοποιήσατε έναν άλλο τύπο οργάνου, ένα αμπερόμετρο. Ένα αμπερόμετρο μετρά την ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος σε κάποιο κύκλωμα. Ένα βολτόμετρο μετρά την ικανότητα ή το ***δυναμικό*** του στοιχείου να προωθεί ηλεκτρόνια, με τη βοήθεια ενός εξωτερικού κυκλώματος. Τα ηλεκτρόνια αυτά συνήθως επιτελούν κάποιο έργο και γι' αυτό η δυναμική τους ενέργεια, όταν διέρχονται από το κύκλωμα, ελαττώνεται. Το βολτόμετρο μετρά το δυναμικό του στοιχείου, το οποίο εκφράζεται με τη γνωστή μονάδα ***βολτ***.

Αν τοποθετήσετε το βολτόμετρο στους πόλους (άκρα) καθενός από μερικά διαφορετικά ηλεκτροχημικά στοιχεία, μπορείτε να διαβάσετε τα δυναμικά των στοιχείων στον πίνακα του οργάνου. Οι μετρήσεις αυτές δείχνουν ότι το δυναμικό ποικίλλει από στοιχείο σε στοιχείο. Είναι λοιπόν φανερό ότι η ικανότητα των διαφόρων στοιχείων να παράγουν ηλεκτρισμό ποικίλλει σημαντικά.

Ας εξετάσομε τώρα μερικές από τις τάσεις διαφόρων στοιχείων, ανάμεσα στα οποία είναι και μερικά από αυτά που περιγράψαμε προηγουμένως. Επειδή η συγκέντρωση επηρεάζει τις συνθήκες ισορροπίας μιας χημικής αντιδράσεως, η συγκέντρωση όλων των διαλυμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στα στοιχεία θα είναι ίσες με 1,0 M .

Αν κατασκευάσετε ένα στοιχείο αποτελούμενο από ένα ημιστοιχείο Zn^{2+}–Zn συνδεδεμένο, με μια γέφυρα άλατος, με ένα ημιστοιχείο Ni^{2+}–Ni, όπως δείχνει το σχήμα 24-6α, το βολτόμετρο θα δείξει ότι υπάρχει ροή ηλεκτρονίων από το ημιστοιχείο των Zn^{2+}–Zn (άκρο υψηλού δυναμικού) προς το ημιστοιχείο των Ni^{2+}–Ni



ΣΧΗΜΑ 24-6. *Όταν δύο στοιχεία (επάνω) με αντίθετο δυναμικό συνδεθούν (κάτω), το συνολικό δυναμικό ισούται με τη διαφορά τους και έχει την κατεύθυνση του μεγαλύτερου δυναμικού.*

(άκρο χαμηλού δυναμικού). Η τάση που παράγεται από ένα τέτοιο στοιχείο είναι 0,5 βολτ.

Αν συνδέσετε ένα ημιστοιχείο Zn^{2+}–Zn με ένα ημιστοιχείο Ag^{+}–Ag, όπως φαίνεται στο σχήμα 24-6β, το βολτόμετρο θα δείξει ότι ρέουν ηλεκτρόνια από το ημιστοιχείο των Zn^{2+}–Zn σε αυτό των Ag^{+}–Ag· το δυναμικό θα είναι 1,5 βολτ. Η βελόνα του βολτόμετρου στρέφεται προς την ***αντίθετη*** κατεύθυνση από εκείνη κατά την οποία εστράφη στο στοιχείο των Ni–Zn. Στο πρώτο στοιχείο τα ηλεκτρόνια είχαν μια τάση να κυκλοφορούν μέσα στο κύκλωμα κατά τη μία κατεύθυνση, προωθούμενα με δύναμη 0,5 βολτ. Στο δεύτερο στοιχείο τα ηλεκτρόνια ωθούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση με μία δύναμη των 1,5 βολτ.

Προκύπτει τώρα το εξής ερώτημα: Τι θα συμβεί αν τα δύο στοιχεία συνδεθούν αντίθετα μεταξύ τους, όπως δείχνει το σχήμα 24-6γ; Αν πράγματι συνδεθούν έτσι, τότε το βολτόμετρο θα δείξει την τάση των ηλεκτρονίων να κυκλοφορήσουν προς την ίδια κατεύθυνση με το στοιχείο που έχει το υψηλότερο δυναμικό. Επίσης, το συνολικό τελικό δυναμικό θα είναι 1,0 βολτ. Το δυναμικό αυτό ισούται με 1,5 βόλτ του αρχικού στοιχείου των Ag–Zn, μείον 0,5 βολτ του αρχικού στοιχείου των Ni–Zn. Η αντίδραση η οποία παράγει το υψηλότερο δυναμικό θα επικρατήσει και η συνολική αντίδραση θα πραγματοποιηθεί κατά την κατεύθυνση της επικρατέστερης αντιδράσεως.

Οι χημικοί χρησιμοποιούν το σύμβολο E για να

παραστήσουν το δυναμικό ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου. Έτσι, το δυναμικό του στοιχείου των Ni–Zn εκφράζεται ως E(Ni–Zn) και αυτό του στοιχείου των Ag–Zn ως E(Ag–Zn). Τα σύμβολα αυτά χρησιμοποιούνται και για τις αντιδράσεις που περιγράψαμε προηγουμένως.

$$\begin{aligned} E(\text{συνολικής αντιδράσεως}) &= E(Ag–Zn) – E(Ni–Zn) \\ &= 1{,}5 \text{ βολτ} – 0{,}5 \text{ βολτ} \\ &= 1{,}0 \text{ βολτ} \end{aligned}$$

Ένα άλλο ενδιαφέρον πείραμα αποτελεί η διερεύνηση της τάσεως του στοιχείου των Ag–Ni. Η τάση γίνεται 1,0 βολτ, ακριβώς ίδια με εκείνη που είχε σημειωθεί, όταν τα προηγούμενα δύο στοιχεία είχαν συνδεθεί αντίθετα μεταξύ τους. Αυτό μας επιτρέπει να φαντασθούμε το κάθε ηλεκτροχημικό στοιχείο ως αποτελούμενο από δύο σκέλη: Το ένα σκέλος είναι το χαρακτηριστικό δυναμικό της αντιδράσεως του ενός από τα δύο ημιστοιχεία και το άλλο είναι το χαρακτηριστικό δυναμικό της αντιδράσεως του άλλου ημιστοιχείου του ιδίου συστήματος. Για παράδειγμα, στο στοιχείο του Ag–Zn, είναι δυνατόν να γραφεί η ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} E(\text{στοιχείου Ag–Zn}) &= E(Ag^+–Ag) – E(Zn^{2+}–Zn) \\ &= 1{,}5 \text{ βολτ} \end{aligned}$$

Το δυναμικό ολόκληρου του συστήματος των δύο ημιστοιχείων ισούται με το χαρακτηριστικό δυναμικό του ημιστοιχείου των Ag^+–Ag μείον το χαρακτηριστικό δυναμικό του ημιστοιχείου των Zn^{2+}–Zn. Το ίδιο ισχύει και για το στοιχείο Ni–Zn. Ακολουθεί η εξίσωση:

$$\begin{aligned} E(\text{στοιχείου Ni–Zn}) &= E(Ni^{2+}–Ni) – E(Zn^{2+}–Zn) \\ &= 0{,}5 \text{ βολτ} \end{aligned}$$

Αν τα δύο προηγούμενα ηλεκτροχημικά στοιχεία συνδεθούν αντιθέτως, το δυναμικό του στοιχείου που προκύπτει υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} &E(\text{συνδεδεμένου στοιχείου}) = \\ &\quad = E(\text{στοιχείου Ag–Zn}) – E(\text{στοιχείου Ni–Zn}) \\ &\quad = [E(Ag^+–Ag) – E(Zn^{2+}–Zn)] \\ &\qquad\quad – [E(Ni^{2+}–Ni) – E(Zn^{2+}–Zn)] \\ &\quad = E(Ag^+–Ag) – E(Ni^{2+}–Ni) = 1{,}0 \text{ volt} \end{aligned}$$

Προσέξτε ότι το E της αντιδράσεως του ημιστοιχείου των Zn^{2+}–Zn απαλείφεται και το συνολικό αποτέλεσμα είναι το σύνολο των δυναμικών των αντιδράσεων των ημιστοιχείων του στοιχείου Ag–Ni.

24.8 Μέτρηση των δυναμικών των ημιστοιχείων.

Τα δυναμικά των στοιχείων που μόλις εξετάσθηκαν δείχνουν ότι θα ήταν προτιμότερο να γνωρίζομε την πραγματική συμμετοχή του καθενός από τα ημιστοιχεία στο συνολικό δυναμικό του στοιχείου. Όμως, η τάση η οποία μπορεί να μετρηθεί είναι πάντα η ***διαφορά*** ανάμεσα στα δυναμικά των δύο ημιστοιχείων. Δεν είναι ποτέ δυνατόν να απομονωθεί μόνο το ένα ημιστοιχείο και να μετρηθεί το δυναμικό του.

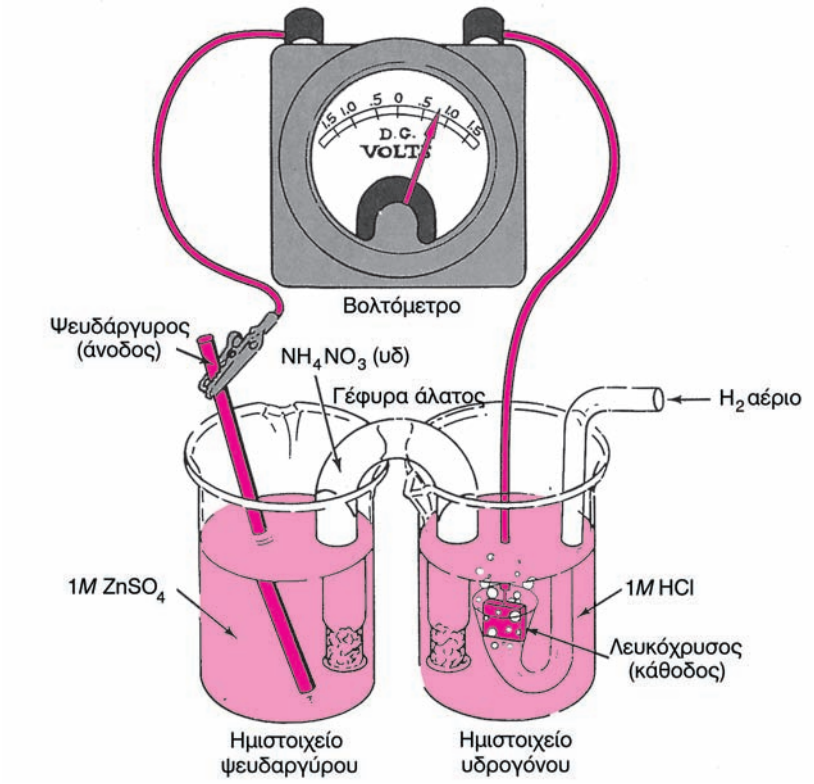
Οι επιστήμονες επιλύουν αυτό το πρόβλημα επιλέγοντας ένα ιδιαίτερο ημιστοιχείο, του οποίου χαρακτήρισαν αυθαίρετα το δυναμικό αντιδράσεως ως 0,00 (μηδέν με όσα δεκαδικά ψηφία θέλετε). Ονομάζεται ***σταθερό ή ημιστοιχείο αναφοράς***. Η τάση οποιουδήποτε ημιστοιχείου μπορεί να μετρηθεί, όταν το ημιστοιχείο αυτό συνδεθεί με το ημιστοιχείο αναφοράς.

Ως αναφορά χρησιμοποιείται η αντίδραση του ημιστοιχείου των $2H^+$–H_2. Το δυναμικό της έχει εξ ορισμού την τιμή 0,00 βολτ.

$$2H^+(υδ) + 2e^- \rightarrow H_2(α)$$
$$E^\circ = 0{,}00 \text{ βολτ}$$

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι, αν η συγκέντρωση του διαλύματος που χρησιμοποιείται κατά την αντίδραση του ημιστοιχείου ποικίλλει, ποικίλλει και η τάση του στοιχείου. Επειδή η τάση του στοιχείου αποτελεί μέτρο της ευκολίας με την οποία πραγματοποιείται η αντίδραση, είναι φυσικό να περιμένει κανείς ότι η ισορροπία θα επηρεάζεται από μια μεταβολή στη συγκέντρωση των προϊόντων ή των αντιδρώντων (αρχή του Le Chatelier). Αν οι μετρήσεις του δυναμικού των ημιστοιχείων πρόκειται να μας δώσουν κάποια πραγματική τιμή, θα πρέπει να γίνουν υπό ορισμένες ***σταθερές*** συνθήκες. Στην πραγματικότητα, ο εκθέτης μηδέν στο σύμβολο E° αναφέρεται σε κάποια ***σταθερή κατάσταση***. Το σύμβολο αυτό δείχνει ότι αυτή η τάση δημιουργείται, όταν όλα τα αντιδρώντα βρίσκονται στις σταθερές καταστάσεις τους. Έτσι, η τιμή E° είναι το δυναμικό αντιδράσεως οποιουδήποτε ημιστοιχείου, το οποίο σχηματίζεται από ουσίες που βρίσκονται στις κανονικές (ή σταθερές) τους καταστάσεις.

Η σταθερή κατάσταση, προκειμένου για τα αέρια, είναι πίεση ίση με 760 Torr (μια ατμόσφαιρα) και θερμοκρασία ίση με 25°C. Ως



ΣΧΗΜΑ 24-7. *Όπως δείχνει και αυτό το πείραμα, είναι δυνατόν να μετρηθεί άμεσα το δυναμικό του ημιστοιχείου Zn^{2+} -Zn σε σχέση με αυτό του $2H^+$ -H_2 το οποίο λαμβάνεται ως μηδέν.*

κανονική (ή σταθερή) κατάσταση των ιόντων που βρίσκονται μέσα σε ένα διάλυμα θεωρείται η συγκέντρωση 1 *M*. Ως σταθερή κατάσταση των καθαρών ουσιών θεωρείται η μορφή την οποία έχουν στους 25°C.

Όταν ως ημιστοιχείο αναφοράς λαμβάνεται το $2H^+$–H_2 και το δυναμικό αναφοράς, το E^o, είναι 0,00 βολτ, τότε μπορούν να μετρηθούν τα δυναμικά πολλών ημιστοιχείων (σχ. 24-7). Οι χημικοί έχουν ήδη μετρήσει τα δυναμικά αυτά και σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις ευρέθησαν για τα διάφορα ημιστοιχεία στους 25°C και συγκριτικά με σταθερό ημιστοιχείο αναφοράς τα επόμενα δυναμικά:

$$Zn^{2+}(\text{υδ, } 1\ M) + 2e^- \rightarrow Zn(\sigma\tau)$$
$$E^o = -0{,}76 \text{ βολτ}$$
$$Cu^{2+}(\text{υδ, } 1\ M) + 2e^- \rightarrow Cu(\sigma\tau)$$
$$E^o = +0{,}34 \text{ βολτ}$$

Όπως ορίσθηκε προηγουμένως, το E^o για κάθε ημιστοιχείο υπολογίζεται από την ευκολία με την οποία προσλαμβάνει ηλεκτρόνια υπό κανονικές συνθήκες και συγκριτικά με την ανάλογη ευκολία του σταθερού ημιστοιχείου ($2H^+$–H_2). ***Θετικό*** πρόσημο τίθεται στα δυναμικά των ημιστοιχείων που προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια ***πιο*** εύκολα από το σταθερό ημιστοιχείο. ***Αρνητικό*** πρόσημο τίθεται στα δυναμικά των ημιστοιχείων που προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια ***δυσκολότερα*** από το σταθερό ημιστοιχείο. Αυτά τα δυναμικά των ημιστοιχείων ονομάζονται ***δυναμικά αναγωγής***, επειδή είναι ενδεικτικά της ευκολίας με την οποία προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια.

24.9 Χρήση των πινάκων με τα δυναμικά αναγωγής.

Στον πίνακα 24.1 δίνονται μερικά σημαντικά και χρήσιμα δυναμικά αναγωγής. Βέβαια, στον πίνακα αυτόν δεν αναφέρονται όλα τα δυναμικά αναγωγής, τα οποία έχουν μετρηθεί προσεκτικά και με ακρίβεια. Όλες οι τιμές αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες αντιδράσεως. Ας συγκρίνομε τώρα τη σειρά των αντιδράσεων των ημιστοιχείων αυτού του πίνακα με τη σειρά των αντιδράσεων των ημιστοιχείων που είχε προκύψει στην παράγραφο 24.6. Θα διαπιστώσομε ότι οι εξισώσεις και στις δύο κατατάξεις έχουν την ίδια σειρά.

Όσο μεγαλύτερη (πιο θετική) είναι η τιμή του E^o για την αντίδραση κάποιου ημιστοιχείου, τόσο

μεγαλύτερη θα είναι η τάση αυτού να προσλάβει ηλεκτρόνια. Γι' αυτό, κατά την αντίδραση ανάμεσα σε οποιαδήποτε ημιστοιχεία, είναι δυνατόν να προβλέψομε ότι θα μετατεθούν ηλεκτρόνια από το ημιστοιχείο με το χαμηλότερο E^o προς το ημιστοιχείο με το υψηλότερο E^o. Επίσης, μπορούμε να υπολογίσομε το συνολικό E^o για την αντίδραση οποιουδήποτε ηλεκτροχημικού στοιχείου, αφού αφαιρέσομε το χαμηλότερο E^o από το υψηλότερο E^o των ημι– στοιχείων που το αποτελούν.

Οι έννοιες που αναπτύχθηκαν οι σχετικές με τις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε αντιδράσεις που πραγματοποιούνται μέσα σε ένα ποτήρι. Γι' αυτό, ***οι χημικοί χρησιμοποιούν τα δυναμικά των ημιστοιχείων, για να προβλέπουν ποιες χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται αυθόρμητα***.

Ας υποτεθεί ότι ένας χημικός θέλει να ξέρει αν ο Zn, όταν έλθει σε επαφή με ένα διάλυμα θειικού νικελίου, θα οξειδωθεί. Για να απαντήσει σε αυτήν την ερώτηση, μπορεί να χρησιμοποιήσει τις τιμές του E^o. Το δυναμικό του ημιστοιχείου για το Zn^{2+}– Zn είναι –0,76 βολτ, και είναι μικρότερο από εκείνο του Ni^{2+}– Ni (–0,25 βολτ). Επειδή το Ni^{2+}–Ni έχει υψηλότερη τιμή από το Zn^{2+}–Zn, το Ni^{2+} θα έχει μεγαλύτερη τάση να προσλάβει ηλεκτρόνια από ό,τι ο Zn^{2+}. Γι' αυτό ο Zn μπορεί να μεταφέρει ηλεκτρόνια στο Ni^{2+}. Ο χημικός προβλέπει: Ο Zn θα αντιδράσει με το Ni^{2+}, ο Zn θα οξειδωθεί και το Ni^{2+} θα αναχθεί.

Ας υποθέσομε ότι η ερώτηση είναι αν ο άργυρος θα οξειδωθεί, όταν βυθισθεί σε θειικό χαλκό. Το δυναμικό του ημιστοιχείου του Ag^+–Ag είναι +0,80 βολτ. Η πρώτη τιμή, +0,80 βολτ, είναι θετικότερη από τη δεύτερη, +0,34 βολτ. Η υψηλότερη τιμή του E^o για το Ag^+–Ag δείχνει ότι έχει μεγαλύτερη τάση να προσλάβει ηλεκτρόνια από ό,τι ο Cu^{2+}. Η οξείδωση του αργύρου ***δεν*** έχει την τάση να πραγματοποιηθεί αυθόρμητα. Ο άργυρος δεν θα οξειδωθεί σε αξιοσημείωτο βαθμό μέσα στο διάλυμα του θειικού χαλκού.

Με τη βοήθεια του πίνακα 24.1, μπορείτε να κάνετε και άλλες γενικεύσεις. Μια ουσία στα αριστερά του βέλους αντιδρά προσλαμβάνοντας ηλεκτρόνια. Μια ουσία στα δεξιά του βέλους αντιδρά χάνοντας ηλεκτρόνια. Έτσι, διατυπώνονται οι επόμενοι κανόνες:

1. Μια αντίδραση οξειδοαναγωγής θα περιλαμβάνει μια ουσία από την αριστερή πλευρά του πίνακα των αντιδράσεων των ημιστοιχείων (δηλαδή κάτι που μπορεί να αναχθεί) και μια ουσία από τη δεξιά πλευρά (κάτι που μπορεί να οξειδωθεί).
2. Μια ουσία από το αριστερό μέρος του πίνακα των αντιδράσεων των ημιστοιχείων έχει την τάση να αντιδρά αυθόρμητα με οποιαδήποτε ουσία στο δεξιό μέρος, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη θέση στον πίνακα. Εφαρμόζοντας αυτούς τους κανόνες, μπορείτε μεταξύ άλλων να προβλέψετε και τα επόμενα αποτελέσματα. Το ιόν του Cu^{2+} ανάγεται σε Cu*(στ)* από το Ni*(στ)* ή τον Zn*(στ)*, αλλά όχι από το ιόν του βρωμίου, Br^-.

ΠΙΝΑΚΑΣ 24.1.
Μερικά κανονικά δυναμικά αναγωγής.

Αντίδραση ημιστοιχείου	E^o Βολτ
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1,52
$Cl_2(α) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1,36
$MnO_2(στ) + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1,28
$Br_2(υγ) + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1,06
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag(στ)$	+0,80
$I_2(στ) + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0,53
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu(στ)$	+0,34
$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2(α)$	0,00
$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni(στ)$	–0,25
$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co(στ)$	–0,28
$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn(στ)$	–0,76

Θα πρέπει πάντα να θυμάστε ότι η εφαρμογή των προβλέψεων αυτών που βασίζονται στον πίνακα 24.1 (ή σε άλλους ανάλογους) εξαρτάται από το αν ισχύουν οι κανονικές συνθήκες. Αν το E^o της συνολικής αντιδράσεως που εξετάζεται είναι ***πολύ μικρό,*** και αν δεν ληφθούν υπόψη ακόμη και μικρές αποκλίσεις από τις κανονικές συνθήκες, είναι δυνατόν να οδηγηθούμε σε λανθασμένη πρόβλεψη. Επίσης, με μόνα τα δεδομένα του πίνακα δεν μπορεί να γίνει πρόβλεψη για το αν μια αντίδραση γίνεται γρήγορα ή αργά. Έτσι, η χρήση ενός πίνακα δυναμικών αναγωγής δεν αποκλείει την ανάγκη για επί πλέον πειραματισμούς. Η συμβολή του όμως είναι σημαντική, διότι βάσει αυτού αποκλείονται οι αντιδράσεις οι οποίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Περίληψη.

Με τη βοήθεια ενός πίνακα που παρουσιάζει τα δυναμικά ορισμένων ημιστοιχείων, όπως είναι ο πίνακας 24.1 ή ο εκτενέστερος που υπάρχει στο παράρτημα 2, μπορούμε να προβλέψομε αν μια αντίδραση οξειδοαναγωγής θα πραγματοποιηθεί (και αν ναι, προς ποια κατεύθυνση). Τα δυναμικά αυτά προκύπτουν από μέτρηση των δυναμικών των ηλεκτροχημικών στοιχείων, καθένα από τα οποία αποτελείται από δύο ημιστοιχεία. Στη συνέχεια, ορίζοντας αυθαίρετα ως τάση ίση με μηδέν την τάση ενός τέτοιου ημιστοιχείου, και συγκεκριμένα του ημιστοιχείου $2H^+–H_2$, υπολογίζονται οι τιμές όλων των άλλων. Εκείνα με τις θετικές τιμές έχουν μεγαλύτερη τάση να δέχονται ηλεκτρόνια από το ημιστοιχείο του $2H^+–H_2$, ενώ αυτά με τις αρνητικές τιμές έχουν μικρότερη τέτοια τάση. Οι υπολογισθείσες τιμές ονομάζονται τιμές E^o. Ο εκθέτης μηδέν σημαίνει ότι ισχύει για κανονικές συνθήκες.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να προβλέψετε με βάση την τιμή του E^o αν το μεταλλικό κοβάλτιο μπορεί να διαλυθεί μέσα σε ένα διάλυμα 1 *M* οξέος, H^+. Κατόπιν προβλέψτε αν το μεταλλικό κοβάλτιο μπορεί να διαλυθεί μέσα σε ένα διάλυμα 1 *M* θειικού ψευδαργύρου.
2. Με τη βοήθεια του πίνακα 24.1, προβλέψτε ποια από τις επόμενες ουσίες μπορεί να οξειδώσει το ιόν του βρωμίου: $Cl_2(\alpha)$, H^+, Ni^{2+};
3. Με τη βοήθεια του ιδίου πίνακα ποια από τις επόμενες ουσίες νομίζετε ότι μπορεί να αναγάγει το $Br_2(\upsilon\gamma)$: Cl^-, $H_2(\alpha)$, $Ni(\sigma\tau)$, Mn^{2+};

Εύρεση συντελεστών στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής

24.10 Αριθμοί οξειδώσεως.

Στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, όπως αυτές που μελετήθηκαν προηγουμένως, σημειώνεται πάντα μια μεταφορά ηλεκτρονίων. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται κατά την αντίδραση της οξειδώσεως θα πρέπει βεβαίως πάντα να είναι ίσος με τον αριθμό αυτών που προσλαμβάνονται κατά την αναγωγή που προκαλείται. Για να γραφεί σωστά μια εξίσωση που παριστάνει αυτό το είδος της αντιδράσεως, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι και οι δύο πλευρές της εξισώσεως είναι σωστά γραμμένες όσον αφορά στα φορτία, αλλά και όσον αφορά στους αριθμούς των διαφόρων ατόμων.

Ως γνωστόν, όταν οι αριθμοί των ατόμων που υπάρχουν στις δύο πλευρές μιας χημικής εξισώσεως είναι άνισοι, μπορεί να εξισωθούν, αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι αριθμοί ως συντελεστές τόσο για τα αντιδρώντα όσο και για τα προϊόντα. Υπενθυμίζεται ότι κατά τη μελέτη της αντιδράσεως ανάμεσα στα άτομα του Cu και στα ιόντα του Ag^+, όταν οξειδώνεται ένα άτομο του χαλκού προς ιόν Cu^{2+}, ελευθερώνονται δύο ηλεκτρόνια (βλ. παράγρ. 24.2).

$$Cu(\sigma\tau) \rightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^-$$

Αντίστοιχα, για την αναγωγή του κάθε ιόντος αργύρου προς άτομο αργύρου, προσλαμβάνεται ένα ηλεκτρόνιο.

$$Ag^+(\upsilon\delta) + e^- \rightarrow Ag(\sigma\tau)$$

Είναι φανερό ότι κάθε άτομο Cu, όταν οξειδώνεται, ελευθερώνει τόσα ηλεκτρόνια, όσα χρειάζονται για να αναχθούν δύο ιόντα Ag^+, αφού το κάθε ιόν του Ag^+ έχει φορτίο 1+ και χρειάζεται μόνο ένα ηλεκτρόνιο για να αναχθεί σε ουδέτερο άτομο αργύρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η αντίδραση ανάμεσα σε Cu και ιόντα Ag^+, η οποία είχε αρχικά την παρακάτω μορφή

$$Cu(\sigma\tau) + Ag^+(\upsilon\delta) \rightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + Ag(\sigma\tau)$$

δεν είναι σωστά ισοσταθμισμένη σε σχέση με τα φορτία της, επειδή, στην αριστερή πλευρά της υπάρχει ένα μοναδικό συνολικό φορτίο, ενώ στη δεξιά πλευρά της υπάρχουν συνολικά δύο φορτία. Η εξίσωση αυτή διορθώνεται, αν γραφούν οι κατάλληλοι συντελεστές.

$$Cu(\sigma\tau) + 2Ag^+(\upsilon\delta) \rightarrow Cu^{2+}(\upsilon\delta) + 2Ag(\sigma\tau)$$

Με την αναγραφή του συντελεστή "2" μπροστά τόσο από το ιόν Ag^+ όσο και από το άτομο Ag γράφεται πλέον ορθά η εξίσωση ως προς τον αριθμό των ατόμων και των φορτίων. Η πρόσληψη και η απώλεια των ηλεκτρονίων και, κατά συνέπεια, οι συντελεστές που πρέπει να τεθούν, για να γραφεί σωστά η εξίσωση, βρίσκονται εύκολα σε μια σχετικά απλή εξίσωση οξειδοαναγωγής, όπως αυτή που αναφέρθηκε λίγο πιο πριν. Όμως, πολλές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής είναι αρκετά πιο πολύπλοκες από ό,τι είναι η σχετικά άμεση ανταλλαγή ηλεκτρονίων ανάμεσα στο άτομο του ενός στοιχείου και στο ιόν του άλλου.

Για παράδειγμα, σε αντιδράσεις που αφορούν πολυατομικά ιόντα, τα οποία περιέχουν άτομα δύο ή και περισσοτέρων στοιχείων, είναι δυνατόν να θεωρηθεί αυθαίρετα ότι τα φορτία των ατόμων του υδρογόνου και του οξυγόνου που περιλαμβάνονται σε κάθε τέτοιου είδους ιόν είναι 1+ και 2– αντίστοιχα. Στη συνέχεια, αποδίδεται κάποιο φορτίο στο υπολειπόμενο άτομο ή άτομα, ώστε το σύνολο όλων των φορτίων που αντιστοιχούν να ισοδυναμεί με το συνολικό φορτίο του πολυατομικού ιόντος. Το ιόν του MnO_4^- (υπερμαγγανικού) για παράδειγμα, έχει συνολικό φορτίο 1–, όπως σημειώνεται. Αν δεχθούμε ότι το κάθε άτομο του οξυγόνου έχει χαρακτηριστικό φορτίο 2–, το συνολικό φορτίο των τεσσάρων ατόμων οξυγόνου μέσα σε αυτό το ιόν θα είναι 8–. Στη συνέχεια, αποδίδομε ένα φορτίο 7+ στο άτομο του Mn και το συνολικό φορτίο του ιόντος γίνεται (8–) + (7+), ή 1–.

Το φορτίο που απεδόθη στο άτομο του Mn με αυτήν τη μέθοδο ονομάζεται ***αριθμός οξειδώσεως***. Πρόκειται για ένα αυθαίρετο φορτίο, όπως είναι όλοι οι αριθμοί οξειδώσεως που αποδίδονται σε όλα τα άτομα και ιόντα με τη μέθοδο αυτή. Παρά ταύτα είναι χρήσιμοι, γιατί βοηθούν στην πρόβλεψη της προσλήψεως ή της απώλειας των ηλεκτρονίων.

Οι αριθμοί οξειδώσεως υπολογίζονται στα άτομα των πολυατομικών μορίων κατά τον ίδιο τρόπο που υπολογίζονται και στα άτομα των πολυατομικών ιόντων. Ας μελετήσομε για παράδειγμα μια εξίσωση, η οποία παριστάνει την αντίδραση οξειδοαναγωγής που συναντήσαμε στο κεφάλαιο 19.

$$2SO_2(\alpha) + O_2(\alpha) \rightleftharpoons 2SO_3(\alpha)$$

Πρόκειται για άλλο παράδειγμα αντιδράσεως οξειδοαναγωγής, κατά την οποία η μεταφορά των ηλεκτρονίων δεν είναι άμεσα εμφανής, όπως ήταν σε κάποιες από τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων. Αν γίνει η ίδια υπόθεση που έγινε και προηγουμένως, τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι το φορτίο του κάθε ατόμου οξυγόνου σε αυτά τα μόρια είναι 2–. Μετά από αυτό υπολογίζονται εύκολα οι αριθμοί οξειδώσεως 4+ και 6+ για τα άτομα του θείου στα SO_2 και SO_3 αντίστοιχα.

24.11 Χρήση των αριθμών οξειδώσεως.

Οι αριθμοί οξειδώσεως χρησιμοποιούνται ως μέσο για τον καθορισμό ενός αυθαίρετου φορτίου σε κάποιο άτομο, ένα ιόν ή ένα μόριο. Βάσει αυτού, όλες οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής αφορούν αλλαγές στους αριθμούς οξειδώσεως. Προκειμένου να διατηρηθεί το φορτίο, θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στις μεταβολές των αριθμών οξειδώσεως. Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των φορτίων των αντιδρώντων και των προϊόντων θα πρέπει να ισούται με μηδέν. Κατά συνέπεια, οι αριθμοί οξειδώσεως βοηθούν στην ισοστάθμιση (εύρεση των σωστών συντελεστών) των εξισώσεων οξειδοαναγωγής.

Προς το παρόν, θα περιορισθούμε στην εξέταση μόνο των μονοατομικών ιόντων και των πολυατομικών ιόντων και μορίων που περιέχουν υδρογόνο και/ή οξυγόνο μαζί με το στοιχείο του οποίου καθορίζεται ο αριθμός οξειδώσεως. Ακολου- θούν οι κανόνες που θα χρησιμοποιηθούν:

1. Ο αριθμός οξειδώσεως ενός μονοατομικού ιόντος ισούται με το φορτίο του ιόντος.
2. Ο αριθμός οξειδώσεως οποιουδήποτε στοιχείου όταν είναι ελεύθερο, όταν δηλαδή δεν συμμετέχει σε χημική ένωση είναι μηδέν.
3. Ο αριθμός οξειδώσεως του υδρογόνου θεωρείται ίσος με 1+ (εκτός από την περίπτωση του H_2, το οποίο βρίσκεται στη στοιχειακή κατάσταση*, και των υδριδίων, τα οποία είναι ενώσεις όπως το NaH, που περιέχουν υδρογόνο και ένα μέταλλο).
4. Ο αριθμός οξειδώσεως του οξυγόνου θεωρείται ίσος με 2– (εκτός από την περίπτωση του O_2, του O_3 και των υπεροξειδίων, όπως είναι το H_2O_2 και το Na_2O_2).
5. Οι άλλοι αριθμοί οξειδώσεως επιλέγονται έτσι, ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των

* *Σ.τ.Μ. Το υδρογόνο στη στοιχειακή του μορφή, H_2, έχει αριθμό οξειδώσεως 0 ενώ στα υδρίδια –1.*

αριθμών οξειδώσεως να ισούται με το συνολικό φορτίο που φέρει το μόριο ή το ιόν.

6. Οι αντιδράσεις θα πρέπει να ισοσταθμίζονται, ώστε η συνολική μεταβολή των αριθμών οξειδώσεως να είναι μηδέν (ο τελευταίος αυτός κανόνας είναι αποτέλεσμα της αρχής διατηρήσεως του φορτίου).

Το πρώτο που πρέπει να γίνει κατά την ισοστάθμιση μιας αντιδράσεως με τη μέθοδο των αριθμών οξειδώσεως (ή με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο) είναι να προσδιορισθούν τα προϊόντα. Όπως είναι φυσικό, η απάντηση παρέχεται από το πείραμα. Για παράδειγμα, $H_2S(\alpha)$ αντιδρά με $MnO_4^-(\upsilon\delta)$ και σχηματίζεται $S(\sigma\tau)$ και $Mn^{2+}(\upsilon\delta)$.

$$\begin{array}{lcl} MnO_4^-(\upsilon\delta) + H_2S(\alpha) & \text{δίνουν} & S(\sigma\tau) + Mn^{2+}(\upsilon\delta) \\ 7+ \qquad\quad 2- & & 0 \qquad 2+ \end{array}$$

Υπολογίζονται οι μεταβολές στους αριθμούς οξειδώσεως.

$$Mn\,7+ \xrightarrow{+(5-)} 2+$$
$$S\,2- \xrightarrow{-(2-)} 0$$

Αν είναι απαραίτητο η αύξηση του αριθμού οξειδώσεως του θείου να ισούται με την απώλεια αυτού του μαγγανίου, τότε θα πρέπει πέντε άτομα θείου να αντιδράσουν με δύο άτομα μαγγανίου.

$$2MnO_4(\upsilon\delta) + 5H_2S(\alpha) \text{ δίνουν } 5S(\sigma\tau) + 2Mn^{2+}(\upsilon\delta)$$
$$2[7+] \xrightarrow{(+5)(2-)=+(10-)} 2[2+]$$
$$5[2-] \xrightarrow{(-2)(2-)=+(10-)} 5[0]$$

Από αυτό το σημείο και εξής εφαρμόζεται η διαδικασία για τη σωστή γραφή της εξισώσεως που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 19. Αφού βρεθεί ο λόγος ανάμεσα στα άτομα που συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία της οξειδοαναγωγής, θα πρέπει να τροποποιηθεί αναλόγως και η εξίσωση.

Στη συνέχεια, πρέπει να επιβεβαιωθεί η αρχή της διατηρήσεως των ατόμων οξυγόνου. Οκτώ άτομα οξυγόνου υπάρχουν στο αριστερό τμήμα. Έτσι, θα πρέπει να προστεθούν οκτώ μόρια H_2O και στο δεξιό τμήμα. Η προσθήκη μορίων νερού σε οποιοδήποτε τμήμα της εξισώσεως επιτρέπεται, γιατί η αντίδραση πραγματοποιείται σε υδατικό διάλυμα. Όταν εξασφαλισθεί η αρχή διατηρήσεως των ατόμων οξυγόνου, λαμβάνεται η επόμενη αντίδραση:

$$2MnO_4^-(\upsilon\delta) + 5H_2S(\alpha) \text{ δίνουν } 5S(\sigma\tau) + 2Mn^{2+}(\upsilon\delta) + 8H_2O(\upsilon\gamma)$$

Η εξίσωση εξακολουθεί να μην είναι ακόμη σωστά ισοσταθμισμένη. Γι' αυτό πρέπει να επιβεβαιώσομε τη διατήρηση των ατόμων υδρογόνου. Στο αριστερό τμήμα υπάρχουν 10 άτομα υδρογόνου (σε $5H_2S$) και στο δεξιό 16 (σε $8H_2O$). Ας υποτεθεί ότι το υπό μελέτη διάλυμα είναι είτε ουδέτερο είτε όξινο. Σε ένα τέτοιο διάλυμα οι χημικοί δέχονται ότι τα άτομα υδρογόνου που χρειάζονται για την ισοστάθμιση της εξισώσεως προέρχονται από τα H^+ (αν το διάλυμα ήταν βασικό, οι χημικοί θα δέχονταν την παρουσία ιόντων OH^-).

$$MnO_4^-(\upsilon\delta) + 5H_2S(\alpha) + 6H^+(\upsilon\delta) \longrightarrow 2Mn^{2+}(\upsilon\delta) + 5S(\sigma\tau) + 8H_2O(\upsilon\gamma)$$

Η εξίσωση πρέπει να είναι τώρα σωστά ισοσταθμισμένη, αλλά η εμπειρία δείχνει ότι ***πάντα*** θα πρέπει να γίνεται ένας έλεγχος με βάση την ισοστάθμιση των φορτίων. Αν η αντίδραση είναι πράγματι σωστά γραμμένη, τα συνολικά φορτία στο κάθε τμήμα της θα πρέπει να είναι ίσα.

$$2[1-] + 5[0] + 6[1+] \stackrel{?}{=} 2[2+] + 5[0] + 8[0]$$
$$2- \qquad\quad 6+ \stackrel{?}{=} 4+$$
$$4+ \stackrel{?}{=} 4+$$

24.12 Αξιοποίηση των αντιδράσεων των ημιστοιχείων για τον υπολογισμό των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις.

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην επιλογή δύο σωστά γραμμένων αντιδράσεων ημιστοιχείων, οι οποίες είναι δυνατόν να προστεθούν και να δώσουν την πλήρη αντίδραση που μελετάται. Αν οι δύο αντιδράσεις ημιστοιχείων περιλαμβάνουν διαφορετικούς αριθμούς ηλεκτρονίων, είναι απαραίτητο να πολλαπλασιασθεί η κάθε αντίδραση με κάποιο κατάλληλο συντελεστή, ώστε όλες να περιλαμβάνουν τον ίδιο αριθμό ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια, όταν θα προστεθούν μεταξύ τους, η μια ως οξείδωση και η άλλη ως αναγωγή, θα εμφανισθούν και στις δύο πλευρές οι ίδιοι αριθμοί ηλεκτρονίων, οι οποίοι και θα αλληλοεξουδετερωθούν.

Για παράδειγμα, ας εξετάσομε την ίδια αντίδραση, την οποία μελετήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο:

$MnO_4^-(υδ) + H_2S(α)$ δίνουν $S(υγ) + Mn^{2+}(υδ)$ (4)

Οι δύο αντιδράσεις ημιστοιχείων που χρειάζονται είναι οι επόμενες:

$$MnO_4^-(υδ) + 8H^+(υδ) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(υδ) + 4H_2O$$
$$S(στ) + 2H^+(υδ) + 2e^- \rightarrow H_2S(α)$$

Και οι δύο αυτές αντιδράσεις ημιστοιχείων βρίσκονται σωστά γραμμένες (ισοσταθμισμένες), στον πίνακα των δυναμικών των ημιστοιχείων που αναφέρεται στο παράρτημα 2. Αν δεν υπήρχε όμως τέτοιος πίνακας, αυτές οι δύο αντιδράσεις ημιστοιχείων θα μπορούσαν να ισοσταθμισθούν με τη βοήθεια μιας ελαφρά τροποποιημένης μορφής της τεχνικής των αριθμών οξειδώσεως που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ας υποτεθεί για παράδειγμα ότι ξεκινάμε με την επόμενη διατύπωση:

MnO_4^- μετατρέπεται σε Mn^{2+}
$7+$ $2+$

όπου κάτω από τα σύμβολα του Mn έχουν γραφεί οι αριθμοί οξειδώσεως. Η πιο εύκολη διαδικασία είναι τώρα ο υπολογισμός ισοσταθμίσεως των ηλεκτρονίων. Επειδή το Mn με αριθμό οξειδώσεως 7+ διαθέτει πέντε ηλεκτρόνια λιγότερα από το Mn^{2+}, πρέπει να προστεθούν πέντε ηλεκτρόνια στην πλευρά της εξισώσεως που εμφανίζεται το $MnO_4)^-$.

$5e^- + MnO_4^-(υδ)$ μετετρέπεται σε Mn^{2+}

Ισοσταθμίζονται τώρα τα άτομα του οξυγόνου με την προσθήκη $4H_2O$ στη δεξιά πλευρά. Κατόπιν αυτού, προστίθενται 8 H^+ στην αριστερή πλευρά για την ισοστάθμιση των ατόμων υδρογόνου. Αυτό συνεπάγεται την αρχή της διατηρήσεως όλων των ατόμων και των ηλεκτρονίων και έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας σωστά γραμμένης (ισοσταθμισμένης) εξισώσεως.

$$5e^- + MnO_4^-(υδ) + 8H^+(υδ) \longrightarrow Mn^{2+}(υδ) + 4H_2O$$

Ελέγχεται και πάλι προσεκτικά η διατήρηση των φορτίων.

$$5(1-) + (1-) + 8(1+) \stackrel{?}{=} (2+) + 4(0)$$
$$5- \quad 1- \quad 8+ \stackrel{?}{=} 2+$$
$$2+ = 2+$$

Όταν έχομε στη διάθεσή μας δύο σωστά γραμμένες αντιδράσεις ημιστοιχείων (είτε με τη βοήθεια κάποιου πίνακα είτε κατόπιν υπολογισμών), θεωρείται σχεδόν λυμένο το πρόβλημα της σωστής γραφής της εξισώσεως για τη συνολική αντίδραση. Στην προκειμένη περίπτωση, η μια από τις ημιαντιδράσεις περιλαμβάνει πέντε ηλεκτρόνια, ενώ η άλλη περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόνια. Γι' αυτό, πρέπει να πολλαπλασιασθεί η πρώτη επί δύο και η δεύτερη επί πέντε.

$$2MnO_4^-(υδ) + 16H^+(υδ) + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}(υδ) + 8H_2O \quad (5)$$
$$5S(στ) + 10H^+(υδ) + 10e^- \rightarrow 5H_2S(α) \quad (6)$$

Για να σχηματισθεί μια εξίσωση που να βασίζεται στην αντίδραση (4), πρέπει να ακολουθηθούν τα επόμενα στάδια:

1. Παραμένει η αντίδραση (5) ως έχει.
2. Γράφεται η αντίστροφη της αντιδράσεως (6).
3. Προστίθενται οι εξισώσεις (5) και (6).
4. Απαλείφονται τα ιόντα υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια και τα μόρια του νερού που εμφανίζονται και στις δύο πλευρές της εξισώσεως.

Τα στάδια αυτά, τα οποία περιγράφονται λίγο πιο κάτω, δίνουν μια σωστά γραμμένη εξίσωση, όμοια με την εξίσωση που προήλθε από την προηγούμενη παράγραφο, όπου εφαρμόσθηκε κατ' ευθείαν στη συνολική εξίσωση η τεχνική των αριθμών οξειδώσεως.

1. $2MnO_4^-(υδ) + 16H^+(υδ) + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}(υδ) + 8H_2O$
2. $5H_2S(α) \rightarrow 5S(στ) + 10H^+(υδ) + 10e^-$
3. $2MnO_4^-(υδ) + 5H_2S(α) + 16H^+(υδ) + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}(υδ) + 5S(στ) + 8H_2O(στ) + 10H^+(υδ) + 10e^-$
4. $2MnO_4^-(υδ) + 5H_2S(α) + 6H^+(υδ) \rightarrow 2Mn^{2+}(υδ) + 5S(στ) + 8H_2O$

Περίληψη.

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής γράφονται σωστά με δύο μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η ακόλουθη. (1) Αφού διατυπωθεί η συνολική αντίδραση, καθορίζονται για όλα τα άτομα οι αριθμοί οξειδώσεως. (2) Στα άτομα των οποίων μεταβάλλονται οι αριθμοί οξειδώσεως, προστίθενται συντελεστές, ώστε η συνολική αύξηση στον αριθμό οξειδώσεως ενός είδους ατόμου να ισούται με τη συνολική μείωση του

αριθμού οξειδώσεως ενός άλλου είδους. (3) Διατηρώντας αυτούς τους αριθμούς ή το λόγο τους σταθερό, γίνονται υπολογισμοί για την υπόλοιπη εξίσωση κατά τα γνωστά. Αν χρειασθεί και αν η αντίδραση πραγματοποιείται μέσα σε υδατικό διάλυμα, είναι δυνατόν να προστεθεί H_2O, $H^+(υδ)$ ή $OH^-(υδ)$, σε κάποια από τις πλευρές της εξισώσεως. Τέλος, ελέγχεται αν οι υπολογισμοί για την εξίσωση των φορτίων έχουν γίνει σωστά.

Κατά τη δεύτερη μέθοδο ακολουθούνται τα επόμενα στάδια. (1) Δύο σωστά γραμμένες αντιδράσεις ημιστοιχείων, αφού πολλαπλασιασθούν με τον κατάλληλο συντελεστή ώστε να εξισωθούν οι αριθμοί των ηλεκτρονίων που περιλαμβάνονται στην κάθε μια, προστίθενται. (2) Τέλος, απαλείφονται τα ηλεκτρόνια, τα ιόντα υδρογόνου και τα μόρια του νερού, τα οποία εμφανίζονται και στις δυο πλευρές της εξισώσεως.

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να αποδείξετε ότι τόσο στο NO_3^- όσο και στο N_2O_5, ο αριθμός οξειδώσεως του αζώτου είναι 5+.
2. Να εξηγήσετε με ποιο τρόπο βοηθούν οι αριθμοί οξειδώσεως τους χημικούς κατά την ισοστάθμιση των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής (redox).

Χρήσιμη Ηλεκτροχημεία

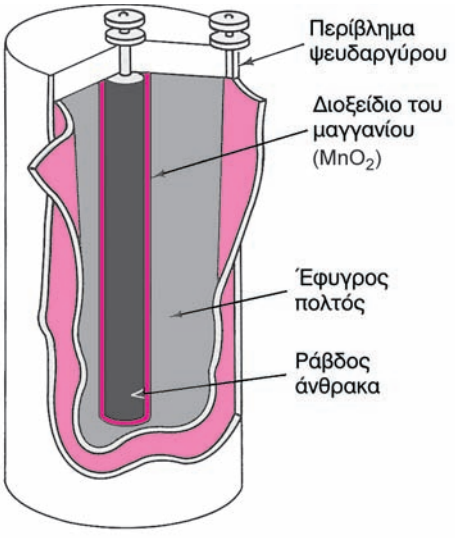
24.13 Συσσωρευτές (μπαταρίες).

Εκτελώντας το πείραμα της παραγράφου 24.1, είδαμε ότι από δύο αντιδράσεις ημιστοιχείων δημιουργήθηκε κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα. Είδαμε επίσης ότι χρησιμοποιήθηκε ένα εξωτερικό κύκλωμα, το οποίο περιελάμβανε ένα καλώδιο και ένα αμπερόμετρο. Ένα εξωτερικό κύκλωμα αυτού του είδους θα μπορούσε, για παράδειγμα, να περιλαμβάνει ένα λαμπάκι, έναν ηλεκτροκινητήρα, ένα ραδιόφωνο με τρανσίστορ ή το κύκλωμα αναφλέξεως ενός αυτοκινήτου. Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρισμού ο οποίος καταναλώνεται από τέτοιες διατάξεις ονομάζονται ***συσσωρευτές ή μπαταρίες***.

Στους συσσωρευτές που έχουν πρακτική εφαρμογή σήμερα πραγματοποιούνται διαφορετικές αντιδράσεις από αυτές που έχομε εξετάσει, αλλά βασίζονται στις ίδιες ακριβώς αρχές. Μπορούμε λοιπόν να εξετάσομε τα δύο πιο κοινά είδη συσσωρευτών και να κατανοήσομε τον τρόπο λειτουργίας τους.

Το ένα είδος συσσωρευτή είναι το ***κοινό ξηρό στοιχείο***. Πρόκειται για το γνωστό τύπο συσσωρευτή που χρησιμοποιείται στους φανούς τσέπης, σε πολλά ραδιόφωνα με τρανσίστορ, καθώς και σε άλλες διατάξεις, οι οποίες απαιτούν σχετικά μικρής εντάσεως και τάσεως ηλεκτρικά ρεύματα. Ο συσσωρευτής αυτού του τύπου αποφορτίζεται χωρίς να μπορεί να επαναφορτισθεί. Είναι διαφορετικός από τον επαναφορτιζόμενο συσσωρευτή που υπάρχει στα αυτοκίνητα. Όπως δείχνει το σχήμα 24-8, το ξηρό στοιχείο περιβάλλεται από έναν κύλινδρο ψευδαργύρου, ενώ στο κέντρο του υπάρχει μια ράβδος από άνθρακα.

Η αντίδραση που παράγει ηλεκτρόνια πραγματοποιείται στο ηλεκτρόδιο του ψευδαργύρου, το οποίο περιβάλλει ολόκληρο το στοιχείο.



ΣΧΗΜΑ 24-8. *Στο σχεδιάγραμμα αυτό (τομή) παρουσιάζεται η δομή ενός κοινού συσσωρευτή του τύπου "ξηρού στοιχείου".*

$$Zn(\sigma\tau) \rightarrow Zn^{2+}(\upsilon\delta) + 2e^-$$

Η αντίδραση που προσλαμβάνει ηλεκτρόνια πραγματοποιείται στη ράβδο του άνθρακα και περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$2NH_4^+(\upsilon\delta) + 2MnO_2(\sigma\tau) + 2e^- \rightarrow 2MnO(OH)(\sigma\tau) + 2NH_3(\upsilon\delta)$$

Ο ηλεκτρολύτης μέσα στο στοιχείο είναι ένας έφυγρος αλλά όχι πραγματικά ρευστός πολτός από χλωριούχο αμμώνιο, νερό και μια αδρανή ουσία. Εξ αιτίας της πολτώδους φύσεως του ηλεκτρολύτη, της παρουσίας ενός πορώδους φύλλου και της μη διαλυτότητας του MnO_2, δεν πραγματοποιείται κατ' ευθείαν χημική αντίδραση ανάμεσα σε Zn και MnO_2.

Ο άλλος γνωστός τύπος συσσωρευτή είναι ο ***συσσωρευτής μολύβδου–θειικού οξέος***, που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα. Αυτού του είδους οι συσσωρευτές ονομάζονται ***στοιχεία αποθηκεύσεως ή συσσωρευτές διαρκείας***, γιατί, όταν καταναλωθεί όλο το ρεύμα τους, είναι δυνατόν με επαναφόρτιση να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας μια τάση στα ηλεκτρόδιά τους, κατά την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή ***επαναφορτίζοντάς*** τους (στην παράγραφο 24.14 περιγράφεται αυτή η διαδικασία, η οποία ονομάζεται ***ηλεκτρόλυση***). Τα ηλεκτρόδια σε αυτόν το συσσωρευτή είναι από μόλυβδο και διοξείδιο του μολύβδου εμβαπτισμένα σε θειικό οξύ που δρα ως ηλεκτρολύτης.

Στο συσσωρευτή μολύβδου, οι δύο αντιδράσεις, κατά τις οποίες παράγονται και καταναλώνονται ηλεκτρόνια, είναι αντίστοιχα οι ακόλουθες:

$$Pb(\sigma\tau) + SO_4^{2-}(\upsilon\delta) \rightarrow PbSO_4(\sigma\tau) + 2e^-$$

$$PbO_2(\sigma\tau) + SO_4^{2-}(\upsilon\delta) + 4H^+(\upsilon\delta) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(\sigma\tau) + 2H_2O(\upsilon\gamma)$$

Η κάθε μια από αυτές τις αντιδράσεις ημιστοιχείων παράγει την ίδια αδιάλυτη ουσία, τον $PbSO_4(\sigma\tau)$, ο οποίος προσκολλάται στις πλάκες. Καθώς εκφορτίζεται το στοιχείο και δημιουργεί ρεύμα, καταναλώνεται οξύ και παράγεται νερό. Η διάρκεια εκφορτίσεως ενός συσσωρευτή μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια του πυκνομέτρου που αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4. Όσο αραιότερο γίνεται το οξύ, τόσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του υγρού*.

24.14 Πραγματοποίηση μιας αντιδράσεως με τη βοήθεια κάποιας τάσεως.

Μέχρι εδώ, στο κεφάλαιο αυτό ασχοληθήκαμε με αντιδράσεις που πραγματοποιούνται αυθόρμητα. Οι ίδιες έννοιες όμως και η ίδια ονοματολογία εφαρμόζονται και σε αντιδράσεις, οι οποίες γίνονται κατόπιν "πιέσεως" παρά τη φυσική τους τάση να μην πραγματοποιούνται. Κατά τις αντιδράσεις αυτές η ενέργεια** προσφέρεται από κάποιο εξωτερικά παρεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Μια διαδικασία αυτού του τύπου ονομάζεται ***ηλεκτρόλυση***. Μολονότι πιθανόν να μην το έχετε συνειδητοποιήσει, έχετε ήδη ασχοληθεί με την ηλεκτρόλυση, κατά την εξέταση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός ιοντικού διαλύματος.

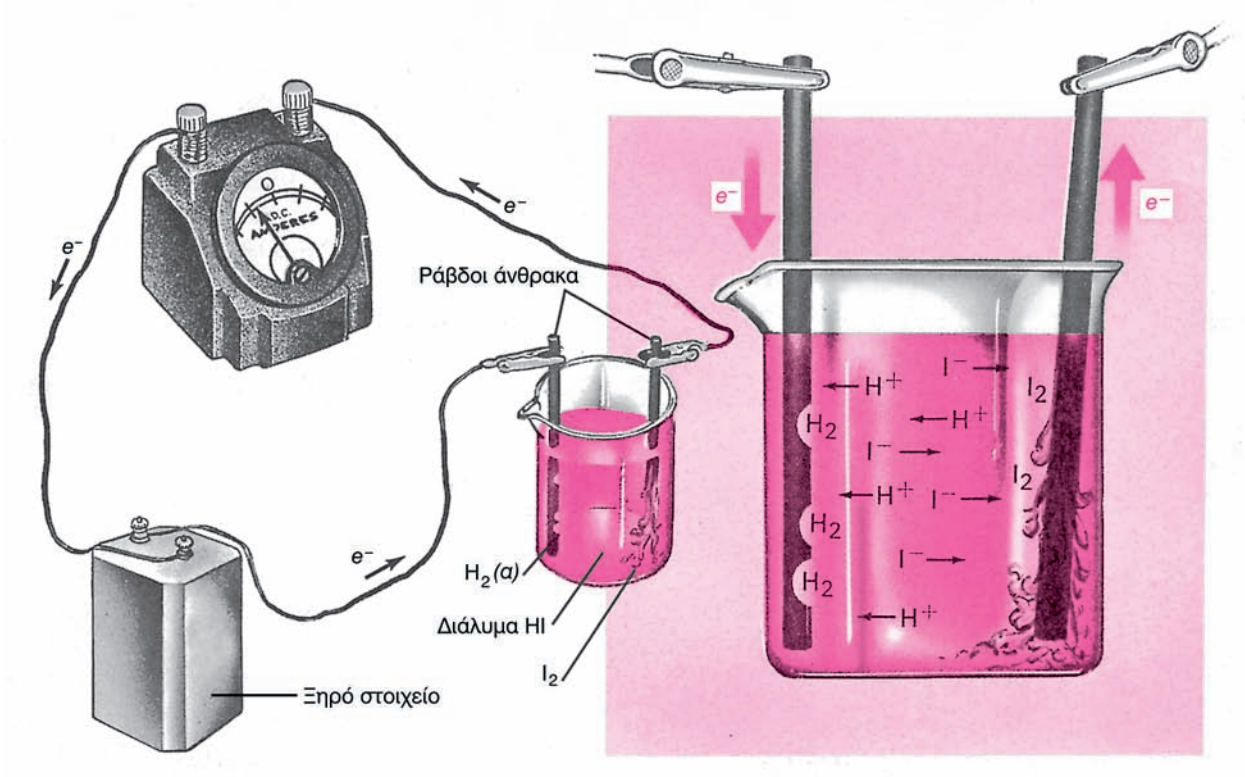
Μια χαρακτηριστική ιδιότητα των ιοντικών διαλυμάτων είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, ακριβώς όπως και στα μετάλλα. Όμως, ο μηχανισμός μεταφοράς του ρεύματος στα ιοντικά διαλύματα διαφέρει από αυτόν των μετάλλων. Στα μέταλλα τα ηλεκτρόνια διαρρέουν ένα μεταλλικό σύρμα χωρίς να μεταβάλλεται χημικά το μέταλλο. Αντίθετα, η κίνηση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από ένα υδατικό διάλυμα ενός ηλεκτρολύτη προκαλεί σημαντικές χημικές μεταβολές.

Ας εξετάσομε για παράδειγμα τη συμπεριφορά ενός υδατικού διαλύματος υδροϊωδίου, όταν αυτό διαρρέεται από ρεύμα (σχ. 24-9). Τα δύο ηλεκτρόδια από άνθρακα, ή οι ράβδοι, συνδέονται με σύρματα στους πόλους ενός συσσωρευτή των δύο βολτ. Ηλεκτρόνια ρέουν από το συσσωρευτή μέσα από το αριστερό ηλεκτρόδιο του άνθρακα και εισέρχονται στο διάλυμα. Ηλεκτρόνια, ίσα τον αριθμό, εγκαταλείπουν το διάλυμα μέσα από το δεξιό ηλεκτρόδιο του άνθρακα και επιστρέφουν στο συσσωρευτή. Το ιόν υδρογόνου, H^+, διαθέτει την ικανότητα να προσλαμβάνει ένα ηλεκτρόνιο από το αριστερό ηλεκτρόδιο, όπου υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων. Το ιόν H^+ μεταβάλλεται χημικά προς ουδέτερο άτομο υδρογόνου. Ένα ιόν ιωδίου, I^-, έχει ένα επί πλέον ηλεκτρόνιο, το οποίο μπορεί να το δώσει στο δεξιό ηλεκτρόδιο. Το ιόν I^- μεταβάλλεται χημικά προς ουδέτερο άτομο ιωδίου. Το τελικό αποτέλεσμα αυτών των δύο χημικών μεταβολών είναι η διαδικασία που ονομάζεται ηλεκτρόλυση.

---

* *Σ.τ.Μ. Και αντίστοιχα το φορτίο του συσσωρευτή.*

** *Σ.τ.Μ. Που απαιτείται για να ακολουθήσει η αντίδραση την μη αυθόρμητη πορεία.*



ΣΧΗΜΑ 24-9. *Η ενέργεια που παρέχεται από ένα ξηρό στοιχείο διοχετεύει ρεύμα μέσα από το διάλυμα των ιόντων H^+ και I^- και δημιουργεί χημικές μεταβολές, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν αυθόρμητα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ηλεκτρόλυση.*

Στη συνέχεια, περιγράφεται πλήρως η διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την κίνηση ενός ηλεκτρονίου διά μέσου ολόκληρου του κυκλώματος του σχήματος 24-9.

1. Ένα ηλεκτρόνιο εγκαταλείπει την αριστερή ράβδο του άνθρακα. Ένα άλλο ηλεκτρόνιο εμφανίζεται στη δεξιά ράβδο του άνθρακα.
2. Εξαφανίζεται ένα ιόν $H^+(υδ)$ και ένα ιόν $I^-(υδ)$ ενώ σχηματίζεται ένα άτομο Η και ένα άτομο Ι.
3. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας καταναλώνονται διαρκώς τα ιόντα H^+ κινούμενα προς την αριστερή πλευρά του διαλύματος, και τα ιόντα I^- κινούμενα προς τη δεξιά. Επειδή στην αριστερή πλευρά καταναλώνονται μόνο θετικά ιόντα, τα υπόλοιπα αρνητικά ιόντα απωθούνται από αυτήν την περιοχή και έλκονται προς τη δεξιά πλευρά του διαλύματος, όπου υπερτερούν τα θετικά ιόντα. Εκεί καταναλώνονται τα αρνητικά ιόντα και κατά συνέπεια τα θετικά ιόντα απωθούνται από τη δεξιά και έλκονται προς την αριστερή περιοχή όπου και υπερτερούν τα αρνητικά ιόντα. Τα ιόντα του ιωδίου, I^-, κινούνται από τα αριστερά προς τα δεξιά διά μέσου του διαλύματος, μεταφέροντας αρνητικά φορτία. Ταυτόχρονα, τα ιόντα του υδρογόνου, H^+, κινούνται από τα δεξιά προς τα αριστερά μέσα από το διάλυμα, μεταφέροντας θετικά φορτία. Αυτή η διαρκής κίνηση των ιόντων διά μέσου του διαλύματος, των θετικών ιόντων προς τη μια πλευρά και των αρνητικών προς την άλλη, ερμηνεύει την αγωγιμότητα των υδατικών διαλυμάτων των ηλεκτρολυτών.
4. Ο συσσωρευτής εξαναγκάζει το ρεύμα να κυκλοφορήσει διά μέσου του διαλύματος και προκαλεί τις χημικές μεταβολές, οι οποίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν αυθόρμητα. Ακολουθεί η συνολική αντίδραση:

$$2H^+(υδ) + 2I^-(υδ) \rightarrow H_2(α) + I_2(στ)$$

Πρόκειται για μια αντίδραση οξειδοαναγωγής, η οποία με ευκολία διαχωρίζεται σε δυο αντιδράσεις ημιστοιχείων.

Αντίδραση	E^o(V)
$2H^+(υδ) + 2e^- = H_2(α)$	0,00
$2I^-(υδ) = I_2(στ) + 2e^-$	–0,53
$2H^+(υδ) + 2I^-(υδ) = H_2(α) + I_2(στ)$	–0,53

Η αρνητική τιμή του E^o= –0,53 βολτ δηλώνει ότι η αντίδραση κατά τον τρόπο που είναι γραμμένη δεν πραγματοποιείται αυθόρμητα. Η τάση αυτή δείχνει επίσης ότι η ηλεκτρόλυση πραγματοποιείται μόνο αν τοποθετηθεί στο εξωτερικό κύκλωμα κάποιο ηλεκτρικό στοιχείο με τάση η οποία υπερβαίνει τα 0,53 βολτ. Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα εξαναγκάζεται να κυκλοφορήσει αντίθετα προς την κατεύθυνση της αυθόρμητης αντιδράσεως.

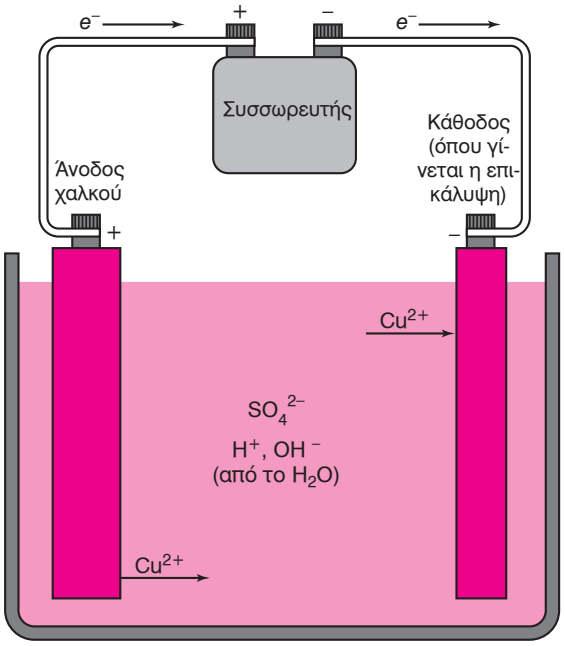
Για να πραγματοποιηθεί ηλεκτρόλυση, εφαρμόζομε μια τάση σε κάποιο διάλυμα συνδέοντας δύο ηλεκτρόδια, ένα στο θετικό και ένα στον αρνητικό πόλο μιας εξωτερικής πηγής ρεύματος, όπως για παράδειγμα ενός συσσωρευτή. Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με το θετικό πόλο είναι εκείνο στο οποίο κάποιο συστατικό του διαλύματος οξειδώνεται. Ονομάζεται ***άνοδος*** (έλκει ανιόντα). Το αρνητικό ηλεκτρόδιο, στο οποίο πραγματοποιείται αναγωγή, ονομάζεται ***κάθοδος*** (έλκει κατιόντα).

24.15 Η διαδικασία της επιμεταλλώσεως.

Μια πολύ σημαντική εφαρμογή των αντιδράσεων ηλεκτρολύσεως είναι η επιμετάλλωση (γαλβανισμός). Πρόκειται για τη διαδικασία κατά την οποία ένα μεταλλικό αντικείμενο βυθίζεται μέσα στο διάλυμα των ιόντων ενός άλλου μετάλλου με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας λεπτής επιστρώσεως του εν διαλύσει μετάλλου επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου.

Συνηθισμένο παράδειγμα αποτελεί η επιχάλκωση. Το διάλυμα που χρησιμοποιείται συνήθως περιέχει θειικό χαλκό, δηλαδή ιόντα Cu^{2+} και ιόντα SO_4^{2-}. Το αντικείμενο επί του οποίου θα εναποτεθεί η επικάλυψη του χαλκού στερεώνεται μέσα στο διάλυμα και συνδέεται με τον αρνητικό πόλο ενός συσσωρευτή ή κάποιας άλλης ανάλογης πηγής ενέργειας. Κατ' αυτόν τον τρόπο το αντικείμενο λειτουργεί ως κάθοδος. Η άνοδος αποτελείται από μια ράβδο καθαρού χαλκού. Στην περίπτωση αυτή λαμβάνει χώρα η επόμενη αντίδραση:

$$\textit{Στην άνοδο}\ Cu(στ) \rightarrow Cu^{2+}(υδ) + 2e^-$$
$$\textit{Στην κάθοδο}\ Cu^{2+}(υδ) + 2e^- \rightarrow Cu(στ)$$



ΣΧΗΜΑ 24-10. *Μια πηγή ρεύματος, για παράδειγμα ένας συσσωρευτής, αναγκάζει το χαλκό της ανόδου να εισέρχεται στο διάλυμα με τη μορφή των ιόντων Cu^{2+}, ενώ η κάθοδος επιμεταλλώνεται από ιόντα Cu^{2+} του διαλύματος.*

Κατ' αυτόν τον τρόπο ο χαλκός εισέρχεται στο διάλυμα από την άνοδο και επικάθεται στην κάθοδο, όπως δείχνει και το σχήμα 24-10. Το "λουτρό της επικαλύψεως" χρησιμεύει απλά για τη μεταφορά του χαλκού από τη ράβδο του καθαρού μετάλλου στην επιφάνεια του αντικειμένου που πρόκειται να επιμεταλλωθεί.

Η επιμετάλλωση με χρώμιο διαφέρει κατά τι. Στην προκειμένη περίπτωση το "λουτρό" είναι ένα εξαιρετικά ιοντισμένο διάλυμα που περιέχει χρωμικά ιόντα, CrO_4^{2-}. Το προς επιμετάλλωση αντικείμενο τοποθετείται και λειτουργεί ως κάθοδος, ενώ το μεταλλικό χρώμιο εναποτίθεται σύμφωνα με την επόμενη αντίδραση:

$$CrO_4^{2-}(υδ) + 8H^+(υδ) + 6e^- \rightarrow Cr(στ) + 4H_2O$$

Η αντίδραση οξειδώσεως που πραγματοποιείται στην άνοδο είναι η ακόλουθη:

$$2H_2O \rightarrow O_2(α) + 4H^+(υδ) + 4e^-$$

Η τροφοδοσία του λουτρού με χρώμιο γίνεται διά προσθήκης CrO_3, το οποίο διαλύεται σύμφωνα με την επόμενη αντίδραση:

$$CrO_3(στ) + H_2O = 2H^+(υδ) + CrO_4^{2-}(υδ)$$



Svante August Arrhenius (1859 - 1927)

Τι συμβαίνει μέσα σε ένα διάλυμα, όταν διαρρέεται από ρεύμα; ΄Οταν ο Svante Arrhenius επέλεξε αυτό το πρόβλημα ως θέμα της διδακτορικής διατριβής του στο πανεπιστήμιο της Ουψάλα στη Σουηδία, οι καθηγητές του πίστεψαν ότι ήταν πολύ δύσκολο και προσπάθησαν να τον αποτρέψουν. Εκείνος όμως που δύσκολα άλλαζε γνώμη, προχώρησε στη μελέτη μεγάλου αριθμού διαλυμάτων, προκειμένου να προσδιορίσει την επίδραση της θερμοκρασίας και της συγκεντρώσεως στην ικανότητά τους να άγουν τον ηλεκτρισμό.

Δεν υπήρχε τίποτα το ιδιαίτερα θεαματικό στα πειράματα του Arrhenius. Χρησιμοποίησε απλές συσκευές, έκανε ακριβείς μετρήσεις και κατέγραψε προσεκτικά τα αποτελέσματά του. Η ευφυία του διεφάνη στο τρόπο με τον οποίο σχεδίαζε τα πειράματα του, επεξεργαζόταν τα δεδομένα του και συσχέτιζε το έργο του με εκείνο άλλων επιστημόνων. Γνώριζε ότι η θερμότητα τής εξουδετερώσεως των ισχυρών οξέων με ισχυρές βάσεις ήταν σχεδόν η ίδια για όλα τα οξέα και τις βάσεις που βρίσκονται σε ισοδύναμες ποσότητες. Οι μετρήσεις του έδειξαν ότι αυτές οι ενώσεις ήταν καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού, αν βρίσκονταν διαλυμένες μέσα σε νερό. Ανακάλυψε επίσης ότι οξέα και βάσεις, των οποίων τα πυκνά διαλύματα άγουν ελάχιστα τον ηλεκτρισμό, γίνονται καλύτεροι αγωγοί, αν αραιωθούν.

Ως αποτέλεσμα των πειραμάτων του διετύπωσε την απόψη ότι τα μόρια των διαλυμένων ουσιών διίστανται σε μικροσκοπικά σωματίδια, τα οποία ονομάζονται ιόντα και τα οποία μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα διά μέσου του διαλύματος. Δικαιολόγησε την ομοιότητα στις θερμοκρασίες εξουδετερώσεως των οξέων και των βάσεων, κατά τρόπο ο οποίος να δείχνει πως όλα τα οξέα πρέπει να περιέχουν ιόντα υδρογόνου, ενώ όλες οι βάσεις υδροξυλιόντα. Προέβλεψε ότι η χημική δραστικότητα των υδατικών διαλυμάτων των οξέων και των βάσεων πρέπει να είναι ανάλογη με την αγωγιμότητά τους.

Τα συμπεράσματα του Arrhenius υπήρξαν τόσο ριζοσπαστικά, ώστε οι καθηγητές του έκαναν αποδεκτή τη διατριβή του με μεγάλο δισταγμό. Κατά τη διάρκεια των επομένων ετών διεξήγαγε πολλά πειράματα, για να πιστοποιήσει την εγκυρότητα των θεωριών του, αλλά η αμφιβολία εξακολουθούσε να υπάρχει. Τελικά, τα πειράματα και τα συμπεράσματά του επιβεβαιώθηκαν από άλλους αξιόλογους επιστήμονες, και το 1903 τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για τη Χημεία.

Περίληψη.

Οι αυθόρμητες αντιδράσεις οξειδοαναγωγής χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο μπορεί να έχει διάφορες εφαρμογές. Οι διατάξεις με τις οποίες επιτυγχάνεται αυτό ονομάζονται συσσωρευτές (μπαταρίες). Στα γνωστά σε όλους ξηρά στοιχεία, η αντίδραση η οποία παράγει ηλεκτρόνια πραγματοποιείται στο ηλεκτρόδιο του ψευδαργύρου. Η αντίδραση κατά την οποία προσλαμβάνονται ηλεκτρόνια πραγματοποιείται στο ηλεκτρόδιο του άνθρακα. Σε ένα συσσωρευτή του τύπου μολύβδου–θειικού οξέος πραγματοποιείται μια αντίδραση με μεταλλικό μόλυβδο που παράγει ηλεκτρόνια και μία με PbO_2 που καταναλώνει ηλεκτρόνια.

Πολλές χημικές αντιδράσεις δεν πραγματοποιούνται αυθόρμητα, αλλά απαιτούν την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής ενέργειας προκειμένου να γίνει δυνατή η έναρξη της αντιδράσεως. Στην περίπτωση όπου αυτή η εξωτερική ενέργεια είναι κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα, η πραγματοποιούμενη αντίδραση αποτελεί τμήμα της διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Η ηλεκτρόλυση μπορεί να εφαρμοσθεί για την παραγωγή πολλών ουσιών, ιδιαίτερα των μετάλλων. Αν η διαδικασία της ηλεκτρολύσεως εφαρμόζεται ειδικά για την εναπόθεση ενός μετάλλου από κάποιο διάλυμα, στο οποίο περιέχονται τα ιόντα του, πάνω σε κάποιο άλλο μεταλλικό αντικείμενο, τότε η διαδικασία αυτή ονομάζεται επιμετάλλωση (γαλβανισμός).

Ελέγξτε τις γνώσεις σας.

1. Να γράψετε τις χημικές εξισώσεις για τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων που πραγματοποιούνται κατά την εκφόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου–θειικού οξέος (παραγωγή ρεύματος). Να γράψετε τις αντιδράσεις που παραγματοποιούνται κατά την επαναφόρτιση.
2. Σε τι διαφέρει ένα κοινό ξηρό στοιχείο από ένα συσσωρευτή μολύβδου–θειικού οξέος;

Περίληψη κεφαλαίου

Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής (redox) είναι αντιδράσεις που σχετίζονται με την πρόσληψη και απώλεια ηλεκτρονίων. Το τμήμα των αντιδράσεων αυτών που αφορά στην απώλεια ηλεκτρονίων ονομάζεται οξείδωση. Το τμήμα που αφορά στην πρόσληψη των ηλεκτρονίων ονομάζεται αναγωγή. Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε αυθόρμητα, κατά τη διάρκεια μιας αντιδράσεως, είτε έμμεσα, με τη λειτουργία ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου, το οποίο παράγει κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα. Με τη βοήθεια ενός πίνακα ο οποίος περιέχει τα δυναμικά των ημιστοιχείων, είναι δυνατόν να προβλέψομε αν κάποια αντίδραση οξειδοαναγωγής μπορεί να πραγματοποιηθεί και προς ποια κατεύθυνση θα προχωρήσει. Υπό κανονικές συνθήκες, οι τιμές του πίνακα αυτού ονομάζονται τιμές κανονικών δυναμικών αναγωγής και συμβολίζονται με το γράμμα $\boldsymbol{E^o}$. Ξεκινούν από μια μηδενική τιμή, η οποία έχει ορισθεί αυθαίρετα ως η αντίστοιχη τιμή E^o του ημιστοιχείου $2H^+ - H_2$.

Η σωστή γραφή των χημικών εξισώσεων των αντιδράσεων οξειδοαναγωγής επιτυγχάνεται με δύο διαφορετικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτοί περιλαμβάνουν (1) τη διατύπωση της συνολικής αντιδράσεως ή (2) τη σωστή γραφή των χημικών εξισώσεων των αντιδράσεων των ημιστοιχείων και, στη συνέχεια, τον υπολογισμό των ηλεκτρονίων, των ιόντων υδρογόνου και των μορίων του νερού που εμφανίζονται και στις δύο πλευρές της συνολικής αντιδράσεως που προκύπτει από την πρόσθεση των αντιδράσεων των ημιστοιχείων.

Ερωτήσεις και προβλήματα.

1. Να ορίσετε με συντομία τους όρους οξείδωση και αναγωγή.
2. Τι συμβαίνει σε μια οξειδωτική ουσία, όταν οξειδώνει μιαν άλλη ουσία;
3. Αν ένα ουδέτερο άτομο αποκτήσει θετικό φορτίο, θα έχει οξειδωθεί ή αναχθεί; Να γράψετε μια γενική εξίσωση αυτής της μεταβολής, χαρακτηρίζοντας το ουδέτερο άτομο με M.
4. Όταν ένα ιόν X^- αποκτήσει φορτίο 2^-, θα έχει

οξειδωθεί ή αναχθεί; Να γράψετε μια γενική εξίσωση, η οποία να παριστά τη μεταβολή.

5. Μια μέθοδος για να σχηματισθεί μεταλλικός χαλκός είναι να αφεθεί ένα διάλυμα, το οποίο περιέχει ιόντα Cu^{2+}, να στάζει πάνω σε σίδηρο. Γράψτε τις εξισώσεις των δύο αντιδράσεων των ημιστοιχείων που πραγματοποιούνται. Να υποτεθεί ότι ο σίδηρος γίνεται Fe^{2+}. Σε ποια αντίδραση ημιστοιχείου θα γίνεται οξείδωση;
6. Το μεταλλικό νικέλιο αντιδρά με ιόντα χαλκού, Cu^{2+}, και ιόντα υδρογόνου, H^+, αλλά όχι και με ιόντα Zn^{2+}. Στην καθεμιά από αυτές τις αντιδράσεις σχηματίζονται ιόντα με φορτίο 2+. Με αυτά τα δεδομένα να επεκτείνετε την τελευταία κατάταξη που αναφέρεται στην παραγράφο 24.6.
7. Ποια θερμοκρασία, συγκέντρωση και πίεση θα πρέπει να διατηρηθεί, αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα κανονικά δυναμικά αναγωγής των αντιδράσεων ημιστοιχείων;
8. Φαντασθείτε ένα ηλεκτροχημικό στοιχείο, το οποίο αποτελείται από ένα ποτήρι που περιέχει διάλυμα θειικού χαλκού και ένα ηλεκτρόδιο χαλκού συνδεδεμένο με κάποιο άλλο ποτήρι που περιέχει διάλυμα νιτρικού αργύρου και ένα ηλεκτρόδιο αργύρου. Στο ποτήρι με το διάλυμα του θειικού χαλκού προστίθεται νερό. Ποιες αλλαγές θα λάβουν χώρα στο ρεύμα του στοιχείου μετά την προσθήκη του νερού;
9. Τι θα συμβεί, αν βυθισθεί ένα κομμάτι μεταλλικού χαλκού μέσα σε ένα διάλυμα ιόντων Cr^{3+}; Να το εξηγήσετε με τη βοήθεια των δυναμικών των ημιστοιχείων που υπάρχουν στο παράρτημα 2.
10. Τι θα συνέβαινε, αν χρησιμοποιούνταν ένα κουτάλι από αλουμίνιο για την ανάδευση διαλύματος $Fe(NO_3)_2$; Τι θα συνέβαινε, αν ένα σιδερένιο κουτάλι χρησιμοποιούνταν για την ανάδευση διαλύματος $AlCl_3$; Αναφερθείτε στο παράρτημα 2.
11. Είναι δυνατόν να φυλαχθεί διάλυμα 1*M* $Fe_2(SO_4)_3$ μέσα σε ένα δοχείο από νικέλιο; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας με τη βοήθεια του παραρτήματος 2.
12. Συμπληρώστε τις επόμενες εξισώσεις. Με τη βοήθεια του παραρτήματος 2, προσδιορίστε το συνολικό δυναμικό του κάθε στοιχείου και προβλέψτε αν μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντίδραση.
    (α) $Zn(\sigma\tau) + Ag^+ \rightarrow$
    (β) $Cu(\sigma\tau) + Ag^+ \rightarrow$
    (γ) $Sn(\sigma\tau) + Fe^{2+} \rightarrow$
    (δ) $Hg(\upsilon\gamma) + H^+ \rightarrow$
13. Να γράψετε τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων για τις επόμενες αντιδράσεις και να προσδιορίσετε τη συνολική αντίδραση. Με τη βοήθεια του παραρτήματος 2, να προβλέψετε αν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί κάποια αντίδραση. Αναφέρατε πού βασισθήκατε για τις προβλέψεις σας.
    (α) $Mg(\sigma\tau) + Sn^{2+} \rightarrow$
    (β) $Mn(\sigma\tau) + Cs^+ \rightarrow$
    (γ) $Cu(\sigma\tau) + Cl_2 \rightarrow$
    (δ) $Zn(\sigma\tau) + Fe^{2+} \rightarrow$
    (ε) $Fe(\sigma\tau) + Fe^{3+} \rightarrow$
14. Ας υποτεθεί ότι οι χημικοί έχουν συμφωνήσει να συμβολίζουν με μηδέν την τιμή της παρακάτω αντιδράσεως ημιστοιχείου:
    $$I_2(\sigma\tau) + 2e^- \rightarrow 2I^-(\upsilon\delta)$$
    (α) Ποια θα είναι η τιμή του E^o της επόμενης αντιδράσεως ημιστοιχείου (χρησιμοποιήσετε το παράρτημα 2);
    $$Na^+(\upsilon\delta) + e^- \rightarrow Na(\sigma\tau)$$
    (β) Κατά πόσο θα μεταβληθεί το συνολικό δυναμικό της επόμενης αντιδράσεως;
    $$2Na(\sigma\tau) + I_2(\sigma\tau) \rightarrow 2Na^+(\upsilon\delta) + 2I^-(\upsilon\delta)$$
15. Τι αριθμό οξειδώσεως έχει ο άνθρακας α) στο μονοξείδιο του άνθρακα, β) στο διοξείδιο του άνθρακα, γ) στο διαμάντι;
16. Να προσδιορίσετε τους αριθμούς οξειδώσεως του ουρανίου στα UO_3, U_3O_8, UO_2 και UO.
17. Όταν τοποθετηθεί χαλκός μέσα σε πυκνό νιτρικό οξύ, HNO_3, σχηματίζεται έντονος αφρισμός, επειδή εκλύεται ένα καστανέρυθρο αέριο, το οποίο είναι το διοξείδιο του αζώτου, NO_2. Ο χαλκός εξαφανίζεται και το άχρωμο διάλυμα μετατρέπεται σε γαλαζοπράσινο εξ αιτίας του σχηματισμού ιόντων χαλκού, Cu^{2+}. Να γράψετε τη συνολική ιοντική εξίσωση αυτής της αντιδράσεως χρησιμοποιώντας τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων.
18. Χρησιμοποιήστε τους αριθμούς οξειδώσεως, για να γράψετε σωστά τη χημική εξίσωση της αντιδράσεως που πραγματοποιείται σε όξινο διάλυμα, ανάμεσα σε ιόντα δισθενούς σιδήρου, Fe^{2+}, και υπερμαγγανικά ιόντα, MnO_4^-, για το σχηματισμό ιόντων τρισθενούς σιδήρου, Fe^{3+}, και ιόντων μαγγανίου, Mn^{2+}.
19. Με τη βοήθεια των αριθμών οξειδώσεως, να

γράψετε σωστά μια χημική εξίσωση για κάθε μια από τις επόμενες αντιδράσεις:
(α) $HBr + H_2SO_4$ δίνει $SO_2 + Br_2 + H_2O$
(β) $NO_3^- + Cl^- + H^+$ δίνει $NO + Cl_2 + H_2O$
(γ) $Zn + NO_3^- + H^+$ δίνει $Zn^{2+} + NO_2 + H_2O$
(δ) BrO^- δίνει $Br^- + BrO_3^-$

20. Δείξτε ότι εκτός από τους γνωστούς αριθμούς οξειδώσεως είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι αριθμοί για τη σωστή γραφή της χημικής εξισώσεως της αντιδράσεως της ασκήσεως 18. Για το σκοπό αυτό υποθέστε ότι ο αριθμός οξειδώσεως του μαγγανίου στο MnO_4^- είναι 2+. Συγκρίνατε την απάντησή σας με αυτήν που δώσατε στην άσκηση 18.
21. Να χρησιμοποιήσετε τις αντιδράσεις των ημιστοιχείων του παραρτήματος 2 για να γράψετε σωστά χημικές εξισώσεις για κάθε μια από τις επόμενες αντιδράσεις:
(α) $H_2O_2 + I^- + H^+$ δίνει $H_2O + I_2$
(β) $Cr_2O_7^{2-} + Fe^{2+} + H^+$ δίνει $Cr^{3+} + Fe^{3+} + H_2O$
(γ) $Cu + NO_3^- + H^+$ δίνει $Cu^{2+} + NO + H_2O$
(δ) $MnO_4^- + Sn^{2+} + H^+$ δίνει $Mn^{2+} + Sn^{4+} + H_2O$
22. Αν θέλετε να επαργυρώσετε εκ νέου ένα ασημένιο κουταλάκι, θα το τοποθετήσετε ως άνοδο ή ως κάθοδο σε κάποιο στοιχείο; Για να δικαιολογήσετε την απάντησή σας χρησιμοποιήστε αντιδράσεις ημιστοιχείων. Πόσα moles ηλεκτρονίων χρειάζονται, για να επικαθήσει ένα γραμμάριο Ag;
23. Κατά την ηλεκτρόλυση υδατικού βρωμιούχου χαλκού, στο ένα ηλεκτρόδιο αποτίθενται 0,500 γραμμάρια χαλκού. Πόσα γραμμάρια βρωμίου σχηματίζονται στο άλλο ηλεκτρόδιο; Να γράψετε τις αντιδράσεις ημιστοιχείων της ανόδου και της καθόδου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Σχετική ισχύς των οξέων

Σε υδατικά διαλύματα και θερμοκρασία δωματίου

$$HB \rightleftharpoons H^{+}(\text{υδ}) + B^{-}(\text{υδ}) \qquad K_A = \frac{[H^+][B^-]}{[HB]}$$

Οξύ	Ισχύς	Αντίδραση	K_A
υπερχλωρικό οξύ	πολύ ισχυρό	$HClO_4 \longrightarrow H^+ + ClO_4^-$	πολύ μεγάλη
υδροϊωδικό οξύ (υδροϊώδιο)		$HI \longrightarrow H^+ + I^-$	πολύ μεγάλη
υδροβρωμικό οξύ (υδροβρώμιο)		$HBr \longrightarrow H^+ + Br^-$	πολύ μεγάλη
υδροχλωρικό οξύ (υδροχλώριο)		$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$	πολύ μεγάλη
νιτρικό οξύ		$HNO_3 \longrightarrow H^+ + NO_3^-$	πολύ μεγάλη
θειικό οξύ	πολύ ισχυρό	$H_2SO_4 \longrightarrow H^+ + HSO_4^-$	μεγάλη
οξαλικό οξύ	ισχυρό	$HOOCCOOH \longrightarrow H^+ + HOOCCOO^-$	5.4×10^{-2}
θειώδες οξύ ($SO_2 + H_2O$)		$H_2SO_3 \longrightarrow H^- + HSO_3^-$	1.7×10^{-2}
όξινο θειικό ιόν		$HSO_4^- \longrightarrow H^+ + SO_4^{2-}$	1.3×10^{-2}
φωσφορικό οξύ		$H_3PO_4 \longrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$	7.1×10^{-3}
υδροτελλούριο	ισχυρό	$H_2Te \longrightarrow H^+ + HTe^-$	2.3×10^{-3}
υδροφθορικό οξύ (υδροφθόριο)	ασθενές	$HF \longrightarrow H^+ + F^-$	6.7×10^{-4}
νιτρώδες οξύ		$HNO_2 \longrightarrow H^+ + NO_2^-$	5.1×10^{-4}
υδροσελήνιο		$H_2Se \longrightarrow H^+ + HSe^-$	1.7×10^{-4}
βενζοϊκό οξύ		$C_6H_5COOH \longrightarrow H^+ + C_6H_5COO^-$	6.6×10^{-5}
όξινο οξαλικό ιόν		$HOOCCOO^- \longrightarrow H^+ + OOCCOO^{2-}$	5.4×10^{-5}
οξικό οξύ		$CH_3COOH \longrightarrow H^+ + CH_3COO^-$	1.8×10^{-5}
ιόν υδροτελλουρίου		$HTe^- \longrightarrow H^+ + Te^{2-}$	10^{-5}
ανθρακικό οξύ ($CO_2 + H_2O$)		$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$	4.4×10^{-7}
υδρόθειο		$H_2S \longrightarrow H^+ + HS^-$	1.0×10^{-7}
δισόξινο φωσφορικό ιόν		$H_2PO_4^- \longrightarrow H^+ + HPO_4^{2-}$	6.3×10^{-8}
όξινο θειώδες ιόν		$HSO_3^- \longrightarrow H^+ + SO_3^{2-}$	6.2×10^{-8}
ιόν αμμωνίου		$NH_4^+ \longrightarrow H^+ + NH_3$	5.7×10^{-10}
όξινο ανθρακικό ιόν	ασθενές	$HCO_3^- \longrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$	4.7×10^{-11}
υπεροξείδιο του υδρογόνου	πολύ ασθενές	$H_2O_2 \longrightarrow H^+ + HO_2^-$	2.4×10^{-12}
μονο-όξινο φωσφορικό ιόν		$HPO_4^{2-} \longrightarrow H^+ + PO_4^{3-}$	4.4×10^{-13}
όξινο θειούχο ιόν		$HS^- \longrightarrow H^+ + S^{2-}$	1.3×10^{-13}
νερό		$H_2O \longrightarrow H^+ + OH^-$	1.0×10^{-14}
υδροξύλιο		$OH^- \longrightarrow H^+ + O^{2-}$	$< 10^{-30}$
αμμωνία	πολύ ασθενές	$NH_3 \longrightarrow H^+ + NH^-$	πολύ μικρή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Κανονικά δυναμικά αναγωγής των ημι-αντιδράσεων

Ιοντικές συγκεντρώσεις = 1 M σε νερό, θερμοκρασία = 25 °C

Ισχύς όταν αντιδρούν ως οξειδωτικά μέσα	Ημι-αντίδραση	E° (volts)	Ισχύς όταν αντιδρούν ως αναγωγικά μέσα
πολύ ισχυρά οξειδωτικά μέσα	$F_2(\alpha) + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	+2.87	πολύ ασθενή αναγωγικά μέσα
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	+1.77	
	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.52	
	$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au(\sigma\tau)$	+1.50	
	$Cl_2(\alpha) + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	+1.36	
	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1.33	
	$MnO_2(\sigma\tau) + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	+1.28	
	$\frac{1}{2}O_2(\alpha) + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O$	+1.23	
	$Br_2(l) + 2e^- \longrightarrow 2Br^-$	+1.08	
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow NO(\alpha) + 2H_2O$	+0.96	
	$\frac{1}{2}O_2(\alpha) + 2H^+(10^{-7}\,M) + 2e^- \longrightarrow H_2O$	+0.82	
	$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag(\sigma\tau)$	+0.80	
	$\frac{1}{2}Hg_2^{2+} + e^- \longrightarrow Hg(l)$	+0.79	
	$Hg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Hg(l)$	+0.78	
	$NO_3^- + 2H^+ + e^- \longrightarrow NO_2(\sigma\tau) + H_2O$	+0.78	
	$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$	+0.77	
	$O_2(\alpha) + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2O_2$	+0.68	
	$I_2(\sigma\tau) + 2e^- \longrightarrow 2I^-$	+0.53	
	$Cu^+ + e^- \longrightarrow Cu(\sigma\tau)$	+0.52	
	$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu(\sigma\tau)$	+0.34	
αυξανόμενη ισχύς οξειδωτικών μέσων	$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow SO_2(\alpha) + 2H_2O$	+0.17	αυξανόμενη ισχύς αναγωγικών μέσων
	$Cu^{2+} + e^- \longrightarrow Cu^+$	+0.15	
	$Sn^{4+} + 2e^- \longrightarrow Sn^{2+}$	+0.15	
	$S + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2S(\alpha)$	+0.14	
	$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2(\alpha)$	0.00	
	$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb(\sigma\tau)$	−0.13	
	$Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn(\sigma\tau)$	−0.14	
	$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni(\sigma\tau)$	−0.25	
	$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co(\sigma\tau)$	−0.28	
	$Se + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2Se(\alpha)$	−0.40	
	$Cr^{3+} + e^- \longrightarrow Cr^{2+}$	−0.41	
ασθενή οξειδωτικά μέσα	$2H^+(10^{-7}\,M) + 2e^- \longrightarrow H_2(\alpha)$	−0.41	
	$Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe(\sigma\tau)$	−0.44	
	$Ag_2S + 2e^- \longrightarrow 2Ag(\sigma\tau) + S^{2-}$	−0.69	
	$Te + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2Te(\alpha)$	−0.72	
	$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr(\sigma\tau)$	−0.74	
	$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn(\sigma\tau)$	−0.76	
	$2H_2O + 2e^- \longrightarrow 2OH^- + H_2(\alpha)$	−0.83	
	$Mn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mn(\sigma\tau)$	−1.18	
	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al(\sigma\tau)$	−1.66	
	$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg(\sigma\tau)$	−2.37	
	$Na^+ + e^- \longrightarrow Na(\sigma\tau)$	−2.71	
	$Ca^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ca(\sigma\tau)$	−2.87	
	$Sr^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sr(\sigma\tau)$	−2.89	
	$Ba^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ba(\sigma\tau)$	−2.90	
	$Cs^+ + e^- \longrightarrow Cs(\sigma\tau)$	−2.92	
	$K^+ + e^- \longrightarrow K(\sigma\tau)$	−2.92	
πολύ ασθενή οξειδωτικά μέσα	$Rb^+ + e^- \longrightarrow Rb(\sigma\tau)$	−2.92	πολύ ισχυρά αναγωγικά μέσα
	$Li^+ + e^- \longrightarrow Li(\sigma\tau)$	−3.00	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Ατομικές μάζες των στοιχείων

Στοιχείο	Σύμβολο	Ατομικός αριθμός	Ατομική μάζα
Ακτίνιο	Ac	89	(227)
Αργίλιο	Al	13	26.98
Αμερίκιο	Am	95	(243)
Αντιμόνιο	Sb	51	121.75
Αργό	Ar	18	39.948
Αρσενικό	As	33	74.92
Άστατο	At	85	(210)
Βάριο	Ba	56	137.34
Μπερκέλιο	Bk	97	(249)
Βηρύλλιο	Be	4	9.012
Βισμούθιο	Bi	83	208.98
Βόριο	B	5	10.81
Βρώμιο	Br	35	79.909
Κάδμιο	Cd	48	112.40
Ασβέστιο	Ca	20	40.08
Καλιφόρνιο	Cf	98	(251)
Άνθρακας	C	6	12.011
Δημήτριο	Ce	58	140.12
Καίσιο	Cs	55	132.91
Χλώριο	Cl	17	35.453
Χρώμιο	Cr	24	52.00
Κοβάλτιο	Co	27	58.93
Χαλκός	Cu	29	63.54
Κιούριο	Cm	96	(247)
Δυσπρόσιο	Dy	66	162.50
Αϊνστάϊνιο	Es	99	(254)
Έρβιο	Er	68	167.26
Ευρώπιο	Eu	63	151.96
Φέρμιο	Fm	100	(253)
Φθόριο	F	9	19.00
Φράγκιο	Fr	87	(223)
Γαδολίνιο	Gd	64	157.25
Γάλλιο	Ga	31	69.72
Γερμάνιο	Ge	32	72.59
Χρυσός	Au	79	196.97
Άφνιο	Hf	72	178.49
Ήλιο	He	2	4.003
Όλμιο	Ho	67	164.93
Υδρογόνο	H	1	1.0080
Ίνδιο	In	49	114.82
Ιώδιο	I	53	126.90
Ιρίδιο	Ir	77	192.2
Σίδηρος	Fe	26	55.85
Κρυπτό	Kr	36	83.80
Λανθάνιο	La	57	138.91
Λωρένσιο	Lr	103	(257)
Μόλυβδος	Pb	82	207.19
Λίθιο	Li	3	6.939

Στοιχείο	Σύμβολο	Ατομικό αριθμός	Ατομική μάζα
Λουτήτιο	Lu	71	174.97
Μαγνήσιο	Mg	12	24.312
Μαγγάνιο	Mn	25	54.94
Μεντελέβιο	Md	101	(256)
Υδράργυρος	Hg	80	200.59
Μολυβδένιο	Mo	42	95.94
Νεοδύμιο	Nd	60	144.24
Νέο	Ne	10	20.183
Ποσειδώνιο	Np	93	(237)
Νικέλιο	Ni	28	58.71
Νιόβιο	Nb	41	92.91
Άζωτο	N	7	14.007
Νομπέλιο	No	102	(253)
Όσμιο	Os	76	190.2
Οξυγόνο	O	8	15.9994
Παλλάδιο	Pd	46	106.4
Φώσφορος	P	15	30.974
Λευκόχρυσος	Pt	78	195.09
Πλουτώνιο	Pu	94	(242)
Πολώνιο	Po	84	(210)
Κάλιο	K	19	39.102
Πρασεοδύμιο	Pr	59	140.91
Προμήθειο	Pm	61	(147)
Πρωτακτίνιο	Pa	91	(231)
Ράδιο	Ra	88	(226)
Ραδόνιο	Rn	86	(222)
Ρήνιο	Re	75	186.23
Ρόδιο	Rh	45	102.91
Ρουβίδιο	Rb	37	85.47
Ρουθήνιο	Ru	44	101.1
Σαμάριο	Sm	62	150.35
Σκάνδιο	Sc	21	44.96
Σελήνιο	Se	34	78.96
Πυρίτιο	Si	14	28.09
Άργυρος	Ag	47	107.870
Νάτριο	Na	11	22.9898
Στρόντιο	Sr	38	87.62
Θείο	S	16	32.064
Ταντάλιο	Ta	73	180.95
Τεχνήτιο	Tc	43	(99)
Τελλούριο	Te	52	127.60
Τέρβιο	Tb	65	158.92
Θάλλιο	Tl	81	204.37
Θόριο	Th	90	232.04
Θούλιο	Tm	69	168.93
Κασσίτερος	Sn	50	118.69
Τιτάνιο	Ti	22	47.90
Βολφράμιο ή Τονγκστένιο	W	74	183.85
Ουράνιο	U	92	238.03
Βανάδιο	V	23	50.94
Ξένο	Xe	54	131.30
Υττέρβιο	Yb	70	173.04
Ύττριο	Y	39	88.91
Ψευδάργυρος	Zn	30	65.37
Ζιρκόνιο	Zr	40	91.22

Με βάση την ατομική μάζα του C^{12} 12.000. Οι τιμές στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στα πιο σταθερά γνωστά ισότοπα των στοιχείων, τα οποία δεν υπάρχουν στη φύση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Ηλεκτρονιακή διάταξη των στοιχείων

	Τροχιακά	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
1	Υδρογόνο	1																		
2	Ήλιο	2																		
3	Λίθιο	2	1																	
4	Βηρύλλιο	2	2																	
5	Βόριο	2	2	1																
6	Άνθρακας	2	2	2																
7	Άζωτο	2	2	3																
8	Όξυγονο	2	2	4																
9	Φθόριο	2	2	5																
10	Νέο	2	2	6																
11	Νάτριο	2	2	6	1															
12	Μαγνήσιο	2	2	6	2															
13	Αργίλιο	2	2	6	2	1														
14	Πυρίτιο	2	2	6	2	2														
15	Φώσφορος	2	2	6	2	3														
16	Θείο	2	2	6	2	4														
17	Χλώριο	2	2	6	2	5														
18	Αργό	2	2	6	2	6														
19	Κάλιο	2	2	6	2	6		1												
20	Ασβέστιο	2	2	6	2	6		2												
21	Σκάνδιο	2	2	6	2	6	1	2												
22	Τιτάνιο	2	2	6	2	6	2	2												
23	Βανάδιο	2	2	6	2	6	3	2												
24	Χρώμιο	2	2	6	2	6	5	1												
25	Μαγγάνιο	2	2	6	2	6	5	2												
26	Σίδηρος	2	2	6	2	6	6	2												
27	Κοβάλτιο	2	2	6	2	6	7	2												
28	Νικέλιο	2	2	6	2	6	8	2												
29	Χαλκός	2	2	6	2	6	10	1												
30	Ψευδάργυρος	2	2	6	2	6	10	2												
31	Γάλλιο	2	2	6	2	6	10	2	1											
32	Γερμάνιο	2	2	6	2	6	10	2	2											
33	Αρσενικό	2	2	6	2	6	10	2	3											
34	Σελήνιο	2	2	6	2	6	10	2	4											
35	Βρώμιο	2	2	6	2	6	10	2	5											
36	Κρυπτό	2	2	6	2	6	10	2	6											
37	Ρουβίδιο	2	2	6	2	6	10	2	6			1								
38	Στρόντιο	2	2	6	2	6	10	2	6			2								
39	Ύττριο	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2								
40	Ζιρκόνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2								
41	Νιόβιο	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1								
42	Μολυβδένιο	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1								
43	Τεχνήτιο	2	2	6	2	6	10	2	6	6		1?								
44	Ρουθήνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1								
45	Ρόδιο	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1								
46	Παλλάδιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10										
47	Άργυρος	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1								
48	Κάδμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2								
49	Ίνδιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1							

	Τροχιακά	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	6f	7s
50	Κασσίτερος	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2							
51	Αντιμόνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3							
52	Τελλούριο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4							
53	Ιώδιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5							
54	Ξένο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6							
55	Καίσιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1				
56	Βάριο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2				
57	Λανθάνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2				
58	Δημήτριο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2				
59	Πρασεοδύμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2				
60	Νεοδύμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2				
61	Προμήθειο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2				
62	Σαμάριο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2				
63	Ευρώπιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2				
64	Γαδολίνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2				
65	Τέρβιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2				
66	Δυσπρόσιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2				
67	Όλμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2				
68	Έρβιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2				
69	Θούλιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2				
70	Υττέρβιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2				
71	Λουτήτιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2				
72	Άφνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2				
73	Ταντάλιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2				
74	Βολφράμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2				
75	Ρήνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2				
76	Όσμιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2				
77	Ιρίδιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2				
78	Λευκόχρυσος	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1				
79	Χρυσός	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1				
80	Υδράργυρος	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2				
81	Θάλλιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1			
82	Μόλυβδος	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2			
83	Βισμούθιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3			
84	Πολώνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4			
85	Άστατο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5			
86	Ραδόνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6			
87	Φράγκιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0		2	6			
88	Ράδιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0		2	6			2
89	Ακτίνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0		2	6			2
90	Θόριο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0		2	6	2		2
91	Πρωτακτίνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	2	2	6			2
92	Ουράνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	10	4	2	6	0	3	2	6	1		2
93	Ποσειδώνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	4	2	6			2
94	Πλουτώνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	6	2	6			2
95	Αμερίκιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	10	7	2	6			2
96	Κιούριο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6	0	7	2	6			2
97	Μπερκέλιο	2	2	6	2	6	0	2	6	10	4	2	6	10	8	2	6	1		2
98	Καλιφόρνιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	0	2	6			2
99	Αϊνστάϊνιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6	10	1	2	6			2
100	Φέρμιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	2	2	6			2
101	Μεντελέβιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	3	2	6			2
102	Νομπέλιο	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6	10	3	2	6	1		2
103	Λωρένσιο	2	2	6	2	6	0	2	6	0	4	2	6	0	4	2	6	1		2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

Ονόματα, τύποι και φορτία μερικών από τα κοινά ιόντα

Θετικά ιόντα (κατιόντα)		Αρνητικά ιόντα (ανιόντα)	
Αργίλιο	Al^{3+}	Οξικό	CH_3COO^-
Αμμώνιο	NH_4^+	Βρωμιούχο	Br^-
Βάριο	Ba^{2+}	Ανθρακικό	CO_3^{2-}
Ασβέστιο	Ca^{2+}	Όξινο ανθρακικό	HCO_3^-
Χρώμιο (II)	Cr^{2+}	Χλωρικό	ClO_3^-
Χρώμιο (III)	Cr^{3+}	Χλωριούχο	Cl^-
Χαλκός (I)*	Cu^+	Χλωριώδες	ClO_2^-
Χαλκός (II)	Cu^{2+}	Χρωμικό	CrO_4^{2-}
Υδρογόνο	H^+, H_3O^+	Διχρωμικό	$Cr_2O_7^{2-}$
Σίδηρος (II)*	Fe^{2+}	Φθοριούχο	F^-
Σίδηρος (III)	Fe^{3+}	Υδροξείδιο	OH^-
Μόλυβδος	Pb^{2+}	Υποχλωριώδες	ClO^-
Λίθιο	Li^+	Ιωδιούχο	I^-
Μαγνήσιο	Mg^{2+}	Νιτρικό	NO_3^-
Μαγγάνιο (II)	Mn^{2+}	Νιτρώδες	NO_2^-
Υδράργυρος (I)*	Hg_2^{2+}	Οξαλικό	$C_2O_4^{2-}$
Υδράργυρος (II)	Hg^{2+}	Όξινο οξαλικό	$HC_2O_4^-$
Κάλιο	K^+	Υπερχλωρικό	ClO_4^-
Άργυρος	Ag^+	Υπερμαγγανικό	MnO_4^-
Νάτριο	Na^+	Φωσφορικό	PO_4^{3-}
Κασσίτερος (II)*	Sn^{2+}	Μονο-όξινο φωσφορικό	HPO_4^{2-}
Κασσίτερος (IV)	Sn^{4+}	Θειικό	$H_2PO_4^-$
Ψευδάργυρος	Zn^{2+}	Όξινο θειικό	SO_4^{2-}
		Θειούχο	HSO_4^-
		Όξινο θειούχο	S^{2-}
		Θειώδες	HS^-
		Όξινο θειώδες	SO_3^{2-}
			HSO_3^-

* Στα υδατικά τους διαλύματα οξειδώνονται εύκολα από τον αέρα.
Σημείωση: Στις ιοντικές ενώσεις ο σχετικό αριθμός των θετικών και των αρνητικών ιόντων είναι τέτοιος, ώστε το σύνολο των ηλεκτρικών φορτίων τους να ισούται με μηδέν.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6

Διαλυτότητα γνωστών χημικών ενώσεων στο νερό

Αρνητικά ιόντα (ανιόντα)	+	**Θετικά ιόντα (κατιόντα)**	**Σχηματίζουν**	**Ενώσεις με διαλυτότητα**
Όλα		Ιόντα των αλκαλίων Li^+, Na^+ K^+, Rb^+, Cs^+, Fr^+		Διαλυτά
Όλα		Ιόν υδρογόνου H+*(υδ)*		Διαλυτά
Όλα		Ιόν αμμωνίου NH_4^+		Διαλυτά
Νιτρικά NO_3^-		Όλα		Διαλυτά
Οξικά CH_3COO^-		Όλα		Διαλυτά
Χλωριούχα, Cl^- Βρωμιούχα, Br^- Ιωδιούχα, I^-		Ag^+, Pb^{+2}, Hg_2^{2+}, Cu^+		Μικρή διαλυτότητα
		Όλα τα υπόλοιπα		Διαλυτά
Θειικά SO_4^{2-}		Ag^+, Pb^{+2}, Hg_2^{2+}, Pb^{2+}		Μικρή διαλυτότητα
		Όλα τα υπόλοιπα		Διαλυτά
Θειούχα S^{2-}		Ιόντα των αλκαλίων H^+*(υδ)*, NH_4^+, Be^{2+} Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}		**Διαλυτά**
				Διαλυτά
		Όλα τα υπόλοιπα		Μικρή διαλυτότητα
Υδροξείδια OH^-		Ιόντα των αλκαλίων H^+*(υδ)*, NH_4^+, Sr^{2+}, Ba^{2+}		**Διαλυτά**
		Όλα τα υπόλοιπα		Μικρή διαλυτότητα
Φωσφορικά PO_4^{3-} Ανθρακικά CO_3^{2-} Θειώδη SO_3^{2-}		Ιόντα των αλκαλίων H^+ *(υδ)*, NH_4^+		**Διαλυτά**
		Όλα τα υπόλοιπα		Μικρή διαλυτότητα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

Πίνακας μονάδων μετρήσεως

	Μονάδα	Τιμή	Σύμβολο	Τάξη μεγέθους
Μήκος	χιλιόμετρο	1000 m	km	8 οικοδομικά τετράγωνα
	μέτρο	μονάδα	m	ύψος ενός ψήκτη νερού
	εκατοστόμετρο	0,01 m	cm	ακτίνα κέρματος δέκα δραχμών
	χιλιοστόμετρο	0,001 m	mm	πάχος λεπτού νομίσματος
Μάζα	χιλιόγραμμο	μονάδα	kg	μάζα δοχείου που είναι γεμάτο με λάδι αυτοκινήτου
	γραμμάριο	0,001 kg	g	μάζα δοχείου που είναι γεμάτο με λάδι αυτοκινήτου
	χιλιοστόγραμμο	0,001 g	mg	μάζα δέκα κόκκων αλατιού
Όγκος	κυβικό μέτρο	μονάδα	m^3	όγκος τριών λουτήρων
	λίτρο	0,001 m^3	l	όγκος ενός δοχείου λαδιού αυτοκινήτου
	κυβικό εκατοστόμετρο	0,000001 m^3	cm^3	όγκος δύο κερμάτων δέκα δραχμών
	χιλιοστόλιτρο	0,001 l	ml	
		cm^3 = ml		
Ενέργεια	Joule	μονάδα	J	ενέργεια που απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας μιας σταγόνας νερού κατά 5 °C

Ορισμοί ορισμένων θεμελιωδών μονάδων

Μήκος: μέτρο
Το μέτρο (m) είναι μονάδα μήκους και ισούται με 1.650.763.73 μήκη κύματος του πορτοκαλέρυθρου φωτός της πορτοκαλέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από κρυπτό-86, σε κενό.

Μάζα: χιλιόγραμμο
Το χιλιόγραμμο (kg) είναι μονάδα μάζας ίση με τη μάζα του διεθνούς πρωτοτύπου του χιλιογράμμου (που βρίσκεται στις Σέβρες της Γαλλίας).

Θερμοδυναμική θερμοκρασία: Kelvin
Το Kelvin είναι ίσο με το 1/273,16 της θερμοδυναμικής θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού.

Χρόνος: δευτερόλεπτο
Το δευτερόλεπτο (s) είναι ίσο με τη διάρκεια 9.192.631.770 περιόδων της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στη μετάπτωση μεταξύ δύο υπερλέπτων επιπέδων της βασικής καταστάσεως του ατόμου του κεσίου-133.

Ποσότητα ουσίας: mole
Το mole (mol) είναι η ποσότητα ουσίας ενός συστήματος που περιέχει τόσα σωματίδια όσα άτομα υπάρχουν σε 0,012 χιλιόγραμμα άνθρακα-12.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8

Εισαγωγή στο εργαστήριο

Θα πρέπει να μελετήσετε και να αφομοιώσετε τις οδηγίες σχετικά με το εργαστήριο που αναφέρονται παρακάτω, προκειμένου να εξασφαλίσετε την καλύτερη και ασφαλέστερη αξιοποίηση του χρόνου που θα διαθέσετε για εργαστηριακή μέλετη. Μετά από τις οδηγίες για το εργαστήριο ακολουθούν φωτογραφίες των περισσοτέρων από τα όργανα και τις συσκευές που θα χρησιμοποιήσετε.

Οδηγίες για το εργαστήριο.

1. Είναι σημαντικό να έχετε πάντα στο νου σας ότι το εργαστήριο είναι χώρος για σοβαρή εργασία.

2. Μέσα στο εργαστήριο δεν επιτρέπεται να κάνετε οποιουδήποτε είδους χονδροειδή αστεία ή χειρονομίες. Μία φάρσα εύκολα μπορεί να καταλήξει σε τραυματισμούς ή εγκαύματα.

3. Να φοράτε προστατευτικά γυαλιά, όποτε υπάρχει περίπτωση να πέσει κάποια θερμή ή καυστική χημική ουσία στα μάτια σας. Έστω και αν εσείς δεν κάνετε κάτι επικίνδυνο, να προσέχετε τι κάνουν οι συμμαθητές σας σε κοντικές θέσεις. Μερικές φορές από ένα δοκιμαστικό σωλήνα που υπερθερμαίνεται, μπορεί να εκτοξευθεί καυτό υλικό, ακόμη και σε απόσταση δύο–τριών μέτρων. Σε ορισμένα κράτη ο νόμος επιβάλλει να φορούν οι μαθητές γυαλιά καθ' όλη τη διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων.

4. Να προετοιμάζεστε πάντα για την εργαστηριακή σας απασχόληση διαβάζοντας τις οδηγίες του πειράματος πριν πάτε στο εργαστήριο. Για να εξοικονομήσετε χρόνο στο εργαστήριο, καλόν είναι να έχετε εκ των προτέρων καταρτίσει του πίνακες για την καταγραφή των αποτελεσμάτων στο τετράδιό σας.

5. Βεβαιωθείτε ότι κατανοήσατε το σκοπό του πειράματος, αλλά και οποιαδήποτε ειδική προειδοποίηση, πριν αρχίσετε να εργάζεστε. Ακολουθείτε τις οδηγίες πολύ προσεκτικά. Αν θέλετε να τροποποιήσετε κάποια οδηγία βεβαιωθείτε ότι, προτού προχωρήσετε, πήρατε την έγκριση του καθηγητή σας.

6. Απαγορεύονται τα πειράματα χωρίς προηγούμενη έγκριση. Ποτέ να μην αναμιγνύετε διάφορα υλικά, για να δείτε τι θα συμβεί. Οι συνέπειες μπορεί να είναι τραγικές. Πρέπει να έχετε το θάρρος να προτείνετε και να εκτελείτε νέα πειράματα, αλλά πριν από την εκτέλεσή τους πρέπει να κάνετε σαφή τα σχέδιά σας και να συνεργάζεστε με τον καθηγητή σας.

7. Μια καλή ιδέα είναι να φοράτε στο εργαστήριο μία λαστιχένια ή πλαστική ποδιά, για να προστατεύετε τα ρούχα σας.

8. Αν πέσει οξύ ή κάποιο άλλο καυστικό υγρό πάνω στο δέρμα σας, μην

πανικοβληθείτε. Σταματήστε οτιδήποτε κάνετε και πλύντε το δέρμα σας αμέσως με πολύ νερό. Πηγαίνετε γρήγορα, χωρίς να τρέξετε, προς τη βρύση.

9. Αν στο εργαστήριο φοράτε τα γυαλιά σας, υπάρχουν λίγες πιθανότητες να πέσουν στα μάτια σας χημικές ουσίες. Αν παρ' όλα αυτά πέσει κάποια χημική ουσία στα μάτια σας, ξεπλύντε τα αμέσως με άφθονο νερό. Είτε σκύψτε το κεφάλι σας, ώστε το νερό να πέφτει κατ' ευθείαν στα μάτια σας, είτε ρίξτε επανειλημμένως νερό σε αυτά.

10. Να μην δοκιμάζετε και να μην αγγίζετε χημικές ουσίες ή διαλύματά τους, παρά μόνο αν σας ζητήσουν να το κάνετε. Κάποιες φαινομενικά αθώες χημικές ουσίες μπορεί να είναι εξαιρετικά ερεθιστικές για ορισμένα άτομα.

11. Αν θέλετε να εξακριβώσετε την οσμή μιας ουσίας, μην εισπνεύσετε κατ' ευθείαν τους ατμούς της. Ανοίξτε προσεκτικά το δοχείο και με τη βοήθεια του χεριού σας σπρώξτε προς τη μύτη σας από το πάνω μέρος του δοχείου λίγους από τους ατμούς της ουσίας.

12. Αν θερμάνατε γυάλινα σκεύη, αφήστε τα αρκετή ώρα να κρυώσουν πριν να τα πιάσετε. Η ίδια συμβουλή ισχύει και για λύχνους ή μεταλλικούς δακτυλίους τοποθετημένους επάνω σε ορθοστάτες. Να περιμένετε πάντα να κρυώσει ένας δακτύλιος, για να ρυθμίσετε τη θέση του επάνω στον ορθοστάτη.

13. Μην χρησιμοποιείτε εύφλεκτα υλικά κοντά σε φλόγα. Αν αναφλεγεί μικρή ποσότητα κάποιας εύφλεκτης ουσίας τοποθετημένης μέσα σε δοκιμαστικό σωλήνα ή ποτήρι, θα πρέπει ή να την αφήσετε να καεί ή να σκεπάστε το δοχείο με ένα γυάλινο δίσκο ή με ένα κομμάτι χαρτόνι. Αν πρόκειται για κάτι που δεν είναι εύκολο να το αντιμετωπίσετε κατ' αυτόν τον τρόπο, απομακρυνθείτε αμέσως και φέρτε έναν πυροσβεστήρα.

14. Αν κάποιες ουσίες έχουν δυσάρεστη οσμή ή εκπέμπουν δηλητηριώδεις ή καυστικούς ατμούς, θα πρέπει να τις χρησιμοποιήσετε μέσα σε ειδική εστία.

15. Να διαβάζετε προσεκτικά τις ετικέτες στις φιάλες των αντιδραστηρίων πριν κάνετε χρήση του περιεχομένου τους.

16. Ποτέ να μην αδειάζετε πίσω στις φιάλες οποιεσδήποτε χημικές ουσίες που περίσσεψαν. Αν κατά τύχη μεταγγίσατε περισσότερη ουσία από όση χρειάζεστε, χρησιμοποιήστε όση θέλετε και την υπόλοιπη πετάξτε την στο νεροχύτη ή ρίξτε την μέσα σε κάποιο βάζο όπου συλλέγετε τα άχρηστα. Ακόμη και αν είστε σίγουροι ότι πρόκειται για την επί πλέον αρχική καθαρή χημική ουσία σας, μπορεί να μην είναι καθαρό το δοχείο όπου τη μεταγγίσατε. Στοιχίζει πολύ λιγότερο να πετάξετε την επί πλεόν ποσότητα παρά να την ξαναρίξετε στο δοχείο, με κίνδυνο να ρυπάνετε ολόκληρο το περιεχόμενο του δοχείου.

17. Ποτέ να μην πετάτε οποιαδήποτε στερεά ουσία (χαρτί, σπίρτα, κομμάτια από μέταλλο ή γυαλί, ή και κάθε άλλη αδιάλυτη ή δυσδιάλυτη ουσία) μέσα στο νεροχύτη. Έτσι φράσσει η αποχέτευση και θα πρέπει κάποιος να την αποφράξει.

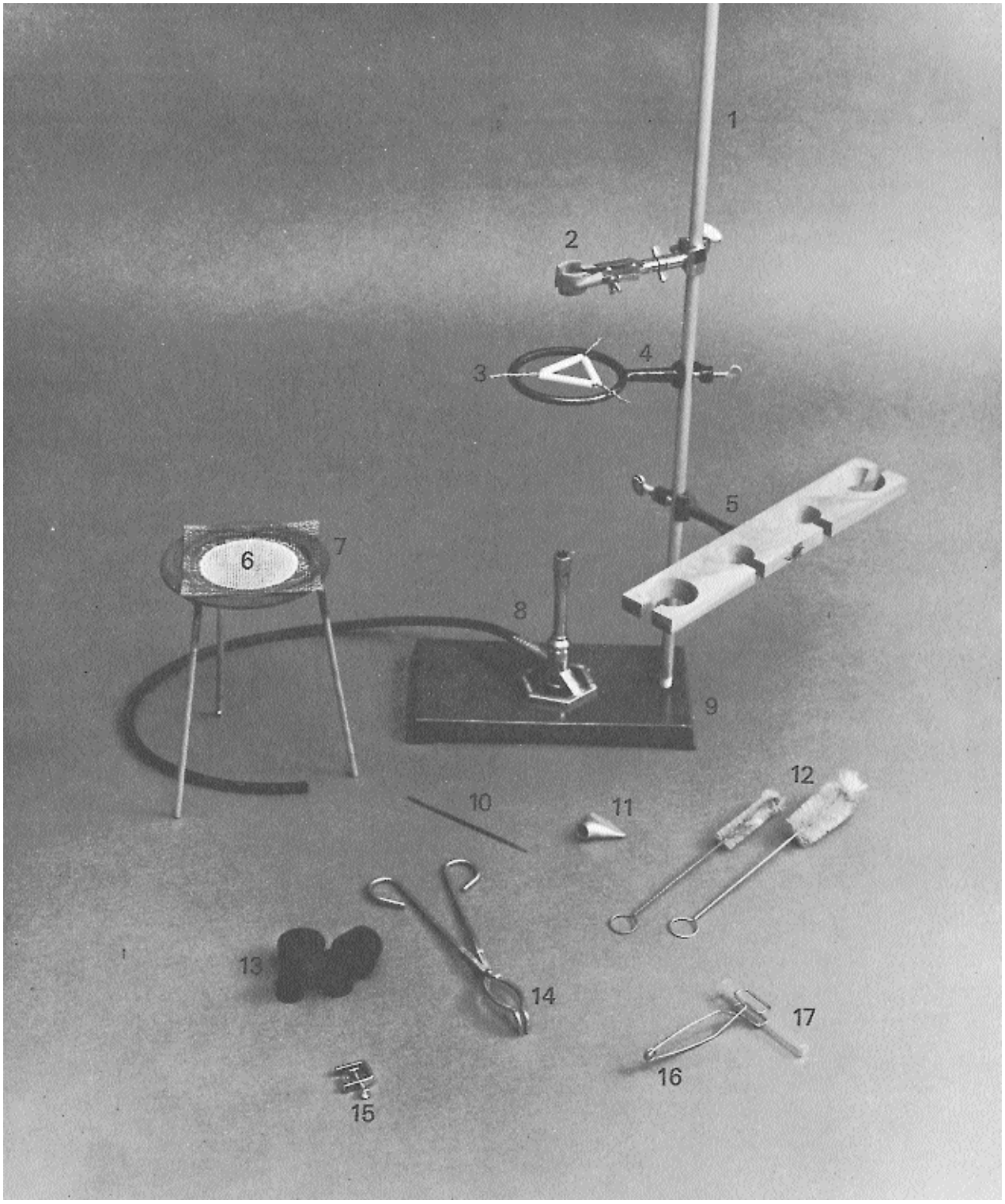
18. Μία καθαρή θέση εργασίας είναι πιο ασφαλής από ένα βρώμικο και ακατάστατο πάγκο. Αν χύσετε κάτι πάνω στον πάγκο σας ή σε οποιονδήποτε πάγκο σκουπίστε το αμέσως. Αν πρόκειται για καυστική ουσία συμβουλευθείτε πρώτα τον καθηγητή σας.

19. Όταν ξεκινά ένας κύκλος εργαστηριακών μελετών, σας δίνονται καθαρά σκεύη (όργανα). Στο τέλος του κύκλου βεβαιωθείτε ότι επιστρέψατε όλα τα σκεύη όσο το δυνατόν πιο καθαρά στην αρχική τους θέση, ώστε αυτός που θα εργασθεί μετά από εσάς, να βρει καθαρό τον εξοπλισμό του. Καθαρίστε το νεροχύτη σας και αφήστε τον πάγκο εργασίας έτοιμο για την επόμενη ομάδα.

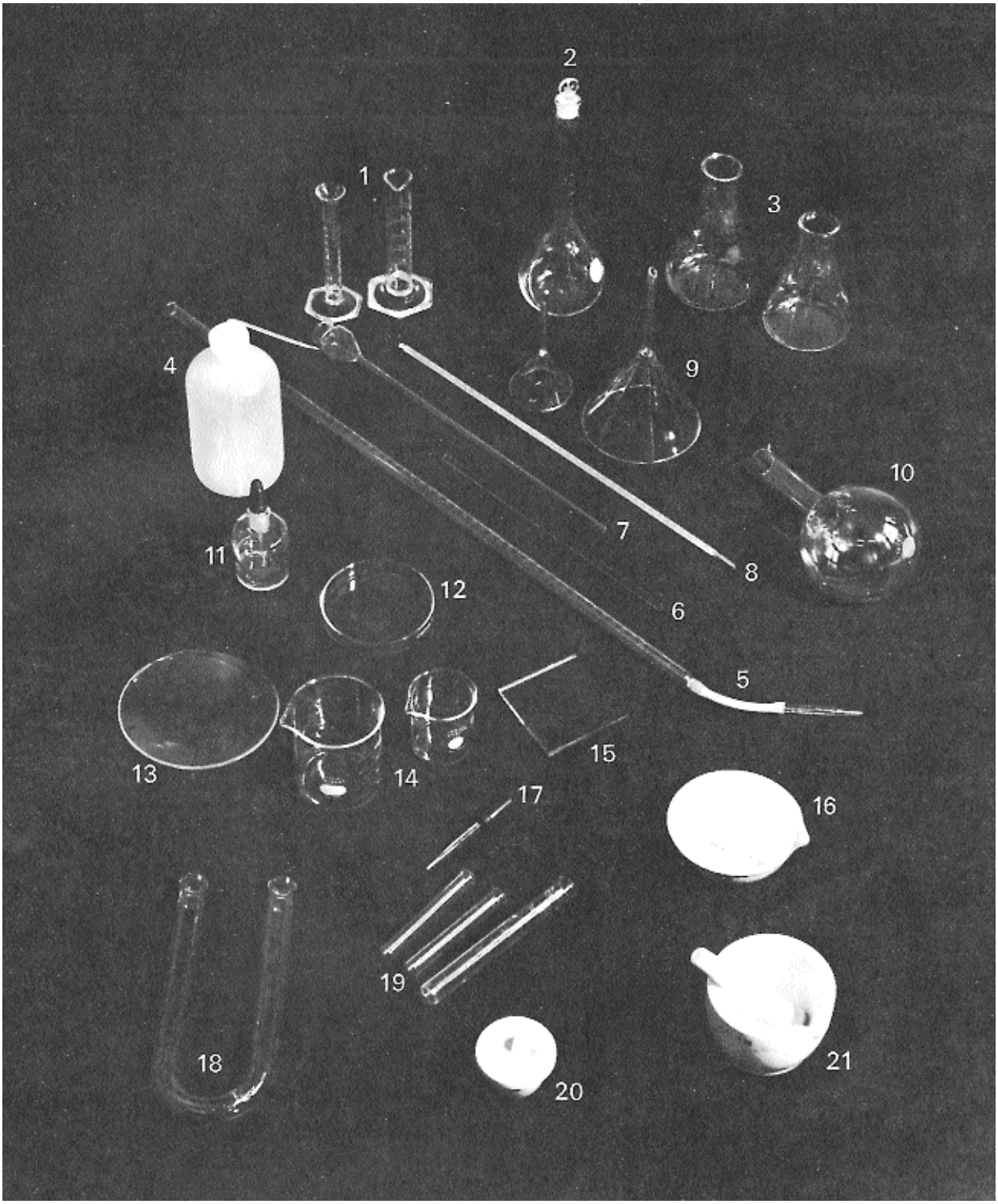
20. Να χρησιμοποιείτε δερμάτινα γάντια, όταν πρόκειται να κόψετε γυάλινους σωλήνες ή να περάσετε γυάλινους σωλήνες μέσα από κάποιο ελαστικό πώμα. Όταν κατασκευάζετε διάφορες συνδέσεις με γυαλί και λάστιχο, να βρέχετε τόσο το γυαλί όσο και το λάστιχο για να μην κολλήσουν.

21. Το θερμόμετρο είναι από τα πιο εύθραστα αντικείμενα του εργαστηριακού εξοπλισμού. Για την ανάδευση να χρησιμοποιείτε μια γυάλινη ράβδο και όχι ένα θερμόμετρο. Να μην αφήνετε ένα θερμόμετρο ελεύθερο μέσα σε ένα ποτήρι ή σε μια φιάλη, γιατί μπορεί από το βάρος του να γύρουν, με αποτέλεσμα να πέσει το θερμόμετρο και να σπάσει.

22. Να αναφέρετε πάντα οποιαδήποτε ζημιά αμέσως στον καθηγητή σας, έστω και αν είναι ασήμαντη.



Ονόματα αριθμημένων αντικειμένων: 1. ορθοστάτης, 2. λαβίδα προχοΐδων, 3. τρίγωνο πυρακτώσεως, 4. δακτύλιος, 5. στήριγμα ηθμών, 6. μεταλλικό πλέγμα (με αμίαντο στο κέντρο), 7. τρίποδο, 8. λύχνος, 9. βάση στηρίγματος δακτυλίων, 10. τριγωνική λίμα, 11. εξομαλυντής φλόγας, 12. βούρτσες δοκιμαστικών σωλήνων, 13. ελαστικά πώματα, 14. λαβίδα χωνευτηρίων, 15. βιδωτός σφιγκτήρας, 16. λαβίδα δοκιμαστικών σωλήνων, 17. δοκιμαστικός σωλήνας.



Ονόματα αριθμημένων αντικειμένων: 1. ογκομετρικοί κύλινδροι, 2. φιάλη με γυάλινο πώμα, 3. φιάλες κωνικές (Erlenmeyer), 4. πλαστικός υδροβολέας, 5. προχοΐδα, 6. γυάλινη ράβδος αναδεύσεως, 7. ασφαλιστικό χωνί, 8. θερμόμετρο, 9. χωνιά, 10. σφαιρική φιάλη, 11. σταγονομετρική φιάλη, 12. τρυβλία πετρί, 13. γυαλιά ρολογιού, 14. ποτήρια ζέσεως, 15. γυάλινα πλακίδια, 16. κάψα πορσελάνης, 17. σταγονόμετρο, 18. σωλήνας σε σχήμα U, 19. δοκιμαστικοί σωλήνες, 20. χωνευτήριο, 21. γουδί και γουδοχέρι.

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ

Α

Ακόρεστος: επίθετο που χρησιμοποιείται για οργανικές ενώσεις που περιέχουν διπλούς ή τριπλούς δεσμούς.

Ακτίνες γάμα (γ): ένα είδος βραχέων κυμάτων ομοίων, αλλά με περισσότερη ενέργεια από τις ακτίνες Χ, τα οποία εκπέμπονται από πολλούς ραδιενεργούς πυρήνες.

Ακτίνες Χ: μια μορφή ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας. Το μήκος κύματος των ακτίνων Χ βρίσκεται στην κατηγορία μερικών ångströms. Για το λόγο αυτό η περίθλαση των ακτίνων Χ από τα μόρια (στα οποία τα άτομα απέχουν τέτοιες αποστάσεις) αποτελεί μέθοδο διερευνήσεως της μοριακής δομής.

Άλας: το κοινό όνομα του NaCl (1). Το γενικό όνομα για κάθε ιοντική ένωση που σχηματίζεται κατά την εξουδετέρωση ενός οξέος από μια βάση (2).

Αλδεΰδες: οργανικές ενώσεις που περιέχουν την ομάδα –CHO.

Αλκάλια: τα στοιχεία της ομάδας I: Li, Na, K, Rb, Cs (ονομάζονται επίσης μέταλλα των αλκαλίων).

Αλκαλικές γαίες: τα στοιχεία της ομάδας II: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra (ονομάζονται επίσης μέταλλα των αλκαλικών γαιών).

Αλκάνια: κορεσμένοι υδρογονάνθρακες· ονομάζονται επίσης **παραφίνες.**

Αλκένια: υδρογονάνθρακες, στους οποίους δύο άτομα άνθρακα συνδέονται με διπλό δεσμό.

Αλκίνια: υδρογονάνθρακες, στους οποίους δύο άτομα άνθρακα συνδέονται με τριπλό δεσμό.

Αλκοόλες: οργανικές ενώσεις που περιέχουν την ομάδα –OH (υδροξύλιο). Η αιθανόλη C_2H_5OH, ονομάζεται συνήθως "αλκοόλη", όμως είναι μόνο ένα από τα μέλη της σειράς αυτής.

Αλογόνα: τα στοιχεία της ομάδας VII: F, Cl, Br, I, At.

Αμίδια: ενώσεις του τύπου $RCONH_2$, όπου το R είναι μια ομάδα υδρογονάνθρακα.

Αμίνες: ενώσεις του τύπου RNH_2, όπου το R είναι μια ομάδα υδρογονάνθρακα.

Αμινοξέα: ενώσεις του τύπου

$$\begin{array}{c} R \\ | \\ H_2NCCOOH \\ | \\ H \end{array}$$

οι οποίες πολυμερίζονται και σχηματίζουν πρωτεΐνες.

Άμυλο: μείγμα πολυμερών του σακχάρου γλυκόζη.

Αναγωγή: αύξηση ηλεκτρονίων (1). Διαδικασία, κατά την οποία μειώνεται η κατάσταση (αριθμός) οξειδώσεως και γίνεται λιγότερο θετική (2).

Αναγωγικό μέσο: χημική ένωση ή ιόν με τάση να ελευθερώνει ηλεκτρόνια.

Ανιόν: ένα αρνητικό ιόν.

Άνοδος: το ηλεκτρόδιο ηλεκτροχημικού στοιχείου στο οποίο γίνεται οξείδωση. Κατά την ηλεκτρόλυση τα ανιόντα κινούνται προς την άνοδο.

Αντιδρώντα: ουσίες οι οποίες εισέρχονται στη χημική αντίδραση. Συνήθως αναγράφονται στο αριστερό τμήμα μιας χημικής εξισώσεως.

Αντιστρέψιμη αντίδραση: η αντίδραση που μπορεί να προχωρήσει και προς τις δυο κατευθύνσεις, ανάλογα με τις συνθήκες, π.χ. ανάλογα με τη συγκέντρωση, τη θερμοκρασία ή την πίεση.

Απαγορευτική αρχή του Pauli: το αξίωμα που προκύπτει από πειραματικά στοιχεία· σύμφωνα με αυτό δεν είναι δυνατόν στο ίδιο τροχιακό να υπάρχουν περισσότερα από δύο ηλεκτρόνια.

Απόλυτο μηδέν: –273, 16 °C (–459, 49°F). Η θερμοκρασία εκείνη, στην οποία, αν εξακολουθούσε να ισχύει ο νόμος του Charles, όλα τα αέρια θα συστέλλονταν θεωρητικά τόσο, ώστε ο όγκος τους θα μηδενιζόταν.

Αριθμός οξειδώσεως: ο αριθμός που δείχνει τα ηλεκτρόνια που έχασε (+) ή που προσέλαβε (–) ένα ουδέτερο άτομο, προκειμένου αυτό να σχηματίσει μια χημική ένωση με κάποιο άλλο στοιχείο. Αυτοί οι αριθμοί είναι αυθαίρετοι και δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικές αλλαγές.

Αριθμός του Avogadro: ο αριθμός των ατόμων, των μορίων ή των άλλων σωματιδίων που περιέχονται σε ένα γραμμομόριο (6,02252 x 10^{23} σωματίδια).

Ασθενές οξύ: εκείνο το οξύ το οποίο διίσταται εν μέρει μέσα σε υδατικά διαλύματα.

Ασθενής βάση: η βάση, η οποία δε διασπάται εντελώς σε υδροξυλιόντα (OH^-) και κατιόντα.

Ασθενής ηλεκτρολύτης: ο ηλεκτρολύτης εκείνος, ο οποίος σε υδατικά διαλύματα διίσταται μόνο κατά ένα μέρος σε ιόντα.

Ατμοί: η αέρια μορφή μιας ουσίας, η οποία σε

συνήθη θερμοκρασία και πίεση είναι υγρή.

Ατμόσφαιρα: μονάδα πιέσεως, η οποία ισούται με την πίεση που ασκείται από μια στήλη υδραργύρου ύψους ακριβώς 760 mm, στους 0°C.

Ατομικός αριθμός: ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα ενός ατόμου.

Άτομο: το μικρότερο σωματίδιο ενός στοιχείου, το οποίο μπορεί να υπάρξει μόνο του ή σε συνδυασμό με άλλα άτομα.

Ångström (A): μονάδα μήκους ίση με 10^{-8} cm.

Β

Βαρόμετρο: είδος μανομέτρου για τη μέτρηση της πιέσεως της ατμόσφαιρας της γης.

Βάρος: Η ιδιότητα που προσδιορίζεται σε ένα σώμα από την άσκηση επάνω σε αυτό της δυνάμεως της βαρύτητας. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη προς την ποσότητα της ύλης του σώματος (της μάζας του) και, κάτω από ορισμένες συνθήκες, ισούται με τη μάζα του σώματος. Πάνω στην επιφάνεια της γης το βάρος και η μάζα έχουν πρακτικά την ίδια αριθμητική τιμή.

Βάση: μια ουσία, η οποία μπορεί να ενωθεί με ιόντα υδρογόνου.

Βασική κατάσταση: η πιο σταθερή (κανονική) κατάσταση ενός ατόμου ή μορίου με βάση την ηλεκτρονιακή του κατανομή.

Βολτ: μονάδα μετρήσεως της ηλεκτρικής τάσεως.

Γ

Γεωμετρικά ισομερή: μόρια με τα ίδια είδη και αριθμό ατόμων και δεσμών, στην ίδια σειρά, αλλά με άτομα τα οποία έχουν διαφορετική διάταξη στο χώρο (γνωστά επίσης ως cis–trans ισομερή).

Γινόμενο διαλυτότητας: ο τύπος της σταθεράς χημικής ισορροπίας με εφαρμογή στη διαλυτότητα των ηλεκτρολυτών. Εκφράζεται με το γινόμενο των συγκεντρώσεων όλων των ιόντων που σχηματίζονται με την κάθε μία συγκέντρωση υψωμένη στην κατάλληλη δύναμη.

Γραμμάριο: μονάδα μετρήσεως της μάζας ίση με ένα χιλιοστό του χιλιογράμμου (κιλού).

Γραμμοάτομο (g-at): λέγεται η μάζα ενός mole ατόμων, μετρημένη σε γραμμάρια.

Γραμμοατομικός όγκος: λέγεται ο όγκος που καταλαμβάνει ένα γραμμοάτομο ($6{,}02 \times 10^{23}$ άτομα) μιας ουσίας σε ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως.

Γραμμοϊόν (g-ion): λέγεται η μάζα ενός mole ατόμων, μετρημένη σε γραμμάρια.

Γραμμομοριακός ή μοριακός όγκος: λέγεται ο όγκος που καταλαμβάνει ένα γραμμομόριο ($6{,}02 \times 10^{23}$ μόρια) μιας ουσίας σε ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πιέσεως.

Γραμμομόριο: λέγεται η μάζα ενός mole μορίων, μετρημένη σε γραμμάρια.

Centi–: πρόθεμα, το οποίο σημαίνει εκατοστό. Για παράδειγμα το centimeter σημαίνει εκατοστό του μέτρου (0,01 του μέτρου).

Cis: προς την ίδια πλευρά. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών ισομερών (βλέπε **trans**).

Δ

Δείγμα αναφοράς: ένα πείραμα όμοιο με αυτό που εξετάζεται ως προς όλες τις παραμέτρους εκτός από μία.

Δείκτες (οξέος–βάσεως): ουσίες, όπως το ηλιοτρόπιο ή η φαινολοφθαλεΐνη των οποίων το χρώμα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των H^+ μέσα στο διάλυμα στο οποίο προστίθενται.

Δεσμός υδρογόνου: η επί πλέον έλξη (2 έως 10 kcal/mol), η οποία αναπτύσσεται συχνά ανάμεσα στα άτομα του H, στις ομάδες O–H, N–H, F–H και σε άλλα άτομα O, N ή F.

Δευτέριο: το ισότοπο του υδρογόνου με μαζικό αριθμό 2.

Διάθλαση: η αλλαγή διευθύνσεως (= θλάση) της πορείας φωτεινών ακτίνων, όπως συμβαίνει όταν διέρχονται μέσα από ένα γωνιακό πρίσμα. Φωτεινές ακτίνες με διαφορετικές συχνότητες θλώνται κατά διαφορετικές γωνίες.

Διάλυμα: μείγμα, σε μοριακό επίπεδο, δύο ή περισσοτέρων ουσιών.

Διαλυμένη ουσία: το συστατικό ενός διαλύματος, το οποίο βρίσκεται σε μικρότερη ποσότητα και θεωρείται ότι είναι διαλυμένο στο άλλο συστατικό που υπάρχει σε μεγαλύτερη ποσότητα.

Διαλύτης: εκείνο το συστατικό ενός διαλύματος (συνήθως υγρό), το οποίο βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα.

Διάταξη (των ηλεκτρονίων): το πλήθος των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε κάθε τροχιακό. Τα κενά τροχιακά δεν αναφέρονται. Ένα τροχιακό κατειλημμένο από ένα μόνο ηλεκτρόνιο περιγράφεται με τον κβαντικό αριθμό και το σύμβολο του τροχιακού. Ένα

τροχιακό κατειλημμένο από δύο ηλεκτρόνια περιγράφεται ανάλογα, αλλά έχει επί πλέον τον εκθέτη δύο. Παράδειγμα: $1s^2 2p$.

Διατομικό μόριο: ένα μόριο που αποτελείται από δύο άτομα.

Διηγερμένη κατάσταση: η κατάσταση ενός ατόμου ή μορίου, κατά την οποία η κατανομή των ηλεκτρονίων είναι λιγότερο σταθερή (πιο δραστηριοποιημένη) από ό,τι στην κανονική (βασική) κατάσταση.

Διπολική ροπή: ως διπολική ροπή ορίζεται το μέγεθος $q.d$ που χαρακτηρίζει ένα σύστημα δύο ίσων ηλεκτρικών φορτίων q αντιθέτου προσήμου, τα οποία βρίσκονται σε απόσταση d μεταξύ τους.

Δισθενές: αυτό που έχει τη δυνατότητα να σχηματίζει δύο δεσμούς (προκειμένου για ένα άτομο).

Διστοιχειακή ένωση: ένωση, η οποία περιέχει μόνο δύο είδη στοιχείων. Παραδείγματα: HCl, $CaCl_2$, SO_3.

Δυνάμεις van der Waals: πολύ ασθενείς δυνάμεις (περίπου ένα kcal/mol) ανάμεσα σε άτομα ή μόρια με συμπληρωμένα τα τροχιακά σθένους.

Δυναμική ενέργεια: η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα σύστημα (για παράδειγμα σε ένα μόριο) και μπορεί να ελευθερωθεί ως κινητική ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα, φως κλπ.

Δυναμικό αναγωγής: το δυναμικό του ημιστοιχείου το οποίο αποτελεί μέτρο της τάσεως προσλήψεως ηλεκτρονίων.

Ε

Ελαστική σύγκρουση: η σύγκρουση, κατά την οποία τα συγκρουόμενα αντικείμενα είναι δυνατόν να αλλάξουν κατεύθυνση, αλλά δεν μεταβάλουν τη συνολική κινητική τους ενέργεια.

Εμπειρικός τύπος: ο απλούστερος τύπος, ο οποίος δείχνει τις σωστές αναλογίες των διαφόρων ατόμων σε ένα μόριο. Είναι δυνατόν να αποτελεί μέρος μόνο του μοριακού τύπου. Παράδειγμα: η γλυκόζη έχει το μοριακό τύπο $C_6H_{12}O_6$. Ο εμπειρικός της τύπος είναι CH_2O.

Ενδόθερμη αντίδραση: η αντίδραση κατά την οποία απορροφάται θερμότητα.

Ενέργεια δεσμού: η αναγκαία ποσότητα ενέργειας, για να διασπασθούν οι χημικοί δεσμοί ενός γραμμομορίου (mole) μιας ουσίας.

Ενέργεια ενεργοποιήσεως: το κατώφλι ενέργειας δηλαδή η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί μια αντίδραση. Ισούται με την ενέργεια του ενεργοποιημένου συμπλόκου μείον την ενέργεια των αντιδρώντων μορίων.

Ενέργεια ιοντισμού: η ενέργεια που απαιτείται, για να μετακινηθεί το λιγότερο σταθερό ηλεκτρόνιο από ένα άτομο, μόριο ή ιόν.

Ενεργειακό επίπεδο: επιτρεπόμενη τιμή ενέργειας ενός ατόμου ή μορίου ή και ενός ηλεκτρονίου μέσα σε ένα άτομο ή μόριο.

Ενεργοποιημένο σύμπλοκο: η ελάχιστα σταθερή ενδιάμεση διάταξη, από την οποία διέρχονται τα άτομα των διαφόρων ουσιών σε μια αντίδραση.

΄Ενζυμα: μόρια πρωτεΐνης, τα οποία έχουν την ικανότητα (συνήθως κατά τρόπο πολύ εμφανή και εξειδικευμένο) να καταλύουν μια ιδιαίτερη αντίδραση συνήθως βιολογικού ενδιαφέροντος.

Ενυδάτωση ή εφυδάτωση: η συγκέντρωση των μορίων του νερού γύρω από τα ιόντα, με αποτέλεσμα τη διατήρηση των ιόντων στο διάλυμα.

Εξουδετέρωση: η αντίδραση, κατά την οποία ενώνονται ιόντα OH^- και H^+ και σχηματίζουν H_2O. Τα οξέα μπορούν να εξουδετερώσουν βάσεις και αντίστροφα.

Εξώθερμη αντίδραση: η αντίδραση, κατά την οποία παράγεται (εκλύεται) θερμότητα.

΄Εργο: το αποτέλεσμα που προκύπτει από την ενέργεια που δαπανάται προκειμένου αυτό να επιτευχθεί. Η δύναμη που ασκείται σε ένα σώμα επί την απόσταση κατά την οποία το μετακινεί, εκφραζόμενη σε θερμίδες ή joules.

Εστέρες: ενώσεις του τύπου $RCOOR'$, όπου R' και R είναι ομάδες υδρογονανθράκων.

Ετερογενές σύστημα: εκείνο το σύστημα του οποίου όλα τα συστατικά βρίσκονται σε δύο ή περισσότερες διαφορετικές φάσεις.

Ευγενή αέρια: ομάδα μονοατομικών αερίων στοιχείων (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn), τα οποία είτε δεν εμφανίζουν χημική δραστικότητα (He, Ne, Ar) είτε έχουν πολύ χαμηλή δραστικότητα (Kr, Xe, Rn).

Ζ

Joule (J): η διεθνής μονάδα μετρήσεως της ενέργειας. Μία θερμίδα ισοδυναμεί με 4,184 joules.

Η

Η αρχή του Le Chatelier: ένα σύστημα το οποίο

βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, σε περίπτωση που μεταβληθούν οι συνθήκες θερμοκρασίας, πιέσεως ή συγκεντρώσεως, αντιδρά έτσι, ώστε να τις εξουδετερώνει.

Ηλεκτρολύτης: ουσία, η οποία διαλύεται στο νερό ή σε άλλο διαλύτη και δίνει αγώγιμο διάλυμα.

Ηλεκτρόνια σθένους: τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου που συγκρατούνται λιγότερο ισχυρά και γι' αυτό συμμετέχουν στο σχηματισμό χημικών δεσμών. Ηλεκτρόνια που καταλαμβάνουν τα τροχιακά σθένους.

Ηλεκτρόνιο: το ελάχιστο αρνητικό σωματίδιο που υπάρχει στα άτομα. Τα ηλεκτρόνια περιβάλλουν τον πυρήνα ενός ατόμου και ευθύνονται σχεδόν για όλο τον όγκο του ατόμου.

Ηλεκτροχημικό στοιχείο: διάταξη, στην οποία πραγματοποιείται χημική οξείδωση και αναγωγή και παράγεται ή καταναλώνεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Ημιστοιχείο: ένα στοιχείο που περιέχει ένα μόνο ηλεκτρόδιο, στο οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μία αντίδραση οξειδώσεως ή αναγωγής, όταν συνδεθεί με κάποιο άλλο ημιστοιχείο.

Θ

Θερμίδα: μονάδα θερμότητα ή ενέργειας. Ο ακριβής προσδιορισμός της γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών μονάδων, αλλά πρόκειται, κατά προσέγγιση, για την ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται, για να ανυψωθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου και στην περιοχή γύρω από τους 15°C.

Θερμιδομετρία: η μέτρηση των θερμοτήτων των χημικών αντιδράσεων.

Θερμιδόμετρο: διάταξη για τη μέτρηση της ποσότητας της θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως ή μιας αλλαγής φάσεως.

Θερμικό περιεχόμενο: η θερμική ενέργεια που εναποθηκεύεται μέσα σε κάποια ουσία κατά το σχηματισμό της.

Θερμοκρασία Κελσίου (°C): η θερμοκρασία πάνω σε μια κλίμακα, στην οποία έχει ορισθεί ως 0°C το σημείο πήξεως του νερού και ως 100°C το σημείο βρασμού (ζέσεως) του νερού.

Θερμοκρασία της κλίμακας Kelvin (kelvin, K): η θερμοκρασία σε μία κλίμακα, της οποίας το μηδέν αντιστοιχεί στο σημείο του απόλυτου μηδενός (–273, 16°C) και είναι διαβαθμισμένη σε βαθμούς μεγέθους όμοιου με τους βαθμούς της κλίμακας Κελσίου.

Θερμότητα αντιδράσεως: η θερμότητα που ελευθερώνεται ή καταναλώνεται κατά τη διάρκεια μιας αντιδράσεως.

Θερμότητα διαλύσεως: η θερμότητα που ελευθερώνεται ή καταναλώνεται κατά τη διάλυση μιας ουσίας.

Θερμότητα σχηματισμού: η θερμότητα που ελευθερώνεται ή καταναλώνεται κατά το σχηματισμό ενός γραμμομορίου μιας ενώσεως από τα στοιχεία που την αποτελούν.

Θερμότητα: μια μορφή ενέργειας.

Ι

Ιδανικό αέριο: αέριο, για το οποίο ισχύει αυστηρά ο νόμος $PV = nRT$ σε όλες τις θερμοκρασίες και πιέσεις.

΄Ιζημα: η στερεά ουσία που σχηματίζεται σε μια αντίδραση, η οποία πραγματοποιείται μέσα σε διάλυμα· επειδή είναι αδιάλυτη, αποχωρίζεται από το διάλυμα.

Ιόν υδρονίου: ενυδατωμένο ιόν υδρογόνου, $[H(H_2O)n]^+$.

Ιόν: ένα άτομο η ομάδα ατόμων που απέκτησαν θετικό φορτίο χάνοντας ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια (κατιόν) ή απέκτησαν αρνητικό φορτίο προσλαμβάνοντας ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια (ανιόν).

Ιοντικός δεσμός: ένας δεσμός, στον οποίο οι ελκτικές δυνάμεις οφείλονται εξ ολοκλήρου (ή σχεδόν εξ ολοκλήρου) σε ηλεκτροστατικές έλξεις ανάμεσα στα δύο ιόντα.

Ισομερή: δύο ή περισσότερες ουσίες με τον ίδιο μοριακό τύπο, αλλά με διαφορετικούς συντακτικούς τύπους και διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες.

Ισορροπία χημική: η κατάσταση, κατά την οποία δεν πραγματοποιείται συνολική ή μακροσκοπική μεταβολή σε κάποιο κλειστό χημικό σύστημα, σε ομοιόμορφη θερμοκρασία, μολονότι υπάρχει δραστηριότητα σε μοριακό επίπεδο.

Ισότοπα: άτομα με τον ίδιο ατομικό αριθμό (ίδιο αριθμό πρωτονίων), αλλά διαφορετικούς μαζικούς αριθμούς (διαφορετικούς αριθμούς νετρονίων).

Ισχυρός ηλεκτρολύτης: μια ουσία, η οποία όταν διαλυθεί μετατρέπεται καθ' ολοκληρίαν σε ιόντα.

Κ

Κάθοδος: το ηλεκτρόδιο ηλεκτροχημικού στοιχείου στο οποίο πραγματοποιείται αναγωγή. Κατά την ηλεκτρόλυση ενός ηλεκτρολύτη τα κατιόντα κινούνται προς την κάθοδο.

Κανονική πίεση και θερμοκρασία (Κ.Σ.): ως κανονικές συνθήκες χαρακτηρίζονται οι μηδέν βαθμοί Κελσίου (273 K) και πίεση μιας ατμόσφαιρας (760 Torr).

Κανονικότητα: τάση ή δέσμη αναλόγων (παρομοίων) ιδιοτήτων που παρατηρείται στη διατύπωση των πειραματικών δεδομένων.

Καρβοξυλικά οξέα: τα αποκαλούμενα και "οργανικά οξέα". Περιέχουν την καρβοξυλομάδα –COOH.

Καταλύτης: ουσία, η οποία προστίθεται στις χημικές αντιδράσεις με σκοπό να μεταβάλει (συνήθως να αυξήσει) την ταχύτητα της αντιδράσεως. Ο ίδιος ο καταλύτης δεν μεταβάλλεται ούτε μεταβάλλει τη φύση των προϊόντων. Μεταβάλλει μόνο την ταχύτητα.

Κατιόν: ένα θετικό ιόν.

Καύση: η διαδικασία της καύσεως, δηλαδή η βίαιη αντίδραση μιας ουσίας με το οξυγόνο, κατά την οποία εκλύεται θερμότητα και φως.

Κβάντα: οι στοιχειώδεις μονάδες ενέργειας στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ονομάζονται επίσης φωτόνια).

Κβαντικός αριθμός: ο αριθμός που χρησιμοποιείται για να καθορίσει κάποιο συγκεκριμένο ενεργειακό επίπεδο ενός ατόμου. Χρησιμοποιείται επίσης σε αλγεβρικές πράξεις για τον υπολογισμό του μεγέθους της ενέργειας αυτού του επιπέδου.

Κβαντομηχανική: σύνολο φυσικών νόμων και αξιωμάτων με εφαρμογή στη συμπεριφορά των ηλεκτρονίων, των ατόμων και των μορίων.

Κετόνες: ενώσεις του γενικού τύπου

$$R\text{–}\overset{\overset{\Large O}{\Vert}}{C}\text{–}R',$$

όπου R και R' είναι ομάδες υδρογονανθράκων.

Κινητική ενέργεια: ενέργεια κινήσεως. Ορίζεται ως το ήμισυ του γινομένου της μάζας επί το τετράγωνο της ταχύτητας ενός σώματος (ή σωματιδίου), $1/2\ mv^2$.

Κορεσμένο διάλυμα: ένα διάλυμα, το οποίο περιέχει ποσότητα διαλυμένης ουσίας ίση με τη μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε μια ορισμένη θερμοκρασία. Ένα διάλυμα αυτού του τύπου είναι δυνατόν να παραμείνει σε ισορροπία με περίσσεια καθαρής αδιάλυτης ουσίας.

Κράμα: μίγμα δύο ή περισσοτέρων μετάλλων.

Κρυσταλλική κατάσταση (κρύσταλλος): η στερεά μορφή της ύλης, στην οποία άτομα, μόρια ή ιόντα βρίσκονται τοποθετημένα σε κανονική επαναλαμβανόμενη διάταξη.

Κυτταρίνη: ένα πολυμερές της γλυκόζης με πολύ μεγάλο μοριακό βάρος, το οποίο περιέχει ένα είδος δεσμού μεταξύ των μορίων της γλυκόζης που δεν διασπάται εύκολα με υδρόλυση.

Λ

Λίπη: εστέρες της γλυκερίνης, με λιπαρά οξέα.

Λίτρο: η μετρική μονάδα του όγκου (ίση με 1000 ml).

Μ

Μάζα: η ποσότητα της ύλης που περιέχεται σε ένα αντικείμενο.

Μαζικός αριθμός (ενός ατόμου): ο συνολικός αριθμός των νετρονίων και πρωτονίων που υπάρχουν σε έναν πυρήνα.

Μανόμετρο: συσκευή για τη μέτρηση της πιέσεως που συνήθως γίνεται με την παρατήρηση του ύψους στήλης υδραργύρου ή άλλου υγρού που περιέχεται σε λεπτό γυάλινο αερόκενο σωλήνα της συσκευής.

Μερική πίεση: η συνεισφορά ενός αερίου στη συνολική πίεση ενός μείγματος αερίων.

Μέταλλο: ουσία με χαρακτηριστικές ιδιότητες τη στιλπνότητα και την καλή αγωγιμότητα της θερμότητας και του ηλεκτρισμού (διαθέτουν ένα νέφος ευκινήτων ηλεκτρονίων με τα οποία μπορούν να σχηματίσουν δεσμούς).

Μέτρο (m): η μετρική μονάδα μήκους (ίση με 100 cm).

Μήκος κύματος (φωτός): η απόσταση (μετρούμενη σε cm ή ångströms) ανάμεσα σε δύο διαδοχικά μέγιστα (κορυφές) της ηλεκτρομαγνητικής ταλαντώσεως.

Μηχανισμός (μιας αντιδράσεως): η σειρά των σταδίων, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει τη σύγκρουση μόνο λίγων (δύο ή τριών) μορίων, και τα οποία συνιστούν μια συνολική αντίδραση.

Μηχανισμός αντιδράσεως: βλέπε μηχανισμός.

Μηνίσκος: η καμπύλη επιφάνεια ενός υγρού μέσα σε έναν κύλινδρο που δημιουργείται από την έλξη ανάμεσα στο υγρό και τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Μολ (mole): πλήθος 6,02252 x 10^{23} σωματιδίων (ατόμων, μορίων, ιόντων, ηλεκτρονίων ή οποιωνδήποτε άλλων σωματιδίων). Συμβολίζεται με N. Η μάζα N ατόμων χαρακτηρίζεται και ως γραμμοάτομο, η μάζα N μορίων ως γραμμομόριο και η μάζα N ιόντων ως γραμμοϊόν.

Μολάλιτυ (molality): είναι ο αριθμός των moles διαλυμένης ουσίας που περιέχεται σε ένα χιλιόγραμμο διαλύτη. Λέγεται και μοριακή (ή γραμμομοριακή) συγκέντρωση κατά βάρος.

Μολαρική μάζα: η μάζα ενός mole σωματιδίων (ατόμων, μορίων κλπ.)· αν τα σωματίδια είναι άτομα, χαρακτηρίζεται και ως ατομική μάζα, ενώ όταν είναι μόρια, ως μοριακή μάζα.

Μολαρικός –ή–ό (molar: επίθετο, προερχόμενο από το mole): κάτι που αναφέρεται στο mole. Λέγεται και μοριακός (–ή–ό) ή γραμμομοριακός (- ή - ό), ιδιαίτερα όταν αναφέρεται σε moles μορίων, και ατομικός (- ή - ό) ή γραμμοατομικός (–ή–ό), όταν αναφέρεται σε moles ατόμων.

Μολάριτυ (molarity): είναι ο αριθμός των moles διαλυμένης ουσίας που περιέχεται σε 1 λίτρο διαλύματος. Λέγεται και μοριακή ή γραμμομοριακή συγκέντρωση κατ' όγκο.

Μονομερές: μια μικρή μονάδα που αν επαναληφθεί πολλές φορές δημιουργεί ένα πολυμερές.

Μονοσθενής: εκείνος που έχει δυνατότητα σχηματισμού μόνο ενός δεσμού (λέγεται για τα άτομα, στοιχεία, ρίζες, ιόντα).

Μοριακό πρότυπο ή μοντέλο: η παράσταση ενός μορίου (με τη βοήθεια σφαιρών, ραβδών ή προσομοίωμα ελατηρίων κ.α.), η οποία δείχνει το σχήμα που θα είχε το μόριο, αν μπορούσε να μεγεθυνθεί 10^{10} περίπου φορές.

Μοριακοί κρύσταλλοι: κρύσταλλοι με χαμηλό σημείο τήξεως. Οι μικρότερες μονάδες στο κρυσταλλικό πλέγμα είναι τα μόρια, τα οποία έλκονται μεταξύ τους με δυνάμεις van der Waals.

Μοριακός τύπος: ο τύπος που δείχνει, πόσες φορές ένα είδος ατόμου επαναλαμβάνεται σε ένα μόριο, αλλά δεν δείχνει τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται τα άτομα μεταξύ τους. Για παράδειγμα: C_2H_6 προκειμένου για το αιθάνιο.

Μόριο: η μικρότερη μονάδα μιας ουσίας που μπορεί να υπάρξει αυτοδύναμα.

N

Νετρόνιο: ουδέτερο σωματίδιο με μάζα περίπου ίση με τη μάζα του πρωτονίου. Όπως και το πρωτόνιο, υπάρχει στον ατομικό πυρήνα.

Νόμος της διατηρήσεως της ενέργειας: Κατά τη διάρκεια μιας χημικής αντιδράσεως ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται ενέργεια.

Νόμος της προσθετικότητας των θερμοτήτων των αντιδράσεων: όταν μια αντίδραση μπορεί να εκφρασθεί ως το αλγεβρικό άθροισμα δύο η περισσοτέρων άλλων αντιδράσεων, τότε η θερμότητά της ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των θερμοτήτων αυτών των αντιδράσεων, (γνωστός επίσης και ως νόμος του Hess).

Νόμος του Boyle: η πίεση ορισμένης μάζας αερίου, όταν η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή, είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου του (PV = σταθερή).

Νόμος του Charles: όλα τα αέρια, όταν θερμανθούν (στην ίδια περιοχή θερμοκρασιών), διαστέλλονται κατά το ίδιο ποσοστό του αρχικού τους όγκου.

Νόμος του Coulomb: η δύναμη ανάμεσα σε δύο φορτισμένα σώματα είναι ανάλογη προς το γινόμενο των φορτίων τους και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της μεταξύ τους αποστάσεως.

Νόμος των σταθερών αναλογιών: οι μάζες των στοιχείων σε μια καθαρή ουσία βρίσκονται πάντα σε καθορισμένη αναλογία.

O

Ομογενές ή ομοιογενές σύστημα: εκείνο το σύστημα του οποίου όλα τα συστατικά βρίσκονται στην ίδια φάση.

Ομοιοπολικός δεσμός: μια σύνδεση ανάμεσα σε δύο άτομα, η οποία οφείλεται κυρίως στην αμοιβαία και περισσότερο ή λιγότερο ισότιμη συνεισφορά των ηλεκτρονίων μεταξύ τους.

Οξείδωση: γενικά η απώλεια ηλεκτρονίων (1). Η αντίδραση μιας ουσίας με οξυγόνο ή με κάποιο άλλο οξειδωτικό μέσο (2).

Οξειδωτικό μέσο: μια ένωση ή ιόν που έχει την τάση να δέχεται ή να προσλαμβάνει ηλεκτρόνια.

Οξύ: μια ουσία, η οποία όταν διαλύεται στο νερό ελευθερώνει ιόντα υδρογόνου.

Ορατό φως (ή φάσμα): το φως που γίνεται αντιληπτό από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Περιλαμβάνει το ερυθρό (συχνότητα 4,3 x 10^{14} sec^{-1}), το πορτοκαλλόχρωμο, το κίτρινο, το

πράσινο, το κυανό, το ιώδες (συχνότητα 7,5 x 10^{14} sec^{-1}).

Οργανική χημεία: ο κλάδος της χημείας που μελετά τις ενώσεις του άνθρακα, εκτός των πολύ απλών ενώσεων όπως είναι το CO_2 και το Na_2CO_3.

Π

Πεδίο: η περιοχή του χώρου στην οποία ασκείται κάποια δύναμη (για παράδειγμα μαγνητική ή ηλεκτρική).

Περίθλαση: η απόκλιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την ευθεία πορεία τους, όταν αυτά διέρχονται μέσα από ένα μικρό άνοιγμα. Μια ευθεία δέσμη παραλλήλων κυμάτων όταν περνάει μέσα από πολύ μικρή οπή, εξέρχεται με κυκλικό σχήμα και διασκορπίζεται τριγύρω.

Πετρέλαιο: μείγμα φυσικής προελεύσεως που αποτελείται από οργανικές ενώσεις (κυρίως υδρογονάνθρακες), στις οποίες συγκαταλέγονται από πολύ πτητικά υγρά μέχρι βαριές, παχύρρευστες πίσσες. Ονομάζεται και αργό πετρέλαιο.

Πίεση: η δύναμη στη μονάδα επιφάνειας (μονάδες: ατμόσφαιρες ή Torr).

Πολικό (πολωμένο) μόριο: εκείνο το μόριο το οποίο διαθέτει ηλεκτρική διπολική ροπή, εξ αιτίας της ανομοιόμορφης κατανομής των ηλεκτρονίων στους διάφορους πυρήνες.

Πολυμερές: ένα πολύ μεγάλο μόριο που αποτελείται από μικρές μονάδες (τα μονομερή) επαναλαμβανόμενες πολλές φορές σε μια εκτεταμένη αλληλουχία.

Πολυμερισμός: η διαδικασία ή η αντίδραση κατά την οποία συνδέονται τα μονομερή και σχηματίζουν πολυμερή.

Προϊόντα: ουσίες που παράγονται σε μια χημική αντίδραση. Κανονικά γράφονται στο δεξιό μέρος των χημικών εξισώσεων.

Πρωτεΐνες: είδος μορίων, σημαντικών για τη ζωή, τα οποία αποτελούνται από μία ή περισσότερες μακρές αλυσίδες αμινοξέων συνδεομένων μεταξύ τους με αμιδικούς δεσμούς.

Πρωτόνια: τα θετικώς φορτισμένα σωματίδια του ατομικού πυρήνα.

Πτητικός: αυτός που μετασχηματίζεται εύκολα σε αέριο (δηλαδή σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία).

Πυκνότητα: μάζα ανά μονάδα όγκου. Εκφράζεται συνήθως σε γραμμάρια ανά χιλιοστόλιτρο, g/ml.

Πυρήνας: το θετικά φορτισμένο κεντρικό τμήμα ενός ατόμου. Περιέχει το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ατόμου, αλλά καταλαμβάνει μόνο ένα μικρό μέρος του ατομικού όγκου.

Ρ

Ραδιενέργεια: η εκπομπή ακτινοβολίας (ηλεκτρόνια, πυρήνες ηλίου, ηλεκτρομαγνητική ενέργεια) από ασταθείς ατομικούς πυρήνες.

Ρίζα: μια μονάδα ατόμων που παραμένουν ενωμένα ως μονάδα μέσα από πολλές χημικές αντιδράσεις (αν και όχι όλες) και δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Παραδείγματα: SO_4 (θειική), NO_3 (νιτρική). Οι ρίζες που έχουν ηλεκτρικό φορτίο χαρακτηρίζονται ως ιόντα και συμβολίζονται ως εξής: SO_4^{2-} (θειικό ιόν), NO_3– (νιτρικό ιόν).

Ρυθμίζω: καθορίζω συστηματικά τις διαβαθμίσεις πάνω σε ένα όργανο ποσοτικών μετρήσεων.

Redox: διεθνής συντομογραφία του όρου οξειδοαναγωγή.

Σ

Σάκχαρα: κατηγορίες υδατανθράκων.

Σάπωνες: μεταλλικά άλατα (συνήθως του νατρίου) καρβοξυλικών οξέων με μακριά αλυσίδα ατόμων άνθρακα (π.χ. C_{17}).

Σημαντικά ψηφία: τα ψηφία μιας μετρήσεως, τα οποία είναι απολύτως βέβαια, και ένα επί πλέον το οποίο εμπεριέχει κάποια αβεβαιότητα.

Σημείο βρασμού (ζέσεως): η θερμοκρασία, στην οποία η τάση ατμών ενός υγρού ισούται με την πίεση η οποία ασκείται από την ατμόσφαιρα πάνω στο υγρό. Κανονικό σημείο βρασμού είναι η θερμοκρασία στην οποία η τάση των ατμών είναι 760 Torr.

Σθένος: η ικανότητα ενός ατόμου να σχηματίζει χημικούς δεσμούς. Επίσης, ο αριθμός των δεσμών που μπορεί ένα άτομο να σχηματίσει. Παράδειγμα: το οξυγόνο έχει σθένος δύο.

Σκούριασμα: ειδική μορφή διαβρώσεως, κατά την οποία ο σίδηρος με τη δράση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου και νερού μετατρέπεται σε ενυδατωμένο Fe_2O_3.

Στάδιο καθοριστικό της ταχύτητας (χημικής αντιδράσεως): η βραδύτερη αντίδραση κατά το μηχανισμό μιας αντιδράσεως.

Σταθερά του Plank: ο αριθμός h με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η συχνότητα ν της φωτεινής ακτινοβολίας και δίνει την ενέργεια που

υπάρχει σε αυτήν την ακτινοβολία.

Στερεό πλέγμα: η λεπτοδομή στερεού σώματος που διαμορφώνεται, όταν κάποιο στοιχείο (όπως τα Si, C) ή χημική ένωση (όπως τα SiO_2, As_2O_3), των οποίων τα άτομα συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς (αναπτύσσονται στο χώρο), κατά μία ατέρμονη δισδιάσταση ή τρισδιάσταση διάταξη.

Στερεοϊσομερή: μόρια που περιέχουν τον ίδιο αριθμό και είδος ατόμων, αλλά έχουν διαφορετική διάταξη δεσμών.

Στοιβάδα (ηλεκτρονίου): διάφορα συγκεκριμένα ενεργειακά επίπεδα (ή χώροι) στα άτομα που ορίζονται από ορισμένους κύριους κβαντικούς αριθμούς και ένα γράμμα. Παράδειγμα: Η στοιβάδα 2*p* ή η στοιβάδα 3*d*.

Στοιχείο: μια ουσία που αποτελείται μόνο από άτομα, τα οποία έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό.

Στοιχειομετρία: οι ποσοτικές σχέσεις σε μια χημική αντίδραση.

Συμβολή: το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα, όταν δύο σειρές κυμάτων συγχωνεύονται. Φαινόμενα συμβολής που παράγονται από συγχώνευση φωτεινών ακτινοβολιών φανερώνουν τις κυματικές ιδιότητες του φωτός.

Συντακτικός τύπος: ο τύπος που δείχνει πώς συνδέονται τα άτομα μέσα σε ένα μόριο (ίσως ακόμη και τη διάταξή τους στο επίπεδο).

Συντονισμός: φαινόμενο που παρατηρείται σε ένα μόριο ή ιόν όταν μπορεί να παρασταθεί με δύο ή περισσότερες δομές (απεικονίσεις) που διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στην κατανομή των ηλεκτρονίων. Αυτές οι δομές λέμε ότι βρίσκονται σε συντονισμό.

Σύστημα: κάθε περιοχή που εξετάζεται και η ύλη που περιέχεται σε αυτήν.

Συχνότητα (του φωτός): ο αριθμός των κυμάτων που διέρχονται από κάποιο σημείο σε ένα δευτερόλεπτο. Ορίζεται επίσης ως ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο. Μονάδα: sec ή hertz, Hz.

Σχάση: η διαδικασία κατά την οποία ένας πυρήνας χωρίζεται σε δύο βαριά κλάσματα και σε μερικά νετρόνια.

Σωματίδιο άλφα (α): σωματίδιο που αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Τα σωματίδια α εκπέμπονται από κάποιους ραδιενεργούς πυρήνες.

Σωματίδιο βήτα (β): ηλεκτρόνιο, το οποίο εξέπεμψε κάποιος ραδιενεργός πυρήνας.

T

Trans: διαγώνια ή σε αντίθετες πλευρές. Χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιορίζονται τα γεωμετρικά ισομερή (βλ. **cis**).

Τάση ατμών: η πίεση ισορροπίας που ασκείται από τους ατμούς πάνω σε ένα υγρό, σε καθορισμένη θερμοκρασία.

Ταχύτητα (αντιδράσεως): μετρείται με την ποσότητα (συνήθως σε γραμμομόρια) των αντιδρώντων που καταναλώνονται ή των προϊόντων που παράγονται σε μια χημική αντίδραση στη μονάδα του χρόνου.

Τετραεδρική γωνία: 109° 28΄. Συνήθως έτσι χαρακτηρίζεται η γωνία ανάμεσα σε δύο γραμμές που άγονται από τις κορυφές ενός κανονικού τετραέδρου προς το κέντρο του.

Τετράεδρο: το κανονικό πολύεδρο με πλευρές τέσσερα όμοια ισοδύναμα τρίγωνα.

Τιτλοδότηση: η μέτρηση που προκύπτει από τη διαδικασία κατά την οποία προστίθεται προσεκτικά ένα αντιδρόν σε ένα άλλο, μέχρι και τα δύο να συνυπάρχουν σε ακριβώς ισοδύναμες ποσότητες.

Τρισθενής: εκείνος που έχει τη δυνατότητα να σχηματίζει τρεις δεσμούς (λέγεται για άτομα, στοιχεία, ρίζες, ιόντα).

Τροχιακά σθένους: τροχιακά της ενεργειακής περιοχής που περιέχει μερικώς συμπληρωμένα τροχιακά.

Τροχιακό: μια περιοχή του χώρου γύρω από τον ατομικό πυρήνα, στην οποία υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να βρεθούν τα ηλεκτρόνια. Τα κύρια είδη των τροχιακών είναι τα s (σφαιρικά), τα p (που αναπτύσσονται κατά μήκος ενός εκ των τριών καθέτων καρτεσιανών αξόνων), τα d και τα f.

Τύπος χημικός: η κωδική απεικόνιση ενός μορίου, η οποία αποτελείται από σύμβολα για τα στοιχεία και αριθμητικούς δείκτες για τον αριθμό των ατόμων του κάθε στοιχείου.

Torr: μικρή μονάδα πιέσεως ίση με το 1/760 της ατμόσφαιρας ή ίση περίπου με την πίεση που ασκείται από μια στήλη υδραργύρου ύψους ενός χιλιοστομέτρου στο επίπεδο της θάλασσας.

Y

Υβρίδιο συντονισμού: ο μέσος όρος ή το μείγμα των διαφορετικών δομών ενός μορίου ή ιόντος που αντιστοιχεί στην πραγματική ηλεκτρονιακή κατανομή.

Υβριδοποιημένα τροχιακά: τα τροχιακά που

προέρχονται από ανάμιξη διαφόρων καθαρών τροχιακών (όπως τα **s** και τα **p** τροχιακά).

Υγρό: η φάση, στην οποία τα μόρια βρίσκονται κοντά το ένα με το άλλο, έχουν όμως αρκετή ενέργεια, που τους επιτρέπει να κινούνται και να ολισθαίνουν απομακρυνόμενα το ένα από το άλλο. Γι' αυτό τα υγρά μπορούν να ρέουν. Δεν διαθέτουν τη σχεδόν τέλεια δομή των κρυσταλλικών στερεών.

Υδατάνθρακες: μόρια οργανικών ενώσεων, τα οποία αποτελούνται μόνο από άτομα C, H και O· σε αυτά η αναλογία των ατόμων H και O είναι 2:1.

Υδατικό διάλυμα: ένα διάλυμα, στο οποίο ο διαλύτης είναι νερό.

Υδρογονάνθρακες: μια ένωση, η οποία περιέχει μόνο άτομα υδρογόνου και άνθρακα. Μπορεί να είναι κορεσμένη (χωρίς διπλούς ή τριπλούς δεσμούς), ακόρεστη (με διπλούς ή και τριπλούς δεσμούς), αρωματική (με βενζολικό ή παρόμοιο με τον βενζολικό δακτύλιο) ή κυκλική (κορεσμένη ή ακόρεστη, αλλά περιέχουσα έναν τουλάχιστον δακτύλιο με άτομα άνθρακα).

Υπεριώδες φως: ακτινοβολία με συχνότητα μεγαλύτερη από εκείνη του φωτός στο ιώδες άκρο του ορατού φάσματος (μεγαλύτερη από $7{,}5 \times 10^{14}$ sec^{-1}).

Υπέρυθρη ακτινοβολία: ακτινοβολία με μικρότερες συχνότητες από το ερυθρό φως (μικρότερες από $4{,}3 \times 10^{14}$ sec^{-1}).

Υπόθεση του Avogadro: ίσοι όγκοι αερίων, υπό την ίδια πίεση και θερμοκρασία, περιέχουν ίσους αριθμούς μορίων.

Φ

Φάση: μέρος ενός συστήματος το οποίο χαρακτηρίζεται από τις ίδιες ιδιότητες. Τέτοιες είναι η στερεά, η υγρή ή αέρια φάση.

Φάσμα: βλέπε το **ορατό φάσμα**.

Φασματογράφος μάζας: όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των μαζών των θετικών ιόντων των αερίων.

Φασματοσκόπιο (ή φασματογράφος): οπτική διάταξη, η οποία δημιουργεί φάσμα του φωτός και μπορούμε είτε να το δούμε (φασματοσκόπιο) είτε να το καταγράψομε (φασματογράφος).

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (ή σωστότερα φωτοηλεκτρονικό): η εκπομπή ηλεκτρονίων από μια ουσία όταν προσπέσει επ' αυτής φωτεινή ακτινοβολία, της οποίας τα φωτόνια έχουν αρκετή ενέργεια.

Φωτόνιο: μια στοιχειώδης μονάδα ενέργειας που συνιστά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ονομάζεται και κβάντουμ). Η ενέργεια E του κάθε φωτονίου συχνότητας ν δίνεται από τον τύπο $E = h\nu$, όπου h είναι η σταθερά του Plank.

Φωτοσύνθεση: η διαδικασία με την οποία τα φυτά συνθέτουν από CO_2 και H_2O γλυκόζη, άμυλο και κυτταρίνη χρησιμοποιώντας ως πηγή της απαιτούμενης ενέργειας το ηλιακό φως.

Χ

Χαρακτηριστική ομάδα: μια σχετικά δραστική ομάδα (όπως η –COOH, η –OH και η $–NH_2$) η οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένη με μια σχετικά αδρανή ομάδα υδρογονάνθρακα. Οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται κυρίως στις θέσεις των χαρακτηριστικών ομάδων.

Χημική αντίδραση: ο μετασχηματισμός μιας ή περισσοτέρων ουσιών (των αντιδρώντων) σε μία ή περισσότερες διαφορετικές ουσίες (τα προϊόντα).

Χημική ένωση: μια καθαρή ουσία που αποτελείται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά είδη ατόμων (διαφορετικών στοιχείων).

Χημική εξίσωση: μια ομάδα τύπων και συμβόλων, τα οποία δείχνουν ποια αντιδρώντα ενώνονται και σε ποιες αναλογίες, για να σχηματίσουν ποια προϊόντα και σε ποιες αναλογίες (βλέπε χημική αντίδραση).

χιλιο–: ένα πρόθεμα που σημαίνει χίλια, όπως στην περίπτωση του χιλιογράμμου (χίλια γραμμάρια).

Χιλιόγραμμο (kg): η πρότυπη διεθνής επιστημονική μονάδα μάζας.

Χιλιοστό–: ένα πρόθεμα που σημαίνει το ένα χιλιοστό, όπως στο χιλιοστόγραμμο (0,001 του γραμμαρίου).

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

Α

Αβεβαιότητα:
  εκατοστιαία **87**
  στα παράγωγα μεγέθη 79-81, 87-89
  στις μετρήσεις 78
Αβεβαιότητας αρχή 299-301
Αγωγιμότητα:
  ενώσεων 350-352, 467
  μετάλλων 454
Αγωγοί 205
Αδενίνη 500
Αδιπικό οξύ, συμπύκνωσή του 485
Αδρεναλίνη 581
Αέρα ρύπανση 132-133, 497
Αέρας, σύστασή του 134-135
  βλ. επίσης ατμόσφαιρα
Αέρια:
  βλ. επίσης ευγενή αέρια
  διερεύνηση μαζών ίσων όγκων 109-113
  πίεση 98-109, 128-131
  σωματιδιακό πρότυπο 106-108
  υγροποίηση 149-152, 444
Αέριο νεφέλωμα 97
Άζωτο:
  ικανότητα σχηματισμού δεσμών 342
  παραγωγή χημικών ενώσεων 602
  τρόπος σχηματισμού δεσμών στα μόρια 376
  υγρό 444
Αθροισιμότητα των θερμοτήτων αντιδράσεων, νόμοι της 545
Αιθάλη 133
Αιθαλομίχλη 132-133
  αυτοκινήτων 530-531
Αιθάνιο, προσδιορισμός του τύπου 403-404
Αιθανόλη 164, 167
  δομή 383-385
  φυσικές ιδιότητες 385
Αιθυλένιο 374-375, 393
  δομή αναλόγων μορίων 387-388
  πρότυπο και τύπος 412
Αιθυλο-ομάδα **420**
Ακεταλδεΰδη, πρότυπο και τύπος 427
Ακετόνη:
  διαλύτης 470
  ζώνες απορροφήσεως 284
  πρότυπο και τύπος 471
Ακετυλένιο 376, 413
Ακόρεστοι υδρογονάθρακες **412**-414
Ακτίνες γάμμα (γ) 241
Ακτινοβολία:
  ακτίνων Χ 248, 324-325
  γάμμα 243
  υπεριώδης **266**, 603
  υπέρυθρη **266**
Άλατα **646**
  διερεύνηση διαλυτότητας 318-320
  σχηματισμός 646
Αλδεΰδες 427
Αλιζαρίνης κίτρινο R **639**-640
Αλκαλικών γαιών μέταλλα 322
Αλκαλίων μέταλλα 183-**184**, 320-321
  ιδιότητές τους 192
Αλκάνια **405**-408
  ιδιότητές τους, 408
  πρότυπα και τύποι 406, 407
Αλκένια **412**-414
Αλκίνια **412**-414
Αλκοόλες 421-422
  διερεύνηση 423-427
  οξείδωσή τους 422
Αλληλεπίδραση, ανάμεσα σε άτομα 336-337
Αλογόνα 184-185, 192, 320-322
  ιδιότητες 460
Αλογονίδια 322
  αλκαλιμετάλλων 464-465, 468-469
  διερεύνηση 318-320
Αλουμίνιο 179
Αλουμινίου οξείδιο 179
Άλφα (α) – διάσπαση πυρήνα 241-243
Άλφα (α) σωματίδια 228, **241**
  εκτροπή από άτομα 228-233
Αλχημιστές 161
Αμίαντος 506-507
  στερεό πλέγμα, 462
Αμίδια **433**
Αμιδικών δεσμών σύνδεση 485
Αμίνες **432**-433
Αμινομάδα 432
Αμινοξέα 438-439, **493**-494
  κώδικές τους, 500-502
Αμμωνία 114-115
  δομή 342
  μοριακό σχήμα 363-364, 367
  σχηματισμός 601-602

Αμπερόμετρο 664, 671
Άμυλο 494-495
Αναγωγή **667**, 669
    βλ. οξειδοαναγωγή
Αναγωγής δυναμικά 674-675, 691
Αναγωγικό μέσο **667**, 691
Αναδιπλούμενα φύλλα 494-495
Ανακύκλωση **354**
    χαρτιού 497-498
Αναλογία με μία κλίμακα 275-278
Αναλογίας, σταθερά 566
Ανάλογο μπάλας του γκολφ 621-626
Ανάλυση 157
    ογκομετρική 649
    ποιοτική 157
    ποσοτική 157
    σταθμική 649
    χρωματομετρική, 607, 610
Αναπνοή 582
Αναφοράς ημιστοιχείο **673**-674
Ανελαστικές κρούσεις **52**
Άνθρακα άτομα
    ασύμμετρα 438
    ικανότητα σχηματισμού δεσμού 342
    μοναδική ιδιότητα 402
    στρώματα των ατόμων 90
Άνθρακα ενώσεις 399-439
    δομή τους 402-404
    ονοματολογία 405, 414, 415, 434
    πηγές τους 400-402
Άνθρακας-12 117
Ανθρακική αφυδατάση 582
Ανθρακικό ασβέστιο 133
    αποσύνθεσή του 591
Ανιόντα 222
    ονόματα και τύποι 696
    σιλικόνης, 505-506
Άνοδος 205-206, 216, **683**
Ανοικτό σύστημα 592, 598
Ανόργανη χημεία **402**
    δυνάμεις μεταξύ των ατόμων 451-452
    εντομοκτόνα 436-437
Αντιδράσεις 167
    αερίων 119-122
    αυθόρμητες 61-62, 674-675
    ενδοθερμικές **541**, 574, 576
    εξώθερμες, **541**, 574, 576
    ημιστοιχείου 667, 669-670, 673-675
    καύσεως 20-22, 81-84, 177-178, 245
    μετάλλων με νερό 180-183
    μετάλλων με οξέα 137-140
    ολοκλήρωσή τους 598-**599**
    οξειδο-αναγωγής 662, **667**, 669-684
    οργανικές 532-533
    πολυμερισμού συμπυκνώσεως **484**-486
    προσθήκης 414
    συνθέσεως μεταλλικών οξειδίων 158-159
    ταχύτητές τους, βλ. ταχύτητες αντιδράσεων
    υποκαταστάσεως 413-414
Αντιδράσεις ημιστοιχείων **667**
    αξιοποίησή τους για τον υπολογισμό των συντελεστών στις χημικές εξισώσεις, 676-679
    δυναμικά 673-674, 691
    τάση προς πραγματοποίηση 669-670
Αντιδράσεως μηχανισμός 564-566, 576-580, 605
Αντιδράσεως συντεταγμένη 572
Αντιδράσεως ταχύτητα 556-584
    βλ. επίσης καταλύτες
    διερεύνηση 559-562
    εξάρτηση από τα αντιδρώντα 558-559
    επίδραση της θερμοκρασίας 561, 566-568
    επίδραση της συγκεντρώσεως 560-564, 565-566
Αντιδραστήρες, πυρηνικοί 243, 245-247
    θέσεις τους 246
Αντιδρώντα, 167, 518
    καθοριστικά 524
Αντίστροφη αναλογία 106
Ανύψωση σημείου βρασμού 472, 474-475,
Ανώσεως διόρθωση 36, 41-42, 92, 112
Ανώσεως φαινόμενο 74-75
    διερεύνηση 36-40
Άνωση 36-42
Απαγορευτική αρχή του Pauli 311-**312**
Απεικόνιση του χημικού δεσμού με γραμμές 337
Απεικόνιση του χημικού δεσμού με τη βοήθεια των τροχιακών 337
Απόλυτες ταχύτητες αντιδράσεων, θεωρία 575
Απόλυτης θερμοκρασίας κλίμακα 136-137
Απόλυτο μηδέν **137**
Απορροφήσεως ζώνη 285-286
Απορρυπαντικά 431-**432**
Αποτέφρωση (=καύση) 20-22, 177-178, 245
    διερεύνηση 81-84
    μέτρηση θερμότητας 81-84
    υδατανθράκων 178
Άπωση, φορτισμένων σωματιδίων 199-201
Αραιόμετρο **73**, 74-77
Αραιός 474
Αργόν 194
    ανακάλυψή του 191

διάταξη ηλεκτρονίων 338-339
ιδιότητες, 192-460
Άργυρος, αναγωγή του 663-668
Αρχή του Le Chatelier **600**-602
Αρχική ενέργεια ιονισμού **321**
Αρχιμήδη αρχή 72
Αρωματικοί υδρογονάθρακες 415-418
Ασθενείς ηλεκτρολύτες **631**-632
Ασθενή οξέα 652-653
ανταγωνισμοί για ιόντα υδρογόνου 654-657
Ασύμμετρο άτομο άνθρακα 438
-ικό, σημασία της καταλήξεως 514
Αταξία, βλ. τυχαία διάταξη
Ατμόσφαιρα (atm) **100**
Ατμόσφαιρα, υδρατμοί στη 130-131
Ατμοσφαιρική πίεση 100-101, 130-131
Ατμών τάση 596
αιθανόλης 590
νερού 140, 590
Άτομα 3, 96, 98, **116**
διάμετροι 233-235
διάσπασή τους 241, 243
διάταξή τους 448-449
δομή 228-235, 238-240, 279-282, 298-299
πρότυπο του Bohr 265, 279-282, 292, 295-296
πρότυπο του Rutherford 230
πρότυπο του Thomson 228, 229-230
Ατομικά φάσματα 272-275
Ατομικές ταχύτητες, κατανομή τους 568-571
Ατομική θεωρία 159-160, 162, 283
Ατομική μάζα, βλ. μοριακή
Ατομικοί αριθμοί 191-193, **233**, 692-693
βάση για τον περιοδικό πίνακα 316-317
προσδιορισμός τους 324-325
Ατομικοί δεσμοί 243-244
Ατομικός αντιδραστήρας 4-5
Αυθόρμητες αντιδράσεις 61-62
πρόβλεψη 674-675
Αυτοκινήτων νέφος 530-531
Ampere (Αμπέρ) **216**
Ångström, 235
Arrheuius, Svante August 386, 656, 684
Aston, F. W. 242
Avogadro, η υπόθεσή του 115-**116**, 118-120, 122, 141, 143-144
Avogadro, ο αριθμός του 118

B

Βαθμοί ελευθερίας 614
Βαναδίου πεντοξείδιο, ως καταλύτης 529
Βαρόμετρο **102**-103
Βάρος 26
και μάζα 27-28, 35, 36-43
Βαρύ ύδωρ 240
σύνθεσή του 656
Βαρύτητα 26-28, 37
Βάσεις 630, 684
βλ. επίσης ιόντα υδροξυλίου
εξουδετέρωση 644-**646**
ιδιότητές τους 636-638
μεταφορά πρωτονίου 657
στα νουκλεϊνικά οξέα 500-501, 502-503
σχηματισμός τους 180-183
τιτλοδότηση **647**-652
τυποποίηση διαλύματος 649-651
Βασικά διαλύματα 634
τυποποίησή τους 649-651
Βασική στάθμη ενέργειας 278
Βενζοϊκό οξύ
προσδιορισμός σταθεράς ισορροπίας 654
Βενζόλιο 415-417
αντιδράσεις υποκαταστάσεως 417
δακτύλιος 415
παράγωγα 418
Βηρύλλιο, ικανότητα σχηματισμού δεσμών 343-344
Βήτα (β) – διάσπαση 241-243
Βήτα (β) – σωματίδια 241
Βιοαποικοδομούμενο 353
Βολτ 671
Βολτόμετρο 671
Βόριο, ικανότητα σχηματισμού δεσμού 343
Βουλκανισμός 495
Βρασμού σημείο **590**
τάσεις του 193
των υδρογονοενώσεων 476
Βρωμίωση 417
Balmer 249
Barkla 323
Bartlett, Neil 190
Becquerel 248
Bohr, Niels 249, 274, 279-282, 283
Bohr, ατομικό πρότυπο 265, 279-282, 283, 292, 295-296
Boyle, Robert 107
Bravais 447
Bronowski, Jacob 19
Brønsted, J. M. 656

Γ

Γαιάνθρακας 400-401
Γαλαξίας 90
Γαλιλαίος 54-55
Γενετικός κώδικας 500-501
Γερμάνιο, ιδιότητές του 188
Γέφυρα άλατος 664-665, 668
Γεωμετρικά ισομερή **387**-388
Γιγαντιαία μόρια 483-507
Γλυκερίδια **430**, 431-432
Γλυκερίνη 422
Γλυκόζη 495
  δομή της 439
Γουανίνη 500
Γραμμάριο **29**
Γραμμικά μόρια 370
Γραφική παράσταση 12-14
Γραφίτης, δομή 452-453
Γυαλί 506
Carothers, Wallace Hume 499
Carson, Rachel 436
Cavendish, Henry 191
Celsius, Anders 55
Chandwick 250
Charles, Jacques 134
Cis-trans ισομερή 387-388
Commoner, Barry 18
Curie, Irène 250
Curie, Marie και Pierre 248
Gerlach, Walter 366
Germer, Lester, H. 293
Gibbs, Josiah Willard 614
Goldstein, E. 213

Δ

Δείκτες 639-640
Δέλτα, Δ 58
Δεσμοί σίγμα 393-395
Δεσμοί:
  απεικονίσεις τους 335, 337-339
  διπλοί δεσμοί 374-375, 393-395
  ιοντικοί 345-349
  ομοιοπολικοί 332-336, 345-347
  πι (π)-δεσμοί 393-395
  σίγμα (σ) δεσμοί 393-395
  τριπλοί δεσμοί 375-376, 393-395
  υδρογόνου **476**
Δεσμός υδρογόνου **476**
  στις πρωτεΐνες 494
  στο νάϋλον 486
  του νερού 478
  του υδροφθορίου 478
Δεσμού ενέργεια **376**
Δεσμών γωνίες, πρόβλεψη 363-364, 367-372
Δεσοξυ, σημασία του προθέματος 502-503
Δεσοξυριβόζης σάκχαρο 502
Δευτέριο 238-242
ΔΗ 540-541
$\Delta H^{\ddagger}$ 574-576
Δηλητήρια 355
Διάγραμμα του Moseley 326
Διαγράμματα πληρότητας τροχιακών 337
Διάθλαση **262**
Διακλαδιζόμενες αλυσίδες 489
Διαλύματα **446**, 470, 684
  βασικά 636-638
  κορεσμένα **617**, 618-619
  όξινα 636
  ουδέτερα 634
  παρασκευή προτύπων, βάσεων 650
  πρότυπα 640-641
  pH 634
  υδατικά **518**-519
Διαλυμένη ουσία **470**
Διαλύτες **470**-472
Διαλυτότητα 318
  αερίων 115-116
  αλάτων 318-319
  βλ. επίσης διαλύματα
  ενώσεων στο νερό **697**
  ισορροπία 591, 596-597, 616-619
  υπολογισμός 617
Διαλυτότητας, γινόμενο **617**-619
  προσδιορισμός 613-616
Διαμάντι 453
Διάνυσμα 366
Διάσπαση 243-245
Διαστάσεως, σταθερά 632
  επίδραση θερμοκρασίας 634-635
  νερού 632-634
Διάσταση 518
  διαλυμένης ουσίας 684
Διάταξη συμπληρωμένης στοιβάδας **312**-313
  αποκατάστασή της 314-315
Διατήρηση μάζας και ενέργειας, νόμος 62-64
Διατήρηση μάζας, νόμος 44-46
Διατήρηση της ενέργειας, νόμος 59-60, 62-64, 545
Διατομικά μόρια 165
Διβοράνιο, 343
Διεθνές σύστημα μονάδων 54
Διήθημα 522-523

Διήθηση 522-523
Διμεθυλοαιθέρας 166, 385-387
Διοξείδιο του άνθρακα 375-376
στην ατμόσφαιρα 549-550
Διοξείδιο του θείου 131-132
Διπλές ενώσεις (διστοιχειακές) **514**
Διπλή έλικα 548
Διπλοί δεσμοί 374-375, 393-395
Διπολική ροπή **381**-383, 386
Δίπολο (α) 381-384, 470-472
ταλαντουμένα 451-452
Δισθενές 341
Δομή 116, 362
Δομή υπεροξειδίου του υδρογόνου 341
Δορυφόρος τηλεπικοινωνιακός 4
Δραστικές ομάδες 408, 420-433
μεταφορά τους 581-582
περιέχουσες άζωτο 432-433
Δυνάμεις του δέκα 88-89
Δυναμική ενέργεια **51**, 60-61
Δυναμική ισορροπία 594-597
απόδειξή της 597-598
Δυναμικό (Ε) **671**
ενός ημιστοιχείου 673-675
ενός στοιχείου 671-673
Δυναμόμετρα **31**-32
Δυνατότητα αποικοδομήσεως 353
Δύστηκτα 266
d τροχιακά 302-303
Dali, Salvador 443
Dalton, John 82, 160, 162, 283
Davisson, Clinton J. 292-295
Davy, Sir Humphry 180, 216, 218, 663
DDT 436-437
De Broglie, Louis Victor 292-295
De Laplace, P. S. 545
Debye, Peter J. W. 386
DNA 483, 500-502
Döbereiner, Johann 186
Δt 79

E

Έδαφος, συνέπεια όξινης βροχής 645
Εδροκεντρωμένη εξαγωνική δομή 448-449
Ειδική θερμότητα **56**-59
νερού 81, 83-86
Ειδικό βάρος **73**
Εκθετικοί αριθμοί 88-89
Εκλεκτικότητα, ενζύμων 580-584
Εκρήξεις 556
Εκτόνωση προκαλούμενη από τη μετακίνηση ενός εμβόλου 150-152
Ελαϊκό οξύ, μέγεθος του μορίου 235-237
Ελαστικές κρούσεις **52**, 142-143
Ελατά (μέταλλα) 454
Έλικα 494
Έλξη 149-152
διπόλου με δίπολο 451-452
στις συμπυκνωμένες φάσεις 444-455
φορτισμένων σωματιδίων 199-202
Έλξη διπόλου από δίπολο 452
Εμμονή της μνήμης 443
Ενδόθερμες αντιδράσεις 541, 576-577
Ενέργεια 49-66
αφθονία της 3
βλ. επίσης θερμότητα και φως
διασκορπισμός 61
διατήρηση 59-60, 62-64
δυναμική **51**-52, 61
ενεργοποιήσεως 571-574
ηλιακή 269-271
θερμική 50, 52
ιονισμού 283, **320**-321, 347, 453
κινητική **50**-52, 61
μονάδες 52, 54
μοριακή 551
μορφές 50-52
προωθήσεως 342
πυρηνική 243-247
Ενέργεια ιονισμού 283, **320**-324, 347
αρχική **321**
μετάλλων 453
Ενεργειακά επίπεδα 275-276, 278-279
Ενεργό άκρο 584
Ενεργοποιημένο σύμπλοκο 572-**573**, 577-580
Ενεργοποιήσεως ενέργεια 571-**572**, 577-580
και θερμότητες αντιδράσεων 574-576
Ένζυμα **580**-584
-ένιο, σημασία της καταλήξεως 412
Εντομοκτόνα μη αποικοδομούμενα 436-437
Ενυδάτωση **472**
Ενώσεις 154
αγωγιμότητά τους 350-355, 467
άνθρακα 399-439
διαλυτότητα στο νερό 697
διστοιχειακές **514**
ονοματολογία, 514-515
Εξάχνωση 412, 413
Εξισορροπημένη αντίδραση **168**-169
με αριθμούς οξειδώσεως 677-678
με ημιαντιδράσεις 678-679

Εξισώσεις **120**, 167
γραφή τους 518-519
ισοσταθμισμένες 167-170, 676-679
Εξουδετέρωση 644-646
φορτίων 201
Εξώθερμες αντιδράσεις **541**, 574
Επαναφόρτιση 681
Επί τοις εκατό σφάλμα (εκατοστιαία αβεβαιότητα) **87**
Επίδραση της θερμοκρασίας 599-600
Επίδραση της συγκεντρώσεως 599-600
Επιμετάλλωση 683
Επινεφρίδια 581
Επίπεδα μόρια 368-370
Επίπεδα πολωμένο φως 435-439
Επιστημονική μέθοδος 14-15, 18-19
Επιταχυντής σωματιδίων 163
Επιχάλκωση 683-685
Επιχρωμίωση 683
Έργο **60**
Εστεράσες 582
Εστέρες 427, **430**, 431
υδρόλυσή τους 582
Ετερογενές σύστημα 563
Ευγενή αέρια **116**, 190-191, 320-324
διαμόρφωση 338-339
ιδιότητες 192, 460
χρήσεις 193-194
Einstein, Albert, 64, 265, 271
Eyring, Henry 575

Z

Ζύγιση, πηγές σφάλματος 36-43
Ζυγοί 29-**30**, 31-34
φροντίδα τους 33
Johnston, Harold S. 603-605
Joliot Frederic 250
Joule **54**
Joule James Prescott 82
Joule -Thomson επίδραση 150-152
Julian, Percy lavon 419, 581
Zeeman, Pieter 366

Η

Ηλεκτρικά φορτία 199-204, 233
Ηλεκτρικό δίπολο 346-347
Ηλεκτρόλυση **681**-683
ιόντων μέσα σε διάλυμα 216-221
στο νερό 154
Ηλεκτρολύτες **467**, 616-617
διαλυτότητα στο νερό 472
ισχυροί και ασθενείς 631
Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 254, 256, 264
Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα 262-266
Ηλεκτρονιακοί τύποι απεικονίσεως του χημικού δεσμού 337
Ηλεκτρονικά φάσματα 284
Ηλεκτρονικό νέφος 298-299
μέγεθός του 368
Ηλεκτρόνιο (α) **233**-235
ανταγωνισμός για 669-670
διατάξεις 310-311, 694-695
ενδείξεις για 204-209
ενεργειακά επίπεδα 275-278
κυματική φύση 292-294
λόγος φορτίο/μάζα 209-213
μαγνητικό πεδίο 364-367
μάζα 209-211, 238
στροφορμή 364-367
συμπεριφορά στα μέταλλα 454-458
σωματίδια βήτα 241
τάση προς σχηματισμό ζευγών 364-367
φορτίο 209-211
Ηλεκτροχημικά στοιχεία 662, 666-**667**, 680-681
διερεύνηση 663-666
δυναμικά **671**-673
Ηλιακή ενέργεια 269-271
Ήλιο 193-194
άτομα 310-311
Ηλιοτρόπιο 636-637, 647
Hahn, Otto 250
Hench, P. S. 581
Hertz **262**
Hess, Germain Henri 545, 614

Θ

Θάλαμος νεφώσεως 249-250
Θειικό οξύ 132-133, 158
παραγωγή του 526-528
στον αέρα 645
συσσωρευτές 681
Θειικός χαλκός, αντίδραση με σίδηρο 515-518
Θειούχος ψευδάργυρος, πλέγμα 450
Θεμελιώδης κατάσταση **310**
Θερμίδα **54**
Θερμιδομετρία 547
Θερμιδόμετρο 541, 547-548
Θερμική ενέργεια 50, 52
Θερμική ρύπανση 62-63
Θερμικό περιεχόμενο 540

μοριακό 551
Θερμοδυναμική 614
Θερμοκρασία:
αναστροφή 549
απόλυτο μηδέν **137**
επίδραση στις ταχύτητες των ατόμων 570-571
επίδραση στην ισορροπία 599-600
επίδραση στην τάση ατμών 590-591
επίδραση στις ταχύτητες αντιδράσεων 561-562
κλίμακες 136-137
μονάδες 52, 54-55
Θερμόμετρα 54-55
Θερμοπυρηνική ερευνητική διάταξη 244
Θερμότητα 50, 52
Θερμότητες αντιδράσεως 541
μετρήσεις 83-86, 541-544
υπολογισμοί 539-**541**, 545-547
Θερμότητες σχηματισμού **545**-546
Θεωρία απωθήσεως ζευγών ηλεκτρονίων 367-370
Θεωρία των συγκρούσεων 52, **562**-568, 571
Θυμίνη 500, 504
Θυροξίνη 581

I

΄Ιζημα **518**-519
πρόβλεψη 618-619
Ικανότητα σχηματισμού δεσμού 340-345
δεσμού μήκος 333
Ινδικοκαρμίνη 639
-ίνιο, σημασία της καταλήξεως 412
Ιξώδη υγρά 445
Ιόντα 213, 221
ανιόντα 222
γνωστά (κοινά) 697
κατιόντα 222
Ιοντικά στερεά 464-469
δομή 465-466
ιδιότητες 466-467
Ιοντικός δεσμός 433-439
Ισομερή **166**
γεωμετρικά 387-388
cis-trans 387-388
ισο- 406
κανονικά 406
οπτικά 433-435
συντακτικά 383-387
Ισομερή πεντανίου, φυσικές ιδιότητες 461-462
Ισορροπία 589-**592**, 594-626
αλλαγή 598-602
δυναμική φύση 594-597
οξέος-βάσεως 632-634, 644-646
συγκεντρώσεις 610-612, 613-616
Ισότοπα 117, 215, **238**-242
Ισοτόπων ανιχνευτές 597
Ισοϋψείς καμπύλες 355-358
δύο ατόμων ηλίου 357
μορίου λιθίου 357
μορίου υδρογόνου 357
Ισχυρά οξέα 652
Ισχυροί ηλεκτρολύτες **631**
ic,- σημασία της καταλήξεως 515

K

Κ.Σ. 134
Καθαρή ουσία 153-154
Καθοδικής ακτινοβολίας σωλήνας 208, 209
Κάθοδος **206**, 217, 305, 683
Καθόδου, θερμαινόμενη αντίσταση 205-206
Καθορισμένες αναλογίες, νόμος 159-160
Καθορισμένη μονάδα 29
Καθοριστικό αντιδραστήριο (αντιδρών) 524
Καμπύλες **12**
Κανονικά ισομερή 406
Κανονικό σημείο βρασμού **590**
Καουτσούκ 495-496, 500
Καρβονυλική ομάδα **430**
Καρβοξυλικά οξέα **429**
Καρβοξυλομάδα **429**
Καρκινογόνες ουσίες 133
Κατάλυση **575**-580
Καταλύτες 527, 528-529, **575**-584, 600, 605
για αυτοκίνητα 531
ένζυμα **580**-584
λευκόχρυσος 529-530
υδρογονοϊόντα 578-579, 633
υδροξυλιόντα 633
οξείδια του αζώτου 527, 529-530, 603 -604
Καταλύτες καύσεων 531
Κατιόντα 222
ονόματα και τύποι 695
Κατώφλι ενέργειας, βλ. ενέργεια ενεργοποιήσεως
Καύση 6, 20-22
Κβάντα 265, 268
Κβαντική θεωρία 265, 283
Κβαντικοί αριθμοί 298-299
Κβαντομηχανική 226, 279, 291, 298-299, 304-307
Κελσίου, κλίμακα θερμοκρασίας 54, 55, 137
Κενό 36

Κενός σωλήνας **206**
Κέντρο μάζας **26-27**
Κερί, διερεύνηση 5-8, 20 -22
Κετόνες 429-**430**
Κινητική ενέργεια **50**-52, 60-61, **142**-143
    είδη 552
    κατανομή τους 568-571
Κινίνη, σύνθεση 428
Κλασματική απόσταξη 402
    εφαρμογές του 473-474
    σημείου πήξεως 472
Κλειστά συστήματα 592-600
Κλιματολογικές μεταβολές 549-550
Κοίτασμα άλατος 161
Κορεσμένο διάλυμα **617**, 618-619
Κορεσμένοι υδρογονάνθρακες **405**-408
Κορτιζόνη 581
Κράμα 446
Κρυοστάτης 151
Κρυπτόν 69
Κρυσταλλικά στερεά 445, 464-469
Κρυσταλλικό πλέγμα 447
Κρύσταλλοι 445
    διάταξή τους 466-469
    μοριακοί **457**
Κυβική δομή πυκνότατης διατάξεως 448-449
Κυκλο-, σημασία του προθέματος 408
Κύκλοτρο 250
Κυκλώματα **205**-206
Κυμαινόμενα δίπολα 451-452
Κυματικές συναρτήσεις 305-306
Κύριος κβαντικός αριθμός (n) **298**-299
Κυτοσίνη 500
Κυτταρίνη 494-495
Κωκ 401
Kekule, Friedrich A. 416
Kelvin **54, 137**
Kelvin, Λόρδος (William Thomson) 55
Kendall, Edward Calvin 581

Λ

Λάμβδα **256**
Λευκόχρυσος, λεπτόκοκκος 529-532
Λιγνίνη 497
Λίθιο 311
    ικανότητα των ατόμων του για δημιουργία δεσμών 344
Λίπη 428, 430, 431-432
Λίτρο 70-71
Λόγος φορτίο/μάζα:
    θετικών ιόντων 214
    ηλεκτρονίων 209, 213
Λυσοζύμη 583
Λύχνος, ρύθμισή του 8
    φλόγα, 592
Laser, ακτίνες 266
Lavoisier, Antoine 53, 545
Lawrence, Ernest O. 250
Le Chatelier, Henry Louis 600
Lewis, Gilbert Newton 656
Li, Choh Hao 492
Livingston, M. S. 249-250
Lowry, T. M. 656

Μ

Μαγνήσιο 137-141
    καύση του 177-178
Μαγνητικό πεδίο, ηλεκτρονίων 364-367
Μάζα **27**
    διατήρησή της 44-46
    ηλεκτρονίου 209-211
    θετικών ιόντων 214-215
    και βάρος 27-28, 35-43
    κέντρο της 27
    μέτρηση 29-35
    μονάδες 28-29
Μάζας-μάζας χημικοί υπολογισμοί 526-528
Μάζας-όγκου υπολογισμοί 528-529
Μαζικός αριθμός **238**
Μανόμετρο **102**-103
Μάρτυρας 21
Μεθάνιο 401-402
    δομή 342-343
    μοριακό σχήμα 367-369
Μεθανόλη, πρότυπο και τύπος 420-421
Μέθοδος επαφής 527-528, 529-532
Μέθοδος του Haber 602, 606
Μεθυλο-ομάδα **421**
Μερική πίεση **128**-131
Μετάγγιση ενός υγρού 516-517
Μέταλλα:
    ανταγωνισμός ηλεκτρονίων 669-670
    αντίδραση με νερό 180-182
    δεσμοί 453-**458**
    θερμότητες εξατμήσεως 457
    θέση στον περιοδικό πίνακα 454
    ιδιότητες 453-455, 457-458
    σύνθεση οξειδίων 158-159
Μετατροπής συντελεστές **525**-526
Μετεωρολογικά μπαλόνια 126

Μέτρηση, μονάδες 68-72
Μετρητής Geiger 249
Μετρικό σύστημα 68-71
Μέτρο 68-70
Μήκος κύματος 254
  κυμάτων του νερού 256
  φωτός **254**
Μηνίσκος **58**
Μίκα 506
  στερεό πλέγμα 462-464
Μικροσκόπιο πεδίου ιόντων 148, 149
Μολ (γραμμομόριο-mole) 117-118, 119-120
  μέθοδος υπολογισμού 524-525
Μολυβδίνων θαλάμων, μέθοδος 526-528, 529-532
Μολύβδου - θειικού οξέος, συσσωρευτής 681
Μονάδα Debye 382, 386
Μονάδες **28**
  ενέργειας 52, 54
  θερμοκρασίας 52, 54
  καθορισμένες 29
  μάζας 28-29
  μετρήσεως 68-71
  παράγωγες ή δευτερογενείς 70, 78
Μονομερή **484**
Μονοξείδιο του άνθρακα 131, 530
Μονοσθενής 338
Μόρια 3, 96, 98, **116**, 152
  γιγαντιαία 483-507
  γραμμικά 370, 371
  διατομικά 165
  διπολικές ροπές 381-382
  δομή **362**
  ενέργεια 551, 552
  επίπεδα 368-370
  μάζα, βλ. μοριακή μάζα
  μέγεθος 235-237
  πολικότητα 346-347
  πολυατομικά 164-165, 677
  σχήμα 381-384, 367-372, 363-364
  ταλαντώσεις 284-286
  τύποι 164-165, 403-404
  φάσματα 284-288
  χειρόμορφα 433-439
Μοριακά πρότυπα 166-169
  από διογκωμένη πολυστερίνη 389-392
Μοριακά στερεά 451-452, 459-461
Μοριακά τροχιακά 378-381
  βενζολίου 415
Μοριακές μάζες **127**-128, 186-187, 403
  προσδιορισμός τους 473-474
  στοιχείων 692-693
Μοριακή συγκέντρωση κατ' όγκον (molarity) **475**
Μοριακό πρότυπο των αερίων 127, 129, 142-143
  βλ. επίσης σωματιδιακό πρότυπο
Μοριακοί κρύσταλλοι **452**
Μπάλα του μπιλιάρδου ανάλογό της 99-100
Μυρμηκικό οξύ, αποσύνθεσή του 577-579
Meitner, Lise 250
Mendeleev, Dimitris Ivanovich 186-189, 193, 195
Millikan, Robert 210, 212, 248, 271, 295
Moseley, Henry G. J. 316, 323, 324
Muller, Paul Hermann 436
Mulliken, Robert S. 379

N

Νάϋλον 484-486, 499
Ναφθαλίνιο 361
Νέον 193-194
Νέον, χρώμα ακτινοβολίας 206
Νερό:
  βαρύ 240
  δεσμοί υδρογόνου 478
  διαλύτης 471-472, 697
  ειδική θερμότητα 81-83
  ηλεκτρόλυση 154
  ιδιότητες 154
  ιονισμός 631-632
  μοριακό σχήμα 363, 367-368
  μοριακός τύπος 121-122
  περιστροφικές κινήσεις 286-288
  ρύπανση 355, 497-498
  σταθερά διαστάσεως 632-636
  στην ατμόσφαιρα 130
  τάση ατμών 140
  τρόποι ταλαντώσεως 285-286
  φάσμα ταλαντώσεως 286
Νετρόνια 238-240
  ανακάλυψη 250
  μάζα 238, 244
Νιτρικό ιόν 465
  μοριακά τροχιακά 378, 380
  υβρίδιο συντονισμού 376-378
Νιτρικό οξύ 521, 645
Νιτρικός άργυρος, 350-351
  παρασκευή του 521-522
Νίτρωση 417
Νόμοι:
  αθροισιμότητας των θερμοτήτων αντιδράσεων 545
  βαρύτητας 26-28
  διατηρήσεως της ενέργειας **59**-60, 545

διατηρήσεως της μάζας 44-46
διατηρήσεως της μάζας και της ενέργειας 60, 62-64
σταθερού αθροίσματος θερμοτήτων **545**
σταθερών αναλογιών **159**
του Boyle 103-**106**, 113-114, 134, 141, 143
του Charles 141, **143**, 134-136619
του Coulomb 201
χημικής ισορροπίας 612-613, 616,
Νόμοι των αερίων 103-106, 113-114, 134-136, 141-143,
αποκλίσεις από 149-151
Νόμος ιδανικών αερίων **142**-144, 149-152
Νόμος του Boyle 103-**106**, 113-114, 134,141,143
Νόμος του Charles 134-136, 141, 144
Νόμος του Coulomb **201**
Νόμος του Faraday 218
διερεύνηση 216-221
Νόμος του Hess, περί σταθερού αθροίσματος θερμοτήτων 545
Νομοτέλεια **16**, 18-19
Νόσος των δυτών 193
Νουκλεϊνικά οξέα 500-501
ντα Βίντσι, Λεονάρντο 4
Ντάκρον 486-487
Newlands, John 186
Newton, Isaac 26-28
Ni, ν 254
Nieuwland, Julius A. 499
Noddack, Ida Tacke 195

Ξ

Ξένον, ενώσεις του 194
Ξηρά στοιχεία 680-681
Ξηρή απόσταξη 400
Ξύδι 429

Ο

Ογκομετρική ανάλυση 649
Ογκομετρικός κύλινδρος 57-58
Όγκου-όγκου, υπολογισμοί 532
Όζον 603-605
κίνδυνοι από το 530-531
Οικογένειες 183-186
Οκτάδων, νόμος 186
Ομάδες **191**
Ομοιογενές σύστημα 563
Ομοιοπολικός δεσμός **334**
προσανατολισμένος χαρακτήρας 455
Ονοματολογία:
ανοργάνων ενώσεων 514-515
οργανικών ενώσεων 405, 414, 434
Οξείδια του αζώτου 130-131
ισορροπία τους 594-595, 602
καταλύτες 527, 529-532, 603-604
προφυλάξεις 122, 521
ρυπαντές 530
Οξείδια, σχηματισμός τους 177-179
Οξείδιο του χαλκού, σύνθεσή του 158-159
Οξειδοαναγωγή 662-667, 667-685
εύρεση συντελεστών στις αντιδράσεις 676-679
μετάλλων και οξέων 669
πρόβλεψή της 671-675
σε ένα ποτήρι 667
Οξειδώσεως αριθμός 676-679
Οξείδωση **667**, 669
Οξειδωτικά μέσα **667**, 691
Οξέων – βάσεων δείκτες 636-637, 642-643, 647
Οξέων σταθερά ισορροπίας 653
προσδιορισμός της 654
Οξικό οξύ:
διάσταση του 652-653, 657-658
πρότυπο και τύπος 429
συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου 642
Οξικός άργυρος, γινόμενο διαλυτότητας 613-616
Όξινα διαλύματα **634**
Όξινη βροχή 645
Όξινο ανθρακικό νάτριο, αποσύνθεσή του 155-157
Οξύ (-έα) 631, 684
αμινο 432-433, 491-493, 500-501,
ασθενές 652-653, 654-657
εξουδετέρωση 644-647
ιδιότητες 636
ισχυρό 652
καρβοξυλικό **429**-430
μέταλλα, αντιδράσεις με 137-140
μεταφορά πρωτονίου 655-656
νουκλεϊνικό 500-504
σχετική ισχύς 652-653
τιτλοδότησή του **647**-652
Οξυγόνο 114-115
ικανότητα δημιουργίας δεσμών 340-341
μοριακός τύπος 121
Οξώνιο **658**
Οπτικά ισομερή 433-439
Οπτικά ισομερή μόρια 433-435
Οργανικές αντιδράσεις, στοιχειομετρία 532-533
Οργανικές ενώσεις **400**-439
βλ. επίσης άτομα άνθρακα

δομή τους 402-404
ονοματολογία 405, 414, 415, 434
πηγές τους 400-402
Ορμή **142**-143
Ορμόνες 492, 581
Ορυκτά καύσιμα 245
Ουδέτερα διαλύματα 634
Ουρακίλη 503
Ουρανίου ισότοπα 239
-ούχο, σημασία της καταλήξεως 514

Π

Πάγος, δομή κρυστάλλου 476-477
Παράγοντες που προσδιορίζουν 621-626
αναγνώριση 591-592
αρχή του «Le Chatelier» **600**-602
διερεύνηση 606-610, 613-616
στα διαλύματα 591, 596, 616-617
στις αλλαγές φάσεως 589-590, 595-596
στις χημικές αντιδράσεις 589, 594-595
Παράγωγα **421**
Παράγωγος μονάδα **70-71**, 78
αβεβαιότητα στην 78-79, 87-88
Παραδιχλωροβενζόλιο 9-14
Παράλληλης μετατοπίσεως, κινητική ενέργεια 552
Παρατήρηση 5-6, 15-16
Παραφινικές σειρές βλ. αλκάνια
Πεδίο **207**
Πείραμα σταγονιδίων λαδιού 209-211
Πειράματα, σημασία τους 4-5
Πεπτιδάσες 582
Περίθλαση 256, **258**
κυμάτων του νερού 257
φωτός 257
Περιοδικός πίνακας 186-188
βασισμένος σε ατομικούς αριθμούς 315-316
σύγχρονη διατύπωση 190
Περιστροφής κινητική ενέργεια 552
Περιστροφής φάσματα 286-287
Πετρέλαιο 401-402
Πι δεσμοί 393-395
Πίεση 100-102, 143
επίδραση επί της ισορροπίας 600-602
μερική **128**-131
Πιθανότητα, διερεύνηση 296-297
Ποιοτική ανάλυση 157
Πολικό μόριο 347
Πολικότητα, επίδραση στη διαλυτότητα 470-472
Πολλαπλοί δεσμοί 375-376, 393-395
Πολυαιθυλένιο 486-487
Πολυαμίδια, σχηματισμός τους 484-486
Πολυατομικά ιόντα 465
αριθμοί οξειδώσεως 676
σθένη 513
Πολυατομικά μόρια 164-165
αριθμοί οξειδώσεως 677
Πολυεστέρας 486
Πολυμερή **484**-487, 493-500, 506-507
παρασκευή τους 487-491
Πολυστερίνης πρότυπα, μορίων 389-392
Πολώνιο, ανακάλυψή του 248
Πορτοκαλόχρουν IV 639-640
Πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου 639-641
Ποσοτική ανάλυση 157
Προϊόντα 167, 518
Προπανόλη, πρότυπα και τύποι 423
Προσδιορισμός εμπειρικών τύπων 403-404
Προσδιορισμός συγκεντρώσεως 639-644
στα οξέα 636, 654-657
Προσδιορισμός του αριθμού τους σε διάλυμα 472-474
αερίων 213-215
σθένη 512
στο διάλυμα 215-221
σχετικά μεγέθη 467-468
σχηματισμός τους 320
τοποθέτηση στους κρυστάλλους 467-469
Προσθήκης αντιδράσεις 414
Προσθήκης πολυμερισμός **486**-487
Πρότυπα **98**-100, 114
από διογκωμένο πολυστυρένιο 389-392
μοριακά 166-167
σωματιδίου 106-108, 149-150, 202-204
Πρότυπα διαλύματα, παρασκευή τους 641
Πρότυπο (ή φωτοαντίγραφο) μορίου 502
Προχοΐδες, χρήση και φροντίδα 648-649
Προωθήσεως ενέργεια 342
Πρωτεΐνες 493-495, 580-584
σφαιρικές 583
υδρόλυσή τους 582
Πρωτόνια 202, **233**
μάζα τους 238
Πρωτονίου μεταφορά 657
Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής 59-61
Πυκνότητα **71**
μέτρησή της 72
Πυρήνας 230-233
διάμετρος 234
σταθερότητα 238

Πυρηνικές αντιδράσεις 243-244
σύντηξη 244-246
σχάση 244-246
Πυρηνική ενέργεια 244-247
Πυριτικά ορυκτά 504-507, 462
Pauling, Linus C. 348
Perkin, William 428
PH **634**
βλ. επίσης ιόν υδρογόνου
PHμετρο 634, 639
Pioneer 9, 49
Planck, Max 265, 283
Plunkett, Roy J. 47
p-τροχιακά 302

P

Ραδιενέργεια 241, **243**-244
ανακάλυψή της 248
κίνδυνοι από 246-247
Ράδιο 248
Ραδόνιο 194
Ρήνιον, ανακάλυψη 195
Ριβόζη (σάκχαρο) 502
Ροπή **381**
Ρύθμιση **31**
Ρυπαντές 497-498
αέρα 132-133, 497, 645
θερμικοί 62-63
ύδατος 355, 497-498
Ramsay, William 191
Rayleigh, J. W. S. 191
Redox- βλ. οξειδοαναγωγή-Redox
Reichstein, T. 581
Rillieux, Norbert 593
RNA 502-504
Roentgen, William 248, 323
Rumford, Count (Benjamin Thompson) 53, 82
Rutherford, Ernest 227, 232, 248-250, 283, 323
ατομικό πρότυπο 230
σκεδάσεως πειράματα 228-233, 250

Σ

Σακχαροκάλαμο, μετατροπή του 593
Σάπωνες **431**-432
Σημαντικά ψηφία 79, **88**
Σημεία τήξεως:
διερεύνηση 9-14
επίδραση του μοριακού σχήματος 460-461
μεταβολές 193
Σημείο ισορροπίας 647, 649-650
Σθένος 344-345, 512-513
ηλεκτρόνια **338**-345
πίνακας 513
τροχιακά **338**-345
Σίδηρος, αντίδραση με θειικό χαλκό 515-518
Σιδήρου, οξείδιο 179
Σιωπηλή άνοιξη 436
Σκόνης σωματίδια, στην ατμόσφαιρα 549-550
Σκοροαπωθητικό (καταπολέμηση του σκόρου) 9-14
Σκουριά 179
Σολωμός, συνέπεια όξινης βροχής 645
Σπονδυλική στήλη, νουκλεϊνικών οξέων 500-501
Σταθερά ισορροπίας 610-613, 613-616, 617
βλ. επίσης σταθερά διαστάσεως
οξέος 652-653
Σταθερά του Planck 265, 266
Σταθερές:
διαστάσεως **632**-635
ισορροπίας 610-613, 615
ταχύτητας 566
του Planck 265-**266**
Σταθερή κατάσταση 673
Σταθερό ημιστοιχείο **673**-674
Σταθμική ανάλυση 649
Στάσιμα κύματα 294
Στερεά:
θερμότητα στερεοποιήσεως 83-86
ιοντικά 464-469
κρυσταλλικά 445
μεταλλικά 453-458
μοριακά 451-452, 459-461
πλέγματα **453**, 462-464
πυκνότητα 74-75
τεχνικές μεταφοράς 515-516
τήξη τους 6-9
Στερεά απόβλητα 353-355
Στερεά πλέγματα 452-453, 462-464
Στοιχεία **152**, 160
αλκαλικών γαιών **322**
ατομικοί αριθμοί 692-693
βλ. επίσης αλογόνα και ευγενή αέρια
διατάξεις ηλεκτρονίων 694-695
μεταλλικά 454-458
μοριακές μάζες 692-693
περιοδικός πίνακας 190
που σχηματίζουν στερεά πλέγματα 453-454
που σχηματίζουν μοριακά στερεά 452-453
σύμβολα 161-164, 692-693
τεχνητά 161

Στοιχεία αποθηκεύσεως (=συσσωρευτές διαρκείας) 681
Στοιχειομετρία 512, **523**, 533
Στοιχείων δυναμικά 671
μέτρηση 671-673
Στροφορμή 364-367
Συγκέντρωση 409, **474**
αναγραφή με αγκύλες 609-610
επίδραση στην ισορροπία 599-600
επίδραση στις ταχύτητες των αντιδράσεων 560-564, 565-566
χρωματομετρικός προσδιορισμός 606-610
Σύμβολα 161-164
πλήρης λίστα 692-693
Συμβολή του φωτός 256
υδατίνων κυμάνσεων 258
φωτεινών κυμάνσεων 259
Συμπυκνώσεως πολυμερισμός 484-486
αμινοξέων 493
γλυκόζης 465
ισοπρενίου **469**
Συμπύκνωση αερίων 149-152, 444
Συμπυκνωτής 593
Συνεχή φάσματα 282-284
Σύνθεση 157-158
μεταλλικών οξειδίων 158-159
Συνθετάσες 582
Συνθετικά πολυμερή 499
Συνθετικές ίνες 484-487
Συνθετικό καουτσούκ 496
Συντακτικά ισομερή 383-387
Συντακτικοί τύποι **165**-167
Συντάξεως αριθμός 447
Σύντηξη 244-245
Συντονισμός 377-**378**
βενζολίου 415
Συντονισμού υβρίδια 377-**378**
Συσσωρευτές **680**-681
Σύστημα **592**
Συστηματικό σφάλμα 89-**91**
Συχνότητα **254**
κυμάτων νερού 255
φωτός 262
Σφαιρικές πρωτεΐνες 583
Σφαλερίτης πλέγμα 450
Σφάλματα 89-92
Σχέσεις ανάμεσα σε μάζες, διερεύνηση 520-523
Σχέση πιέσεως-όγκου 103-106, 113-114
Σχέση του νόμου ισορροπίας προερχόμενη 612-613, 616
από τις ταχύτητες ισορροπίας 619-621
Σχετικότητα 64-65
Σχηματισμός ομοιοπολικών δεσμών 332-337, 345-346, 656
και στερεών πλεγμάτων 452-453, 462-464
Σχηματισμός υδροξειδίων 180-183
Σωλήνας του Crooke 262-263
Σωλήνες εκκενώσεως 205-209, 213, 274
Σωματιδιακό πρότυπο 106-108, 149, 202-204
s τροχιακά 301
S.I. 54
Sanger, Frederick 492
Soddy, Frederick 232, 242
Sörenson 634
sp υβριδοποιημένα τροχιακά 371
sp^2 υβρίδια 371-372
sp^3 υβρίδια 371-372
Stark, Johannes 366
Stern, Otto 366

T

Ταλαντώσεων κινητική ενέργεια 552
Ταχύτητα φωτός 262
Ταχύτητας σταθερά **566**
Ταχύτητας, στάδιο καθορισμού **565**
Τελικό σημείο 647, 649-650
Τελλούριο, φυσικής προελεύσεως:
ισότοπα 317
Τετράεδρα πυριτίου 504-507
σχηματίζουν αλυσίδες ανιόντων 505-506
σχηματίζουν ταινίες ανιόντων 505-506
σχηματίζουν φύλλα ανιόντων 506-507
Τετράεδρο **367**-370
Τετρασθενής 343
Τετραφθοράνθρακας, δομή του 342-343
Τετραχλωράνθρακας, ως διαλύτης 471
Τεφλόν 47, 487
Τεχνητά στοιχεία 161
Τεχνητή καρδιά 3
Τιτλοδότηση 630, **647**-652
Τοποθέτηση των ατόμων ή των ιόντων στους κρυστάλλους 467-469
διερεύνηση 447-450
Τρανσφεράσες 582
Τριάδες 185-186
Τριατομικά μόρια 164-165
Τριπλός δεσμός 376, 393-395
Τρισθενής 341
Τρίτιο 244
Τριφθοριούχο βόριο 343

Τροφική αλυσίδα 269, 436
Τροχιακό (α) **298**-299
d 302-304
μοριακό 378-380
p 302-306
σχετικές ενέργειες 311, 313
σχήματα 301-305
s 301
υβριδοποιημένο **370**-373
f 302-304
Τύποι, **120**, 164-167
προσδιορισμός 402-404
γραφή 513-514
Τυποποίηση του διαλύματος μιας βάσεως 650
Τυχαία διάταξη (αταξία) 61-63
Τυχαία σφάλματα 89-92, 624-626
Thomson, J. J. 210, 212, 228, 232, 249, 283, 295
ατομικό πρότυπο 228-230
Torr **101**
Torricelli, Evangelista 102

Υ

Υαλώδης ουσία 446
Υβριδισμός **371**
Υβριδοποιημένα τροχιακά **370**-372
Υγρά 445-446
βλ. επίσης διαλύματα
μετάγγιση 516-517
μέτρηση πυκνότητας 75-77
Υγρό άζωτο 444
Υγροποίηση αερίων 149-152
Υδατάνθρακες **178**, 269
καύση τους 178
Υδατικά διαλύματα **518**-519
Υδραέριο 539-540
Υδράργυρος, τοξική ένωση 355
Υδρογονάνθρακες **178, 405**
ακόρεστοι **412**-414
αρωματικοί 415-417
διερεύνηση 409-411
καύση τους 178
κορεσμένοι **405**-408
ρυπαντές 530-531
Υδρογόνο:
ενέργεια ιονισμού 347-349
ενεργειακές στάθμες 278-279
ισότοπα 238-240, 244
παρασκευή του 137-141, 180-182
τρόπος συνδέσεως του μορίου 332-334
φάσμα 273-278
Υδρογονοβόμβα 247
Υδρογονοϊόν 631-632
συγκέντρωσή του 631-634
ως καταλύτης 576-580, 633
Υδρόλυση 582
Υδροξείδιο του νατρίου 542-543
εξουδετέρωση 644-648
θερμότητα διαλύσεως 542-543
Υδροξυλιόντα 631-632
έλεγχος για 350-351
συγκέντρωσή τους 632-634
στις βάσεις 637-638
ως καταλύτες 633-634
Υδροξυλομάδα **420**-422
Υδροφθορικό οξύ, διάστασή του 652-653
Υδροχλωρικό οξύ, εξουδετέρωση 644-649
Υδροχλώριο, 114-115
αντίδραση με μαγνήσιο 137-141
΄Υλη 3
βασικές ιδιότητες 26, 202-203
κυματικές ιδιότητες 292-294
συμπυκνωμένες φάσεις 444-507
Υπερηχητικές μεταφορές 604
Υπεριώδης ακτινοβολία **266**, 603-604
Υπέρυθρη ακτινοβολία **266**
φάσμα 286-287
Υπόθεση 116
Υποκαταστάσεως, αντιδράσεις 414
Υπολογισμοί, βλ. στοιχειομετρία
Υπολογισμός συγκεντρώσεως 654-655
Υποστρώματος, σύνδεση 583
Υποφύσεως ορμόνες 492
Urey, Harold 242, 240

Φ

Φαινολοφθαλεΐνη 642-643
Φαινόμενο «Edison» 249
Φάσεις 149
Φάσεως αλλαγή 81-83
ισορροπία 589-590, 595-596
Φάσματα 253, 262, 266, 272, 282-288
ατομικά 272-275
ηλεκτρονικά **284**
περιστροφής 286
συνεχή 282-284
υδρογόνου 273-278
Φασματογράφος **262**-263, 266, 272-273
Φασματογράφος μάζας 214
Φασματόμετρο 286
Φθορίζουσα οθόνη 229

Φθόριο, τρόπος δημιουργίας δεσμών 337-339, 347
Φθοριούχες ενώσεις, ιδιότητες 344
Φθοριούχο λίθιο, δεσμοί στο μόριο 345-347
Φλόγα, θερμότερο τμήμα 8
Φορμαλδεΰδη 375, 426
Φύλλο χρυσού, βομβαρδισμός του 228
Φύση του χημικού δεσμού, Η 348
Φυσικό αέριο 401-402
Φυσοστιγμίνη, σύνθεσή της 419
Φως 253-272
    διερεύνηση της διαδόσεως των κυμάτων 259-261
    διπλή φύση 266, 267
    ένδειξη για την ύπαρξη σωματιδίων 267-268
    μήκος κύματος **254**
    συχνότητα 262
    ταχύτητα 262
    περίθλαση 257
    πολωμένο 435-439
    φαινόμενο συμβολής 259
Φωσφόρος, καύση του 178
Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο 265, **267**-268
Φωτόνιο **266**, 268
Φωτοσύνθεση 269
Fahrenheit, Gabriel D. 54-55
Faraday, Michael 216, 218
f τροχιακά 302-304

Χ

Χ-ακτίνες 324-325
    ανακάλυψη 248
Χ-ακτίνες περίθλαση 362-363, 386
    από τον πάγο 477
Χαλαζίας (quartz), στερεό πλέγμα 462-464
Χαλκός, οξείδωσή του 663-668
Χάρτες ηλεκτρονιακής πυκνότητας 355-358
    ναφθαλινίου 361
Χαρτί 497-498
Χαρτιού βιομηχανία 498
Χαρτοπολτός 497
Χημεία 1-**4**
    ανόργανη **402**
    και περιβάλλον 17-18
    οργανική **400**-439
Χημικές αντιδράσεις, βλ. αντιδράσεις
Χημική εξίσωση, βλ. εξισώσεις
Χημική κινητική 557-584
Χημική μεταβολή 83
Χιλιόγραμμο **29**
Χλωριούχα ιόντα, ανίχνευσή τους 350-352
Χλωριούχο κέσιο, γεωμετρία του 468
Χλωριούχο νάτριο:
    γεωμετρία 469
    κρυσταλλικό πλέγμα 448-450
    κρύσταλλοι 445-446
Χλωριούχος άργυρος, καταβύθισή του 522-523
Χλωριούχος σίδηρος (III), έλεγχος υδροξυλιόντων 350-351
Χλωροφόρμιο 470
Χρονομετρήσιμες αντιδράσεις 559-560
Χρωματομετρική ανάλυση 607, 610
Χυμοθρυπσίνη 582
Χωροκεντρωμένη κυβική διάταξη 449

Ψ

Ψυγεία 152
van dan Broek 354
Van de Graaff γεννήτρια 203-204, 250
van der Waals δυνάμεις 452, 456, 459-460
    και αριθμός ηλεκτρονίων 459
    και μοριακά σχήματα 460-461
    και μέγεθος μορίου 459
van der Waals, Johannes D. 456
von Guericke, Otto 107
Weber, Joseph 37
Wilson, C. T. R. 249
Woodward, Robert Burns 428

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ

ΣΤΗΛΗ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΕΝΑ ΤΡΟΧΙΑΚΑ
$n=1$	1 H 1.00							2 He 4.00	$1s$
$n=2$	3 Li 6.94	4 Be 9.01	5 B 10.8	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.0	10 Ne 20.2	$2s2p$
$n=3$	11 Na 23.0	12 Mg 24.3	13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 39.9	$3s3p$
$n=4$	19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8	$4s3d4p$
$n=5$	37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	$5s4d5p$
$n=6$	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 *See Below*	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	$6s4f5d6p$
$n=7$	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 *See Below*	104 *	105 *														$7s5f6d7p$

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΠΤΩΣΕΩΣ

* Για αυτά τα στοιχεία δεν υπάρχουν ακόμα διεθνώς επίσημες ονομασίες

$n=6$	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0		$4f$
$n=7$	89 Ac (227)	90 Th (232.0)	91 Pa (231)	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (253)	103 Lr (257)		$5f$

Στην παρένθεση αναγράφεται ο μαζικός αριθμός του σταθερότερου ισοτόπου