ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

Φ Υ Σ Ι Κ Η

ΤΟΜΟΣ Α΄

1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

1.— Μαθηματικὰ Α', Β'
2.— Χημεία
3.—'Εφηρμοσμένη 'Ηλεκτροχημεία
4.— Μηχανικὴ Α', Β'
5.— Ραδιοτεχνία Α', Β'
6.— Εἰσαγωγὴ στὴν τεχνικὴ τῆς Τηλεφωνίας
7.— Τεχνολογία Μηχανουργικῶν Μετρήσεων
8.— Μηχανολογικὸν Σχέδιον
9.— Κινητήριαι Μηχαναὶ Α', Β', Γ'
10.— Στοιχεῖα Μηχανῶν
11.— Τεχνολογία Συγκολλήσεων
12.—'Ηλεκτρολογία Α', Β', Γ'
13.—'Ηλεκτρικαὶ Μηχαναὶ Α', Β'
14.—'Εργαστηριακαὶ 'Ασκήσεις 'Ηλεκτρολογίας
15.— Γενικὴ Δομικὴ Α', Β', Γ'
16.— Οἰκοδομικὴ Α', Β', Γ', Δ'
17.— Οἰκοδομικαὶ Σχεδιάσεις
18.— Σχεδιάσεις Τεχνικῶν Ἔργων
19.— Τοπογραφία
20.— Δομικὰ Ὑλικὰ Α', Β'

῾Ο Εὐγένιος Εὐγενίδης, ἱδρυτὴς καὶ χορηγὸς τοῦ «῾Ιδρύματος Εὐγενίδου» προεῖδεν ἐνωρίτατα καὶ ἐσχημάτισε τὴν βαθεῖαν πεποίθησιν, ὅτι ἀναγκαῖον παράγοντα διὰ τὴν πρόοδον τοῦ ἔθνους θὰ ἀπετέλει ἡ ἀρτία κατάρτισις τῶν τεχνικῶν μας ἐν συνδυασμῷ πρὸς τὴν ἠθικὴν ἀγωγὴν αὐτῶν.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴν τὴν μετέτρεψεν εἰς γενναιόφρονα πρᾶξιν εὐεργεσίας, ὅταν ἐκληροδότησε σεβαστὸν ποσὸν διὰ τὴν σύστασιν ῾Ιδρύματος, ποὺ θὰ εἶχε σκοπὸν νὰ συμβάλῃ εἰς τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς ῾Ελλάδος.

Διὰ τοῦ Β. Διατάγματος τῆς 10ης Φεβρουαρίου 1956, συνεστήθη τὸ ῎Ιδρυμα Εὐγενίδου καὶ κατὰ τὴν ἐπιθυμίαν τοῦ διαθέτου ἐτέθη ὑπὸ τὴν διοίκησιν τῆς ἀδελφῆς του Κυρίας Μαρ. Σίμου. ᾿Απὸ τὴν στιγμὴν ἐκείνην ἤρχισαν πραγματοποιούμενοι οἱ σκοποὶ ποὺ ὡραματίσθη ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης καὶ συγχρόνως ἡ πλήρωσις μιᾶς ἀπὸ τὰς βασικωτέρας ἀνάγκας τοῦ ἐθνικοῦ μας βίου.

* * *

Κατὰ τὴν κλιμάκωσιν τῶν σκοπῶν του, τὸ ῎Ιδρυμα προέταξε τὴν ἔκδοσιν τεχνικῶν βιβλίων τόσον διὰ λόγους θεωρητικοὺς ὅσον καὶ πρακτικούς. ᾿Εκρίθη, πράγματι, ὅτι ἀπετέλει πρωταρχικὴν ἀνάγκην ὁ ἐφοδιασμὸς τῶν μαθητῶν μὲ σειρὰς βιβλίων, αἱ ὁποῖαι θὰ ἔθετον ὀρθὰ θεμέλια εἰς τὴν παιδείαν των καὶ αἱ ὁποῖαι θὰ ἀπετέλουν συγχρόνως πολύτιμον βιβλιοθήκην διὰ κάθε τεχνικόν.

Τὸ ὅλον ἔργον ἤρχισε μὲ τὴν ὑποστήριξιν τοῦ ῾Υπουργείου Βιομηχανίας, τότε ἁρμοδίου διὰ τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν, καὶ συνεχίζεται ἤδη μὲ τὴν ἔγκρισιν καὶ τὴν συνεργασίαν τοῦ ῾Υπουργείου ᾿Εθνικῆς Παιδείας, βάσει τοῦ Νομοθετικοῦ Διατάγματος 3970/1959.

Αἱ ἐκδόσεις τοῦ ῾Ιδρύματος διαιροῦνται εἰς τὰς ἀκολούθους βασικὰς σειράς, αἱ ὁποῖαι φέρουν τοὺς τίτλους:

«Βιβλιοθήκη τοῦ Τεχνίτη», «Βιβλιοθήκη τοῦ Τεχνικοῦ», «Βιβλιοθήκη τοῦ Τεχνικοῦ βοηθοῦ Χημικοῦ», «Τεχνικὴ Βιβλιοθήκη».

᾿Εξ αὐτῶν ἡ πρώτη περιλαμβάνει τὰ βιβλία τῶν Σχολῶν Τεχνιτῶν, *ἡ δευτέρα τὰ βιβλία τῶν Μέσων Τεχνικῶν Σχολῶν, ἡ τρίτη τῶν Σχολῶν Τεχνικῶν βοηθῶν Χημικῶν, ἡ τετάρτη τὰ βιβλία τὰ προοριζόμενα διὰ τὰς ἀνωτέρας Τεχνικὰς Σχολὰς (ΚΑΤΕ, ΣΕΛΕΤΕ, Σχολαὶ Ὑπομηχανικῶν). Παραλλήλως, ἀπὸ τοῦ 1966 τὸ Ἵδρυμα ἀνέλαβε καὶ τὴν ἔκδοσιν βιβλίων διὰ τὰς Δημοσίας Σχολὰς Ε.Ν.*

Αἱ σειραὶ αὗται θὰ ἐμπλουτισθοῦν καὶ μὲ βιβλία εὐρυτέρου τεχνικοῦ ἐνδιαφέροντος χρήσιμα κατὰ τὴν ἄσκησιν τοῦ ἐπαγγέλματος.

* * *

Οἱ συγγραφεῖς καὶ ἡ Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων τοῦ Ἱδρύματος καταβάλλουν κάθε προσπάθειαν, ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἶναι ἐπιστημονικῶς ἄρτια ἀλλὰ καὶ προσηρμοσμένα εἰς τὰς ἀνάγκας καὶ τὰς δυνατότητας τῶν μαθητῶν. Δι' αὐτὸ καὶ τὰ βιβλία αὐτὰ ἔχουν γραφῆ εἰς ἁπλῆν γλῶσσαν καὶ ἀνάλογον πρὸς τὴν στάθμην τῆς ἐκπαιδεύσεως δι' ἣν προορίζεται ἑκάστη σειρὰ τῶν βιβλίων. Ἡ τιμή των ὡρίσθη τόσον χαμηλή, ὥστε νὰ εἶναι προσιτὰ καὶ εἰς τοὺς ἀπόρους μαθητάς.

Οὕτω προσφέρονται εἰς τὸ εὐρὺ κοινὸν τῶν καθηγητῶν καὶ τῶν μαθητῶν τῆς τεχνικῆς μας παιδείας αἱ ἐκδόσεις τοῦ Ἱδρύματος, τῶν ὁποίων ἡ συμβολὴ εις τὴν πραγματοποίησιν τοῦ σκοποῦ τοῦ Εὐγενίου Εὐγενίδου ἐλπίζεται νὰ εἶναι μεγάλη.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α   Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ

ΘΕΟΔΩΡΟΥ Γ. ΚΟΥΓΙΟΥΜΖΕΛΗ
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΕΘΝ. ΜΕΤΣ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ

ΤΟΜΟΣ Α

ΑΘΗΝΑΙ
1979

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τὸ μετὰ χεῖρας βιβλίον ἐγράφη ἐντὸς τοῦ καθωρισμένου πλαισίου τῆς συσχετίσεως αὐτοῦ πρὸς τὰ λοιπὰ τῆς Βιβλιοθήκης τοῦ Τεχνικοῦ, τὸ πρόγραμμα ὕλης τοῦ Ὑπουργείου Ἐθνικῆς Παιδείας, τὴν γλῶσσαν καὶ τὰς δυνατότητας τοῦ Ἕλληνος μαθητοῦ.

Ὁ Συγγραφεὺς πιστεύει ὅτι τὸ βιβλίον ἐκφεύγει εἰς πολλὰ σημεῖα τοῦ συνήθους τύπου τῶν σχολικῶν κειμένων, ὅπως δύναταί τις νὰ τὸ διαπιστώσῃ διὰ συγκρίσεώς του πρὸς ξενόγλωσσα τελευταίας ἐκδόσεως σχετικὰ συγγράμματα.

Αἱ τελευταῖαι δύο παράγραφοι τοῦ κεφαλαίου τῆς θερμότητος ὑπέρκεινται τοῦ ἐπιπέδου τοῦ ὑπολοίπου κειμένου καὶ δύνανται ἐνδεχομένως νὰ παραλειφθοῦν χωρὶς βλάβην τῆς συνεχείας τῆς ὕλης. Τὸν καθηγητὴν Ε.Μ.Π. κ. Ν. Κουμοῦτσον εὐχαριστεῖ ὁ Συγγραφεὺς διὰ τὴν καλωσύνην νὰ διεξέλθῃ καὶ σχολιάσῃ τὰς ἐν λόγῳ παραγράφους. Ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὰ εἰς τὸ τέλος τοῦ βιβλίου ἀναφερόμενα *θέματα σκέψεως*, δὲν εἶναι τόσον εὔκολα, ὅπως θὰ ἐνόμιζέ τις ἐκ πρώτης ὄψεως, διότι δὲν πρόκειται περὶ τῶν συνήθων προβλημάτων τῆς Φυσικῆς· δι' αὐτῶν ἐπιδιώκεται διέγερσις τῆς σκέψεως τοῦ μαθητοῦ πρὸς βαθυτέραν κατανόησιν τῶν φαινομένων. Αὐτὴ ἡ μορφὴ τῶν προβλημάτων εἶναι ἐκείνη, ποὺ ἀρχίζει νὰ ἐπικρατῇ εἰς τὰ στοιχειώδη βιβλία, ἐνῷ ὁ ἀριθμὸς τῶν συνήθων ἀσκήσεων περιορίζεται, διότι αὗται ἐξυπηρετοῦν κυρίως τὴν χρῆσιν τῶν μονάδων εἰς τὰ διάφορα συστήματα, καὶ ὄχι τὴν *κατανόησιν τῆς Φυσικῆς*.

Πᾶσα ὑπόδειξις σφάλματος ἢ ἀσαφείας ἢ ἀνάγκη προσθήκης τινὸς εὐχαρίστως θὰ ἀναγνωρισθῇ ἀπὸ τὸν Συγγραφέα ὡς ἐξυπηρετοῦσα τὸν σκοπόν, διὰ τὸν ὁποῖον ἐγράφη τὸ Βιβλίον τῆς Φυσικῆς τοῦ Τεχνικοῦ, καὶ θὰ ἀποδείξῃ ὅτι οἱ ἀναγνῶσταί του, μαθηταὶ καὶ καθηγηταί, μὲ προσοχὴν τὸ ἐμελέτησαν. Τοῦτο θὰ ἱκανοποιήσῃ τόσον ὡς διδάσκαλον, ὅσον καὶ ὡς συγγραφέα τὸν ὑπογράφοντα.

Ὁ Συγγραφεὺς εὐχαριστεῖ θερμῶς τὴν ἐπιτροπὴν Ἐκδόσεων τοῦ Ἱδρύματος διὰ τὰς ὑποδείξεις της, ὡς καὶ τὸ τμῆμα Ἐκδόσεων διὰ τὰς καταβληθείσας ἐπιπόνους προσπαθείας διὰ τὴν ἀρτιωτέραν ἐμφάνισιν τοῦ βιβλίου. Εὐχαριστεῖ ἐπίσης τὸν συνεργάτην του ἐν τῷ Ἐργαστηρίῳ Φυσικῆς Ε.Μ.Π. κ. Κ. Στεφανῆν διὰ τὰς πολλὰς καὶ εὐστόχους παρατηρήσεις του.

Ἰούνιος 1971 Θ. Γ. Κ.

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Εἰσαγωγὴ

ΚΕΦ. 1 Μηχανικὴ

ΚΕΦ. 2 Κινηματικὴ

ΚΕΦ. 3 Δυναμικὴ

Φ Υ Σ Ι Κ Η

0. Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

0·1 Φυσικαὶ 'Επιστῆμαι.

Φύσις (Κόσμος, Σύμπαν) ὀνομάζεται τὸ σύνολον τῶν περιβαλλόντων τὸν ἄνθρωπον ποικίλων δημιουργημάτων μετὰ τῶν μεταβολῶν καὶ ἀλλοιώσεων, τὰς ὁποίας ὑφίστανται αὐτά. Αἱ μεταβολαὶ αὐταὶ καλοῦνται γενικῶς *φαινόμενα*.

῞Υλη καλεῖται πᾶν ὅ,τι ὑποπίπτει εἰς τὰς αἰσθήσεις μας ἀμέσως ἢ ἐμμέσως, καταλαμβάνει χῶρον εἰς τὸ διάστημα, ἕλκει καὶ ἕλκεται ὑπὸ ἄλλης ὕλης, ἔχει δὲ μᾶζαν, ἡ ὁποία δύναται νὰ ὑποστῇ μεταβολὰς τῶν ἰδιοτήτων της. Ἡ ἕλξις προκειμένου περὶ τῆς Γῆς ὁρίζει τὸ *βάρος* τοῦ ὑλικοῦ σώματος.

Οὐσία καλεῖται πᾶν εἶδος ὕλης.

Σῶμα καλεῖται οἱονδήποτε ποσὸν ὕλης, τὸ ὁποῖον κατέχει ὡρισμένον ὄγκον (σχῆμα).

Μᾶζα ἑνὸς σώματος καλεῖται χαρακτηριστικὸν αὐτοῦ μέγεθος ἐκφράζον τὸ ποσὸν τῆς ὕλης αὐτοῦ.

Φυσικαὶ 'Επιστῆμαι εἶναι τὸ σύνολον τῶν γνώσεων, τὰς ὁποίας κατέχουν οἱ ἄνθρωποι περὶ τῆς φύσεως ἐν γένει.

Διαίρεσις καὶ κατάταξις τῶν Φυσικῶν 'Επιστημῶν.

Ἡ ἐπιστήμη περὶ τῆς φύσεως διαιρεῖται εἰς *γενικὰς φυσικὰς ἐπιστήμας* καὶ *εἰδικὰς φυσικὰς ἐπιστήμας*.

Εἰς τὴν πρώτην κατηγορίαν ἀνήκουν ἡ Φυσικὴ καὶ ἡ Χημεία, εἰς τὴν δευτέραν αἱ ἀσχολούμεναι μὲ ὡρισμένον εἶδος τοῦ φυσικοῦ βασιλείου, ὅπως εἶναι ἡ 'Ορυκτολογία, ἡ Ζωολογία, ἡ Βοτανικὴ κ.λπ.

Αἱ γενικαὶ καὶ εἰδικαὶ φυσικαὶ ἐπιστῆμαι καλοῦνται καὶ *Θετικαὶ 'Επιστῆμαι*.

Ἡ *Φυσικὴ* ἐξετάζει φαινόμενα, τὰ ὁποῖα δὲν σχετίζονται μὲ θεμελιώδεις μεταβολὰς τῆς συστάσεως τῶν ἀψύχων σωμάτων—π.χ. κίνησις ἑνὸς σώματος, θέρμανσις ἑνὸς ὑγροῦ σώματος, τῆξις ἑνὸς στερεοῦ σώματος κ.λπ. Ἡ νεωτέρα ὅμως Φυσικὴ ('Ατομικὴ-Πυρηνικὴ) μελετᾶ καὶ τὰς θεμελιώδεις μεταβολὰς ἀκόμη καὶ πέραν τῶν χημικῶν μεταβολῶν.

Κατὰ τὴν ἔρευναν τῶν διαφόρων φυσικῶν φαινομένων χρησιμοποιοῦνται εὐρύτατα τὰ μαθηματικά, διὰ τῶν ὁποίων διατυποῦνται ἁπλούστερον οἱ διάφοροι φυσικοὶ νόμοι καὶ κανόνες, χωρὶς νὰ παρίσταται ἀνάγκη μακρῶν περιγραφῶν τῶν φαινομένων.

Ὅταν θελήσωμεν νὰ περιγράψωμεν τὴν κύλισιν ἑνὸς σώματος ἐπὶ κεκλιμένου ἐπιπέδου, ἂν μὲν χρησιμοποιήσωμεν τὴν διὰ τῶν λόγων περιγραφήν, θὰ ἀπαιτηθῇ καὶ πολὺς χρόνος καὶ ἐνδεχομένως θὰ παρατηρηθῇ ἀσάφεια περὶ τὴν ἐξήγησιν τῆς κινήσεως. Ἂν ὅμως ἀντὶ τῶν λόγων χρησιμοποιήσωμεν, ὅπως θὰ μάθωμεν, τὴν μαθηματικὴν γλῶσσαν, τότε καὶ συντομία ὑπάρχει καὶ πλήρης σαφήνεια.

Ἡ Φυσικὴ διαιρεῖται εἰς τοὺς ἑξῆς βασικοὺς κλάδους:

α) Μηχανικήν.
β) Θερμότητα.
γ) Ἀκουστικὴν } (Κυματικήν).
δ) Ὀπτικὴν }
ε) Μαγνητισμὸν - Ἠλεκτρισμόν.
στ) Ἀτομικὴν - Πυρηνικὴν Φυσικήν.

0·2 Ὕλη - Ἐνέργεια. Ἀρχαὶ ἀφθαρσίας.

Ὡς ἐλέχθη, πᾶν ὅ,τι ὑποπίπτει εἰς τὰς αἰσθήσεις μας ἀμέσως ἢ ἐμμέσως καλεῖται *ὕλη* καὶ μέρη τῆς ὕλης εἶναι τὰ διάφορα ὑλικὰ σώματα.

Κύριον χαρακτηριστικὸν κάθε ὑλικοῦ σώματος εἶναι ὅτι καταλαμβάνει χῶρον καὶ ἔχει μᾶζαν.

Τὸ κυριώτερον ὅμως χαρακτηριστικὸν γνώρισμα τοῦ ὑλικοῦ σώματος εἶναι ἡ *ἀδράνεια*, δηλαδὴ ἡ ἰδιότης τῆς ὕλης νὰ διατηρῇ σταθερὰν τὴν κινητικὴν κατάστασίν της, μὲ ἄλλους λόγους, ἂν ἠρεμῇ, νὰ ἠρεμῇ, ἂν κινῆται, νὰ κινῆται, χωρὶς *οἱανδήποτε* μεταβολὴν τῆς ταχύτητός του, καὶ τοῦτο ἐφ' ὅσον δὲν ἐπιδροῦν δυνάμεις ἐπ' αὐτοῦ.

Ἐκτὸς τῆς ἀδρανείας τῶν ὑλικῶν σωμάτων, διὰ πολλῶν παραδειγμάτων ἐπεβεβαιώθη καὶ ἡ *Ἀρχὴ τῆς ἀφθαρσίας τῆς ὕλης*. Ἐπὶ τῆς ἀρχῆς αὐτῆς ἐστηρίχθη ἡ ἐξέλιξις τῆς νεωτέρας Χημείας ἀπὸ τῆς ἐποχῆς τοῦ Γάλλου χημικοῦ Λαβουαζιὲ (Lavoisier), ὁ ὁποῖος διετύπωσε τὸ ἀξίωμα: *Ἡ ὕλη οὔτε χάνεται, οὔτε δημιουργεῖται ἐκ τοῦ μηδενός.*

Ἐκτὸς ἀπὸ τὴν ὕλην εἰς κάθε σύστημα ὑπάρχουν καὶ ἄλλα μεγέθη, τὰ ὁποῖα διατηροῦνται καὶ δὲν χάνονται, ὅπως π.χ. ἡ ἐνέργεια, περὶ τῆς ὁποίας θὰ ὁμιλήσωμεν ἀμέσως.

Ἔστω ὅτι ἔχομεν ἕνα σῶμα γνωστῆς μάζης, ὄγκου καὶ λοιπῶν χαρακτηριστικῶν, π.χ. μίαν σφαῖραν πυροβόλου ὅπλου. Τὸ σῶμα αὐτὸ συμπεριφέρεται διαφορετικά, ὅταν εὑρίσκεται ἐντὸς τῆς κάννης τοῦ ὅπλου καὶ διαφορετικά, ὅταν ἐκτοξευθῇ. Διότι μετὰ τὴν ἐκτόξευσιν τὸ σῶμα κινούμενον εἶναι ἱκανὸν νὰ μᾶς ἀποδώσῃ κάποιο ἔργον, νὰ ἐκτελέσῃ μίαν ἐργασίαν, διὰ τὴν ὁποίαν θὰ ἔπρεπε ὁ ἄνθρωπος νὰ καταβάλῃ μυϊκὸν κόπον διὰ νὰ τὴν φέρῃ εἰς πέρας. Λέγομεν λοιπὸν ὅτι ἡ σφαῖρα ἔχει ἀποκτήσει *κινητικὴν ἐνέργειαν* καὶ ὡς ἐκ τούτου εἶναι εἰς θέσιν νὰ παραγάγῃ κάποιον ἔργον, π.χ. νὰ θραύσῃ ὑαλοπίνακα, ἐπὶ τοῦ ὁποίου θὰ κτυπήσῃ. Ἐὰν ὅμως ἡ σφαῖρα προσπέσῃ ἐπὶ ἀδιατρήτου σώματος, τότε θὰ παραμορφωθῇ καὶ θὰ θερμανθῇ. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν λέγομεν ὅτι ἡ κινητικὴ ἐνέργεια κατηναλώθη διὰ τὴν παραμόρφωσιν τοῦ σχήματος τῆς σφαίρας καὶ τὴν αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας της.

Συνεπῶς, εἰς τὴν περίπτωσιν ποὺ ἀνεφέραμεν, διαπιστώνομεν τὸ δυνατὸν τῆς μετατροπῆς τῆς κινητικῆς ἐνεργείας εἰς ἄλλας μορφὰς ἑνὸς γενικοῦ βασικοῦ θεμελίου τοῦ κόσμου, παρομοίου πρὸς τὴν Ὕλην, τὸ ὁποῖον καλεῖται *ἐνέργεια*.

Εἰς τὴν ἐνέργειαν δύναται γενικῶς νὰ δοθῇ ὁ ἑξῆς ὁρισμός: *Ἐνέργεια εἶναι κάθε τί, ποὺ δύναται νὰ μετατραπῇ εἰς ἔργον.* Συνεπῶς:

$$\text{Ἐπιτελεσθὲν ἔργον} \rightleftarrows \text{ἀναλωθὲν ἔργον.}$$

Ὅπως διὰ τὴν ὕλην ἔτσι καὶ διὰ τὴν ἐνέργειαν ἀπεδείχθη ὅτι ἰσχύει ἡ *Ἀρχὴ διατηρήσεως* ἢ *ἀφθαρσίας τῆς ἐνεργείας*, δηλαδὴ οὔτε χάνεται, οὔτε δημιουργεῖται ἐκ τοῦ μηδενός.

Τὸ ἀξίωμα αὐτὸ ἀναφέρεται καὶ ὡς ἀξίωμα τοῦ ἀεικινήτου. Δηλαδὴ εἶναι ἀδύνατον νὰ κατασκευασθῇ οἱονδήποτε σύστημα ὑλικῶν σωμάτων (μηχανή), τὸ ὁποῖον νὰ δυνηθῇ νὰ ἀποδώσῃ ἐνέργειαν ὑπὸ οἱανδήποτε μορφήν, ἄνευ προσφορᾶς ἰσοδυνάμου ποσοῦ ἐνεργείας τῆς αὐτῆς ἢ ἄλλης μορφῆς.

Σήμερον βάσει τῶν ἰδεῶν τοῦ Ἀινστάιν τὰ δύο παλαιότερον χωριστὰ ἀξιώματα ἀφθαρσίας τῆς ὕλης καὶ ἐνεργείας συνεπτύχθησαν εἰς ἕνα ἀξίωμα (ἀρχήν), δηλαδή: *Εἰς πᾶν φυσικὸν ἢ χημικὸν φαινόμενον, τὸ σύνολον τῆς ὕλης καὶ ἐνεργείας παραμένει σταθερόν*, δύναται δὲ ἕνα ποσὸν ὕλης νὰ μετατραπῇ εἰς ἰσοδύναμον ποσότητα ἐνεργείας ἢ ἀντιστρόφως.

Ἐπομένως, ἂν τυχὸν ἔχωμεν ἕνα ποσὸν μάζης m καὶ μετὰ τὴν λῆξιν κάποιας ἀλλοιώσεως τῆς μάζης αὐτῆς διαπιστώσωμεν *ἔλλειμμα μάζης*, δηλαδὴ διαφορὰν μάζης, τὴν ὁποίαν παριστάνομεν μὲ Δm *, τότε δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν ὅτι τοῦτο ἰσοδυναμεῖ πρὸς ἐκλυθεῖσαν ἐνέργειαν E κατὰ τὴν διάρκειαν τοῦ φαινομένου.

Ὁ Ἀινστάιν ἔδωσε καὶ τὸν συντελεστὴν τῆς μετατροπῆς αὐτῆς, εἶναι δὲ αὐτὸς τὸ τετράγωνον τῆς ταχύτητος c τοῦ φωτὸς εἰς τὸ κενόν. Ἄρα ἡ ἰσοδυναμία γράφεται:

$$\boxed{E = \Delta m \cdot c^2}$$

0 · 3 Καταστάσεις τῆς Ὕλης. Στοιχειώδη συστατικὰ αὐτῆς.

Τὰ ὑλικὰ σώματα παρουσιάζονται ὑπὸ τρεῖς μορφάς: Τὴν στερεάν, τὴν ὑγρὰν καὶ τὴν ἀέριον.

Τὰ στερεὰ σώματα ἔχουν ὡρισμένον κάθε φορὰν σχῆμα καὶ ὄγκον, παρουσιάζουν ἀντίδρασιν κατὰ τὴν μεταβολὴν τοῦ σχήματός των καὶ ὅταν τὰ χαράξωμεν, ἐὰν χαράσσωνται, ἡ χαραγὴ παραμένει ἀναλλοίωτος.

Τὰ στερεὰ σώματα διαιροῦνται εἰς τὰ *κρυσταλλικὰ* καὶ τὰ *ἄμορφα*. Τὰ κρυσταλλικὰ ἀποτελοῦνται ἀπὸ πολὺ μικρὰ κανονικοῦ γεωμετρικοῦ σχήματος συγκροτήματα, τὰ ὁποῖα ἐπαναλαμβανόμενα διαμορφώνουν τοὺς γνωστούς μας κρυστάλλους, οἱ ὁποῖοι παρουσιάζουν κανονικὸν γεωμετρικὸν σχῆμα καὶ διατάσσονται ἢ συμπλέκονται κατὰ διαφόρους τρόπους. Κρυσταλλικὰ σώματα εἶναι ὁ πάγος, ὁ ἀδάμας, ἡ στυπτηρία, ἡ γαλαζόπετρα κ.λπ.

Τὰ ἄμορφα σώματα ἐμφανίζονται ὡς στερεά, δὲν ἔχουν ὅμως τὰς κυρίας ἰδιότητας τῶν κρυσταλλικῶν σωμάτων, π.χ. δὲν ἔχουν κανονικὸν γεωμετρικὸν σχῆμα, οὔτε ὡρισμένον βαθμὸν τήξεως. Σώματα τοῦ εἴδους αὐτοῦ εἶναι ἡ παραφίνη, ὁ κηρός, ἡ ὕαλος, τὸ ἄμορφον θεῖον κ.λπ., ὡς καὶ τὰ σήμερον ἐν χρήσει κοινῶς ὀνομαζόμενα *πλαστικὰ* μαλακὰ ἢ σκληρὰ ὑλικά.

Ὡρισμένα ἐκ τῶν ἀμόρφων σωμάτων, τὰ ὁποῖα δὲν διατηροῦν ὅμως μονίμως τὸ σχῆμα των, ἀλλὰ παραμορφώνονται ἔστω καὶ πολὺ

* Τὸ σύμβολον Δ παριστᾶ διαφορὰν τιμῶν, μεταβολὴν αὐτῶν. Π.χ. $\Delta m = m_2 - m_1$, $\Delta t = t_2 - t_1$ κ.ο.κ.

βραδέως, καλοῦνται *πλαστικὰ σώματα*. Πλαστικὸν σῶμα π.χ. εἶναι ἕνας κῶνος ἀπὸ στερεὰν πίσσαν, ἡ ὁποία σιγά-σιγὰ κατακάθεται, ὁπότε χάνεται τὸ κωνικὸν σχῆμα.

Τὰ *ὑγρὰ σώματα* κατέχουν σταθερὸν ὄγκον, ἀλλ' ὄχι καὶ σταθερὸν σχῆμα, λαμβάνουν δὲ τὸ σχῆμα τοῦ δοχείου, ποὺ τὰ περιέχει. Ἄρα παραμορφοῦνται εὐκόλως.

Τὰ *ἀέρια* δὲν ἔχουν οὔτε ἴδιον ὄγκον οὔτε σχῆμα, ἀλλὰ καταλαμβάνουν ἑκάστοτε τὸν ὄγκον καὶ τὸ σχῆμα τοῦ δοχείου, εἰς τὸ ὁποῖον περικλείονται. Εἶναι γενικῶς συμπιεστὰ καὶ ρέουν εὐχερῶς. Τὰ ὑγρὰ καὶ ἀέρια σώματα καλοῦνται καὶ *ρευστά*.

Ἡ πεῖρα ἔχει διδάξει καὶ ἡ Χημεία ἔχει ἀποδείξει ἀπὸ 150 περίπου ἐτῶν ὅτι τὰ ὑλικὰ σώματα εἶναι δυνατὸν νὰ διαιρεθοῦν εἰς ἀπειροελάχιστα ὁμοειδῆ συστατικά, τὰ ὁποῖα διατηροῦν ἐν μέρει τὰς ἰδιότητας τοῦ ἀρχικοῦ σώματος. Οὕτω π.χ. ἀπὸ κρύσταλλον σακχάρου δυνάμεθα νὰ φθάσωμεν διὰ διαλύσεως εἰς τὸ μικρότερον δυνατὸν συστατικόν του, τὸ ὁποῖον νὰ ἐξακολουθῇ νὰ προκαλῇ τὴν γλυκεῖαν γεῦσιν. Αὐτὸ καλεῖται *μόριον* τοῦ σακχάρου.

Μόρια γενικῶς καλοῦνται τὰ ἀπειροελάχιστα τεμαχίδια τῶν ὑλικῶν σωμάτων, τὰ μὴ δυνάμενα νὰ διασπασθοῦν περαιτέρω διὰ συνήθων φυσικῶν μεθόδων.

Ἡ Χημεία κατώρθωσε διὰ διαφόρων χημικῶν μεθόδων νὰ διασπάσῃ περαιτέρω τὸ μόριον εἰς τὰ μικρότερα συστατικά του, τὰ καλούμενα *ἄτομα*.

Ἄτομα ἔχομεν σχετικῶς ὀλίγα ἀνήκοντα εἰς τὰ 103 σήμερον γνωστὰ ἁπλᾶ σώματα (στοιχεῖα).

Ὡς ἄτομον δέον νὰ ἐννοῆται τὸ ἐλάχιστον τεμαχίδιον τῆς ὕλης τῶν ἁπλῶν μόνον σωμάτων ἢ στοιχείων.

Ἁπλᾶ σώματα ἢ *στοιχεῖα* καλοῦνται τὰ θεμελιώδη σώματα, τὰ μὴ δυνάμενα δι' οὐδενὸς ἀναλυτικοῦ χημικοῦ τρόπου νὰ ἀποσυντεθοῦν ἢ διασπασθοῦν εἰς ἄλλα ἁπλούστερα περιέχοντα διάφορα συστατικά.

Τὰ ἁπλᾶ σώματα σπανίως εὑρίσκονται ἐλεύθερα εἰς τὴν φύσιν. Συνήθως εὑρίσκονται ἢ ἀναμεμιγμένα μεταξύ των (μίγματα) ἢ χημικῶς ἡνωμένα μεταξύ των (χημικαὶ ἑνώσεις) καλούμενα μὲ ἕνα ὄνομα *σύνθετα σώματα*, τὰ ὁποῖα ἀποτελοῦνται ἐπίσης ἀπὸ μόρια. Ἑπομένως μόρια ἔχομεν εἰς τεράστιον ἀριθμόν, ὁ ὁποῖος αὐξάνεται καθημερινῶς διὰ νέων μορίων, ποὺ παρασκευάζει ἡ συνθετικὴ Χημεία διὰ τῆς ἑνώσεως ἁπλῶν σωμάτων.

Ὅλων τῶν συνθέτων σωμάτων τὰ ἐλαχιστότατα τεμαχίδια εἶναι μόρια καὶ ὄχι ἄτομα. Π.χ. λέγομεν ἄτομον ὑδρογόνου, ὀξυγόνου, ἀλλὰ λέγομεν μόριον ὕδατος, μόριον διοξειδίου τοῦ ἄνθρακος, μόριον σακχάρου κ.λπ.

Τὰ ἄτομα τῶν ἁπλῶν σωμάτων συντίθενται πολλάκις ἀνὰ δύο ἢ περισσότερα πρὸς σχηματισμὸν τῶν μορίων των. Π.χ. τὸ μόριον ὀξυγόνου ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο ἄτομα ὀξυγόνου, τὸ μόριον τοῦ ὑδρογόνου ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο ἄτομα ὑδρογόνου, ἐνῶ ἄλλων ἁπλῶν σωμάτων τὸ ἄτομον εἶναι αὐτὸ τοῦτο τὸ μόριον ὡς π.χ. τὰ ἄτομα τῶν διαφόρων μετάλλων, χαλκοῦ, μολύβδου, χρυσοῦ κ.λπ., εἶναι αὐτὰ τὰ ἴδια καὶ μόρια αὐτῶν.

Τὰ ἄτομα μέχρι πρὸ 50 ἐτῶν ἐθεωροῦντο ἄτμητα, δηλαδὴ μὴ περαιτέρω διαιρετὰ δι' ἁπλοῦ φυσικοῦ ἢ χημικοῦ μέσου.

Αἱ ἔρευναι ὅμως τῶν τελευταίων 50 ἐτῶν ἔδειξαν ὅτι τὰ ἄτομα δύνανται νὰ διασπασθοῦν περαιτέρω εἰς τὰ συστατικά των. Ταῦτα ἀποτελοῦνται ἀπὸ κεντρικὸν πυρῆνα ἠλεκτρισμένον θετικῶς, πέριξ τοῦ ὁποίου φαίνεται ὅτι περιστρέφονται μικρὰ σωματίδια φέροντα ἀρνητικὸν φορτίον ἠλεκτρισμοῦ, τὰ *ἠλεκτρόνια.*

Τὸ ὑπόδειγμα τοῦτο τοῦ ἀτόμου (μοντέλο) μὲ θετικὸν πυρῆνα ἐντὸς αὐτοῦ, ἐπέτρεψε νὰ ἐξηγηθῇ πλῆθος ἰδιοτήτων τῶν διαφόρων χημικῶν στοιχείων, ὅπως ἡ ταξινόμησίς των εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα τῶν στοιχείων καὶ ἡ ἐξήγησις τῆς ὑπάρξεως φορτισμένων ἠλεκτρικῶς ἀτόμων τῶν καλουμένων εἰς τὴν Χημείαν *ἰόντων* *.

Ἡ ἐπιστήμη σήμερον προχωρεῖ ἔτι περισσότερον ἐπιτυχοῦσα τὴν διάσπασιν καὶ τοῦ πυρῆνος τῶν ἀτόμων.

Ἡ σημερινὴ ἀντίληψις εἶναι ὅτι ὁ πυρὴν ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο εἰδῶν καὶ τῆς αὐτῆς περίπου μάζης σωματίδια, τὰ *πρωτόνια* καὶ τὰ *νετρόνια.*

Τὰ πρωτόνια φέρουν θετικὸν ἠλεκτρισμὸν καὶ εἰς αὐτὰ ὀφείλε-

* Τὸ φορτισμένον ἄτομον δύναται νὰ μετακινηθῇ λόγῳ ἕλξεως ἢ ἀπώσεως ἀπὸ ἠλεκτρικὸν πόλον. Ἐξ αὐτοῦ ἡ ὀνομασία αὐτοῦ *ἰόν*, δηλαδὴ πορευόμενον, μετακινούμενον. Ἰών, ἰοῦσα, ἰόν: μετοχὴ τοῦ ρήματος εἶμι = πορεύομαι, ἔρχομαι κ.λπ.

ται τὸ θετικὸν φορτίον τοῦ πυρῆνος. Τὰ νετρόνια (ἀπὸ τὸ Neutrum) εἶναι ἠλεκτρικῶς οὐδέτερα καὶ συντελοῦν εἰς τὴν σύνδεσιν τῶν πρωτονίων καὶ τὴν αὔξησιν τῆς μάζης (ἐνεργείας) τοῦ πυρῆνος.

Βάσει τῆς ἀνωτέρω δομῆς τῶν ὑλικῶν σωμάτων δεχόμεθα ὅτι εἰς τὰ στερεὰ σώματα τὰ ἄτομα (ἰόντα) κατέχουν ὡρισμένας θέσεις καὶ περὶ αὐτὰς ταλαντεύονται. Εἰς τὰ ὑγρὰ σώματα ὀλισθαίνουν εὐχερῶς, ἐνῶ εἰς τὰ ἀέρια κινοῦνται πρὸς πᾶσαν κατεύθυνσιν.

0·4 Φυσικὰ μεγέθη. Μονάδες - Νόμοι.

Εἰς πᾶν φαινόμενον ἀλλάσσουν ὀλίγα ἢ πολλὰ χαρακτηριστικὰ γνωρίσματα (ἰδιότητες) τῶν σωμάτων. Ἔστω π.χ. ἕνα σύρμα, διὰ μέσου τοῦ ὁποίου κυκλοφορεῖ ἠλεκτρικὸν ρεῦμα, ποὺ συνίσταται ἀπὸ βραδέως κινούμενα ἠλεκτρόνια. Τὰ ἄτομα τοῦ σύρματος εἶναι συνδεδεμένα μεταξύ των καὶ ὡς ἐκ τούτου δὲν ἀφίνουν νὰ κινηθοῦν ἀνάμεσά των ἀνενόχλητα τὰ ἠλεκτρόνια τοῦ ρεύματος, ἑπομένως τὸ τεμάχιον τοῦ σύρματος, δυσχεραίνει τὴν ροήν των. Ἡ ἰδιότης αὐτή, δηλαδὴ τὸ νὰ παρουσιάζη τὸ σύρμα δυσκολίας εἰς τὴν ροὴν τῶν ἠλεκτρονίων, γίνεται περισσότερον ἔντονος, ὅταν τὸ σύρμα θερμανθῆ, διότι τότε τὰ ἄτομα ἀρχίζουν νὰ τρέμουν καὶ ἡ ροὴ τῶν ἠλεκτρονίων ἀνάμεσά των γίνεται πλέον δύσκολος. Διαπιστώνομεν λοιπὸν κάτι ποὺ αὐξάνει μὲ τὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀγωγοῦ μας καὶ γυρίζει ἐκ νέου εἰς τὴν παλαιάν του τιμήν, ὅταν τὸ σύρμα ἀποκτήση τὴν παλαιὰν θερμοκρασίαν του.

Εἰς τὸ φαινόμενον αὐτό, τυπικὸν φυσικὸν φαινόμενον, διότι δὲν μεταβάλλεται μονίμως ἡ δομὴ τοῦ ὑλικοῦ μας, εἴμεθα ὑποχρεωμένοι νὰ καθορίσωμεν σαφέστερον αὐτὸ ποὺ αὐξάνει ἢ ἐλαττοῦται, πρὸς τοῦτο δὲ ὁρίζομεν ἕνα *φυσικὸν μέγεθος* χαρακτηριστικὸν τοῦ ὑπ' ὄψιν σύρματος, τὸ ὁποῖον καλοῦμεν *ἠλεκτρικὴν ἀντίστασιν* R.

Ὥστε τὸ φυσικὸν μέγεθος εἶναι ἕνα μέγεθος ἀντίστοιχον πρὸς μίαν ἰδιότητα τοῦ σώματος, ποὺ δύναται νὰ αὐξομειωθῆ καὶ νὰ μετρηθῆ συγκρινόμενον πρὸς ἕνα ἄλλο ὁμοειδὲς μέγεθος, τὸ ὁποῖον ἐλάβομεν, αὐθαιρέτως ἢ κατόπιν διεθνοῦς συμφωνίας, ὡς μονάδα.

Ὅθεν, καλοῦμεν *ἀριθμητικὴν τιμὴν* (ἢ μέτρον) τοῦ μεγέθους ποὺ ἐξετάζομεν, τὸ πόσας φορὰς μεγαλύτερον ἢ μικρότερον εἶναι τὸ μέγεθος, ἐν συγκρίσει πρὸς ἐκεῖνο, τὸ ὁποῖον ἐλήφθη ὡς μονάς του.

Ἀφοῦ ἔχομεν τώρα τὴν δυνατότητα τῆς μετρήσεως τῶν φυσικῶν μεγεθῶν, ἐκτελοῦμεν τὰς μετρήσεις τῶν μεταβολῶν των κατὰ τὴν διάρκειαν τοῦ φαινομένου καὶ ἐξάγομεν τὸν *φυσικὸν νόμον*, δηλαδὴ τὴν σχέσιν κατὰ τὴν ὁποίαν ἡ ἀλλαγὴ τοῦ ἑνὸς μεγέθους συνεπάγεται τὴν ἀλλαγὴν τοῦ ἄλλου ἢ τῶν ἄλλων μεγεθῶν. Εἰς τὸ παράδειγμά μας ἡ μεταβολὴ τῆς ἀντιστάσεως ΔR εἶναι ἀνάλογος τῆς μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας $\Delta\Theta$ καὶ τῆς ἀρχικῆς τιμῆς R_0, ποὺ ὑφίστατο, ὅταν ἡ θερμοκρασία ἦτο 0^0 C. Μαθηματικῶς, ὅλα αὐτὰ θὰ γραφοῦν:

$$\boxed{\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\theta}$$

ὅπου α ὁ συντελεστὴς τῆς ἀντιστάσεως, χαρακτηριστικὸν μέγεθος τοῦ εἴδους τοῦ μετάλλου τοῦ σύρματος.

Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον εὑρέθη ὁ νόμος τῆς θερμικῆς μεταβολῆς τῆς ἀντιστάσεως καὶ ἀπὸ μετρήσεις ὑπολογίζεται ἐν συνεχείᾳ ὁ θερμικὸς συντελεστὴς α τῆς ἀντιστάσεως τοῦ μετάλλου.

0 · 5 Συστήματα μονάδων. Διαστάσεις φυσικῶν μεγεθῶν.

Ὅπως γνωρίζομεν ἐκ τῆς πείρας καὶ τῆς μελέτης τῶν φαινομένων, ὑπάρχει ἕνας πολὺ μεγάλος ἀριθμὸς φυσικῶν μεγεθῶν καὶ ὡς ἐκ τούτου ἀπαιτεῖται ἀντίστοιχον πλῆθος μονάδων, ἐφ' ὅσον κάθε φυσικὸν μέγεθος χρειάζεται τὴν ἰδικήν του μονάδα διὰ νὰ συγκριθῇ πρὸς αὐτὴν καὶ νὰ προκύψῃ οὕτως ἡ ἀριθμητικὴ τιμή του. Διὰ νὰ ἀποφευχθῇ αὐτὸ τὸ πλῆθος τῶν μονάδων, σκεπτόμεθα ὅτι πολλὰ φυσικὰ μεγέθη δὲν εἶναι τελείως ἄσχετα μεταξύ των. Π.χ. διατί νὰ ἔχωμεν ἄλλην μονάδα διὰ τὴν μέτρησιν μήκους, ἄλλην διὰ τὴν ἐπιφάνειαν καὶ ἄλλην διὰ τὸν ὄγκον; Λαμβάνομεν μόνον μίαν κατάλληλον διὰ τὸ μῆκος καὶ ἐξ αὐτῆς καθορίζομεν τὴν μονάδα ἐπιφανείας καὶ ὄγκου. Ἔτσι ἐκ τῆς κρατικῶς νομοθετημένης μονάδος μήκους ἐν Ἑλλάδι, τοῦ μέτρου m, προέρχεται ἡ μονὰς ἐπιφανείας τετραγωνικὸν μέτρον m^2 καὶ ἡ μονὰς χωρητικότητος ἢ ὄγκου κυβικὸν μέτρον m^3.

Ἐπίσης διὰ νὰ προσδιορίσωμεν τὴν ταχύτητα ἑνὸς σώματος, π.χ. ἑνὸς αὐτοκινήτου, δὲν ἀπασχολούμεθα μὲ νέους ὁρισμοὺς μονάδων, ἀλλὰ λαμβάνομεν τὸ μέτρον ἀνὰ δευτερόλεπτον ἢ ἕνα ὑποπολλαπλάσιον ἢ πολλαπλάσιον, ὅπως τὸ χιλιόμετρον ἀνὰ ὥραν (Σύμβολα m/sec ἢ $m \cdot sec^{-1}$ ἢ ἀντιστοίχως km/h ἢ $km \cdot h^{-1}$).

Διὰ τὴν μέτρησιν τῆς μάζης χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἐν Ἑλλάδι νομοθετημένην μονάδα μάζης, τὸ χιλιόγραμμον kg, ὁπότε διὰ νὰ ἐκφράσωμεν τὴν πυκνότητα τῆς ὕλης, δηλαδὴ τὸ πόσον ἀραιὰ ἢ πυκνὰ κατανέμεται τὸ ὑλικόν μας μέσα εἰς τὸν χῶρον, δὲν ἀναφερόμεθα εἰς ἰδιαιτέραν μονάδα πυκνότητος, ἀλλὰ ἁπλῶς τὴν ὁρίζομεν μὲ τὸ χιλιόγραμμον ἀνὰ κυβικὸν μέτρον, ἢ κάποιο εὔκολον πολλαπλάσιον. Π.χ. διὰ τὸ μπετὸν λέγομεν τόσοι τόννοι ὑλικοῦ ἀνὰ κυβικὸν μέτρον.

Τοιουτοτρόπως, αἱ προσπάθειαι πρὸς περιορισμὸν καὶ συσχετισμὸν τῶν μονάδων κατέληξαν εἰς τὴν διαμόρφωσιν *συστημάτων μονάδων* μὲ βάσιν 3 ἢ 4 θεμελιώδη μεγέθη, τῶν ὁποίων αἱ μονάδες ἀποτελοῦν τοὺς θεμελίους λίθους τοῦ ἑκάστοτε συστήματος.

Τὰ ἐπικρατήσαντα συστήματα θεμελιωδῶν μεγεθῶν εἶναι:

α) Τὸ σύστημα (L, M, T) ἤτοι μήκους L, μάζης M, χρόνου T.

β) Τὸ σύστημα (L, F, T) ἤτοι μήκους L, δυνάμεως F καὶ χρόνου T.

Εἰς τὸ σύστημα τῶν θεμελιωδῶν μεγεθῶν (L, M, T) ἀνήκει τὸ μετρικὸν σύστημα μονάδων (M, K, S) δηλαδὴ μέτρου m, χιλιογράμμου kg καὶ δευτερολέπτου sec.

Εἰς τὸ Κεφάλαιον τῆς θερμότητος προστίθεται ὡς τετάρτη μονὰς ὁ βαθμὸς θερμοκρασίας Κελσίου καὶ εἰς τὸν Ἠλεκτρισμὸν ἡ μονὰς ἐντάσεως ρεύματος Ampère.

Σύστημα μονάδων μὲ ὑποπολλαπλάσιον ἀνῆκον ἐπίσης εἰς τὸ (L, M, T), δηλαδὴ χρησιμοποιοῦν θεμελιώδεις μονάδας μήκους-μάζης-χρόνου εἶναι τὸ (C, G, S) (ἑκατοστόμετρον, γραμμάριον, δευτερόλεπτον), τεῖνον τελευταίως νὰ ἐκλείψη.

Εἰς τὸ σύστημα θεμελιωδῶν μεγεθῶν (L, F, T) ἀνήκει τὸ *τεχνικὸν* σύστημα μονάδων (M, kp, S) (μέτρον m, χιλιόγραμμον βάρους kp, δευτερόλεπτον sec). Εἰς τὸ σύστημα αὐτὸ τὸ σύμβολον kp ἐκφράζει τὸ χιλιόγραμμον βάρους, ἤτοι τὴν δύναμιν, μετὰ τῆς ὁποίας ἕλκεται εἰς τὸ Παρίσι ἕνα kg ὑλικοῦ τινός καὶ τοῦτο, διότι ἕνα χιλιόγραμμον ὑλικοῦ σώματος ἕλκεται ὑπὸ τῆς Γῆς μὲ διάφορον ἑκάστοτε δύναμιν ἀπὸ τόπου εἰς τόπον κ.ο.κ. (βλ. Μηχανικήν: μᾶζα, βάρος). Ἡ μονὰς αὐτὴ ἑλληνιστὶ καλεῖται *χιλιόγραμμον βάρους*, γερμανιστὶ kilopond καὶ γαλλιστὶ kilogramme-poids. Σημειωτέον, ὅτι ἕνα kg, δηλαδὴ ἕνα χιλιόγραμμον μάζης, δυνατὸν νὰ ἀποκτήση ὑπὸ διαφόρους συνθήκας βάρος πολλῶν kp ἢ καὶ μηδέν, ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν διαστημικῆς πτήσεως εἰς μεσοαστρικὸν χῶρον. Πάντως ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας γηίνης ἕλξεως εἰς τὸ Παρίσι 1 kg θὰ ἕλκεται μὲ δύναμιν 1 kp (Γηίνη ἐπιτάχυνσις $\simeq$ 9,81 $m \cdot sec^{-2}$).

Τονίζομεν ἰδιαιτέρως τὴν διαφορὰν τῶν μονάδων **kg** καὶ **kp**, καθ' ὅσον ἡ μονὰς **kp** δὲν συνδέεται ἀναγκαστικῶς μὲ ὕπαρξιν ὑλικοῦ σώματος ἢ συνδέσμου. Π.χ. λέγομεν ὅτι ἕνας μαγνήτης στερεωμένος ἐπὶ τραπέζης τινὸς ἕλκει μὲ δύναμιν 5 **kp** ἕνα τεμάχιον σιδήρου, ποὺ θέτομεν πρὸ αὐτοῦ, ἢ καὶ ἀντιστρόφως. Αὐτὸ δηλοῖ ὅτι ὁ εὑρισκόμενος ἐπὶ τῆς τραπέζης σίδηρος ἕλκεται ὡς νὰ ἦτο δεμένος ἀπὸ σχοινίον, εἰς τὸ ἄλλο ἄκρον τοῦ ὁποίου μέσω τροχαλίας ἔχομεν (εἰς τὸ Παρίσι) κρεμάσει 5 **kg** ὑλικοῦ τινος.

Ὁ Πίναξ 0 · 5 · 1 θὰ μᾶς ἐξυπηρετήση διὰ τὴν ἀντιστοιχίαν τῶν μονάδων καὶ τὴν γνῶσιν τῶν συντελεστῶν μετατροπῆς αὐτῶν πρὸς ἀλλήλας διὰ τὰ δύο συστήματα.

ΠΙΝΑΞ 0·5·1

Μεγέθη	L, M, T	Συντελεστής	L, F, T
Μῆκος	mètre	: 1 ×	mètre
Μᾶζα	kilogramme	: 9,81 ×	Τεχνικὴ μονὰς
Δύναμις	Newton	: 9,81 ×	kilopond
Χρόνος	seconde	: 1 ×	seconde
Ἔργον	Newton × mètre = Joule	: 9,81	kilopond × mètre

Ἐπεξήγησις: Τιμαὶ ἐκφραζόμεναι εἰς ἀριστερὰς μονάδας διαιρούμεναι μὲ τοὺς συντελεστὰς δίδουν τὰς τιμὰς εἰς δεξιὰς μονάδας. Ἀντιθέτως ἐκ δεξιῶν πρὸς ἀριστερὰ τῆς διαιρέσεως ἀπαιτεῖται πολλαπλασιασμός.

Ἀριθμητικὰ παραδείγματα:

1) Ἄνθρωπος μάζης 80 kg ἔχει μᾶζαν 80:9,81 τεχνικῶν μονάδων μάζης.

2) Ἀσκοῦμεν διὰ τῆς χειρός μας μέσω σχοινίου ἑνὸς κρίκου στερεωμένου ἐπὶ τῆς ὀροφῆς, δύναμιν 10 kp ἢ ἄλλως 98,1 Newton.

3) Σῶμα μάζης 80 kg ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ ἐν λόγω σχοινίου, ἀσκεῖ ὅθεν εἰς τὸ Παρίσι ἀκριβῶς δύναμιν 80 kp ἐπὶ τοῦ κρίκου.

Εἰς βορειότερα πλάτη τὸ αὐτὸ σῶμα σταθερᾶς μάζης 80 kg θὰ ἀσκῇ δύναμιν μεγαλυτέραν τῶν 80 kp καὶ ἐντὸς διαστημοπλοίου εἰς τὸ μεσοαστρικὸν διάστημα οὐδεμίαν δύναμιν.

Κάθε σύνθετον ἢ ἄλλως παράγωγον μέγεθος, δηλαδὴ μέγεθος πoὺ δὲν ἔχει ὁρισθῆ ὡς θεμελιῶδες, δύναται νὰ προέλθῃ ἀπὸ τὰ θεμελιώδη καὶ νὰ παρασταθῆ ὡς συνάρτησις τῶν θεμελιωδῶν ποσῶν μὲ χρῆσιν ἐκθετῶν.

Οὕτω διὰ τὴν ἐπιφάνειαν γράφομεν L^2, M^0, T^0, ἤτοι μῆκος εἰς τὸ τετράγωνον, μᾶζα εἰς τὴν μηδενικήν, χρόνος εἰς τὴν μηδενικὴν ἢ ἀκόμη λέγομεν ὅτι διὰ νὰ γίνῃ ὑπολογισμὸς ἐπιφανείας χρειαζόμεθα μετρήσεις δύο μηκῶν, ποὺ θὰ πολλαπλασιασθοῦν μεταξύ των καὶ οὐδεμίαν μέτρησιν μάζης καὶ χρόνου. Διὰ τὴν ταχύτητα γράφομεν L^1, M^0, T^{-1}, δηλαδὴ χρειαζόμεθα μίαν μέτρησιν μήκους, οὐδεμίαν μάζης καὶ μίαν μέτρησιν χρόνου, τοῦ ὁποίου ἡ τιμὴ θὰ μᾶς χρησιμεύσῃ ὡς παρονομαστὴς (ἀρνητικὸς ἐκθέτης).

Τοὺς ἐκθέτας αὐτούς, ποὺ τίθενται εἰς τὰ θεμελιώδη μεγέθη, ὅταν διατυπώσωμεν τὰς ἐξισώσεις συσχετισμοῦ τοῦ παραγώγου μεγέθους πρὸς τὰ θεμελιώδη, ὀνομάζομεν *διαστάσεις* τοῦ παραγώγου μεγέθους. Παραδείγματα:

Ἐπιφάνεια	(S)	=	$(L^2, M^0, T^0,\ )$	διαστάσεις	2, 0,	0
Ὄγκος	(V)	=	$(L^3, M^0, T^0,\ )$	διαστάσεις	3, 0,	0
Πυκνότης	(ρ)	=	$(L^{-3}, M^1, T^0\ )$	διαστάσεις	–3, 1,	0
Ταχύτης	(υ)	=	$(L^1, M^0, T^{-1}\ )$	διαστάσεις	1, 0,	–1
Ὁρμή	(mυ)	=	$(L^1, M^1, T^{-1}\ )$	διαστάσεις	1, 1,	–1

Κινητικὴ ἐνέργεια $\left(\frac{1}{2}\, m\upsilon^2\right) = (L^2,\ M^1,\ T^{-2})$ διαστάσεις 2, 1, –2.

Εἰς τὸ τελευταῖον παράδειγμα ὁ συντελεστὴς 1/2 δὲν ἔχει νόημα φυσικῶν διαστάσεων, διότι δηλοῖ τὸ ἥμισυ τοῦ γινομένου $m\upsilon^2$, ποὺ αὐτὸ μόνον ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰ φυσικὰ μεγέθη, τὴν μᾶζαν m καὶ τὴν ταχύτητα υ εἰς τὸ τετράγωνον. Ἄρα ὁ συντελεστὴς 1/2 εἶναι καθαρὸς ἀριθμός, δηλαδὴ ἀδιάστατον μέγεθος μὴ σχετιζόμενον μὲ θεμελιώδεις μονάδας. Εἰς τοὺς καθαροὺς ἀριθμοὺς ἀνήκει καὶ ἡ γωνία, διότι ὡς λόγος τόξου πρὸς ἀκτῖνα, εἶναι ἀδιάστατον μέγεθος.

$$\text{τόξον} = \text{μῆκος } L \qquad \text{ἀκτὶς} = \text{μῆκος } L,$$

$$\text{γωνία} = \frac{L^1,\ M^0,\ T^0}{L^1,\ M^0,\ T^0} \quad \text{ὅθεν, διαστάσεις } 0,\ 0,\ 0.$$

Μονὰς δὲ γωνίας εἶναι εἰς τὴν Φυσικὴν *ὄχι ἡ μοῖρα, ἀλλὰ τὸ ἀκτίνιον rad.*

Σημείωσις: 1 rad ἴσον πρὸς $360/2\pi$, περίπου 57°.

Αἱ πράξεις εἰς τὰς διαστατικὰς ἐξισώσεις γίνονται ὅπως αἱ πράξεις τῶν ἐκθετῶν. Π.χ. διὰ νὰ διαιρέσωμεν, ἀφαιροῦμεν τοὺς ἐκθέτας καὶ διὰ νὰ πολλαπλασιάσωμεν, προσθέτομεν αὐτούς.

Π.χ. νὰ εὑρεθοῦν αἱ διαστάσεις τοῦ παραγώγου μεγέθους:

$$G = m \cdot v \cdot r$$

Γράφομεν: $[G] = [L^0, M^1, T^0]\ [L^1 \cdot M^0 \cdot T^{-1}]\ [L^1, M^0, T^0]$

ὅθεν, τελικῶς αἱ διαστάσεις τοῦ G εἶναι 2, 1, −1.

Μία σχέσις τῆς Φυσικῆς εἶναι ἐσφαλμένη, ὅταν διαστατικῶς δὲν εἶναι *ὁμογενής*, δηλαδὴ ὅταν αἱ διαστάσεις τοῦ δεξιοῦ μέλους εἶναι ἀνόμοιαι πρὸς τὰς τοῦ ἀριστεροῦ.

Π.χ. μᾶς λέγουν ὅτι ἰσχύει ἡ σχέσις: $v = \sqrt{\frac{2h}{t^2}}$

ὅπου: v ἡ ταχύτης, h τὸ ὕψος πτώσεως σώματος τινὸς καὶ t ὁ χρόνος τῆς πτώσεως. Ἐκτελοῦμεν τὰς πράξεις τῶν διαστάσεων καὶ ἔχομεν, θεωροῦντες τὸν συντελεστὴν 2 ὡς ἀδιάστατον.

$$[v^2] = [h/t^2]\quad [L^2, M^0, T^{-2}] = [L^1, M^0, T^{-2}].$$

Συνεπῶς ἡ δοθεῖσα εἰς ἡμᾶς σχέσις εἶναι ἐσφαλμένη καὶ δὴ εἰς τὸ δεύτερον μέλος ἐλλείπει ἕνα μῆκος, ἐκτὸς ἂν ὁ συντελεστὴς 2 δὲν ἐκφράζῃ καθαρὸν ἀριθμόν. Πράγματι ἡ ὀρθὴ σχέσις εἶναι : $v^2 = 2\,gh$ ὅπου g ἐπιτάχυνσις τῆς βαρύτητος, δηλαδὴ ἕνα μέγεθος μὲ διαστάσεις L^1, M^0, T^{-2}, ὁπότε καὶ μὲ τὸ h = μῆκος ἡ ἰσότης διαστάσεων ἐπαληθεύεται, τοῦ συντελεστοῦ 2 παραμένοντος ἀδιαστάτου.

0·6 Μονόμετρα καὶ διανυσματικὰ μεγέθη.

Τὰ φυσικὰ μεγέθη δύνανται νὰ διαχωρισθοῦν — κατὰ πρῶτον — εἰς δύο μεγάλας κατηγορίας: τὰ *μονόμετρα* (scalars) καὶ τὰ *διανυσματικὰ* (vectors).

Μονόμετρον (ἢ βαθμωτόν, κλιμακωτόν) μέγεθος εἶναι ἕνα φυσικὸν ποσόν, τὸ ὁποῖον διὰ νὰ ὁρισθῇ χρειάζεται νὰ γίνῃ γνωστὴ ἡ ἀριθμητικὴ τιμή του (μέτρον) καὶ ἡ χρησιμοποιηθεῖσα μονὰς μετρήσεώς του.

Μονόμετρον μέγεθος εἶναι π.χ. ὁ χρόνος ἔστω 5 sec, 5 h. Ἐπίσης τὸ ἔργον 5 Joule ἢ $m^2 \cdot kg \cdot sec^{-2}$, ἡ ἰσχὺς 5 Watt ἢ

Joule sec^{-1} ἢ $m^2 \cdot kg \cdot sec^{-3}$ κ.ο.κ. Μονόμετρον ποσὸν θεωρεῖται εἰς τὰ στοιχειώδη βιβλία καὶ ἡ πίεσις (ἢ τάσις) π.χ. $5\ kp \cdot m^{-2}$ δηλαδὴ χιλιόγραμμα βάρους ἀνὰ τετραγωνικὸν μέτρον.

Τὸ διανυσματικὸν (ἢ ἀνυσματικὸν) μέγεθος ἀπαιτεῖ ὄχι μόνον γνῶσιν τῆς ἀριθμητικῆς τιμῆς καὶ τῆς μονάδος ἀλλὰ καὶ καθορισμὸν διευθύνσεως καὶ φορᾶς. Οὕτω, λέγομεν, ταχύτης $5\ m{\cdot}sec^{-1}$ ἐπὶ τῆς διευθύνσεως Βορρᾶς - Νότος μὲ φορὰν πρὸς Νότον ἢ Δύναμις 5 kp ἐπὶ τῆς κατακορύφου μὲ φορὰν πρὸς τὰ ἄνω. Πολλάκις ἡ ἔνδειξις τῆς φορᾶς ἐπαρκεῖ καὶ παραλείπεται ἡ διεύθυνσις. Τὸ διανυσματικὸν μέγεθος παρίσταται διὰ βέλους, τὸ δὲ μῆκος τούτου εἶναι πολλαπλάσιον τῆς ἐκλεγείσης διανυσματικῆς μονάδος.

Διὰ τὰ μονόμετρα μεγέθη ἐφαρμόζομεν τοὺς κανόνας τῶν ἀριθμητικῶν (ἀλγεβρικῶν) πράξεων, ἐνῶ διὰ τὰ διανυσματικὰ τοὺς κανόνας τοῦ διανυσματικοῦ λογισμοῦ. (Βλ. Βιβλιοθήκη τοῦ Τεχνικοῦ, Μαθηματικὰ Α', σελ. 8 καὶ Μαθηματικὰ Β', σελ. 69).

Παραδείγματα πράξεων:

1) *Μονόμετρα μεγέθη.*

Ἄθροισις $5\ sec + 8\ sec = 13\ sec$.

Πολ/μὸς $5\ erg \times 8\ sec = 40\ erg \cdot sec$.

2) *Διανυσματικὰ μεγέθη.*

$$\varphi = 60^\circ$$
$$\alpha = 5\ kp$$
$$\beta = 8\ kp$$

Ἄθροισις. $\vec{\Sigma} = \vec{\alpha} + \vec{\beta} \quad \underline{|\ \varphi}$

Ἡ τιμὴ τοῦ ἀθροίσματος (συνισταμένη) Σ προκύπτει ἐκ τῆς σχέσεως: $\Sigma^2 = \alpha^2 + \beta^2 + 2\alpha\beta \cdot$ συνφ, ἄρα $|\Sigma| = \sqrt{129}$ kp, ἤτοι χρησιμοποιοῦμεν τοὺς τριγωνομετρικοὺς τύπους (συν $60^\circ = 1/2$) εὑρέσεως τῆς διαγωνίου ἑνὸς παραλληλογράμμου σχηματιζομένου μὲ πλευρὰς τὰ δύο πρὸς ἄθροισιν διανύσματα ὑπὸ τὴν δοθεῖσαν γωνίαν.

Ἀφαίρεσις.

$\vec{\Delta} = \vec{\beta} - \vec{\alpha} \quad \underline{|\ \varphi}$

$\Delta^2 = \alpha^2 + \beta^2 - 2\alpha\beta \cdot$ συνφ καὶ $|\Delta| = 7$ kp

ἄρα ἡ διαφορὰ τῶν διανυσμάτων α καὶ β εἶναι διάνυσμα, ποὺ εὑρίσκεται, ἂν ἑνώσωμεν τὰ ἄκρα τῶν βελῶν α καὶ β, ἡ δὲ ἀπόλυτος τιμή του ὁρίζεται ἐκ τῆς ἀνωτέρω σχέσεως.

Πολλαπλασιασμός.

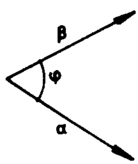
α) *Ἐσωτερικὸν γινόμενον* (σχ. 0 · 6α)

$(\vec{\alpha}\cdot\vec{\beta}) = E = \alpha\cdot\beta\cdot\text{συν}\ \varphi.$

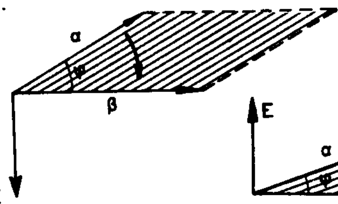
Τὸ Ε εἶναι τώρα μονόμετρον μέγεθος, ὄχι πλέον διανυσματικὸν καὶ δὲν ἔχει σημασίαν ἡ σειρὰ γραφῆς, δηλαδὴ $(\alpha\cdot\vec{\beta}) = (\beta\cdot\vec{\alpha})$.

β) *Ἐξωτερικὸν γινόμενον.*

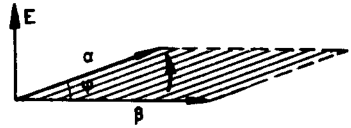
$[\vec{\alpha}\cdot\vec{\beta}] = \vec{E}$. Τὸ $\vec{E}$ εἶναι εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν πάλιν διανυσματικὸν μέγεθος, τοῦ ὁποίου ἡ διεύθυνσις εἶναι ἡ τῆς καθέτου ἐπὶ τοῦ σχηματιζομένου ὑπὸ τῶν δύο διανυσμάτων ἐπιπέδου (σχ. 0 · 6 β), ἡ δὲ φορά του ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ ποῖον ἐκ τῶν δύο διανυσμάτων ἔχομεν γράψει πρῶτον.



Σχ. 0 · 6 α.



Σχ. 0 · 6 β.



Σχ. 0 · 6 γ.

Τὸ μέτρον τοῦ $\vec{E}$ ἰσοῦται πρὸς τὸ ἐμβαδὸν τοῦ παραλληλογράμμου, $E = \alpha\cdot\beta\cdot\text{ημ}\ \varphi$. Ἡ φορὰ τοῦ $\vec{E}$ ἀναστρέφεται, ὅταν ἀλλάσση ἡ σειρὰ τῶν πρὸς πολλαπλασιασμὸν δοθέντων διανυσμάτων (σχ. 0 · 6 γ), δηλαδή:

$[\vec{\alpha}\cdot\vec{\beta}] = -[\vec{\beta}\cdot\vec{\alpha}]$, ἡ δὲ ἑκάστοτε φορὰ τοῦ $\vec{E}$ καθορίζεται ἀπὸ τὸ πῶς θὰ προχωροῦσεν δεξιόστροφος κοχλίας στρεφόμενος ἐκ τοῦ πρώτου διανύσματος πρὸς τὸ δεύτερον (βλ. βέλη στροφῆς εἰς τὰ σχήματα).

0 · 7 Γραφικαὶ παραστάσεις.

Εἰς πολλὰς περιπτώσεις μελέτης τῶν φυσικῶν φαινομένων εἴμεθα ὑποχρεωμένοι νὰ ἐκτελέσωμεν σειρὰν μετρήσεων, μεταβάλλοντες κάθε φορὰν ἕνα φυσικὸν μέγεθος καὶ παρατηροῦντες τί συμβαίνει μὲ τὴν τιμὴν ἑνὸς ἄλλου ἢ ἄλλων. Συνέπεια τούτου εἶναι ἡ κατάρτισις ἑνὸς πίνακος μὲ ἀντιστοιχίας τιμῶν τοῦ μεταβαλλομένου μεγέθους πρὸς τὰς τοῦ μετρουμένου μεγέθους. Εἶναι ὅμως δύσκολον νὰ παρακολουθήσωμεν τὰς παρουσιαζομένας μεταβολάς, παρὰ μόνον κατόπιν προσεκτικῆς συγκρίσεως τῶν ἀριθμητικῶν δεδομένων.

Ἐν τούτοις, ὑπάρχει τρόπος ἀπεικονίσεως τῶν τιμῶν αὐτῶν εἰς διάγραμμα, ὁπότε κάθε ζεῦγος τιμῶν δίδει ἕνα σημεῖον, ἑνοῦντες δὲ τὰ σημεῖα αὐτὰ διὰ γραμμῆς ἀποκτῶμεν τὴν *χαρακτηριστικὴν καμπύλην* τῶν φαινομένων, ποὺ μὲ τὸ πρῶτον βλέμμα μᾶς παρέχει πλήρη τὴν πορείαν τῆς ἐξελίξεώς του.

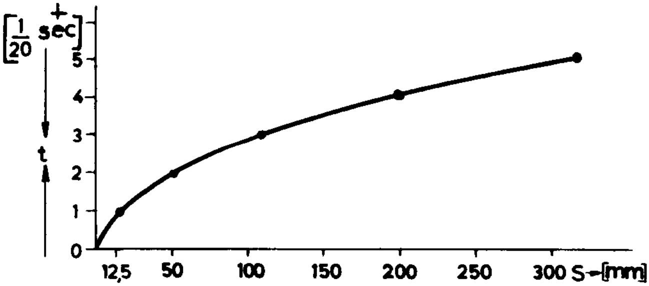
Παραδείγματα :

1) Ἔστω ἕνα σῶμα, π.χ. ἕνα σφαιρίδιον, τὸ ὁποῖον πίπτει ἀπὸ ὕψους εἰς τὸ κενόν. Κινηματογραφοῦμεν τὴν πτῶσιν καὶ γνωρίζοντες ὅτι κάθε εἰκὼν ἐλήφθη περίπου στιγμιαίως μετὰ ὡρισμένον χρόνον, συνήθως 1/20 sec, μετροῦμεν τὰ διανυθέντα διαστήματα καὶ καταρτίζομεν τὸν Πίνακα 0 · 7 · 1 μὲ χρόνους εἰς εἰκοστὰ τοῦ sec καὶ διαστήματα εἰς χιλιοστὰ τοῦ μέτρου mm.

ΠΙΝΑΞ 0·7·1

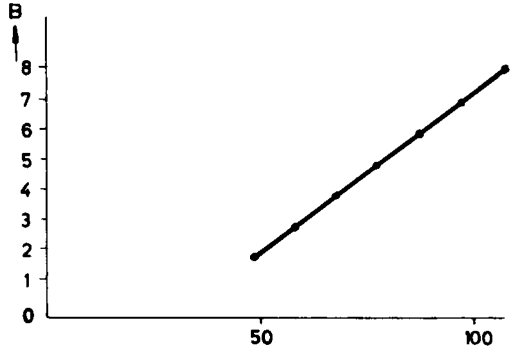
Χρόνος	Διάστημα	
0	0	
		12,5
1	12,5	
		37,5
2	50	
		62,5
3	112,5	
		87,5
4	200	
		112,5
5	312,5	

Ἐκ πρώτης ὄψεως φαίνεται ἐκ τοῦ πίνακος ἡ αὔξησις τῶν διαστημάτων διὰ κάθε χρονικὴν μονάδα. Οὕτως, ἀπὸ χρόνον 0, ἕως ὅτου παρέλθῃ χρόνος 1/20 sec, τὸ σφαιρίδιον διήνυσεν 12,5 μονάδας μήκους, ἐνῶ διὰ τὴν αὐτὴν χρονικὴν μονάδα ἀπὸ τῆς 4ης μέχρι τῆς 5ης παρατηρήσεως τὸ σφαιρίδιον διήνυσεν 9 φορὰς μεγαλύτερον διάστημα. Προφανῶς ἡ κίνησις εἶναι ἐπιταχυνομένη, ἀλλὰ ὁ ρυθμὸς αὐξήσεως τοῦ διαστήματος θὰ ἀποδοθῇ πολὺ ἐμφανέστερος, ἂν σχηματίσωμεν τὴν χαρακτηριστικὴν καμπύλην τῆς πτώσεως εἰς τὸ διάγραμμα διαστήματος s καὶ χρόνου t, χρησιμοποιοῦντες ἀντιστοίχως τοὺς ἄξονας X καὶ Ψ, ποὺ γνωρίζομεν ἐκ τῶν γραφικῶν παραστάσεων τῶν ἐξισώσεων τῆς Ἀλγέβρας. Οὕτω, λαμβάνομεν τὸ διάγραμμα τοῦ σχήματος 0·7α μὲ ἐντυπωσιακὴν τὴν αὔξησιν τοῦ διαστήματος ἐν σχέσει πρὸς τὴν κατὰ ἴσας μονάδας αὔξησιν τοῦ χρόνου, ἡ δὲ χαρακτηριστικὴ καμπύλη ἀπέχει πολὺ τῆς εὐθείας (γραμμικῆς ἀναλογίας) ἐν ἀντιθέσει πρὸς τὸ ἑπόμενον παράδειγμα.



Σχ. 0·7α.

2) Τείνομεν ἐλατήριον διὰ βάρους 2 kp καὶ ἔχομεν ὡς μῆκος αὐτοῦ 50 cm. Προσθέτομεν συνεχῶς ἀνὰ ἕνα kp, μετροῦμεν τὰ νέα μήκη τοῦ ἐλατηρίου καὶ ἔστω ὅτι ἔχομεν τὸν Πίνακα 0·7·2 τιμῶν. Ἐὰν σχηματίσωμεν τὸ ἀντίστοιχον διάγραμμα, θὰ λάβωμεν τώρα τὴν χαρακτηριστικὴν καμπύλην ὡς εὐθεῖαν (σχ. 0·7β). Ἤτοι μεταξὺ ἐπιμηκύνσεως καὶ τεινούσης δυνάμεως ὑπάρχει γραμμικὴ ἀναλογία ἐντὸς τῶν ὁρίων τοῦ πειράματός μας.



Σχ. 0·7β.

ΠΙΝΑΞ 0·7·2

Βάρος	Μῆκος
2	50
3	60
4	70
5	80
6	90
7	100
8	110

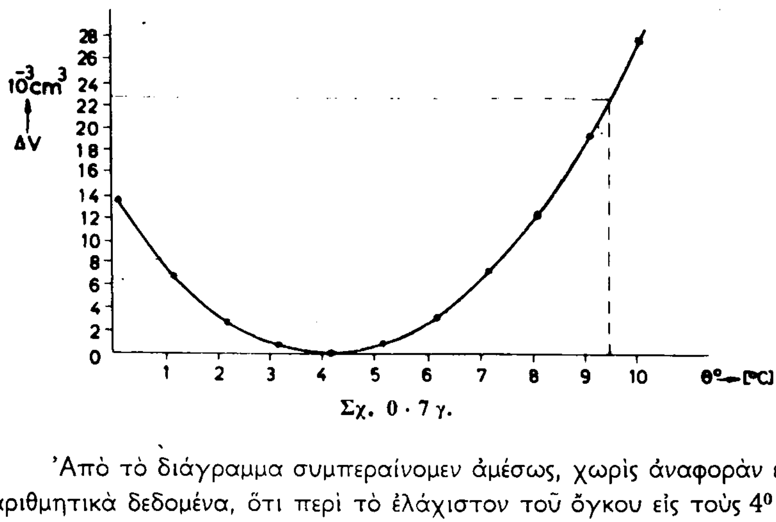
3) Ἂς λάβωμεν τώρα ὡς τρίτον παράδειγμα τὴν μεταβολὴν τοῦ ὄγκου εἰς κυβικὰ ἑκατοστόμετρα (cm^3) ποσότητος 100 g ὕδατος

συναρτήσει τῆς θερμοκρασίας εἰς βαθμοὺς Κελσίου καὶ εἰς τὴν περιοχὴν 0⁰ ἕως 10⁰ C. Αἱ μετρήσεις θὰ μᾶς δώσουν τὸν Πίνακα 0·7·3. Ἡ γραφικὴ παράστασις ὅμως μὲ τὰ 11 σημεῖα ἑνούμενα διὰ καμπύλης θὰ παρουσιάσῃ τὸ φαινόμενον τῆς συστολῆς καὶ διαστολῆς κατὰ πολὺ ἐναργέστερον καὶ ἐποπτικώτερον τρόπον παρὰ ὁ πίναξ (εἰς

ΠΙΝΑΞ 0·7·3

Θερμοκρασία	Ὄγκος
10	100,027
9	100,019
8	100,012
7	100,007
6	100,003
5	100,001
4	100,000
3	100,001
2	100,003
1	100,007
0	100,014

τὸ διάγραμμα ἀναγράφομεν χάριν ἁπλότητος μόνον τὰ τελευταῖα δεκαδικὰ ψηφία) (σχ. 0·7 γ).



Σχ. 0·7 γ.

Ἀπὸ τὸ διάγραμμα συμπεραίνομεν ἀμέσως, χωρὶς ἀναφορὰν εἰς ἀριθμητικὰ δεδομένα, ὅτι περὶ τὸ ἐλάχιστον τοῦ ὄγκου εἰς τοὺς 4⁰ C ἡ δεξιὰ καὶ ἀριστερὰ αὔξησις εἶναι ἀρχικῶς αἱ αὐταὶ (παράβαλε τιμὰς εἰς 5⁰ καὶ 3⁰, 6⁰ καὶ 2⁰ C), ἀλλὰ ἐν συνεχείᾳ ἡ ἀνὰ βαθμὸν αὔξησις τοῦ ὄγκου δὲν εἶναι σταθερά, διότι αἱ τιμαὶ τοῦ ὄγκου μεγαλώνουν πολὺ ταχύτερον τῆς κανονικῆς (ἀριθμητικῆς) αὐξήσεως τῆς θερμοκρασίας.

Τέλος, ἀπὸ ἕνα καλῶς σχεδιασμένον διάγραμμα ἐπὶ καταλλήλου τετραγωνισμένου χάρτου, δυνάμεθα νὰ ἀνεύρωμεν καὶ τὰς μεταξὺ δύο σημείων (ποὺ δὲν ἀπέχουν πολὺ μεταξύ των) τιμὰς τοῦ ἐξεταζομένου μεγέθους. Π.χ. ἀπὸ τὸ ἀνωτέρω διάγραμμα ἡ τιμὴ τοῦ ὄγκου εἰς θερμοκρασίαν 9,5⁰ C ὑπολογίζεται ταχέως εἰς 100,023 cm^3, ἀρκεῖ: α) νὰ φέρωμεν πρὸς τὰ ἄνω τὴν κάθετον ἐπὶ τὴν θέσιν 9,5 τοῦ ἄξονος τῆς θερμοκρασίας καὶ β) ἐκ τοῦ σημείου, ὅπου θὰ συναντήσωμεν τὴν χαραχθεῖσαν καμπύλην, νὰ φέρωμεν παράλληλον πρὸς τὸν αὐτὸν ἄξονα, ὁπότε θὰ κόψωμεν τὸν ἄξονα τῶν ὄγκων εἰς τὴν θέσιν 23.

0·8 Ὁρισμοὶ μονάδων καὶ τῶν πολλαπλασίων των.

Ἡ ἐπιστημονικὴ ἔρευνα καὶ ἡ Τεχνικὴ ἀπέκτησαν σήμερον διεθνῆ χαρακτῆρα καὶ δὲν εἶναι πλέον δυνατὸν ἕνα προηγμένον κράτος νὰ κρατήσῃ ὡς μονάδας τὰς παλαιὰς διεθνῶς παραδεκτὰς ἢ ἐθνικὰς καὶ νὰ χρησιμοποιῇ ὀνομασίας καὶ σύμβολα διαφορετικὰ ἀπὸ τὰ διεθνῆ. Κατόπιν αὐτῶν τείνουν πολλαὶ μονάδες νὰ ἐκλείψουν, ὅπως π.χ. πῆχυς, παλάμη, ὀκά, λίτρα, στατὴρ κ.λπ.

Ἀνάλογος διεθνοποίησις γίνεται εἰς ὅλα τὰ κράτη καὶ πολλαὶ διεθνεῖς συμφωνίαι ἰσχύουν, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὰς μονάδας, τὰ σύμβολά των, τὰ σύμβολα τῶν φυσικῶν μεγεθῶν καὶ τὰ πολλαπλάσια αὐτῶν.

Οὕτω διὰ τὰ πολλαπλάσια ἔχομεν διεθνῶς (1963) τὰ προθέματα:

Δεκα-	— (DECA)	$= 10^1$	φορὰς	(D)
Ἑκατο-	— (HECTO)	$= 10^2$	»	(H)
Χιλιο-	— (KILO)	$= 10^3$	»	(K)
Μεγα-	— (MEGA-)	$= 10^6$	»	(M)
Γιγα-	— (GIGA-)	$= 10^9$	»	(G)
Τερα-	— (TERA-)	$= 10^{12}$	»	(T)

Ἀντιστοίχως διὰ τὰ ὑποπολλαπλάσια:

Δεκατο-	— (DECI-)	$= 10^{-1}$	φορὰς	(d)
Ἑκατοστο-	— (CENTI-)	$= 10^{-2}$	»	(c)

Χιλιοστο-	– (MILLI-)	$= 10^{-3}$	φορὰς	(m)
μικρο-	– (MICRO-)	$= 10^{-6}$	»	(μ)
νανο-	– (NANO-)	$= 10^{-9}$	»	(n)
πικο-	– (PICO-)	$= 10^{-12}$	»	(p)
φεμπτο-	– (FEMPTO-)	$= 10^{-15}$	»	(f)

Μονάδες μήκους - μάζης - χρόνου.

α) *Μέτρον* καλεῖται ἡ ἀπόστασις μεταξὺ δύο χαραγῶν ἐπὶ προτύπου μεταλλίνου κανόνος εἰδικοῦ σχήματος καὶ κράματος (invar) ἰριδιούχου λευκοχρύσου θερμοκρασίας 15^0 C κατατεθειμένου εἰς τὸ Διεθνὲς Γραφεῖον τῶν Μέτρων καὶ Σταθμῶν εἰς Sèvres πλησίον τῶν Παρισίων (σύμβολον m) *.

β) *Χιλιόγραμμον* ὀνομάζεται ἡ μᾶζα προτύπου μεταλλίνου τεμαχίου εἰδικοῦ σχήματος καὶ κράματος κατατεθειμένου εἰς τὸ αὐτὸ Διεθνὲς Γραφεῖον (σύμβολον kg, ὄχι kgr).

γ) *Δευτερόλεπτον* καλεῖται χρονικὸν διάστημα ἴσον πρὸς τὸ 1/86400 τῆς μέσης ἡλιακῆς ἡμέρας (σύμβολον sec).

Παραδείγματα.

Μονάδες μήκους: Hm ἑκατόμετρον, km χιλιόμετρον, m μέτρον, Dm δεκάμετρον, dm δεκατόμετρον, cm ἑκατοστόμετρον, mm χιλιοστόμετρον.

Ἄρα: $1 \text{ km} = 10 \text{ Hm} = 100 \text{ Dm} = 1000 \text{ m}$

$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$

Μονάδες ἐπιφανείας: $1 \text{ km}^2 = 100 \text{ Hm}^2 = 10^6 \text{ m}^2 = 10^3$ στρέμματα

διότι $1000 \text{ m}^2 = 1$ στρέμμα

10 στρέμματα $= 1$ ἑκτάριον $= 10000 \text{ m}^2$

Μονάδες ὄγκου: $1 \text{m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ ἢ $1000 \text{ Litre} = 10^6 \text{ cm}^3$

$1 \text{ dl} = 100 \text{ cm}^3$ καὶ 1ml (Millilitre) $= 1 \text{ cm}^3$.

Οὕτω χαραγὴ εἰς ποτήρια ζύθου φέρουσα παραπλεύρως τὴν ἔνδειξιν 3 dl δηλοῖ ὄγκον ὑγροῦ μέχρι τῆς χαραγῆς ἴσον πρὸς 3 dl ἢ ἀντιστοίχως 300 cm^3 (3/10 λίτρου). Ἐπίσης εἰς ὀγκομετρικὰς φιάλας ἢ κυλίνδρους αἱ χαραγαὶ ἔχουν βαθμολογηθῆ εἰς ml, δηλαδὴ millilitre ἢ ἄλλως εἰς cm^3.

* Νεώτερος διεθνὴς ὁρισμός: 1 m ἰσοῦται πρὸς 1 650 736,73 μήκη κύματος ἐν κενῷ ὡρισμένης φασματικῆς γραμμῆς τοῦ ἀερίου κρυπτοῦ 86 (orange radiation).

Πράγματι, ἡ διαφορὰ μεταξὺ τοῦ λίτρου καὶ τοῦ κυβικοῦ δεκατομέτρου εἶναι πάρα πολὺ μικρά. Ὁρίζεται ὡς *λίτρον* ἡ χωρητικότης δοχείου, ποὺ χωρεῖ 1 kg ὕδατος ἀπεσταγμένου θερμοκρασίας 4^0 C. Ἐπειδὴ ὅμως ἡ πυκνότης τοῦ ὕδατος εἰς τοὺς 4^0 εἶναι ἐλάχιστα μεγαλυτέρα τῆς μονάδος, ἕπεται ὅτι τὸ λίτρον εἶναι ἐλάχιστα μεγαλύτερον τοῦ ὄγκου τῶν 1000 cm^3 (ἀκριβέστερον $1\ l = 1000{,}027\ cm^3$) καὶ συνήθως εἰς τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογὰς ἡ διαφορὰ αὐτὴ δὲν λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν.

Σημείωσις: Νὰ μὴ συγχέεται ἡ μονὰς χωρητικότητος, τὸ λίτρον, μὲ τὴν παλαιὰν μονάδα μάζης τῆς Βενετίας, τὴν *λίτραν*, (477,5 g) ἢ τὴν ἀγγλικὴν μονάδα μάζης, τὴν *λίμπραν* (453,6 g). Τὸ σύμβολον τῆς λίμπρας εἶναι *lb* καὶ προφέρεται πάουντ (Pound).

Σχέσεις ἰσοτιμίας μονάδων τοῦ μετρικοῦ συστήματος πρὸς ἄλλας ἐν χρήσει εἰς τὴν πρᾶξιν:

Μῆκος	1 ἴντσα	(Inch)	2,54 cm	1000 Mil	
	1 πόδι	(Foot)	12 ἴντσες (in)	30,48 cm	
	1 γυάρδα	(Yard)	3 πόδια (ft)	36 ἴντσαι	91,44 cm
	1 ναυτικὸ μίλι		1852 m		
	1 χερσαῖο μίλι		1609 m		
	1 μὶλ	(Mil)	1 χιλιοστὸν τῆς ἴντσας		
	1 Ἄνκοτρεμ	(A°)	10^{-8} cm	10^{-1} Nanomètre	
	1 ἐμπορικὸς πῆχυς		63,8 cm		
	1 τεκτονικὸς πῆχυς		3/4 m	75 cm	
	1 ναυτικὴ ὀργυιὰ		6 πόδια		

Ἐπιφάνεια	1 στρέμμα	$1000\ m^2$		
	1 στρέμμα	1777,73 τετραγ. τεκτ. πήχεις		
	1 ἑκτάριον	10 στρέμματα	$10^4\ m^2$	100 ἄρ
	1 ἄρ	$100\ m^2$		
	1 ἄκρ	$4047\ m^2$		

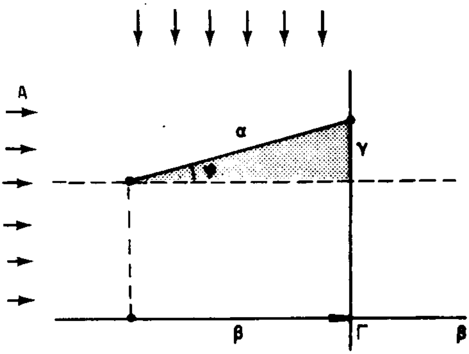
Μᾶζα	1 λίμπρα	16 οὐγγίαι	453,6 g
	1 οὐγγία	28,35 g	
	1 kg	1000 g	2,2045 lb
	1 ὀκὰ	1280 g	
	1 στατὴρ	44 ὀκάδες (ἕνα καντάρι)	
	1 τόννος	1000 kg	

ὄγκος

1 κυβ. πόδι = 28,32 λίτρα = 0,283 m^3
1 ἀγγλικὸ γαλλόνι (βενζίνη) = 4,546 λίτρα
1 ἀμερικανικὸ γαλλόνι = 3,785 λίτρα
1 πίντα = 568 cm^3 (ἐν Ἀμερικῇ 473,18 cm^3)
1 κυβικὸν μέτρον = 1000 λίτρα = $10^6 cm^3$

0 · 9 Στοιχεῖα Τριγωνομετρίας χρήσιμα διὰ τὴν Φυσικήν.

Εἰς τὴν Φυσικὴν χρειάζεται πολλάκις νὰ προβάλωμεν ἕνα τμῆμα εὐθείας (ἕνα διάνυσμα) ἐπὶ μιᾶς ἄλλης εὐθείας, ποὺ εὑρίσκεται εἰς τὸ ἴδιον ἐπίπεδον μὲ τὸ τμῆμα, τὸ ὁποῖον ἐξετάζομεν.



Σχ. 0 · 9 α.

Ἔστω π.χ. ὅτι ἔχομεν τὸ τμῆμα α καὶ θέλομεν νὰ μάθωμεν πόσον μῆκος θὰ ἔχῃ ἡ σκιά του εἰς τὸ πάτωμα ἢ εἰς τὸν τοῖχον Γ, ὅταν φωτισθῇ εἴτε ἀπὸ ἐπάνω εἴτε ἀπὸ τὰ ἀριστερὰ μὲ πηγὰς φωτὸς παραλλήλων ἀκτίνων Α (σχ. 0 · 9 α).

Προφανῶς αἱ προβολαὶ β καὶ γ θὰ ἔχουν μήκη ἐξαρτώμενα ἀπὸ τὴν κλίσιν τοῦ α, δηλαδὴ τὴν γωνίαν φ. Πράγματι, ἂν ἡ $\varphi = 0^\circ$, τότε εὐνόητον εἶναι ὅτι $\alpha = \beta$ καὶ $\gamma = 0^\circ$, ἤτοι θὰ ἀπεικονισθῇ ὡς σημεῖον ἐπὶ τοῦ τοίχου Γ, καὶ ὡς ἰσόμηκες τμῆμα ἐπὶ τοῦ πατώματος Β. Συνεπῶς, ὅσον ἡ φ μικραίνει, τόσον τὸ μῆκος γ θὰ ἐλαττοῦται καὶ τὸ μῆκος τῆς β θὰ τείνῃ νὰ γίνῃ ὅσον τὸ α. Ἀντιθέτως, δι' αὔξησιν τῆς φ, τὸ γ θὰ μεγαλώνῃ, τὸ β θὰ μικραίνῃ, ἕως ὅτου διὰ $\varphi = 90^\circ$ γίνῃ σημεῖον ἐπάνω εἰς τὸ πάτωμα. Ὅταν ἡ γωνία αὐξηθῇ πέραν τῶν 90°, τότε θὰ συμβοῦν τὰ ἴδια, μόνον ποὺ ἡ φορὰ διὰ τὸ β θὰ ἀλλάξῃ, ἐνῶ τὸ γ θὰ ἐξακολουθῇ νὰ προβάλλεται ὀρθὸν ἐπάνω εἰς τὸν τοῖχον ὅπως καὶ πρίν. Ἡ φορὰ τοῦ γ θὰ ἀνατραπῇ καὶ αὐτή, ὅταν ἡ γωνία φ ξεπεράσῃ τὰς 180°. Δυνάμεθα λοιπὸν εἰς κάθε τιμὴν τῆς γωνίας φ, νὰ εὕρωμεν δύο ἀριθμοὺς Χ καὶ Ψ (ἄλλοτε θετικούς, ἄλλοτε ἀρνητικοὺς ἢ ἐναλλὰξ) μεταξὺ 0 καὶ 1, ὥστε πολλαπλασιάζοντες ἑκάστοτε τὸ μῆκος τῆς α, νὰ εὑρίσκωμεν τὸ μῆκος τῆς β ἢ τῆς γ, δηλαδὴ νὰ γράψωμεν τὰς σχέσεις:

$$\beta = \alpha \cdot X \quad \text{καὶ} \quad \gamma = \alpha \cdot \Psi.$$

Ἐπειδὴ ὅμως — ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 0 · 9 α φαίνεται — τὸ ἐσκιασμένον τρίγωνον εἶναι ὀρθογώνιον, τὰ εὐθύγραμμα τμήματα α, β, γ, εἶναι πλευραὶ τοῦ τριγώνου (α = ὑποτείνουσα, β = βάσις, γ = ὕψος), ὁπότε ἔχομεν:

$$X = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\text{μῆκος βάσεως}}{\text{μῆκος ὑποτεινούσης}} \quad \text{καὶ}$$

$$\Psi = \frac{\gamma}{\alpha} = \frac{\text{ὕψος}}{\text{μῆκος ὑποτεινούσης}}.$$

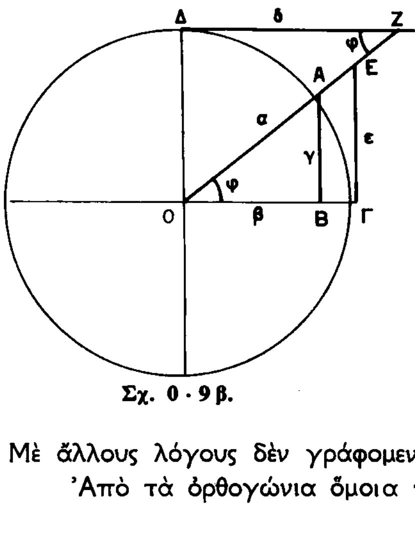
Εἰς τὴν Τριγωνομετρίαν οἱ ἀριθμοὶ X καὶ Ψ ὀνομάζονται *συνημίτονον* καὶ *ἡμίτονον* τῆς ἐξεταζομένης γωνίας.

Ὅθεν γράφομεν τὰς ἀνωτέρω σχέσεις τριγωνομετρικῶς:

$$\beta = \alpha \cdot \text{σύνφ} \qquad \text{καὶ} \qquad \gamma = \alpha \cdot \text{ημφ}.$$

Ὁ λόγος $\frac{\gamma}{\beta}$ ἤτοι $\frac{\text{ημφ}}{\text{συνφ}}$ ὀνομάζεται *ἐφαπτομένη* καὶ τὸ ἀντίστροφόν του $\frac{\beta}{\gamma}$ *συνεφαπτομένη* τῆς γωνίας φ.

Ἐπειδὴ δὲ τὸ ἡμίτονον καὶ τὸ συνημίτονον κυμαίνονται — ἀπολύτως — μεταξὺ 0 καὶ 1, ἕπεται ὅτι αἱ τιμαὶ τῆς ἐφαπτομένης καὶ συνεφαπτομένης ποικίλλουν μεταξὺ μηδενὸς καὶ ἀπείρου. Ἐὰν σχεδιάσωμεν κύκλον μὲ ἀκτῖνα τὴν ὑποτείνουσαν, τότε θὰ ἔχωμεν διὰ γωνίαν φ — ἔστω 30° — τὸ σχῆμα 0 · 9 β μὲ τοὺς ἀντιστοίχους τριγωνομετρικοὺς ἀριθμούς, τοὺς ὁποίους — διὰ τὴν ἁπλότητα — ἀναφέρομεν εἰς μῆκος τῆς ὑποτεινούσης, δηλαδὴ τῆς ἀκτῖνος, ἴσον πρὸς 1.



Σχ. 0 · 9 β.

φ = γωνία, α = ἀκτίς, β = συνφ,
γ = ημφ, ε = εφφ, δ = σφφ.

Μὲ ἄλλους λόγους δὲν γράφομεν β = α · συνφ, διότι α = 1 κ.ο.κ.

Ἀπὸ τὰ ὀρθογώνια ὅμοια τρίγωνα ΑΟΒ, ΕΟΓ, ΔΖΟ προκύπτουν πολλαὶ ἀναλογίαι πλευρῶν, τὰς ὁποίας ἐξετάζει ἡ Τριγωνομετρία καὶ χρησιμοποιεῖ ἡ Φυσική. Τέλος ἀναφέρομεν κατωτέρω μερικὰς γωνίας μὲ τοὺς δύο χρησιμωτέρους τριγωνομετρικοὺς ἀριθμούς, ἐκ τῶν ὁποίων εὐκόλως προκύπτουν ἡ ἐφαπτομένη καὶ ἡ συνεφαπτομένη.

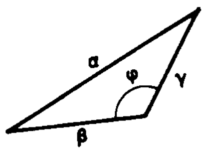
ΠΙΝΑΞ 0·9·1

Γωνία	Ἡμίτονον	Συνημίτονον
0	0	1
30°	0,500 ἢ 1/2	0,866 ἢ $\sqrt{3}/2$
45°	0,707 ἢ $\sqrt{2}/2$	0,707
60°	0,866	0,500
90°	1,000	0
120°	0,866	–0,500
150°	0,500	–0,866
180°	0	–1
210°	–0,500	–0,866
240°	–0,866	–0,500
270°	–1	0
300°	–0,866	0,500
330°	–0,500	0,866
360°	ταυτότης μὲ γωνίαν 0°	

ΠΙΝΑΞ 0·9·2

Συσχετισμοῦ γωνιῶν

ημ $(90° + φ)$	$=$ ημ $(90° - φ) =$ συν $φ$
συν $(90° + φ)$	$= -$ συν $(90° - φ) = -$ ημ $φ$
ημ $(-φ)$	$= -$ ημ $φ$
συν $(-φ)$	$=$ συν $φ$
ημ $(180° - φ)$	$=$ ημ $φ$
συν $(180° - γ)$	$= -$ συν $φ$
ημ $(φ \pm θ)$	$=$ ημ $φ$ συν $θ \pm$ συν $φ$ ημ $θ$
συν $(φ \pm θ)$	$=$ συν $φ$ συν $θ \mp$ ημ $φ$ ημ $θ$
ημ$^2φ +$ συν$^2φ$	$= 1$ (Πυθαγόρειον θεώρημα, $α^2 = β^2 + γ^2$)
ημ$2φ = 2$ημ$φ$ συν$φ$	
συν $2φ = 1 - 2$ημ$^2φ$	



Σχ. 0·9γ.

Διὰ μὴ ὀρθογώνιον τρίγωνον $α^2 = β^2 + γ^2 - 2βγ$συν$φ$, ὅπου $φ$ ἡ ἔναντι τοῦ α γωνία. Ἀναλόγους σχέσεις ἔχομεν διὰ τὰς β καὶ γ καὶ τὰς πλευρὰς (σχ. 0·9γ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 1

ΜΗΧΑΝΙΚΗ

1·1 Εἰσαγωγὴ εἰς τὴν Μηχανικήν, Στατικήν.

Ἡ Μηχανικὴ ἐξετάζει τὰς κινήσεις τῶν σωμάτων, τὰς παραμορφώσεις αὐτῶν καὶ τὰ αἴτια, ποὺ τὰς προκαλοῦν. Πολλάκις ὅμως θεωροῦμεν ὅτι ἕνα σῶμα δὲν ἔχει αἰσθητὸν ὄγκον ἐν σχέσει πρὸς τὰ ἄλλα σώματα, ποὺ τὸ περιβάλλουν, ἢ πρὸς ἐκεῖνα, πρὸς τὰ ὁποῖα τὸ συγκρίνομεν. Προβαίνομεν δηλαδὴ εἰς μίαν συμπύκνωσιν τοῦ σώματος καὶ κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον, τὸ θεωροῦμεν ὡς ἐὰν ἦτο *ὑλικὸν σημεῖον* χωρὶς αἰσθητὸν ὄγκον, χωρὶς τὴν δυνατότητα νὰ περάσῃ δι' αὐτοῦ ἕνας ἄξων (σὰν σούβλα). Τὸ *ὑλικὸν σημεῖον* μᾶς ἐξυπηρετεῖ πολὺ εἰς τὴν μελέτην τῶν κινήσεων τῶν σωμάτων ἢ τῶν αἰτίων κάθε μεταβολῆς τῆς κινήσεως, δηλαδὴ τῶν δυνάμεων. Ἔτσι π.χ. δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν ἕνα ἀεροπλάνον, ποὺ κινεῖται ἀρκετὰ ὑψηλὰ ὡς ὑλικὸν σημεῖον. Ἐπίσης ἕνας κρίκος, ἀπὸ τὸν ὁποῖον ἐξαρτῶμεν πολλὰς δυνάμεις διευθυνομένας πρὸς διαφόρους κατευθύνσεις καὶ εὑρισκομένας ἐν ἰσορροπίᾳ δύναται νὰ μελετηθῇ ὡς ἀκινητοῦν ὑλικὸν σημεῖον, ἐπὶ τοῦ ὁποίου ἐφαρμόζονται αἱ δυνάμεις. Ὥστε, ὅταν ὁμιλῶμεν περὶ ὑλικοῦ σημείου, δὲν σημαίνει ὅτι πρόκειται περὶ πραγματικοῦ σημείου, ὅπως τὸ ἀπαιτεῖ ἡ Γεωμετρία, ἀλλὰ περὶ ὑλικοῦ σώματος μικροῦ ἐν σχέσει μὲ τὰ περιβάλλοντα αὐτὸ σώματα, πρὸς τὰ ὁποῖα τὸ ἀναφέρομεν. Γενικῶς ἡ Μηχανικὴ διαιρεῖται εἰς δύο κλάδους:

α) Τὴν Μηχανικὴν τοῦ ὑλικοῦ σημείου καὶ τοῦ στερεοῦ σώματος.

β) Τὴν Μηχανικὴν τῶν ὑγρῶν καὶ τὴν Μηχανικὴν τῶν ἀερίων. Ἐξ αὐτῶν ἡ πρώτη ὑποδιαιρεῖται εἰς τὴν *Στατικήν*, ποὺ ἐξετάζει τὴν ἐφαρμογὴν τῶν δυνάμεων ἐπὶ ἀκινήτου ὑλικοῦ σημείου ἢ σώματος, τὴν *Κινηματικήν*, ποὺ μελετᾷ τοὺς νόμους τῶν κινήσεων διαφόρου μορφῆς καὶ τὴν *Δυναμικήν*, ποὺ διαπραγματεύεται τὰς κινήσεις ἐν σχέσει ὅμως πρὸς τὰ προκαλοῦντα αὐτὰς αἴτια, δηλαδὴ τὰς δυνάμεις.

Ἑπομένως ἔχομεν τὴν ἑξῆς διαίρεσιν:

α) Μηχανικὴ ὑλικοῦ σώματος
- Στατικὴ (μόνον δυνάμεις)
- Κινηματικὴ (μόνον κινήσεις)
- Δυναμικὴ (Δυνάμεις + κινήσεις)

Κατ' ἀναλογίαν ἔχομεν :

β) Μηχανικὴ ὑγρῶν
- Ὑδροστατικὴ
- Ὑδροδυναμικὴ

γ) Μηχανικὴ ἀερίων
- Ἀεροστατικὴ
- Ἀεροδυναμικὴ

1 · 2 Διαίρεσις τῆς Στατικῆς.

Ἕνα ὑλικὸν σημεῖον δὲν δύναται νὰ ἔχη παρὰ μόνον μίαν κίνησιν, δηλαδὴ τὴν μετατόπισιν ἀπὸ τὴν θέσιν του. Στροφὴ περὶ τὸν ἑαυτόν του ἀποκλείεται. Ἀντιθέτως τὸ στερεὸν σῶμα εἶναι δυνατὸν νὰ μετατοπίζεται ἢ καὶ νὰ στρέφεται περὶ ἄξονα, ποὺ διέρχεται διὰ μέσου αὐτοῦ (ὅπως ὁ τροχός).

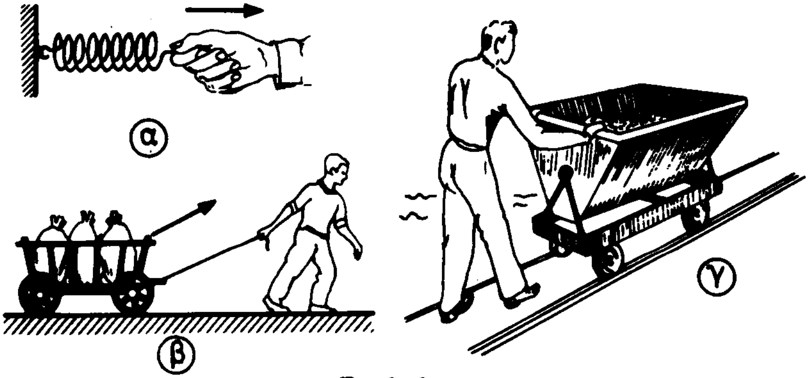
Ὅταν αἱ δυνάμεις, παρ' ὅλην τὴν ἐπίδρασίν των εἰς ἕνα ὑλικὸν σημεῖον δὲν τὸ μετατοπίζουν, τότε πρόκειται περὶ στατικῆς *ἰσορροπίας* καὶ ὅλη ἡ ἀντίστοιχος μελέτη τῶν φαινομένων καθορίζει τὴν *στατικὴν τοῦ ὑλικοῦ σημείου.*

Εἰς ἕνα ὅμως στερεὸν σῶμα θὰ ἔχωμεν *στατικὴν ἰσορροπίαν* ὄχι μόνον μὲ τὴν ἀλληλοεξουδετέρωσιν τῶν δυνάμεων, ἀλλὰ καὶ μὲ τὴν ἐξουδετέρωσιν ἑνὸς ἄλλου φυσικοῦ μεγέθους, τῆς *ῥοπῆς*, τῆς ὁποίας ἡ δρᾶσις προκαλεῖ στροφὴν τοῦ σώματος, ὅπως θὰ ἴδωμεν εἰς τὴν παράγραφον 1 · 5. Εἶναι δηλαδὴ δυνατὸν αἱ δυνάμεις ἐπάνω εἰς ἕνα σῶμα νὰ μὴ μετατοπίζουν τὸ σῶμα, ἀλλὰ νὰ τὸ στρέφουν. Συνεπῶς ἡ *Στατικὴ τοῦ στερεοῦ σώματος* περιλαμβάνει ἰσορροπίαν δυνάμεων καὶ ῥοπῶν.

1 · 3 Δυνάμεις - Δυναμόμετρα.

Εἰς τὸν ἄνθρωπον ἡ ἔννοια τῆς δυνάμεως προῆλθεν ἀπὸ τὴν μυικὴν ἱκανότητά του νὰ ἐκτελῇ διαφόρους ἐργασίας, ποὺ συνεπάγονται εἴτε κίνησιν ἑνὸς σώματος, π.χ. ὅταν ὠθοῦμεν ἢ σύρωμεν βαρὺ ἀντικείμενον [σχ. 1 · 3 α (α) (β) (γ)], εἴτε παραμόρφωσιν αὐτοῦ, ὅπως ἡ κάμψις ἢ ἡ τάσις χαλυβδίνου ἐλάσματος μὲ τὴν χεῖρα μας (σχ. 1 · 3 β).

Εἰς τὴν Δυναμικὴν ἀνήκει ἡ μελέτη τῆς πρώτης περιπτώσεως, ἐνῶ εἰς τὴν Στατικὴν τῆς δευτέρας.

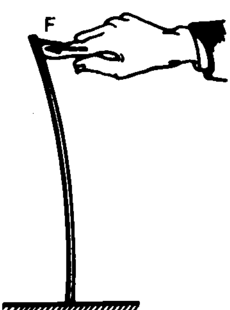


Σχ. 1·3 α.

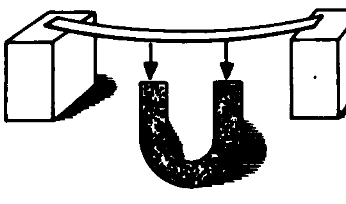
Ἑπομένως, ὁρίζομεν ὡς *δύναμιν πᾶν αἴτιον, τὸ ὁποῖον δύναται νὰ δράσῃ ἐπὶ ὑλικοῦ σώματος καὶ νὰ προκαλέσῃ παραμόρφωσιν ἢ μεταβολὴν τῆς κινητικῆς καταστάσεώς του.*

Ἡ δύναμις δὲν εἶναι ἀνάγκη νὰ ἐφαρμόζεται πάντοτε μέσω ἑνὸς ὀργάνου, π.χ. μὲ τὴν χεῖρα μας, μὲ σχοινίον κ.λπ., ἀλλὰ ὑπάρχουν περιπτώσεις, κατὰ τὰς ὁποίας ἡ δύναμις δρᾷ καὶ μακρόθεν καὶ διὰ μέσου τοῦ κενοῦ χώρου.

Ἔτσι π.χ. θὰ προκαλέσωμεν τὴν ἰδίαν κάμψιν εἰς ἕνα σιδηροῦν ἔλασμα, ἂν ἀντὶ τοῦ γρόνθου μας ἢ τῆς τοποθετήσεως ἐπ' αὐτοῦ κάποιου βάρους θέσωμεν ὑποκάτω αὐτοῦ ἕνα ἰσχυρὸν μαγνήτην καὶ κρατήσωμεν αὐτὸν εἰς κατάλληλον ἀπόστασιν (σχ. 1·3 γ).



Σχ. 1·3 β.



Σχ. 1·3 γ.

Εἰς τὸ πείραμα αὐτὸ ἡ ἐφαρμοζομένη ἐπὶ τοῦ ἐλάσματος δύναμις δὲν χρειάζεται ὕλην διὰ νὰ μεταδοθῇ καὶ νὰ συνδέσῃ τὸ ἔλασμα πρὸς τὸν μαγνήτην, διότι τὸ φαινόμενον τοῦτο γίνεται καὶ εἰς τὸ κενόν. Μία παρομοία δύναμις δρῶσα καὶ εἰς τὸ κενὸν εἶναι καὶ ἡ δύναμις ἕλξεως μεταξὺ τοῦ Ἡλίου καὶ τῶν πλανητῶν του ἢ μεταξὺ σώματος καὶ τῆς Γῆς, ἡ ὁποία εἰδικώτερον καλεῖται *βάρος τοῦ σώματος*.

Συνεπῶς, τὸ βάρος ἑνὸς σώματος *δὲν εἶναι* τὸ ποσὸν τῆς ὕλης, ἀπὸ τὴν ὁποίαν ἀποτελεῖται, ἀλλὰ ἡ δύναμις, μὲ τὴν ὁποίαν ἕλκεται τὸ σῶμα ἀπὸ τὴν Γῆν. Ὅθεν:

βάρος = δύναμις, ἐνῶ

μᾶζα = ποσότης ὕλης.

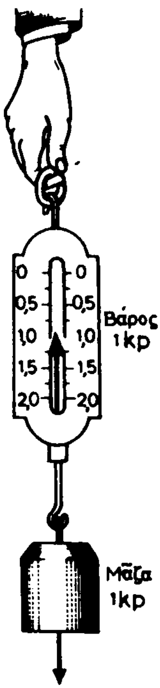
Ἡ αὐτὴ δὲ μᾶζα δύναται νὰ ἀποκτήσῃ διάφορα βάρη ἀναλόγως τοῦ εἰς ποῖον τόπον τῆς Γῆς ἢ εἰς ποῖον πλανήτην ἢ καὶ ὑπὸ ποίας συνθήκας εὑρίσκεται ἢ κινεῖται. Ἑπομένως ἡ μᾶζα εἶναι *βασικὸν* μέγεθος διὰ κάθε σῶμα, ἐνῶ τὸ βάρος δὲν εἶναι.

Ὡς μονάδα δυνάμεως χρησιμοποιοῦμεν εἰς τὴν Τεχνικὴν τὸ κιλοπὸντ kp, ἤτοι τὸ βάρος τοῦ προτύπου χιλιογράμμου μάζης kg, ὅταν τοῦτο εὑρίσκεται εἰς Παρισίους (γεωγρ. πλάτος 49°).

Εἰς παλαιότερα βιβλία ἡ μονὰς δυνάμεως ἐσυμβολίζετο kgr* ἢ kg* καὶ ὡς ἐκ τούτου ἐπήρχετο σύγχυσις μὲ τὴν μονάδα μάζης, τὴν ὁποίαν ἡ Τεχνικὴ ἔθετεν εἰς δευτέραν μοῖραν. Λόγω τῆς ποικιλίας τῶν βαρῶν, ποὺ ἀποκτᾷ ἕνα σῶμα, ἀναλόγως πρὸς τὴν ἑκάστοτε περίπτωσιν, ἡ Τεχνικὴ ἐπιστήμη ἐπανέρχεται εἰς τὸ σταθερὸν χαρακτηριστικὸν μέγεθος, ποὺ εἶναι διὰ κάθε σῶμα ἡ μᾶζα του, ὁπότε ἐπικρατεῖ τὸ Μετρικὸν σύστημα (M, K, S) ἀπομακρυνομένων σὺν τῷ χρόνῳ τόσον τοῦ Τεχνικοῦ συστήματος, ὅσον καὶ τοῦ (C, G, S), τοῦ ὁποίου αἱ μονάδες εἶναι σχετικῶς μικραὶ διὰ τὴν Τεχνικήν.

Πράγματι, εἶναι ἀπαραίτητος ἡ ἀναφορὰ εἰς ἕνα σταθερὸν τόπον, διότι εὐνόητον εἶναι ὅτι τὸ πρότυπον χιλιόγραμμον μάζης δύναται νὰ ἀποκτήσῃ διαφόρους τιμὰς βάρους (ἀκριβεστέρα ἀναφορὰ γίνεται διὰ πλάτος 45°).

Ἄλλη μονὰς δυνάμεως εἶναι τὸ Νιοῦτον N ἴσον πρὸς τὸ 1/10 τοῦ kp (ἀκριβέστερον 9,8 N = 1 kp) ἀνήκουσα εἰς τὸ Μετρικὸν σύστημα καὶ τείνουσα νὰ ἐκτοπίσῃ πᾶσαν ἄλλην μονάδα δυνάμεως. Ἐφ' ὅσον ὡρίσαμεν τί εἶναι μονὰς δυνάμεως (τὸ kp ἢ τὸ N), δυνάμεθα νὰ προβῶμεν εἰς μέτρησιν κάθε δυνάμεως συγκρίνοντες αὐτὴν πρὸς τὸ πρότυπόν της, δηλαδὴ τὴν μονάδα της. Πρέπει ὅμως νὰ ἐπινοήσωμεν καὶ ὄργανον μετρήσεως βαθμολογημένον μὲ διαιρέσεις, αἱ ὁποῖαι νὰ ἀναγράφουν τὴν μονάδα καὶ τὰ πολλαπλάσια αὐτῆς. Ἔτσι κατεσκευάσθησαν τὰ *δυναμόμετρα*, ὄργανα μετρήσεως στηριζόμενα ἐπὶ τῆς παραμορφώσεως τῶν σωμάτων ὑπὸ τῶν δυνάμεων. Ὁ ἁπλούστερος τύπος δυναμομέτρων εἶναι τὰ κοινὰ *καντοράκια*, ποὺ ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἐλατήριον ἐξ εἰδικοῦ χάλυβος, ὁ ὁποῖος φέρει δείκτην κινούμενον πρὸ διαιρέσεων ἢ κυλίνδρου μὲ διαιρέσεις, περιβάλλοντα τὸ ἐλατήριον καὶ ἐξερχόμενον τῆς θήκης τοῦ δυναμομέτρου (σχ. 1 · 3δ). Αἱ διαιρέσεις βαθμολογοῦνται εἰς kp καὶ τοῦτο γίνεται δι' ἐξαρτήσεως προτύπων βαρῶν, ὁπότε σημειοῦνται αἱ ἐπιμηκύνσεις τοῦ ἐλατηρίου καὶ χαράσσεται ἡ κλῖμαξ, ὑπὸ τὸν ὅρον νὰ μὴ φορτισθῇ ὑπερβολικῶς τὸ ἐλατήριον καὶ παραμορφωθῇ μονίμως (βλ. ἐλαστικότης, Νόμος Χούκ).



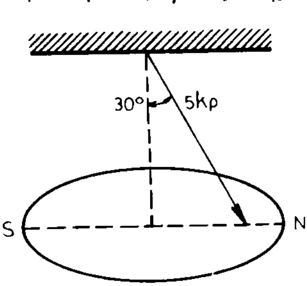
Σχ. 1 · 3δ.

Αἱ δυνάμεις ἀνήκουν, ὡς γνωστόν (παράγρ. 0 · 6), εἰς τὰ διανυσματικὰ μεγέθη, δηλαδὴ δὲν δυνάμεθα νὰ εἴπωμεν ἁπλῶς ὅτι διαθέτομεν δύναμιν 5 kp, ὅπως θὰ ἐλέγομεν ἐὰν εἴχομεν μᾶζαν 5 kg. Πρέπει ὁπωσδήποτε νὰ καθορίσωμεν:

α) *Τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς*, δηλαδὴ τὸ σημεῖον, ἐπὶ τοῦ ὁποίου δρᾷ ἡ δύναμις.

β) *Τὸ μέτρον της*, δηλαδὴ τὸ μέγεθός της ἐν συγκρίσει πρὸς τὴν μονάδαν μετρήσεως της, καὶ

γ) *τὴν διεύθυνσιν* καὶ *φοράν της*. Ἔτσι ὁρίζεται πλήρως ἡ δύναμις, π.χ. γράφομεν δύναμις 5 kp ἐπὶ τοῦ μέσου τῆς ὀροφῆς δωματίου διευθυνομένη πρὸς τὰ κάτω καὶ πρὸς Βορρᾶν μὲ γωνίαν 30° ὡς πρὸς τὴν κατακόρυφον (σχ. 1 · 3ε).



Σχ. 1 · 3ε.

Εἰς τὰ σχέδια τοῦ Τεχνικοῦ ἡ δύναμις παρίσταται πάντοτε μὲ βέλος, τοῦ ὁποίου τὸ μῆκος μᾶς δίδει τὸ μέτρον τῆς δυνάμεως, ἡ εὐθεῖα καὶ ἡ αἰχμὴ τοῦ βέλους καθορίζουν τὴν διεύθυνσιν καὶ τὴν φοράν της, ἐνῶ ἡ ἀρχὴ τοῦ βέλους δεικνύει τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της.

1·4 Σύνθεσις καὶ ἀνάλυσις δυνάμεων.

Τὸ ἀποτέλεσμα τῆς ἐνεργείας δύο ἢ περισσοτέρων δυνάμεων, αἱ ὁποῖαι ἐνεργοῦν εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον ἑνὸς σώματος εἶναι δυνατὸν νὰ ἐπιτευχθῇ ὑπὸ μιᾶς δυνάμεως. Ἡ δύναμις αὐτὴ ὀνομάζεται *συνισταμένη*. Ἡ ἀντικατάστασις πολλῶν δυνάμεων συνιστωσῶν ὑπὸ μιᾶς (τῆς συνισταμένης) καλεῖται *σύνθεσις* δυνάμεων. Ἡ ἁπλουστέρα μορφὴ συνθέσεως εἶναι ἡ σύνθεσις δύο δυνάμεων διὰ τῆς μεθόδου τοῦ παραλληλογράμμου, ἤτοι διὰ τῆς ἐφαρμογῆς τοῦ τύπου τοῦ ἀθροίσματος δύο διανυσμάτων (παράγρ. 0·6).

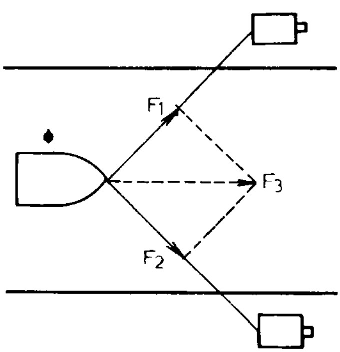
Ὅπως δυνάμεθα διὰ τῆς συνθέσεως πολλῶν δυνάμεων νὰ λάβωμεν τὴν συνισταμένην των, ἔτσι εἶναι δυνατὸν μίαν δύναμιν νὰ τὴν ἀναλύσωμεν εἰς δύο ἢ περισσοτέρας δυνάμεις, αἱ ὁποῖαι ὀνομάζονται *συνιστῶσαι*. Τοῦτο καλεῖται *ἀνάλυσις δυνάμεων*.

Διὰ τῆς συνθέσεως καὶ ἀναλύσεως τῶν δυνάμεων ἔχομεν τὴν δυνατότητα νὰ ἐπιλύωμεν τὰ ἑκάστοτε παρουσιαζόμενα προβλήματα κατὰ τὸν συμφερώτερον τρόπον.

Παραδείγματα *συνθέσεως καὶ ἀναλύσεως δυνάμεων.*

α) Ἀντὶ νὰ σύρωμεν φορτηγίδα Φ ἐντὸς ποταμοῦ μέσω ρυμουλκοῦ μὲ δύναμιν F_3, τὴν μετακινοῦμεν μὲ δύο δυνάμεις, F_1 καὶ F_2 ὑπὸ γωνίαν ἀπὸ τὰς δύο ὄχθας (σχ. 1·4 α).

Αἱ δυνάμεις F_1 καὶ F_2 ἀθροιζόμεναι δίδουν συνισταμένην τὴν F_3, δηλαδὴ τὴν δύναμιν ποὺ θὰ ἐξήσκει τὸ ρυμουλκόν. Συνήθως εἰς τὴν πρᾶξιν δὲν ἔχομεν ἀνάγκην τοῦ ρυμουλκοῦ, καὶ αἱ F_1, F_2 ἐξασκοῦνται ἀπὸ τὰς ὄχθας μέσω δύο αὐτοκινήτων. Δυνατὸν ὅμως ἀντὶ τῶν αὐτοκινήτων νὰ χρησιμοποιηθῇ τὸ ρυμουλκόν.



Σχ. 1·4 α.

Εἰς τὸ παράδειγμα αὐτὸ αἱ δυνάμεις δροῦν ἐπὶ κοινοῦ σημείου. Εἶναι δηλαδὴ περίπτωσις συνθέσεως ἢ ἀναλύσεως, ὅπου αἱ δυνάμεις ἐφαρμόζονται εἰς ἕνα καὶ τὸ αὐτὸ σημεῖον τοῦ σώματος. Αἱ δυνάμεις ἐδῶ μετακινοῦνται ἐπὶ τῆς εὐθείας των καὶ συναντῶνται εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον, δηλαδὴ τέμνονται αἱ εὐθεῖαι των.

Ἔχομεν ὅμως καὶ περιπτώσεις, κατὰ τὰς ὁποίας αἱ δυνάμεις δροῦν εἰς διάφορα σημεῖα τοῦ αὐτοῦ σώματος. Ἡ σύνθεσις εἶναι δυνατὸν νὰ γίνῃ καὶ ἐδῶ ὑπὸ ὡρισμένους περιορισμούς.

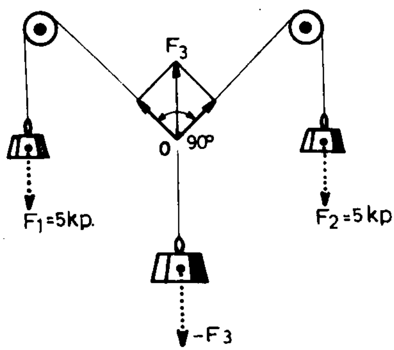
β) Κοινὸν σημεῖον ἐφαρμογῆς (2 δυνάμεις ὑπὸ γωνίαν) (σχῆμα 1·4β).

Γενικὸς τύπος:

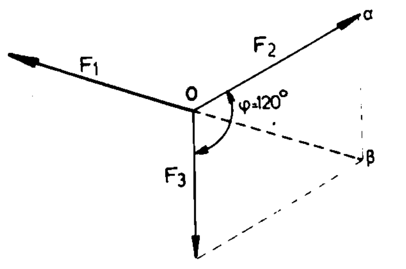
$$\boxed{F_3^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2\,F_1\,F_2\ \sigma\upsilon\nu\ \varphi.}$$

Αἱ F_1 καὶ F_2 δὲν εἶναι παράλληλοι ὡς πρὸς τὸ κοινὸν σημεῖον τελικῆς ἐφαρμογῆς. Διὰ $F_1 = F_2 = 5$ kp καὶ γωνίαν 90° προκύπτει $F_3 = \sqrt{50}$, ἡ ὁποία καὶ ἰσορροπεῖται (ἐξουδετεροῦται) ὑπὸ τῆς δυνάμεως (βάρους) $-F_3$.

γ) Κοινὸν σημεῖον ἐφαρμογῆς (πολλαὶ δυνάμεις) (σχ. 1·4γ). Ἀθροίζομεν τὰς δύο καὶ τὴν συνισταμένην αὐτῶν ἐν συνεχείᾳ ἀθροίζομεν πρὸς τὴν ἑπομένην κ.ο.κ.



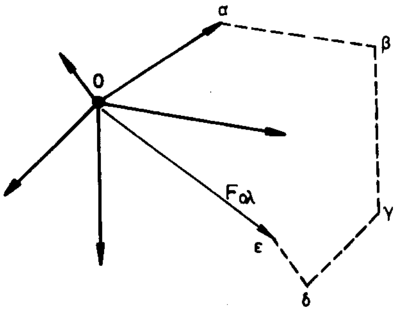
Σχ. 1·4β.



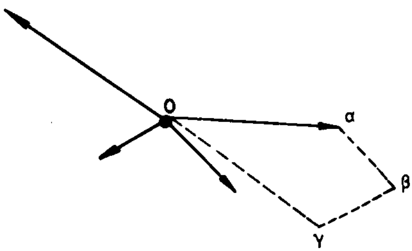
Σχ. 1·4γ.

Εἰς τὸ παράδειγμα τοῦ σχήματος 1·4γ ἡ τελικὴ συνισταμένη εἶναι μηδέν. Πράγματι, ἂν ἀπὸ τὸ πέρας τῆς μιᾶς, ἔστω τῆς F_2, φέρωμεν ἴσην καὶ παράλληλον πρὸς τὴν ἄλλην, π.χ. τὴν F_3 (τμῆμα αβ), καὶ ἐκ τοῦ νέου τέρματος (β) φέρομεν ἴσην καὶ παράλληλον πρὸς τὴν F_1 (τμῆμα βΟ), τότε βλέπομεν ὅτι τὸ νέον τέρμα πίπτει ἐπὶ τῆς ἀρχῆς Ο. Ὥστε γενικώτερον, ἂν τὸ σχηματιζόμενον πολύγωνον

(ΟαβΟ) εἶναι κλειστόν, τότε ἔχομεν *ἰσορροπίαν*. Κατ' ἄλλον τρόπον δυνάμεθα νὰ εἴπωμεν ὅτι ἡ σύνδεσις τῆς ἀρχῆς Ο καὶ τοῦ τελευταίου τέρματος μᾶς παρέχει τὴν συνισταμένην πολλῶν δυνάμεων, ποὺ ἔχουν κοινὸν σημεῖον ἐφαρμογῆς (σημεῖον Ο). Ἀνάλογα παραδείγματα συνθέσεως δυνάμεων παρέχουν τὰ σχήματα 1·4δ, 1·4ε.



Σχ. 1·4δ.

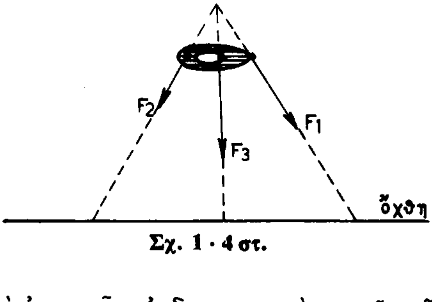


Σχ. 1·4ε.

Σπουδαιοτάτη εἶναι διὰ τὸν τεχνικὸν ἡ διαπίστωσις ὅτι εἰς κάθε ἐφαρμογὴν δυνάμεως πρέπει νὰ ἀναζητηθῇ ἡ *ἀντίδρασις* εἰς αὐτήν. Π.χ. ὅταν εἰς τεμάχιον σιδήρου πλησιάσωμεν ἕνα μαγνήτην, ὁ μαγνήτης ἀσκεῖ ἐπ' αὐτοῦ μίαν δύναμιν. Ἀλλὰ ὁ σίδηρος ἀσκεῖ εἰς τὸν μαγνήτην δύναμιν ἴσην καὶ ἀντίθετον. Γενικῶς εἰς κάθε ἐφαρμογὴν δυνάμεως δὲν πρέπει νὰ λησμονῶμεν καὶ νὰ ἀναζητῶμεν τὴν ἀντίθετον δύναμίν της. *Οὐδέποτε ὑπάρχει εἰς τὸν κόσμον μία καὶ μόνη δύναμις.*

δ) Ἀνάλυσις ἢ σύνθεσις δύο δυνάμεων ὑπὸ γωνίαν (ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ἐπιπέδου) μὲ διάφορα σημεῖα ἐφαρμογῆς (σχ. 1·4στ).

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

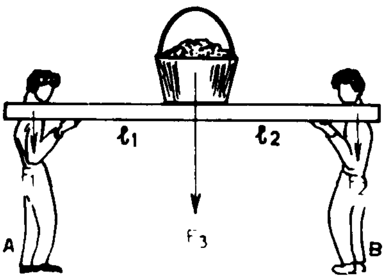


Σχ. 1·4στ.

Σύρομεν ἀπὸ τὴν ὄχθην τὴν λέμβον μὲ τὴν βοήθειαν τῶν δυνάμεων F_1 καὶ F_2. Αὐταὶ ἐνεργοῦν εἰς διαφορετικὰ σημεῖα τῆς λέμβου, κεῖνται εἰς τὸ αὐτὸ ἐπίπεδον, ἀλλὰ αἱ προεκτάσεις των τέμνονται εἰς σημεῖον ἐκτὸς τῆς λέμβου. Ἀπὸ τὸ σημεῖον τομῆς ἡ συνισταμένη των F_3 μεταφερομένη κατὰ τὴν εὐθεῖαν της δρᾷ ἐπὶ τῆς λέμβου.

ε) Παράλληλοι δυνάμεις ὁμόρροποι (ἴσαι ἢ ἄνισοι).

Ἔστω ὅτι σῶμα βάρους F_3 φέρεται ὑπὸ δύο ἐργατῶν A καὶ B (σχ. 1·4ζ). Ἐὰν τὸ βάρος ἐφαρμόζεται εἰς τὸ μέσον τῆς σανίδος μήκους $l = l_1 + l_2$, ἐπὶ τῆς ὁποίας φέρεται τὸ σῶμα, τότε εἶναι προφανὲς ὅτι κάθε ἐργάτης σηκώνει τὸ ἥμισυ αὐτοῦ.



Σχ. 1·4ζ.

Ἐξουδετερώνει δηλαδὴ μὲ τὰς χεῖρας του τὴν F_1 ἢ τὴν F_2, αἱ ὁποῖαι εἶναι ἴσαι μεταξύ των καὶ τὸ ἄθροισμά των ἰσοῦται πρὸς F_3. Ὅταν ὅμως τὸ σῶμα κεῖται ἐγγύτερον πρὸς τὸν ἐργάτην A, τότε ἡ δύναμις F_1, ποὺ ἀναλογεῖ εἰς αὐτόν, εἶναι μεγαλυτέρα τῆς F_2 καὶ μάλιστα τόσον μεγαλυτέρα, ὅσον μικροτέρα εἶναι ἡ ἀπόστασις l_1 τῶν χειρῶν ἀπὸ τὸ σῶμα. Μελετῶντες συστηματικώτερον τὰς ἀναλογίας δυνάμεων καὶ ἀποστάσεων εὑρίσκομεν ὅτι κατὰ τὴν *ἀνάλυσιν* μιᾶς δυνάμεως εἰς δύο ἄλλας παραλλήλους πρὸς αὐτήν, τὰ γινόμενα τῶν συνιστωσῶν καὶ τῶν ἀντιστοίχων ἀποστάσεων ἀπὸ τὴν ὑπὸ ἀνάλυσιν δύναμιν εἶναι ἴσα, ἤτοι:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad \text{ἢ} \quad F_1/F_2 = l_2/l_1 \quad \text{καὶ}$$
$$l = l_1 + l_2 \qquad F_3 = F_1 + F_2$$

Τὸ αὐτὸ παράδειγμα δύναται νὰ ἐξετασθῇ καὶ ἀντιστρόφως, ὁπότε ἔχομεν τὴν *σύνθεσιν* δύο παραλλήλων (ὁμορρόπων) δυνάμεων. Ἂν αἱ δύο αὐταὶ δυνάμεις F_1 καὶ F_2 ἀπέχουν l μεταξύ των, τότε δίδουν συνισταμένην F_3 ἔχουσαν μέτρον τὸ ἄθροισμα τῶν μέτρων τῶν συνιστωσῶν. Τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς τῆς συνισταμένης ὡς ἐκ τῆς θέσεώς του τέμνει τὴν ἀπόστασιν l εἰς δύο τμήματα l_1 καὶ l_2, τὰ ὁποῖα μὲ τὰς ὡς ἄνω δυνάμεις ἀποδίδουν γινόμενα $F_1 \cdot l_1$ καὶ $F_2 \cdot l_2$, μεταξύ των ἴσα.

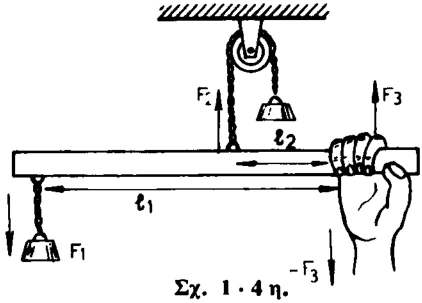
Ἐκ τῶν ἀνωτέρω τύπων προκύπτει εὐκόλως ὅτι:

$$F_1 = \frac{F_3}{l} \cdot l_2 \quad \text{καὶ} \quad F_2 = \frac{F_3}{l} \cdot l_1.$$

στ) Ἀντιπαράλληλοι δυνάμεις (ἄνισοι).

Ἔστω τώρα ὅτι ἔχομεν νὰ συνθέσωμεν δύο δυνάμεις παραλλήλους ἀνίσους καὶ ἀντιθέτου φορᾶς (σχ. 1·4η).

Ἐὰν θέλωμεν ἡ ράβδος, ποὺ εἰκονίζεται εἰς τὸ σχῆμα 1 · 4 η, νὰ μείνη ὁριζοντία, πρέπει νὰ τὴν κρατήσωμεν ἀπὸ τὸ ἄκρον της τὸ πέραν τῆς μεγαλυτέρας δυνάμεως F_2, διότι ἄλλως ἡ ράβδος θὰ σηκωθῆ πρὸς τὸ μέρος τῆς F_2. Ποῦ πρέπει ὅμως νὰ θέσωμεν τὴν χεῖρα μας; Εἰς ποίαν ἀπόστασιν; Ποῦ κεῖται ἡ συνισταμένη $F_3 = F_2 - F_1$, τὴν ὁποίαν πρέπει ἡ χεῖρα μας νὰ ἐξουδετερώση; Τὸ πείραμα ἐπαληθεύει τὴν ἰδίαν σχέσιν, τὴν ὁποίαν ἔχομεν διὰ τὰς παραλλήλους καὶ ὁμορρόπους δυνάμεις, ἤτοι:



Σχ. 1 · 4 η.

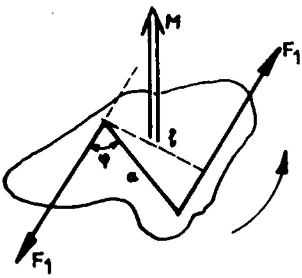
F_1 ἐπὶ τὴν ἀπόστασίν της ἀπὸ τῆς F_3 ἰσοῦται πρὸς τὴν F_2 ἐπὶ τὴν ἀπόστασίν της ἀπὸ τῆς F_3.

ἢ $\boxed{F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2}$ ἢ $\boxed{F_1/F_2 = l_2/l_1}$

Προσοχή, ἐδῶ δὲν ἰσχύει $l = l_1 + l_2$ ὅπως εἰς τὸ προηγούμενον σχῆμα, ὅπου l ἦτο ἡ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν δύο παραλλήλων δυνάμεων.

1 · 5 Ἀντιπαράλληλοι καὶ ἴσαι δυνάμεις. Ζεῦγος δυνάμεων.

Ἀπὸ ὅσα ἐλέχθησαν διὰ τὰς συνθέσεις τῶν ἀνίσων καὶ ἀντιπαραλλήλων δυνάμεων, γίνεται εὐκόλως ἀντιληπτὸν ὅτι, ἐφ' ὅσον ἡ F_1 πλησιάζει νὰ γίνη ἴση πρὸς τὴν F_2, ἀναγκαίως καὶ αἱ ἀποστάσεις των ἀπὸ τὴν συνισταμένην F_3 τείνουν νὰ καταστοῦν ἴσαι. Δὲν εἶναι δυνατὸν ὅμως νὰ γίνουν ἴσαι, διότι ἡ l_1 εἶναι μεγαλυτέρα τῆς l_2 κατὰ μῆκος L. Τὸ L τότε μόνον δύναται νὰ θεωρηθῆ ἀμελητέον, ὅταν ἡ συνισταμένη F_3 ἀπέχη πάρα πολὺ ἀπὸ τὰς δυνάμεις F_1 καὶ F_2. Ὥστε, διὰ F_1 τείνουσαν νὰ ἐξισωθῆ μὲ τὴν F_2, ἡ συνισταμένη F_3 τείνει πρὸς τὸ μηδὲν καὶ τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της πρὸς τὸ ἄπειρον. Κατόπιν τούτου, αἱ δυνάμεις χάνουν τὴν συνήθη δρᾶσιν των καὶ ἀντὶ νὰ μετακινήσουν τὸ σῶμα, τὸ *στρέφουν* ἢ τὸ *παραμορφώνουν* μὲ στρέψιν. Πρὸς κατανόησιν ἔστω τὸ παράδειγμα, ὅπου μὲ δύο δακτύλους μας ἀσκοῦμεν δύο ἴσας καὶ ἀντιπαραλλήλους δυνάμεις ἐπάνω εἰς μίαν «σβούραν», ὁπότε τὴν ἀναγκάζομεν νὰ στραφῆ ἢ εἰς ἕνα διακόπτην ἠλεκτρικοῦ, ὁπότε παραμορφώνομεν τὸ ἐλατήριόν του, ἕως ὅτου λάβη τὴν νέαν θέσιν του.



Σχ. 1·5.

Ἐὰν τὸ σύστημα τῶν δύο ἴσων καὶ ἀντιπαραλλήλων δυνάμεων ἐφαρμοσθῇ ἐπὶ ἑνὸς σώματος, τότε ὀνομάζεται *ζεῦγος δυνάμεων*, ἡ δὲ ἱκανότης στρέψεως, ποὺ ἀναπτύσσει, ἐκφράζεται ἀπὸ ἕνα χαρακτηριστικὸν διανυσματικὸν μέγεθος, τὸ ὁποῖον καλεῖται *ροπὴ* Μ. Τὸ μέτρον τῆς ροπῆς δίδεται ἀπὸ τὴν σχέσιν:

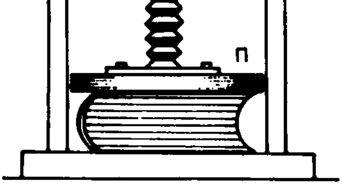
$$\boxed{M = F \cdot l}$$

Ἡ ροπὴ Μ παρίσταται μὲ βέλος (διάνυσμα) κάθετον ἐπὶ τὸ ἐπίπεδον τῶν δύο δυνάμεων κατὰ τοιοῦτον τρόπον, ὥστε νὰ ἀκολουθῇ τὴν προώθησιν τοῦ δεξιοστρόφου κοχλίου ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 1 · 5.

1 · 6 Ροπὴ δυνάμεως ὡς πρὸς ἄξονα. Σύνθεσις ροπῶν.

Συχνὰ συναντῶμεν σώματα, ποὺ τὰ διαπερᾶ εἰς τὸ μέσον *ἄξων περιστροφῆς*, ὅπως π.χ. μίαν πρέσσαν πιέσεως βιβλίων (σχ. 1 · 6 α).

Διὰ νὰ στραφῇ ἡ πιέζουσα πλὰξ Π, ἀσκοῦμεν δύο ἴσας καὶ ἀντιπαραλλήλους δυνάμεις (ζεῦγος) ἐπὶ τῆς λαβῆς Λ, ἡ ὁποία στρέφεται καὶ διὰ τοῦ κοχλίου ἡ πλὰξ Π κατέρχεται. Προφανῶς ἡ ροπὴ Μ ἰσοῦται μὲ τὴν μίαν τῶν δυνάμεων ἐπὶ τὸ μῆκος τῆς λαβῆς Λ καὶ διευθύνεται πρὸς τὰ κάτω (φορὰ δεξιοστρόφου κοχλίου).



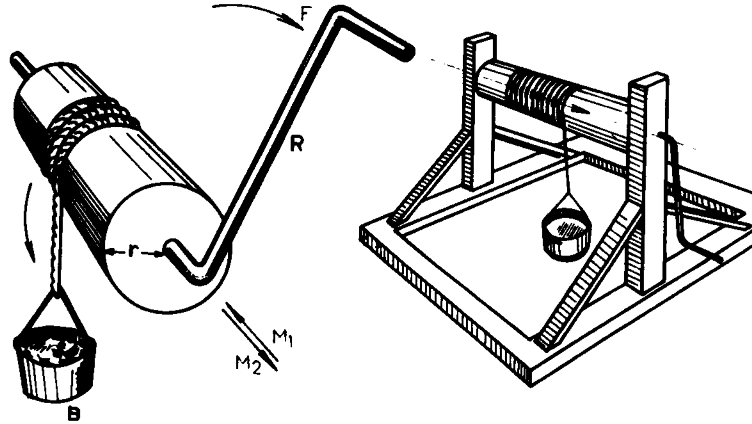
Σχ. 1 · 6 α.

Ἀντὶ ὅμως νὰ ἐφαρμόσωμεν ζεῦγος δυνάμεων, δυνάμεθα νὰ ἀσκήσωμεν μόνον μίαν δύναμιν καὶ νὰ ἐπιτύχωμεν πάλιν τὴν στροφὴν τοῦ κοχλίου, δηλαδὴ νὰ ἐμφανισθῇ πάλιν ἡ ροπή. Τώρα βεβαίως δὲν ἀναφερόμεθα πρὸς ἕνα ζεῦγος ἀλλὰ εἰς μίαν δύναμιν καὶ κάποιον ἄξονα, διὰ τοῦτο καὶ ἡ ροπὴ θὰ ὀνομασθῇ *ροπὴ δυνάμεως ὡς πρὸς ἄξονα*. Εἶναι εὐνόητον ὅτι ἡ ἀπόστασις τῆς δυνάμεως ἀπὸ τὸν ἄξονα εἶναι τὸ ἥμισυ τῆς ἀποστάσεως τῆς προηγουμένης περιπτώσεως, ὁπότε αἱ δύο δυνάμεις (αἱ δύο χεῖρες) ἀπεῖχον τόσον, ὅσον ἦτο τὸ μῆκος τῆς λαβῆς. Συνεπῶς, ἂν θέλωμεν νὰ ἐφαρμόσωμεν τὴν αὐτὴν ροπήν, ὅπως καὶ προηγουμένως, πρέπει ἡ δύναμις τῆς μιᾶς μόνον χειρός, ποὺ χρησιμοποιοῦμεν, νὰ αὐξηθῇ εἰς τὸ διπλάσιον, δηλαδή:

$$\boxed{\mathbf{M} = \mathbf{F} \cdot \Lambda = 2\,\mathbf{F} \cdot \Lambda/2}$$

Τὰ μήκη Λ ἢ Λ/2 καλοῦνται *βραχίονες* τῆς ροπῆς.

Ἐφ' ὅσον αἱ ροπαὶ εἶναι διανυσματικὰ μεγέθη, ἕπεται ὅτι συντίθενται ὅπως καὶ αἱ δυνάμεις ἀκολουθοῦσαι τοὺς αὐτοὺς κανόνας τοῦ διανυσματικοῦ λογισμοῦ.



Σχ. 1 · 6 β.

Ἔστω π.χ. ἕνας κύλινδρος στρεπτὸς περὶ ἄξονα φέρων λαβὴν περιστροφῆς καὶ σχοινίον περιτυλιγμένον, ἐκ τοῦ ὁποίου ἐξαρτᾶται ἕνα βάρος (βαροῦλκον) (σχ. 1 · 6 β). Διὰ νὰ συγκρατήσωμεν τὸ σύστημα ἀκίνητον, ἀσκοῦμεν τὴν δύναμιν F καθέτως ἐπὶ τὸν βραχίονα R, ἤτοι ἐφαρμόζομεν ροπὴν ὡς πρὸς τὸν ἄξονα $M_1 = F \cdot R$, διευθυνομένην πρὸς τὰ μέσα τοῦ κυλίνδρου. Ἀντιστρόφως, τὸ βάρος **B** διὰ τοῦ σχοινίου ἐφαπτομένου τοῦ κυλίνδρου ἀσκεῖ ὡς πρὸς τὸν ἄξονα ροπὴν $M_1 = B \cdot r$, ὅπου r ἡ ἀκτὶς τοῦ κυλίνδρου, διευθυνομένη πρὸς τὰ ἔξω τοῦ κυλίνδρου (σχ. 1 · 6 β). Αἱ ἴσαι καὶ ἀντίθετοι ροπαὶ θὰ προκαλέσουν τὴν *ἰσορροπίαν* $\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0$, καὶ ὡς ἐκ τούτου ἀκινησίαν τοῦ συστήματος.

Ἰδιαιτέρα σημασία πρέπει νὰ δίδεται εἰς τὴν συμβολικὴν παράστασιν τῶν ῥοπῶν. Οὕτως, εἰς τὸ σχῆμα 1 · 6 α, ἐφ' ὅσον γυρίζομεν τὸν βραχίονα κατὰ τὴν φορὰν τῶν δεικτῶν τοῦ ὡρολογίου, ἡ ῥοπὴ M_1 διευθύνεται πρὸς τὰ μέσα (δεξιὸν περικόχλιον προχωρεῖ πρὸς τὰ μέσα), ἐνῶ ἀντιθέτως ἡ δρᾶσις τοῦ βάρους B εἰς τὸ σχῆμα 1 · 6 β τείνει νὰ γυρίσῃ τὸν κύλινδρον ἀντιστρόφως, ἄρα ἡ ῥοπὴ M_2 διευθύνεται πρὸς τὰ ἔξω καὶ κατὰ τὴν *ἰσορροπίαν* αἱ M_1 καὶ M_2 πρέπει νὰ εἶναι ἴσαι καὶ ἀντίθετοι.

Ἑπομένως, ἕνα σῶμα ὑπὸ ἐπίδρασιν δυνάμεων ἰσορροπεῖ ὑπὸ τὴν γενικὴν ἔννοιαν, ὅταν τόσον τὸ ἄθροισμα τῶν ἱκανῶν νὰ ἀθροισθοῦν δυνάμεων εἶναι μηδέν, ἀλλὰ καὶ τὸ ἄθροισμα τῶν ἐμφανιζομένων ῥοπῶν εἶναι ἐπίσης μηδέν,

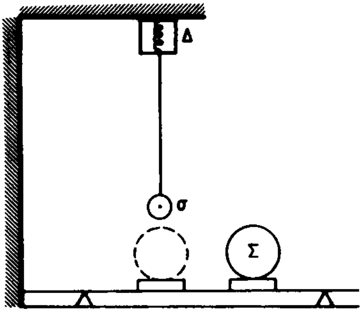
ἤτοι: $\boxed{\Sigma\vec{F} = 0}$ $\boxed{\Sigma\vec{M} = 0}$

Αἱ σχέσεις αὐταὶ ἀποτελοῦν τὰς συνθήκας τῆς *στατικῆς ἰσορροπίας*. Ὅταν αἱ συνθῆκαι αὐταὶ πληροῦνται, τὸ σῶμα οὔτε μετατοπίζεται (μετακινεῖται), οὔτε στρέφεται.

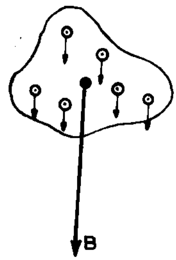
Εἰς τὸ Κεφάλαιον τῆς Δυναμικῆς θὰ μάθωμεν ὅτι αἱ αὐταὶ σχέσεις σημαίνουν ἐπίσης ὅτι τὸ σῶμα, ἐὰν ἐκινεῖτο, συνεχίζει τὴν κίνησίν του εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς καὶ ἂν τυχὸν ἐστρέφετο, συνεχίζει νὰ στρέφεται μὲ σταθερὸν ἀριθμὸν στροφῶν ἀνὰ μονάδα χρόνου.

1 · 7 Κέντρον βάρους. Στηρίξεις καὶ εἴδη ἰσορροπίας.

Κάθε ὑλικὸν σῶμα ἕλκει καὶ ἕλκεται ἀπὸ τὰ γύρω του ὑλικὰ σώματα καὶ συνεπῶς ἀπὸ τὴν Γῆν. Τὸ ὅτι ἕνα σῶμα, π.χ. μία σφαῖρα ἕλκεται ἀπὸ μίαν ἄλλην, δυνάμεθα νὰ τὸ ἀποδείξωμεν μὲ ἕνα μεγάλης εὐπαθείας δυναμόμετρον καὶ κατάλληλον συσκευὴν ἐνισχυτικὴν τῆς ἐνδείξεως τοῦ δυναμομέτρου Δ. Ἔστω ὅτι ἀπὸ ἕνα κατάλληλον στήριγμα ἐξαρτᾶται ἡ συσκευὴ καὶ ἐξ αὐτῆς κρεμᾶται μὲ λεπτότατον νῆμα μία μικρὰ σφαῖρα σ (σχ. 1 · 7 α). Κάτωθεν αὐτῆς δύναται νὰ ὀλισθήσῃ ἐπὶ καταλλήλων ὁδηγῶν μία μεγάλη σφαῖρα Σ. Τὸ σύστημα ἀφίνεται νὰ ἠρεμήσῃ ἐπὶ ὥρας καὶ λαμβάνεται πρόνοια νὰ μὴ διαταράσσεται ἀπὸ ἐξωτερικοὺς κραδασμούς, ῥεύματα ἀέρος, θερμοκρασιακὰς μεταβολὰς κ.λπ. Μετὰ τὴν ἀποκατάστασιν τῆς ἠρεμίας καὶ τὴν ἀνάγνωσιν τῆς ἐνδείξεως τῆς συσκευῆς, ὀλισθαίνει ἡ Σ καὶ σταματᾶ κάτωθεν τῆς σ, ὁπότε παρατηρεῖται νέα ἔνδειξις τῆς συσκευῆς σαφῶς ὑποδηλοῦσα τὴν ἕλξιν μεταξὺ τῶν σφαιρῶν σ καὶ Σ καὶ τὴν αὔξησιν (ἔστω καὶ ἐλαχίστην) τοῦ βάρους τῆς σφαίρας σ.

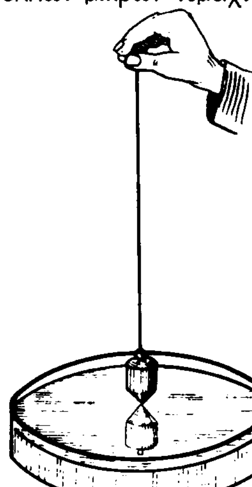


Σχ. 1 · 7 α.



Σχ. 1 · 7 β.

Ἂν θεωρήσωμεν τὸ σῶμα ὡς σύνολον πολλῶν μικρῶν τεμαχίων μάζης, τότε θὰ ἔχωμεν ὡς πρὸς τὴν Γῆν ἕνα πλῆθος στοιχειωδῶν βαρῶν, ποὺ τὸ ἄθροισμά των (ἡ συνισταμένη) θὰ ἀποτελῆ τὸ συνολικὸν βάρος τοῦ σώματος (σχ. 1 · 7 β). Ἐφ' ὅσον τὸ βάρος τοῦ σώματος ληφθῆ ὡς συνισταμένη δύναμις, θὰ ἔχη τὰ χαρακτηριστικὰ κάθε δυνάμεως, δηλαδὴ μέτρον, διεύθυνσιν, φορὰν καὶ σημεῖον ἐφαρμογῆς. Τὸ μέτρον μετρεῖται μὲ δυναμόμετρον, ἡ δὲ διεύθυνσις εἶναι, ὡς γνωστόν, ἡ κατακόρυφος τοῦ τόπου κάθετος ἐπὶ τὴν ἠρεμοῦσαν ἐπιφάνειαν ἑνὸς ὑγροῦ (νῆμα στάθμης) (σχ. 1 · 7 γ).

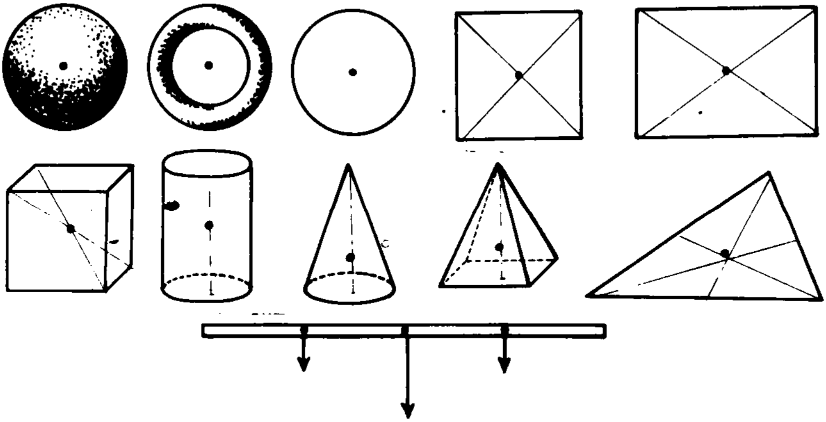

Σχ. 1 · 7 γ.

Τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς ὀνομάζεται *κέντρον βάρους* τοῦ σώματος καὶ εἶναι σταθερὸν διὰ κάθε σῶμα, δύναται δὲ νὰ κεῖται εἴτε ἐντὸς εἴτε ἐκτὸς τοῦ σώματος. Πειραματικῶς τὸ κέντρον βάρους εὑρίσκεται, ἂν ἐξαρτήσωμεν διὰ νήματος τὸ σῶμα ἀπὸ 2 ἢ 3 θέσεις αὐτοῦ, φέρωμεν τὰς κατακορύφους συνεχείας τοῦ νήματος ἐξαρτήσεως καὶ προσδιορίσωμεν τὸ σημεῖον τῆς τομῆς των.

Παραδείγματα *κέντρου βάρους* (Κ.Β.) (σχ. 1 · 7 δ):

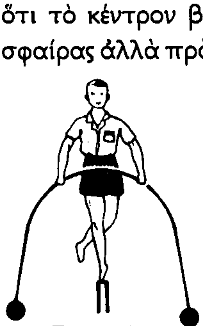
Σφαίρας: τὸ κέντρον αὐτῆς.

Δακτυλίου - στεφάνης: τὸ κέντρον αὐτῶν.
Παραλληλεπιπέδου: τομὴ διαγωνίων.
Λεπτῆς τριγώνου πλακός: τομὴ διαμέσων κ.λπ.



Σχ. 1 · 7 δ.

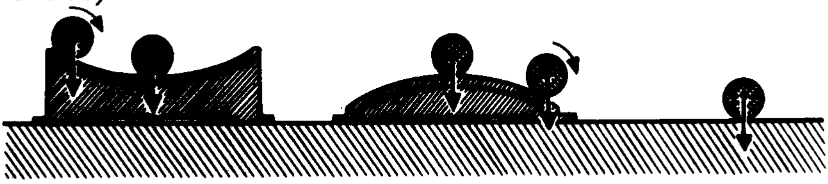
Εἰς τὰ ἀνωτέρω κανονικὰ γεωμετρικῶς σώματα ὑποτίθεται ὅτι ἡ πυκνότης αὐτῶν εἶναι σταθερά. Π.χ. δὲν πρέπει ἡ ἡμίσεια σφαῖρα νὰ εἶναι ξυλίνη καὶ ἡ ἄλλη ἡμίσεια σιδηρᾶ, ὁπότε προφανὲς εἶναι ὅτι τὸ κέντρον βάρους δὲν θὰ κεῖται εἰς τὸ γεωμετρικὸν κέντρον τῆς σφαίρας ἀλλὰ πρὸς τὴν μεγαλυτέραν μᾶζαν, δηλαδὴ ἐντὸς τοῦ σιδήρου.



Σχ. 1 · 7 ε.

Ἐξ αὐτοῦ προκύπτει ὅτι εἶναι δυνατὴ ἡ μετατόπισις τοῦ κέντρου βάρους διὰ καταλλήλου προσθήκης ἢ κατασκευῆς τῶν σωμάτων ἀπὸ διάφορα ὑλικά, πρᾶγμα σύνηθες εἰς τὰ πλοῖα, ὅπου καταβιβάζομεν τὸ κέντρον βάρους διὰ προσθήκης ἕρματος (σαβούρα) καὶ τοῦτο διὰ νὰ ἀποκτήσωμεν μεγαλυτέραν εὐστάθειαν.

Μία σπουδαία ἰδιότης τοῦ κέντρου βάρους, ἡ ὁποία ἐνδιαφέρει τὴν Τεχνικήν, εἶναι ὅτι δὲν ὑφίσταται ροπὴ προερχομένη ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ σώματος, ὅταν τὸ κέντρον βάρους τεθῇ ἐπὶ στηρίγματος ἢ διέλθῃ δι᾿ αὐτοῦ ἄξων (σχ. 1 · 7 ε). Τοῦτο φαίνεται ἀμέσως ἀπὸ τὸ εἰκονιζόμενον ἀνδρείκελον, ὅπου τὸ σημεῖον στηρίξεώς του συμπίπτει μὲ τὸ Κ.Β. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ροπὴ στρέφουσα καὶ ἀνατρέπουσα τὸ ἀντικείμενον δὲν δρᾶ καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν ἀκόμη, ποὺ τὸ κλίνομεν μέχρις ὁριζοντιώσεως. Γενικώτερον, διακρίνομεν τρεῖς περιπτώσεις ἰσορροπίας (σχῆμα 1·7 στ):



Σχ. 1·7 στ.

1) Ὅταν τὸ Κ.Β. κεῖται τόσον χαμηλά, ὥστε μὲ τὴν τυχὸν κλίσιν ἢ στροφὴν τοῦ σώματος νὰ μὴ δύναται νὰ κατέλθῃ τὸ κέντρον βάρους πιὸ πολὺ πρὸς τὴν Γῆν, ἀλλὰ νὰ ἀνέρχεται.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἐμφανίζεται ροπὴ ἐκ μέρους τοῦ βάρους, ποὺ τὸ ἐπαναφέρει εἰς τὴν ἀρχικήν θέσιν του, ἡ δὲ ἰσορροπία καλεῖται *εὐσταθής*.

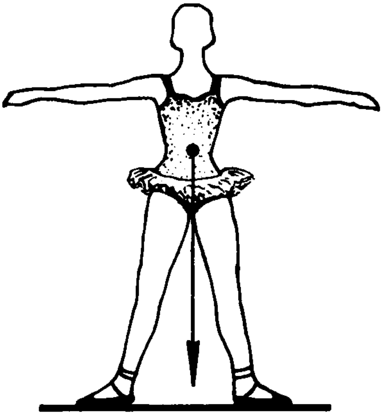
2) Ὅταν τὸ Κ.Β. εὑρίσκεται ὑψηλότερα τοῦ σημείου στηρίξεως ἢ τοῦ ἄξονος περιστροφῆς καὶ δύναται νὰ κατέλθῃ, δηλαδὴ ὑπάρχει ἄλλη θέσις τοῦ σώματος, ποὺ τὸ φέρει πλησιέστερα πρὸς τὴν Γῆν.

Τὸ σῶμα τότε μόλις κλίνῃ ἢ στραφῇ, θὰ μετακινηθῇ καὶ τελικῶς θὰ ἠρεμήσῃ εἰς νέαν θέσιν διάφορον τῆς ἀρχικῆς του. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ ἰσορροπία χαρακτηρίζεται ὡς *ἀσταθής*.

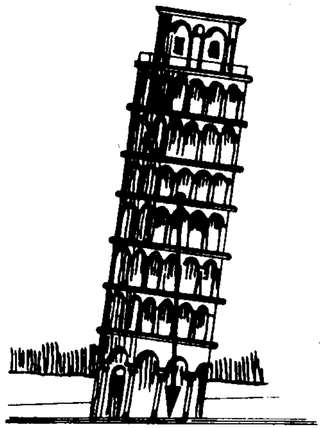
Προκειμένου ὅθεν περὶ καλῆς στηρίξεως σώματος πρέπει νὰ ἐπιζητῆται τὸ Κ.Β. νὰ μὴ δύναται νὰ κατέλθῃ, ὅταν τὸ σῶμα ἀκινητῇ ἢ κινῆται ἐντὸς ὡρισμένων ὁρίων. Π.χ. ὁ ἄνθρωπος στηρίζεται ὄρθιος ἢ καὶ βαδίζει, μόνον ὅταν ἡ ἐκ τοῦ Κ.Β. ἀγομένη κατακόρυφος διέρχεται διὰ τῆς ἐπιφανείας, ποὺ περιέχεται μεταξὺ τῶν δύο ποδῶν του (σχ. 1·7 ζ). Γνωστότατον παράδειγμα ἀναλόγου στηρίξεως ἀποτελεῖ καὶ ὁ Πύργος τῆς Πίζης, ὁ ὁποῖος παρὰ τὴν κλίσιν του, λόγω ὑποχωρήσεως τῶν θεμελίων του, ἐξακολουθεῖ νὰ ἵσταται (σχ. 1·7 η).

Εἰς τὴν περίπτωσιν ἐλλείψεως βαρύτητος ὁ ἄνθρωπος θὰ δύναται νὰ βαδίζῃ καὶ ὁριζοντίως ἢ καὶ ἐπὶ τῆς ὀροφῆς, ὑπὸ τὸν ὅρον ὅτι θὰ σύρῃ τοὺς πόδας του, διότι ἂν ἀποτόμως τοὺς κάμψῃ, θὰ ἀποσπασθῇ τοῦ τοίχου ἢ τῆς ὀροφῆς καὶ θὰ μετεωρισθῇ εἰς τὸν χῶρον τοῦ δωματίου.

3) Όταν τὸ κέντρον βάρους λόγω στηρίξεως ἐπὶ ἀκλονήτου στηρίγματος ἢ διότι διέρχεται δι' αὐτοῦ ἄξων ἢ λόγω σχήματος δὲν δύναται, παρὰ τὴν στροφὴν ἢ κλίσιν τοῦ σώματος, νὰ πλησιάση



Σχ. 1 · 7 ζ.



Σχ. 1 · 7 η.

ἢ νὰ ἀπομακρυνθῆ ἀπὸ τὴν Γῆν. Τὸ σῶμα τότε, τρόπον τινά, δὲν ὑπακούει εἰς τὸ βάρος, ἵσταται ὅπου τὸ τοποθετήσωμεν καὶ ἡ ἰσορροπία ὀνομάζεται *ἀδιάφορος*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 2

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ

2·1 Ἠρεμία καὶ σχετικὴ κίνησις.

Ἡ *Κινηματικὴ* ἐξετάζει τὰς διαφόρους μορφὰς τῶν κινήσεων τῶν σωμάτων, χωρὶς νὰ σχετίζῃ αὐτὰς μὲ τὰ αἴτια (δυνάμεις), ποὺ τὰς προκαλοῦν ἢ τὰς μεταβάλλουν ἢ τὰς ἀναιροῦν. Εἰς τὴν Κινηματικὴν χρησιμοποιοῦμεν τὸ ὑλικὸν σημεῖον, ὅπως τὸ ὡρίσαμεν εἰς τὴν Στατικήν. Δηλαδὴ θεωροῦμεν τὸ ὑλικὸν σῶμα κατὰ κάποιον τρόπον συμπυκνωμένον εἰς ἕνα τόσον μικρὸν ὄγκον, ὥστε νὰ καταστῇ ἀσυμπίεστον, νὰ μὴ δύναται νὰ στρέφεται περὶ τὸν ἑαυτόν του καὶ γενικῶς νὰ εἶναι ἀμελητέου μεγέθους ὡς πρὸς τὸ σύστημα τῶν ἄλλων σωμάτων, πρὸς τὸ ὁποῖον ἀναφερόμεθα.

Ἀκίνητον καλεῖται ἕνα σῶμα ἢ σημεῖον, ποὺ δὲν ἀλλάσσει θέσιν καὶ συνεπῶς ἀποστάσεις ἀπὸ ὡρισμένα σταθερὰ σημεῖα, μὲ τὰ ὁποῖα ὁ παρατηρητὴς τὸ συνδέει. Π.χ. δεχόμεθα ὅτι ἡ αἴθουσα, ἐντὸς τῆς ὁποίας ἱστάμεθα, μένει ἀκίνητος, διότι δὲν διαπιστώνομεν οἱανδήποτε ἀπομάκρυνσιν τῶν τοίχων ἢ τῆς ὀροφῆς της ἀπὸ ἡμᾶς ἢ ὅτι παρασυρόμεθα ὑπ' αὐτῆς. Αὐτὸ ὅμως, ὡς γνωστόν, δὲν εἶναι ὀρθόν, διότι ἡ αἴθουσα ὡς συνδεομένη μὲ τὴν Γῆν ἀφ' ἑνὸς μὲν κινεῖται περὶ τὸν Ἥλιον, ἀφ' ἑτέρου δὲ στρέφεται περὶ τὸν ἄξονα τῆς Γῆς. Πάντως, ἐν σχέσει πρὸς ἡμᾶς, ποὺ εὑρισκόμεθα ἐντὸς αὐτῆς καὶ ποὺ προφανῶς κινούμεθα παρομοίως, ἡ αἴθουσα *ἀκινητεῖ*. Διακρίνομεν ὅθεν τὰς ἑξῆς δύο περιπτώσεις:

α) *Ἀκινησίαν* ἢ *ἠρεμίαν*. Ἕνα σῶμα ἀκινητεῖ (ἢ ἠρεμεῖ), ὅταν ἡ θέσις του καὶ αἱ ἀποστάσεις του ἀπὸ τὰ περιβάλλοντα αὐτὸ σώματα ἢ καὶ τὸν παρατηρητὴν μένουν αἱ αὐταὶ μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου.

β) *Κίνησιν* ἢ ὀρθότερον *σχετικὴν κίνησιν*. Ἕνα σῶμα κινεῖται, ὅταν ἡ θέσις του καὶ κατὰ συνέπειαν αἱ ἀποστάσεις του ἀπὸ τὰ περιβάλλοντα σώματα ἢ καὶ τὸν παρατηρητὴν ἀλλάσσουν μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου.

Ἀπόλυτος κίνησις εἰς τὸν Κόσμον χωρὶς ἀναφορὰν εἰς κάτι, ποὺ ὁρίζεται ὡς ἀρχή, δὲν νοεῖται.

2·2 Ταχύτης. Εἴδη κινήσεων.

Ἔστω ἕνα ὑλικὸν σημεῖον π.χ. ἕνα ἀεροπλάνον, ποὺ ἵπταται εἰς μέγα ὕψος. Παρατηροῦμεν ὅτι τὸ σημεῖον ἀλλάσσει θέσιν ἀπὸ στιγμῆς εἰς στιγμήν. Ἂν θεωρήσωμεν μίαν νοητὴν γραμμήν, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὰς διαφόρους θέσεις τοῦ ὑλικοῦ σημείου, ἔχομεν τὴν *τροχιάν* του. Πολλάκις εἰς τὸ παράδειγμά μας ἡ τροχιὰ αὐτὴ γίνεται ὁρατή, διότι τὸ πυραυλοκίνητον ἰδίως ἀεροπλάνον ἀφίνει ὀπίσω του προϊόντα καύσεως ἠλεκτρισμένα καὶ ὑδρατμούς, ὁπότε προκαλεῖται, λόγῳ τῆς ψυχρᾶς ἀτμοσφαίρας, σταγονοποίησις καὶ ἡμεῖς ἀπὸ τὸ ἔδαφος βλέπομεν μίαν λευκὴν γραμμὴν νέφους, ἐπὶ κεφαλῆς τῆς ὁποίας εὑρίσκεται σχεδὸν ἀόρατον τὸ ὑψηλὰ ἱπτάμενον ἀεροσκάφος.

Ἡ τροχιὰ δύναται νὰ εἶναι *εὐθύγραμμος*, *καμπυλόγραμμος* ἢ *τεθλασμένη*. Εἰς κάθε τροχιὰν πρέπει νὰ ὁρισθῇ ἡ ἀρχή της (τὸ μηδέν), ἀπὸ τὴν ὁποίαν θὰ ἀρχίσῃ νὰ μετρῆται ἡ ἀπόστασις τοῦ ὑλικοῦ σημείου. Συγχρόνως, καὶ διὰ νὰ ἔχωμεν πλήρη εἰκόνα τῆς κινήσεως, ἀπαιτεῖται καὶ ἡ μέτρησις τοῦ χρόνου, δηλαδὴ χρειαζόμεθα μετρητὰς μήκους καὶ χρόνου (κανὼν καὶ ὡρολόγιον).

Ἔστω τώρα διὰ τὴν ἁπλότητα μία εὐθύγραμμος τροχιὰ ἑνὸς ὑλικοῦ σημείου, ποὺ ἐκπροσωπεῖται π.χ. ἀπὸ τὸ κέντρον βάρους ἑνὸς αὐτοκινήτου κινουμένου ἐπὶ εὐθυγράμμου ὁριζοντίου τμήματος τῆς Ἐθνικῆς ὁδοῦ. Τὸ αὐτοκίνητον τρέχει καὶ περνᾷ εἰς τὰς 10 καὶ 4′ ἐμπρὸς ἀπὸ τὴν χιλιομετρικὴν στήλην τῶν 176 km, ἀπόστασιν ἀπὸ τὸ μέσον τῆς Πλατείας Ὁμονοίας Ἀθηνῶν, τὸ ὁποῖον θέτομεν ὡς ἀρχήν, ὡς μηδὲν km. Μετὰ 12 min, δηλαδὴ τὴν 10 καὶ 16′ διέρχεται πρὸ τῆς στήλης τῶν 190 km, ἄρα τὸ αὐτοκίνητον κινεῖται καὶ διήνυσε 14 km εἰς 12 min.

Ἐὰν ἐπεκτείνωμεν τὰς παρατηρήσεις μας εἰς διάφορα αὐτοκίνητα, θὰ καταλήξωμεν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι πολλὰ τρέχουν πιὸ γρήγορα ἀπὸ τὸ πρῶτον, διότι τὸ ἴδιον διάστημα τῶν 14 km τὸ διανύουν εἰς μικρότερον χρόνον. Ἑπομένως, διὰ νὰ ἔχωμεν ἕνα χαρακτηριστικὸν μέγεθος καὶ νὰ γνωρίσωμεν ποσοτικῶς τὴν κίνησιν και ὄχι νὰ λέγωμεν βραδύτερα ἢ γρηγορώτερα, χωρὶς ἀριθμούς, ὁρίζομεν τὴν *ταχύτητα* ἑνὸς κινητοῦ ὡς μέγεθος:

$$υ = \frac{Δs}{Δt} = \frac{\text{Διαφορὰ δύο ἐνδείξεων μήκους}}{\text{Διαφορὰ δύο ἐνδείξεων χρόνου}}.$$

Εἰς τὸ παράδειγμά μας $υ = \dfrac{190 - 176}{10 \times 16' - 10 \times 4'} = \dfrac{14\ \text{km}}{12\ \text{min}}$

καὶ δι' ἀναγωγῆς ἀνὰ ὥραν πολλαπλασιάζοντες ἀμφοτέρους τοὺς ὅρους ἐπὶ 5, ἔχομεν ταχύτητα 70 km/h.

Καλοῦμεν ὅθεν ταχύτητα κινητοῦ χαρακτηριστικὸν διανυσματικὸν μέγεθος τῆς κινήσεως, τοῦ ὁποίου ἡ ἀριθμητικὴ τιμὴ προκύπτει διὰ διαιρέσεως τμήματος διαδρομῆς διὰ τοῦ ἀντιστοίχου χρόνου.

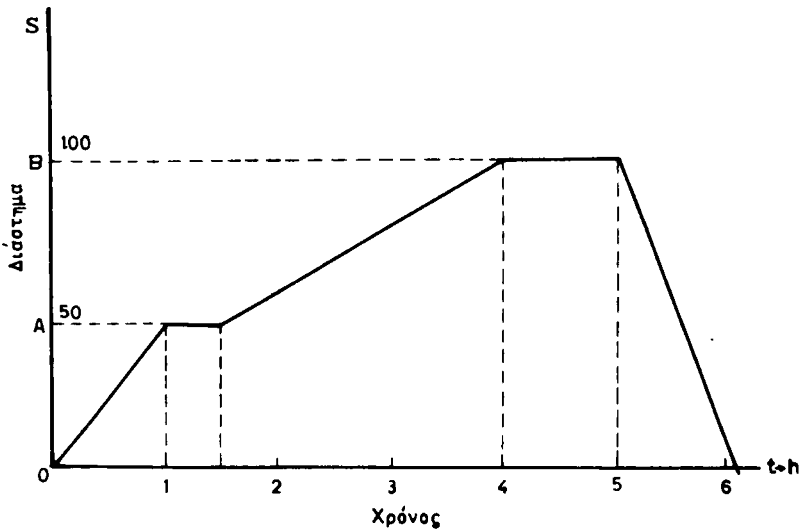
Ἐὰν λάβωμεν μεγάλην διαδρομὴν καὶ τὴν διαιρέσωμεν διὰ τοῦ χρόνου, προκύπτει προφανῶς ἡ *μέση ταχύτης*. Ἐνῶ, ἂν λάβωμεν πολὺ μικρὸν τμῆμα τῆς τροχιᾶς καὶ τὸ διαιρέσωμεν διὰ τοῦ ἀντιστοίχου χρόνου, εὑρίσκομεν τὴν ταχύτητα ἐκείνης τῆς στιγμῆς, δηλαδὴ τὴν στιγμιαίαν ταχύτητα, ποὺ εἶχεν τὴν ὥραν, ποὺ διήρχετο ἐμπρὸς ἀπὸ τὴν στήλην τῶν 176 km καὶ ὄχι τὴν μέσην ταχύτητα, μὲ τὴν ὁποίαν διηνύθη τὸ τμῆμα μεταξὺ τοῦ 176ου καὶ 190ου km. Ὅταν ἡ ταχύτης, εἴτε στιγμιαία εἴτε μέση, εὑρίσκεται πάντοτε ἡ αὐτή, τότε ἡ κίνησις ὀνομάζεται *ἰσοταχὴς* ἢ *ὁμαλή*, ἄλλως *ἀνισοταχὴς* ἢ *μεταβαλλομένη*.

Ἑπομένως διὰ τὴν ὁμαλὴν κίνησιν ἰσχύει πάντοτε: Ἡ στιγμιαία ταχύτης εἶναι ἴση πρὸς τὴν μέσην ταχύτητα. Διὰ τὴν μεταβαλλομένην ἰσχύει γενικῶς: Ἡ στιγμιαία ταχύτης εἶναι διάφορος τῆς μέσης ταχύτητος.

ΠΙΝΑΞ 2·2·1

Ὥρα	Κλῖμαξ χρόνου	Κίνησις	Μέση ταχύτης
12.15	0	ἐκκίνησις	50 km/h
13.15	1	σταθμὸς Α	Μηδὲν
13.45	$1\,^1/_2$	ἐκκίνησις	20 km/h
16.15	4	σταθμὸς Β	Μηδὲν
17.15	5	ἐκκίνησις	80 km/h
18.30	$6\,^1/_4$	ἀρχὴ - τέρμα	

Πολὺ χρήσιμα εἶναι τὰ διαγράμματα ταχυτήτων, π.χ. ἑνὸς συρμοῦ (σχ. 2 · 2), ὁ ὁποῖος ξεκινᾷ στὶς 12.15 ἀπὸ τὴν ἀφετηρίαν, ὁπότε εἰς τὸ διάγραμμα ἡ 12.15 θεωρεῖται ἀρχή, δηλαδὴ τὸ μηδὲν τῆς κλίμακος χρόνου. Εἰς μίαν ὥραν φθάνει εἰς τὸν Σταθμὸν Α μὲ μέσην ταχύτητα 50 **km/h**. Ἐκεῖ μένει 30′, συνεχίζει μὲ μικροτέραν ταχύτητα (κλίσις καμπύλης μικροτέρα) καὶ μετὰ 2.30′ ὥρας βραδέως κινούμενος φθάνει εἰς τὸν Σταθμὸν Β, ποὺ ἀπέχει τῆς ἀφετηρίας 100 km. Μένει ἐκεῖ μίαν ὥραν καὶ ξεκινᾷ ὡς «ὑπερταχεῖα» φθάνουσα εἰς τὴν ἀφετηρίαν του εἰς μίαν ὥραν καὶ 15′



Σχ. 2 · 2.

Εἰς τὸ διάγραμμα 2 · 2 ἀντιστοιχεῖ ὁ Πίναξ 2 · 2 · 1.

Παρατηροῦμεν δὲ ἀμέσως πόσον μᾶς διευκολύνει τὸ διάγραμμα, ὅπου ἔχομεν ἄμεσον ἐντύπωσιν τοῦ συνόλου τῆς διαδρομῆς εἰς ἀποστάσεις, ὥρας, στάσεις, ταχύτητας κ.λπ.

Μερικαὶ ἀπὸ τὰς συνήθεις μέσας ταχύτητας εἶναι αἱ ἀκόλουθοι εἰς km/h:

Πεζοπόρος	5 km/h	Ταχὺ τραῖνον	80 km/h
Ποδηλάτης	20 »	Δικινητήρ. ἀεροπλάνον	300 »
Σύνηθες τραῖνον	40 »	Ἀεριωθούμενον (JET)	900 »

Ταχύτης ἤχου	1 220 km/h	Τεχν. Δορυφόρος	28 000 km/h
Σφαῖρα ὅπλου	1 800 »	Γῆ περὶ τὸν Ἥλιον	108 000 »
Πύραυλος	9 000 »	Φῶς εἰς τὸ κενὸν	300 000 km/sec

Ἐκτὸς τῆς εὐθυγράμμου ἢ καὶ καμπυλογράμμου κινήσεως ἔχομεν καὶ τὴν *περιστροφικήν*, π.χ. ἑνὸς τροχοῦ, τὴν *εὐθύγραμμον ταλάντωσιν*, π.χ. ἑνὸς ὑλικοῦ σώματος ἐξηρτημένου ἀπὸ ἐλατήρια, τὴν *στροφικὴν ταλάντωσιν*, π.χ. τὴν κίνησιν τοῦ τροχίσκου, ποὺ ταλαντεύεται (λικνίζεται) μέσα εἰς τὰ ὡρολόγια χειρός, τὴν *στροβιλώδη*, π.χ. εἰς ὑγρὰ ὁρμητικῶς ῥέοντα κ.ο.κ. Ὅλων αὐτῶν τῶν κινήσεων οἱ νόμοι εἶναι δυσκολώτεροι τῆς εὐθυγράμμου ἢ καὶ καμπυλογράμμου κινήσεως ὑλικοῦ σημείου, τοὺς ὁποίους καὶ θὰ ἐξετάσωμεν ἐν συνεχείᾳ.

2·3 Ἐπιτάχυνσις. Νόμος ὁμαλῆς καὶ εὐθυγράμμου ὁμαλῶς μεταβαλλομένης κινήσεως.

Εἰς πολλὰς κινήσεις ἡ ταχύτης μεταβάλλεται κανονικῶς μὲ ὡρισμένον ρυθμὸν εἴτε αὐξανομένη εἴτε ἐλαττουμένη (π.χ. ἐκκίνησις αὐτοκινήτου ἢ ἤπιον φρενάρισμα). Ὁ ρυθμὸς αὐτός, κατὰ τὸν ὁποῖον γίνεται ἡ μεταβολὴ τῆς ταχύτητος, μᾶς παρέχει τὴν δυνατότητα νὰ ὁρίσωμεν ἕνα νέον χαρακτηριστικὸν διανυσματικὸν μέγεθος, τὴν *ἐπιτάχυνσιν*, εἴτε θετικὴν (αὔξησις), εἴτε ἀρνητικὴν (μείωσις), ἡ ὁποία μᾶς χρειάζεται διὰ νὰ ὑπολογίσωμεν τὸ διανυόμενον διάστημα καὶ τὴν ἑκάστοτε ταχύτητα. Πρὸς τοῦτο σκεπτόμεθα ὡς ἑξῆς, βάσει τῶν μετρήσεων ποὺ ἐκτελοῦμεν: ἐὰν εἰς χρόνον t_1, δηλαδὴ τὴν στιγμὴν ποὺ ἔδειχνε τὸ ὡρολόγιόν μας t_1, διεπιστώσαμεν εἰς τὸν κινητὸν στιγμιαίαν ταχύτητα υ_1 καὶ ἔπειτα ἀπὸ ὀλίγον εἴχαμε διὰ χρόνον t_2, ταχύτητα υ_2, τότε ἡ διαφορὰ ταχυτήτων εἶναι $\Delta\upsilon = \upsilon_2 - \upsilon_1$ ἀποκτηθεῖσα εἰς τὸ χρονικὸν διάστημα $\Delta t = t_2 - t_1$, ἄρα ἡ μεταβολὴ τῆς ταχύτητος εἰς τὸν χρόνον θὰ εἶναι:

$$\boxed{\gamma = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{t_2 - t_1}}$$

Καλοῦμεν οὕτως *ἐπιτάχυνσιν* χαρακτηριστικὸν μέγεθος τῆς μεταβαλλομένης κινήσεως, τοῦ ὁποίου τὴν ἀριθμητικὴν τιμὴν εὑρίσκομεν διαιροῦντες τὴν ἐπελθοῦσαν μεταβολὴν (θετικὴν ἢ ἀρνητικὴν) διὰ τοῦ ἀντιστοίχου πρὸς τοῦτο χρόνου.

Παράδειγμα: Αὐτοκίνητον ξεκινᾷ ἐκ τῆς ἠρεμίας (ταχύτης μηδὲν) καὶ ἀποκτᾶ ταχύτητα 80 km/h ἐντὸς 20′ = 1/3 h, ἄρα ἐπιτάχυνσις (μέση τιμή):

$$\gamma = \frac{80\ \mathrm{km/h}}{1/3\ \mathrm{h}} = 240\ \mathrm{km/h^2}.$$

Ἰδιαιτέρα προσοχὴ νὰ δοθῆ εἰς τὴν λεκτικὴν διατύπωσιν. Δὲν πρέπει νὰ λέγωμεν 240 χιλιόμετρα ἀνὰ τετράγωνον ὥρας, διότι τὸ τετράγωνον ὥρας δὲν ἐκφράζει τίποτε, ἀλλὰ 240 χιλιόμετρα ἀνὰ ὥραν διὰ κάθε ὥραν, ὁπότε νοεῖται ὅτι μὲ 240 χιλιόμετρα τὴν ὥραν ἀλλάσσει ἡ ταχύτης ἀνὰ ὥραν.

Ἄλλο παράδειγμα: ἡ ἐπιτάχυνσις πιπτόντων σωμάτων πλησίον τῆς Γῆς εἶναι περίπου 10 m/sec² ἢ ἄλλως 10 m · sec⁻², ἤτοι 10 μέτρα ἀνὰ δευτερόλεπτον καὶ μὲ αὐτὸν τὸν ρυθμὸν αὐξάνει ἡ ταχύτης τῆς πτώσεως ἀνὰ πᾶν δευτερόλεπτον, δηλαδὴ εἰς δύο δευτερόλεπτα θὰ πίπτη μὲ ταχύτητα 20 m/sec, εἰς τὸ τέλος τοῦ τρίτου sec θὰ γίνη ἡ ταχύτης 30 m/sec καὶ γενικῶς ἔχομεν *μεταβολὴν (αὔξησιν) 10 μέτρων ἀνὰ δευτερόλεπτον, ποὺ συμβαίνει κάθε δευτερόλεπτον.*

Ἐπαναλαμβάνομεν: τὸ νὰ λέγη κανεὶς γηίνη ἐπιτάχυνσις g = 10 m εἶναι λάθος, διότι ἁπλῶς ἀναφέρει ἕνα μῆκος, ἕνα διάστημα. Ἐπίσης g = 10 m/sec πάλιν εἶναι λάθος, διότι δίδει τὴν ἐντύπωσιν κάποιας σταθερᾶς ταχύτητος 10 m/sec. Ἄρα ἡ ὀρθὴ ἔκφρασις εἶναι g = 10 m/sec διὰ κάθε δευτερόλεπτον ἤτοι g = 10 m/sec².

Βάσει τῶν ἀνωτέρω ἔχομεν:

α) Διὰ τὴν εὐθύγραμμον ἰσοταχῆ κίνησιν:

υ = σταθερὸν γ = μηδὲν

$$\boxed{\upsilon = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s}{t}} \quad \text{ἄρα} \quad \boxed{s = \upsilon t}$$

καὶ ἂν τὸ κινητὸν τὴν στιγμήν, ποὺ ἀρχίζομεν νὰ μετροῦμεν τὸν χρόνον, δὲν ἐκκινῆ ἀπὸ τὴν ἀρχήν, ἀλλὰ εἶχεν προηγουμένως διανύση ἕνα διάστημα s_0, τότε τὸ νέον διάστημα θὰ εἶναι:

$$\boxed{s = s_0 \pm \upsilon t.}$$

[τὸ — σημαίνει ὅτι κινεῖται ἀντίθετα ἀπὸ ὅ,τι διηνύθη τὸ s_0, δηλαδὴ τὸ τραῖνον ἀπὸ τὸν σταθμὸν Α πηγαίνει εἰς τὴν ἀφετηρίαν καὶ δὲν προχωρεῖ πρὸς τὸν σταθμόν].

β) Διὰ τὴν εὐθύγραμμον ὁμαλῶς μεταβαλλομένην κίνησιν:

$$\boxed{\gamma = \frac{\Delta \upsilon}{\Delta t} = \frac{\upsilon}{t}} \quad \text{ἄρα} \quad \boxed{\upsilon = \gamma t}$$

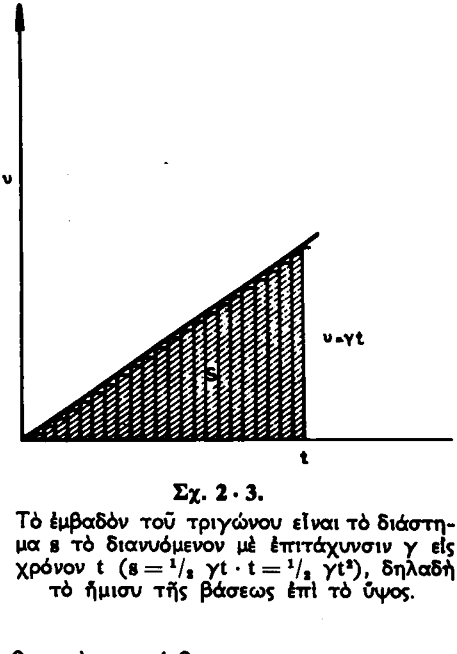
καὶ ἂν τυχὸν ὑπῆρχεν πρὸ τῆς ἐμφανίσεως τῆς ἐπιταχύνσεως, δηλαδὴ διὰ $t = 0$, κάποια ἀρχικὴ ταχύτης υ, τότε:

$$\boxed{\upsilon = \upsilon_0 \pm \gamma t}$$

Ἐκ τῶν τύπων αὐτῶν βάσει τῆς μαθηματικῆς ἀναλύσεως προκύπτει ὁ γενικὸς τύπος τοῦ διαστήματος:

$$\boxed{s = s_0 \pm \upsilon_0 t \pm \frac{1}{2}\gamma t^2}$$

Σημείωσις: Ὁ τύπος αὐτὸς ἐξάγεται καὶ διὰ τῶν κατωτέρων Μαθηματικῶν, ἂν θεωρήσωμεν μικρὰ - μικρὰ χρονικὰ διαστήματα, τόσον μικρά, ὥστε νὰ μὴ ἀλλάσσῃ αἰσθητῶς ἡ ταχύτης, καὶ ἀθροίσωμεν ἔπειτα τὰ ἀντίστοιχα διαστήματα μήκους εἴτε διὰ σειρᾶς ὅρων ἢ γραφικῶς (σχ. 2·3).



Σχ. 2·3.
Τὸ ἐμβαδὸν τοῦ τριγώνου εἶναι τὸ διάστημα s τὸ διανυόμενον μὲ ἐπιτάχυνσιν γ εἰς χρόνον t ($s = \frac{1}{2}\gamma t \cdot t = \frac{1}{2}\gamma t^2$), δηλαδὴ τὸ ἥμισυ τῆς βάσεως ἐπὶ τὸ ὕψος.

Ἐκ τῶν τύπων:

$s = s_0 \pm \upsilon_0 t \pm 1/2\, \gamma t$

καὶ $\upsilon = \upsilon_0 \pm \gamma t$

προκύπτουν εὐκόλως:

$\boxed{\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 \pm 2\gamma s}}$ διὰ $s_0 = 0$ καὶ $\upsilon_0 \neq 0$

$\boxed{t = \frac{\upsilon_0}{\gamma}}$ διὰ $\upsilon = 0$

$\boxed{s = \frac{\upsilon_0^2}{2\gamma}}$ διὰ $\upsilon = 0$ καὶ $s_0 = 0$.

Αἱ τελευταῖα δύο σχέσεις εἶναι χρήσιμοι διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ χρόνου καὶ τοῦ διαστήματος, ποὺ θὰ ἀπαιτηθοῦν, ὥστε ἕνα κινητὸν κινούμενον ἰσοταχῶς μὲ ταχύτητα υ_0 νὰ σταματήσῃ, δηλαδὴ νὰ γίνῃ : $\upsilon = 0$, π.χ. εἰς φρενάρισμα αὐτοκινήτου ἢ εἰς ῥῖψιν πρὸς τὰ ἄνω μὲ ἀρχικὴν ταχύτητα υ_0, ὁπότε εἰς τοὺς τύπους τὸ γ θὰ ἀντικατασταθῇ μὲ τὸ g τῆς Γῆς.

Ἀριθμητικὰ παραδείγματα.

1) Αὐτοκίνητον τρέχει μὲ ταχύτητα 72 km/h. Κάποτε ὁ ὁδηγός του βλέπει ἕνα ἐμπόδιον εἰς ἀπόστασιν 100 m, φρενάρει ὁμαλῶς μὲ ἐπιτάχυνσιν − 2,5m /sec². Μετὰ πόσον χρόνον καὶ διάστημα θὰ σταματήσῃ, δηλαδὴ ἡ ταχύτης τῶν 72 km/h θὰ γίνῃ μηδέν.

Λύσις :

$\upsilon_0 = 72$ km/h $= 20$ m/sec, διότι 1 h $=$ 3600 sec.

Ὅθεν $t = \dfrac{20}{2{,}5} = 8$ sec, διότι

$\upsilon = \upsilon_0 - \gamma t$ ἤτοι $0 = 20 - 2{,}5\,t$.

Ἐπειδὴ $s = \dfrac{\upsilon_0^2}{2\gamma} = \dfrac{20^2}{5}$

προκύπτει s = 80 m ἄρα 20 m πρὸ τοῦ ἐμποδίου.

2) Αὐτοκίνητον τρέχει μὲ σταθερὰν ταχύτητα 76 km/h καὶ ἀπὸ κάποιαν στιγμὴν ὁ ὁδηγὸς ἐπιταχύνει αὐτὸ μὲ σταθερὰν ἐπιτάχυνσιν 120 km/h. Ζητεῖται μετὰ διαδρομὴν 100 km ποία θὰ εἶναι ἡ νέα ταχύτης καὶ ὁ ἀντιστοιχῶν χρόνος.

Λύσις :

Τύποι: $\upsilon = \upsilon_0 + \gamma t$ καὶ $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2\gamma s}$

$\upsilon = \sqrt{76^2 + 2 \cdot 120 \cdot 100}$

(περίπου) $\upsilon = 172{,}5$ km/h καὶ

$t = 48$ min.

Ἐκ τῶν παραδειγμάτων αὐτῶν καταφαίνεται πόσον μεγάλην ἐπιτάχυνσιν ἔχουν τὰ σημερινὰ συνήθη αὐτοκίνητα, ὥστε ἐκ τῆς ἠρεμίας ἀναχωροῦντα νὰ ἀποκτοῦν ἐντὸς δευτερολέπτων καὶ ὄχι λεπτῶν ταχύτητας ἄνω τῶν 100 km/h. Σημειωτέον ὅτι τοῦτο δὲν σημαίνει ὅτι αἱ μηχαναί των δύνανται ἐπὶ πολὺ νὰ προσδίδουν ἐπιτάχυνσιν. Αὐτὸ γίνεται μόνον εἰς τὸ ξεκίνημα, ὁπότε φθάνουν γρήγορα εἰς τὴν *ὁρικὴν ταχύτητα*, π.χ. τῶν 120 καὶ 150 km/h, τὴν ὁποίαν ὅμως δὲν δύνανται νὰ ὑπερβοῦν, ἐκτὸς ἂν εἶναι εἰδικοῦ τύπου (Sports).

Σημείωσις : Ὅταν ἕνα κινητὸν παύσῃ νὰ ἔχῃ ἐπιτάχυνσιν (ἢ ἐπιβράδυνσιν), δὲν σημαίνει ὅτι τὸ κινητὸν θὰ σταματήσῃ, ἀλλὰ ὅτι θὰ κινῆται ἰσοταχῶς μὲ τὴν ταχύτητα, ποὺ εἶχεν τὴν στιγμὴν τῆς παύσεως τῆς ἐπιταχύνσεως. Πράγματι, ἂν ρίψωμεν μίαν μεταλλίνην σφαῖραν (μία μπίλια) εἰς βαθεῖαν θάλασσαν, τότε εἰς τὴν ἀρχὴν θὰ κινηθῇ ἐπιταχυνομένως, ἔπειτα θὰ ἀναπτυχθοῦν τριβαὶ καὶ ἡ ἐπιτάχυνσις θὰ μηδενισθῇ· ἑπομένως ἡ σφαῖρα θὰ συνεχίσῃ νὰ βυθίζεται ἀπό τινος σημείου καὶ ἐφεξῆς μὲ ἰσοταχῆ κίνησιν.

2·4 Ὁμαλὴ κυκλικὴ κίνησις, γωνιακὴ ταχύτης, γωνιακὴ ἐπιτάχυνσις, κεντρομόλος ἐπιτάχυνσις.

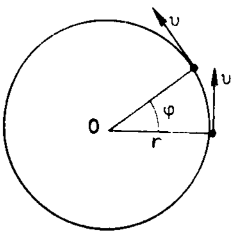
Ἔστω ἕνα ὑλικὸν σημεῖον κινούμενον ὁμαλῶς ἐπὶ περιφερείας κύκλου ἀκτῖνος r μὲ ταχύτητα μέτρου υ. Ἐπειδὴ ἡ ταχύτης εἶναι διάνυσμα (παράγρ. 2·2), θὰ κεῖται ἐπὶ τῆς ἐφαπτομένης τῆς περιφερείας, τῆς ὁποίας τὸ μῆκος εἶναι, ὡς γνωστόν, $2\pi r$. Ἐφ᾽ ὅσον ἡ κίνησις εἶναι ὁμαλή, πρέπει εἰς ὡρισμένον σταθερὸν χρόνον νὰ διατρέχεται ἡ περιφέρεια. Ὁ σταθερὸς αὐτὸς χρόνος διαδρομῆς τῆς περιφερείας ὑπὸ τοῦ κινουμένου ὑλικοῦ σημείου καλεῖται *περίοδος* T τῆς κυκλικῆς ὁμαλῆς κινήσεως. Ὅταν πρόκειται διὰ στρεφόμενον σῶμα καὶ ἀνεξαρτήτως τοῦ σχήματός του θεωροῦμεν ἐπ᾽ αὐτοῦ ἕνα σημεῖον, πάλιν ὁρίζεται ἡ περίοδος T ὡς ὁ χρόνος μεταξὺ δύο διαδοχικῶν διαβάσεων τοῦ σημείου πρὸ ἑνὸς σταθεροῦ δείκτου. Διαιροῦντες τὴν μονάδα τοῦ χρόνου (λεπτὰ ἢ δευτερόλεπτα) διὰ τῆς περιόδου, εὑρίσκομεν τὴν *συχνότητα* $\nu = \dfrac{1}{T}$. Οὕτω λέγομεν: κινητὴρ αὐτοκινήτου μεγίστης συχνότητος 5000 min^{-1}, δηλαδὴ 5000 στροφῶν ἀνὰ λεπτὸν ἢ ἀκόμη γραμμοφώνου 3 συχνοτήτων 33, 45 καὶ 78 min^{-1}, δηλαδὴ 33,45 ἢ 78 στροφῶν ἀνὰ λεπτόν. Διὰ μεγάλας συχνότητας καὶ εἰς ἄλλα Κεφάλαια τῆς Φυσικῆς ἀναφερόμεθα εἰς τὸ δευτερόλεπτον, δὲν εἶναι δὲ πάντοτε ἀναγκαῖον νὰ ἀναζητῶμεν στρεφόμενα σώματα, ἀρκεῖ νὰ ἐπαναλαμβάνεται κάτι τὸ ἴδιον πολλὰς φοράς. Οὕτω, μία χορδὴ La εἰς βιολὶ λέγομεν ὅτι ἔχει συχνότητα 440 sec^{-1} ἢ Hertz ἢ κύκλους εἰς τὸ δευτερόλεπτον. Μὲ αὐτὸ δηλοῦμεν ὅτι ἡ χορδὴ ἐκτελεῖ 440 φορὰς ἀνὰ δευτερόλεπτον τὴν ἰδίαν παλινδρομικὴν κίνησιν (τρέμει, πάλλεται). Μονὰς ὅθεν συχνότητος 1 sec^{-1} = 1 cycle/sec = 1 Hertz (Hz).

Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 2·4, ἡ κίνησις ἐπὶ χρόνον t τοῦ ὑλικοῦ σημείου (ἢ σημείου, ποὺ κεῖται εἰς τὴν περιφέρειαν δίσκου στρεφομένου ἰσοταχῶς) μὲ τὴν ἀκτῖνα r συνδέουσαν αὐτὸ μὲ τὸ κέντρον, σχετίζεται μὲ τὴν διαγραφὴν κάποιας γωνίας φ. Ἐπειδὴ εἰς χρόνον

Τ (περίοδος) γράφεται προφανῶς ὅλη ἡ γωνία 2π, θὰ ἔχωμεν:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \text{γωνιακὴ ταχύτης.}$$

Καλοῦμεν ὅθεν *γωνιακὴν* ἢ *γωνιώδη ταχύτητα* ω τὸ χαρακτηριστικὸν διανυσματικὸν μέγεθος τοῦ στρεφομένου ὑλικοῦ σημείου (ἢ σώματος), τοῦ ὁποίου τὴν τιμὴν εὑρίσκομεν διὰ διαιρέσεως τῆς διαγραφείσης ἐπικέντρου γωνίας φ διὰ τοῦ ἀντιστοίχου χρόνου t.



Σχ. 2·4.

Ἐπειδὴ γνωρίζομεν ὅτι ἡ ταχύτης ἐπὶ τῆς περιφερείας εἶναι (διάστημα διὰ χρόνου):

$$\upsilon = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{ἕπεται ὅτι} \quad \boxed{\upsilon = \omega \cdot r}$$

Ὥστε *ἡ γραμμικὴ ταχύτης, δηλαδὴ ἡ ταχύτης τοῦ ὑλικοῦ σημείου ἐπὶ τῆς περιφερείας, εἶναι ἴση πρὸς τὸ γινόμενον τῆς γωνιακῆς ταχύτητος ἐπὶ τὴν ἀκτῖνα, δηλαδὴ τὸ πόσον ἀπέχει τὸ σημεῖον ἀπὸ τὸ κέντρον στροφῆς O.*

Παρατηροῦμεν ὅμως ὅτι ἕνα ἄλλο σημεῖον εὑρισκόμενον π.χ. εἰς τὸ 1/2 τῆς ἀκτῖνος διαγράφει καὶ αὐτὸ τὴν ἰδίαν γωνίαν φ εἰς χρόνον t. Ἄρα ὅλα τὰ σημεῖα τῆς ἀκτῖνος r ἔχουν τὴν αὐτὴν γωνιακὴν ταχύτητα, ἐνῶ αἱ γραμμικαὶ ταχύτητές των εἶναι διάφοροι. Πράγματι, ἂς θεωρήσωμεν δύο τροχοὺς ἀκτῖνος $r_1 = 50$ cm καὶ $r_2 = 100$ cm, οἱ ὁποῖοι ἐκτελοῦν τὰς ἰδίας στροφὰς εἰς τὸ λεπτόν· προφανὲς εἶναι ὅτι ὁ μεγαλύτερος τροχὸς θὰ διανύσῃ διπλάσιον διάστημα κυλιόμενος ἐπὶ τὸν αὐτὸν χρόνον.

Ἀντιθέτως, δύο τροχοί, ἕνας μικρὸς καὶ ἕνας μεγάλος, συνδεόμενοι μὲ ἱμάντα (λουρὶ) ἔχουν *τὴν ἰδίαν γραμμικὴν ταχύτητα,* συνεπῶς θὰ κάνουν διαφορετικὰς στροφὰς εἰς τὸ λεπτόν, θὰ ἔχουν δηλαδὴ *διάφορον γωνιακὴν ταχύτητα,* ὅπως π.χ. συμβαίνει εἰς τοὺς τροχοὺς τοῦ ποδηλάτου καὶ τὸ πεντάλ.

Σημείωσις: Τὸ μέγεθος ω = 2πν, ὅταν δὲν ἀναφέρεται εἰς στρεφόμενα σώματα ἀλλὰ εἰς παλμικὰς κινήσεις, π.χ. χορδάς, ὀνομάζεται *κυκλικὴ συχνότης* καὶ ὄχι γωνιακὴ ταχύτης.

Μελετῶντες προσεκτικὰ τὴν κίνησιν τοῦ ὑλικοῦ σημείου ἐπὶ τῆς περιφερείας διαπιστώνομεν ὅτι ἡ ταχύτης υ συνεχῶς *ἀλλάσσει* διεύθυνσιν, ἄρα πρέπει νὰ ὑπάρχη *ἐπιτάχυνσις*, ἡ ὁποία νὰ μὴ μεταβάλλη τὴν τιμὴν τῆς ταχύτητος, ἀλλὰ τὴν διεύθυνσίν της καὶ τοῦτο, διότι ὁ γενικώτερος ὁρισμὸς τῆς ἐπιταχύνσεως ἀναφέρεται εἰς *κάθε μεταβολὴν* τῆς ταχύτητος. Αὐτὸ ἰδιαιτέρως πρέπει νὰ τὸ προσέξωμεν, ὅταν λέγωμεν δηλαδὴ ἐπιτάχυνσιν, δὲν πρέπει νὰ ἐννοοῦμε μόνον αὔξησιν ταχύτητος ἢ ἐλάττωσιν αὐτῆς (ἐπιβράδυνσις), ἀλλὰ καὶ μεταβολὴν διευθύνσεως, ἄρα *κάθε μεταβολὴ τῆς ταχύτητος δηλοῖ παρουσίαν ἐπιταχύνσεως*.

Εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς κυκλικῆς ὁμαλῆς κινήσεως ἡ ἐπιτάχυνσις ὀνομάζεται *κεντρομόλος* ἢ *γεωμετρική*, διότι διευθύνεται πρὸς τὸ κέντρον τῆς κινήσεως (σχ. 3·5 α), κεῖται ἐπὶ τῆς ἀκτῖνος τοῦ κύκλου, δρᾷ καθέτως ἐπὶ τὴν γραμμικὴν ταχύτητα υ καὶ μεταβάλλει τὴν διεύθυνσιν αὐτῆς, ὥστε ἡ ταχύτης υ νὰ λαμβάνη πάντοτε τὴν διεύθυνσιν τῆς ἐφαπτομένης εἰς κάθε σημεῖον τῆς περιφερείας.

Ἡ κεντρομόλος ἐπιτάχυνσις τῆς ὁμαλῆς κυκλικῆς κινήσεως ἀποδεικνύεται διὰ τῶν ἀνωτέρων Μαθηματικῶν ὅτι ἰσοῦται ἀκριβῶς πρὸς $υ^2/r$ ἤ, ὅπερ καὶ τὸ αὐτό, $ω^2 \cdot r$. Ὅθεν:

$$\boxed{γ_κ = \frac{υ^2}{r} = ω^2 r = 4\,π^2\,ν^2\,.\,r = \frac{4\,π^2 \cdot r}{T^2}}$$

Τέλος, ἂν μελετήσωμεν τὴν κίνησιν ἑνὸς βαρούλκου εἰς φρέαρ (μαγγανοπήγαδο), ἡ ὁποία συμβαίνει, ὅταν ἀφήσωμε τὸ δοχεῖον πλῆρες ὕδατος νὰ στρέψη ἐλεύθερα τὸ βαροῦλκον, τότε θὰ ἴδωμεν τὸ μὲν δοχεῖον νὰ κατέρχεται εἰς τὸ φρέαρ μὲ ἐπιτάχυνσιν, ἐνῶ τὸ βαροῦλκον σιγὰ - σιγὰ νὰ αὐξάνη τὰς στροφάς του. Ἑπομένως δὲν πρόκειται περὶ ὁμαλῆς κυκλικῆς κινήσεως, διότι δὲν ἔχομεν οὔτε σταθερὰν γωνιακὴν ταχύτητα οὔτε σταθερὰν γραμμικὴν ταχύτητα ἐκτυλίξεως τοῦ σχοινίου.

Ἀναλόγως πρὸς τὸν ὁρισμὸν τῆς ἐπιταχύνσεως γ ὁρίζομεν ὡς *γωνιακὴν ἐπιτάχυνσιν* ω' ἕνα μέγεθος χαρακτηριστικὸν τῆς ἀνισοταχοῦς κυκλικῆς κινήσεως, τοῦ ὁποίου τὴν τιμὴν εὑρίσκομεν, ἂν διαιρέσωμεν τὴν μεταβολὴν τῆς γωνιακῆς ταχύτητος διὰ τοῦ ἀντιστοίχου χρόνου. Ὅθεν $ω' = \frac{Δω}{Δt} = \frac{ω_2 - ω_1}{t_2 - t_1}$.

Παράδειγμα: Τροχὸς ἐκτελῶν 3000 στρ/min ἐπιταχύνεται καὶ σταθεροποιεῖται εἰς τὰς 4000 στρ/min μετὰ πάροδον 2,5 min. Ποία ἡ γωνιακὴ ἐπιτάχυνσις;

Λύσις:

$$\omega' = \frac{2\pi \cdot (4000 - 3000)/\mathrm{min}}{2{,}5\ \mathrm{min}} = \text{περίπου } 2500\ \mathrm{min}^{-2}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 3

ΔΥΝΑΜΙΚΗ

3·1 Τὸ Αον ἀξίωμα τοῦ Νεύτωνος.

Ἡ Δυναμικὴ εἶναι Κεφάλαιον τῆς Μηχανικῆς καὶ ἐξετάζει τὰς κινήσεις ἐν σχέσει πρὸς τὰ αἴτια, ποὺ τὰς προκαλοῦν. Αὐτοῦ τοῦ εἴδους αἴτια εἶναι :

α) Αἱ *δυνάμεις*, αἱ ὁποῖαι, ὅταν δράσουν ἐπὶ ἑνὸς σώματος δυναμένου ἐλευθέρως νὰ κινηθῇ, προκαλοῦν τὴν κίνησίν του, ὅπως π.χ. τὸ βάρος ἑνὸς λίθου, τὸ ὁποῖον, ὅταν ὁ λίθος ἀφεθῇ ἐλεύθερος εἰς τὸ στόμιον ἑνὸς φρέατος, προκαλεῖ τὴν πτῶσιν του καὶ

β) αἱ *ροπαὶ* πού, ὅταν δράσουν ἐπὶ ἑνὸς σώματος δυναμένου νὰ περιστραφῇ, προκαλοῦν τὴν περιστροφικὴν κίνησίν του, ὅπως π.χ. ἡ ροπὴ εἰς τὸ «πεντὰλ» (πέδιλον) τοῦ ποδηλάτου ἢ ἡ ροπὴ εἰς τὴν πρέσσαν τῶν βιβλιοδετῶν κ.λπ.

Ἡ Δυναμικὴ στηρίζεται εἰς *θεμελιώδεις ἀρχὰς* πειραματικῶς ἀποδεδειγμένας, τῶν ὁποίων τὴν πρώτην διατύπωσιν εὑρίσκομεν εἰς τὸν Ἀριστοτέλην. Ὁ Νεύτων ὅμως θεωρεῖται ἐκεῖνος, ὁ ὁποῖος ἔδωσε τὴν γνωστὴν σήμερον διατύπωσιν καὶ διὰ τοῦτο αἱ ἀρχαὶ αὐταὶ ὀνομάζονται *Ἀξιώματα τῆς Δυναμικῆς* τοῦ Νεύτωνος.

Τὸ πρῶτον ἀξίωμα λέγει τὰ ἑξῆς: *Κάθε σῶμα διατηρεῖ ἀφ' ἑαυτοῦ τὴν κίνησίν του ἀμετάβλητον, ἐφ' ὅσον δὲν δροῦν ἐπ' αὐτοῦ ἐξωτερικὰ αἴτια.* Οὕτως, ἂν ἕνα σῶμα ἠρεμῇ, θὰ ἐξακολουθήσῃ νὰ ἠρεμῇ· ἂν κινῆται εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς, θὰ ἐξακολουθήσῃ νὰ κινῆται κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον· ἂν τὸ σῶμα στρέφεται ἰσοταχῶς, θὰ ἐξακολουθήσῃ νὰ στρέφεται ἰσοταχῶς, ἐφ' ὅσον δὲν ἐπιδροῦν ἐπ' αὐτοῦ *ἐξωτερικαὶ* δυνάμεις. Παρατηροῦμεν ὅτι ἡ φυσικὴ κατάστασις τῶν σωμάτων εἶναι ἡ διατήρησις ἠρεμίας, κινήσεως ἢ στροφῆς χωρὶς ἐπιταχύνσεις. Δηλαδὴ κατὰ τὴν φυσικὴν κατάστασιν ἡ ταχύτης υ ἢ ἡ γωνιακὴ ταχύτης ω τῶν σωμάτων παραμένουν σταθεραὶ τόσον ὡς πρὸς τὴν τιμήν, ὅσον καὶ τὴν διεύθυνσίν των. Ἡ σπουδαία αὐτὴ ἰδιότης τῶν σωμάτων, καὶ γενικώτερον τῆς ὕλης, καλεῖται *ἀδράνεια.*

Ἐφ' ὅσον λοιπόν, λόγῳ ἀδρανείας τὸ σῶμα ἔχει ὡς φυσικὴν κατάστασίν του τὴν ἠρεμίαν ἢ τὴν εὐθύγραμμον καὶ ἰσοταχῆ κίνησιν, ἕπεται ὅτι, ὅταν ἐπιδρᾷ συνεχῶς ἐπ' αὐτοῦ μία ἐξωτερικὴ δύναμις, τὸ σῶμα ἀντιδρᾷ, ἐνῶ συγχρόνως αὐξάνεται ἢ ἐλαττοῦται ἡ ταχύτης του, ἐπιταχύνεται ἢ ἐπιβραδύνεται ἡ κίνησίς του.

Τὸ ἀνάλογον συμβαίνει, ὅταν ἐπὶ ὁμαλῶς στρεφομένου σώματος ἐπιδράση μία ροπή, ὁπότε μεταβάλλεται ἡ γωνιακὴ ταχύτης τοῦ σώματος.

Πολλὰ φαινόμενα ἐξηγοῦνται μὲ τὴν ἀδράνειαν τῶν σωμάτων καὶ τὴν ἀντίδρασίν των νὰ ἐπιταχυνθοῦν.

Ἀναφέρομεν κατωτέρω μερικὰ παραδείγματα, τὰ ὁποῖα θὰ βοηθήσουν εἰς τὴν καλυτέραν κατανόησιν τοῦ ἀξιώματος τοῦ Νεύτωνος.

1) Οἱ ὑποδηματοποιοὶ ἢ οἱ παλαισταί, ἀφοῦ θέσουν εἰς τοὺς πόδας ἢ εἰς τὸ στῆθος των παχείας σιδηρᾶς πλάκας, τὰς κτυποῦν *ἀποτόμως* μὲ ἕνα σφυρί. Διατί δὲν προξενεῖται βλάβη εἰς τὸ κάτωθι τῆς πλακὸς ἀνθρώπινον δέρμα, καὶ γενικώτερον, ἀνθρώπινον σῶμα;

Ἐξήγησις: Τὸ ἀπότομον κτύπημα εἰς τὴν πλάκα εἶναι ἐπενεργοῦσα ἐξωτερικὴ δύναμις. Λόγω αὐτῆς λαμβάνει ἐπιτάχυνσιν ἡ πλὰξ καὶ δὲν ἠρεμεῖ πλέον ὅπως προηγουμένως. Ἡ ὕλη, ὅμως, ἐν προκειμένω ὁ σίδηρος, λόγω ἀδρανείας ἀντιδρᾷ, κρατεῖ τὴν θέσιν της καὶ ἔτσι ἡ πλὰξ δὲν ὑποχωρεῖ. Διὰ τοῦτο δὲν προξενεῖται βλάβη εἰς τὸ ἀνθρώπινον σῶμα, πρᾶγμα ποὺ θὰ συνέβαινεν, ὅταν τὸ σφυρὶ κτυποῦσε ἀπ' εὐθείας τὸν ἄνθρωπον.

2) Θέτομεν ἕνα ἐπισκεπτήριον ἐπάνω εἰς ἕνα μικρὸν ποτήριον καὶ ἐπ' αὐτοῦ μικρὰν σφαῖραν (μπίλια). Διατί, ἐὰν κτυπήσωμεν τὴν κάρταν *ἀποτόμως* κατὰ ὁριζοντίαν διεύθυνσιν, αὐτὴ θὰ φύγη, χωρὶς νὰ παρασύρη τὴν μπίλιαν, ἡ ὁποία θὰ πέση μέσα εἰς τὸ ποτήριον;

Ἐξήγησις: Ἡ δύναμις προκαλεῖ μεγάλην ἐπιτάχυνσιν, ἡ μπίλια ἀντιδρᾷ ἐξ ἀδρανείας, ἐν τῷ μεταξὺ γλυστρᾷ καὶ φεύγει τὸ ἐπισκεπτήριον ὡς ὀλιγώτερον ἀδρανὲς καὶ ἔτσι ἡ μπίλια πίπτει μέσα εἰς τὸ ποτήριον.

3) Διατί εἰς μίαν σύγκρουσιν αὐτοκινήτου, τὸ ὁποῖον εἶχεν ἀναπτύξει μεγάλην ταχύτητα, ἡ κεφαλὴ τοῦ ὁδηγοῦ καὶ ἡ σπονδυλικὴ στήλη του ἐξαρθροῦνται;

Ἐξήγησις: Τὸ σῶμα τοῦ ἀνθρώπου κινεῖται κατὰ τὴν αὐτὴν φορὰν καὶ ταχύτητα μὲ τὸ αὐτοκίνητον καὶ θέλει λόγω τῆς ἀδρανείας νὰ διατηρῇ ἀμετάβλητον τὴν ταχύτητά του. Ὅταν τὸ ἁμάξωμα σταματήση ἀποτόμως, τότε τὸ σῶμα τείνει νὰ διατηρήση τὴν προηγουμένην ταχύτητά του καὶ συνεχίζει τὴν πρὸς τὰ ἐμπρὸς κίνησίν του. Συνεπεία τούτου ὁ ὁδηγὸς συμπιέζεται ἐπάνω εἰς τὸ τιμόνι, ἡ κεφαλή του προχωρεῖ ἀκόμη ἐμπρός, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ σπάζουν οἱ σύνδεσμοι τῆς σπονδυλικῆς στήλης, ἰδίως τοῦ λαιμοῦ (θανατηφόρος θραῦσις).

4) Διατί εἰς τὴν καμπύλην διαδρομὴν ἑνὸς λεωφορείου μία δύναμις ἀναγκάζει τοὺς ἐπιβάτας νὰ κλίνουν πρὸς τὴν ἀντίθετον πλευράν, δηλαδὴ πρὸς τὰ ἔξω τῆς καμπῆς;

Ἐξήγησις: Ὅταν τὸ λεωφορεῖον διέρχεται τὴν καμπύλην, ἔστω πρὸς τὰ δεξιά, προκαλεῖται μεταβολὴ εἰς τὴν εὐθύγραμμον ταχύτητά του καί, ὡς γνωστὸν (παράγρ. 2·4), δημιουργεῖται γεωμετρικὴ (κεντρομόλος) ἐπιτάχυνσις, ἄρα ἡ ὕλη (τὸ λεωφορεῖον) ἀντιδρᾶ κατὰ τὰ γνωστὰ περὶ ἀδρανείας καὶ θέλει νὰ συνεχίση τὴν εὐθύγραμμον πορεία της. Ἑπομένως καὶ οἱ ἐπιβάται, ποὺ εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν θεωροῦνται ὡς ὕλη, κλίνουν πρὸς τὰ ἀριστερά, ἀντιδρῶντες μὲ αὐτὸν τὸν τρόπον εἰς τὴν δεξιὰν στροφήν.

Ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω παραδείγματα εἶναι φανερὸν ὅτι ἡ ὕλη τείνει νὰ διατηρήση τὴν κινητικὴν κατάστασίν της σταθερὰν ἐπ' ἄπειρον. Διὰ τοῦτο ἀντιδρᾶ εἰς οἱουδήποτε εἴδους μεταβολὴν τῆς ταχύτητος (αὔξησις, ἐλάττωσις, μεταβολὴ διευθύνσεως).

Ἑπομένως, ὅταν ἕνα διαστημόπλοιον δὲν ὑφίσταται τὴν ἕλξιν τῆς Γῆς, τότε παύει πλέον νὰ δαπανᾷ καύσιμα, κινεῖται μόνον του καὶ ἐφ' ὅσον δὲν δημιουργηθοῦν τριβαὶ ἢ ἄλλο τι διὰ νὰ ἐπιβραδυνθῆ ἡ πορεία καὶ ἡ ταχύτης τοῦ διαστημοπλοίου, θὰ συνεχίση νὰ κινῆται εὐθυγράμμως ἐπ' ἄπειρον.

Διὰ νὰ γίνη ὅμως δορυφόρος πρέπει νὰ ἀλλάσση συνεχῶς διεύθυνσιν καὶ νὰ ἀκολουθῆ καμπύλην (κυκλικὴν ἢ ἐλλειπτικὴν) τροχιάν, ἄρα πρέπει ἐπὶ τοῦ διαστημοπλοίου νὰ δρᾷ συνεχῶς μία δύναμις, ἡ ὁποία νὰ τὸ φέρη καὶ νὰ τὸ κρατῆ εἰς τὴν καμπύλην τροχιάν. Αὐτὴ ἡ δύναμις εἶναι ἡ σταθερὰ ἕλξις εἴτε τῆς Γῆς εἴτε ἑνὸς πλανήτου ἢ ἀκόμη καὶ τῆς Σελήνης.

Συμπέρασμα: Τὰ ὑλικὰ σώματα δὲν μεταβάλλουν τὴν κατάστασιν ἠρεμίας ἢ τὴν εὐθύγραμμον ἰσοταχῆ πορείαν των, ἂν δὲν δράσουν ἐπ' αὐτῶν δυνάμεις προερχόμεναι ἐκ τῶν ἔξω.

5) Ποία δύναμις κινεῖ τὸ εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς ἐπὶ ὁριζοντίας ὁδοῦ τρέχον αὐτοκίνητον;

Ἀπάντησις: Οὐδεμία δύναμις ἢ ὀρθότερον ἡ συνισταμένη τῶν ἐπ' αὐτοῦ ἐπιδρωσῶν δυνάμεων εἶναι μηδέν. Πράγματι, τὸ σῶμα δὲν ἔχει ἐπιτάχυνσιν, ἡ δὲ μηχανή του ἐργάζεται διὰ νὰ ἐξουδετερώσῃ διαφόρους τριβὰς (ἀντιστάσεις), αἱ ὁποῖαι, ἂν δὲν ἐξουδετερωθοῦν, θὰ τὸ σταματήσουν. Ἄρα ὑπάρχει ἡ ἰσορροπία $\Sigma F = 0$, ἤτοι δυνάμεις κινητήριαι = δυνάμεις ἀνθιστάμεναι. Σφάλμα εἶναι νὰ λέγωμεν ὅτι τὸ αὐτοκίνητον κινεῖται ὑπὸ τῆς ἀδρανείας, διότι ἡ ἀδράνεια δὲν εἶναι δύναμις, εἶναι ἰδιότης.

6) Ποία ροπὴ στρέφει τὴν Γῆν περὶ τὸν ἄξονά της ἰσοταχῶς;

Ἀπάντησις: Οὐδεμία ροπή, διότι ἂν ὑπῆρχε κάποια ροπὴ ἐκ τῶν ἔξω δρῶσα ἐπάνω εἰς τὴν Γῆν, θὰ προσέδιδεν εἰς αὐτὴν ἐπιτάχυνσιν κατὰ τὴν περιστροφήν, δηλαδὴ θὰ ηὐξάνοντο αἱ στροφαὶ τῆς Γῆς, ὅπως π.χ. γίνεται εἰς μίαν στρεφομένην σβούραν, ποὺ τὴν κτυποῦμεν μὲ λουρί.

3·2 Τὸ Βον ἀξίωμα τοῦ Νεύτωνος.

Τοῦτο ὁρίζει ὅτι: *Τυχοῦσα σταθερὰ δύναμις F δρῶσα συνεχῶς ἐπὶ ἐλευθέρου σώματος προσδίδει εἰς αὐτὸ σταθερὰν ἐπιτάχυνσιν γ τόσην, ὥστε τὸ πηλίκον* $m = F/\gamma$ *νὰ εἶναι πάντοτε σταθερόν.* Τὸ σταθερὸν τοῦτο πηλίκον μετρεῖ τὴν ὕλην τοῦ σώματος καὶ καλεῖται *μᾶζα* τοῦ σώματος.

Ἑπομένως, ἂν ἐπὶ ἑνὸς σώματος δρᾷ δύναμις F_1 καὶ ἔχωμεν ἐπιτάχυνσιν γ_1, ὅταν ἐφαρμόσωμεν ἄλλην τόσην δύναμιν, ἡ ἐπιτάχυνσις θὰ διπλασιασθῇ, ὥστε τὸ πηλίκον νὰ μείνῃ τὸ ἴδιον κ.ο.κ.

$$\frac{F_1}{\gamma_1} = \frac{F_2}{\gamma_2} = \frac{F_3}{\gamma_3} = \ldots\ldots\ldots\ldots = m.$$

Ἄρα, οἱανδήποτε δύναμιν καὶ ἂν ἀσκήσωμεν, ἡ ἐπιτάχυνσις θὰ εἶναι τοιαύτη, ὥστε ὁ λόγος F/γ νὰ δίδῃ πάντοτε σταθερὸν πηλίκον, ἐκτὸς ἂν τὸ σῶμα θραυσθῇ, ὁπότε ἀλλάσσει ἡ μᾶζα του, δηλαδὴ ἡ ποσότης τῆς ὕλης του.

Πολλὰς φορὰς συμβαίνει νὰ ἀσκῆται μία δύναμις, χωρὶς νὰ ὑπάρχῃ ἐπιτάχυνσις. Αὐτὸ δὲν εἶναι ἀντίθετον πρὸς τὸ ἀνωτέρω ἀξίωμα, ἀλλὰ ἁπλῶς καὶ μόνον ἄλλαι δυνάμεις, ὡς π.χ. αἱ τριβαί, εἶναι ἴσαι καὶ ἀντίθετοι πρὸς τὴν ἀσκουμένην καὶ ἀλληλοεξουδετεροῦνται. Ὅταν ὅμως ἐκλείψουν αἱ τριβαί, ὅπως π.χ. ὅταν θέλωμε νὰ κινήσωμε σῶμα ἐπὶ παγωμένης λίμνης, τότε φαίνεται ἐμφανῶς τὸ ἀποτέλεσμα τῆς ἀσκουμένης δυνάμεως.

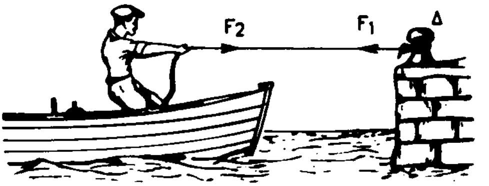
3 · 3 Τὸ Γον ἀξίωμα τοῦ Νεύτωνος.

Μεγίστης σημασίας διὰ τὴν Τεχνικήν, τὸ ἀξίωμα αὐτό, ἀναφέρεται εἰς τὴν ἐμφάνισιν ἀντιδράσεως εἰς κάθε δρᾶσιν καὶ διατυποῦται ὡς ἑξῆς:

Ὅταν ἕνα σῶμα Α ἀσκῇ ἐπὶ ἑνὸς ἄλλου σώματος Β μίαν δύναμιν, τότε καὶ τὸ σῶμα Β ἀσκεῖ ἐπὶ τοῦ Α δύναμιν ἴσην καὶ ἀντίθετον.

Γενικῶς αἱ δυνάμεις αἱ ἀσκούμεναι ἐπὶ ἑνὸς σώματος προέρχονται: α) Ἐξ ἐπαφῆς μὲ ἄλλο σῶμα καὶ β) λόγω ὑπάρξεως πεδίων (βαρύτητος, ἠλεκτρικοῦ, μαγνητικοῦ κ.λπ.). Πρὶν ἐπιχειρήσωμεν ἐπομένως τὴν λύσιν οἱουδήποτε σχετικοῦ προβλήματος, πρέπει νὰ προσδιορίσωμεν τὰς δυνάμεις καὶ νὰ εὕρωμεν τὴν προέλευσίν των.

Ὅθεν, δρᾶσις ἀπὸ τὸ Α ἐπὶ τοῦ Β σημαίνει ἀντίδρασιν ἀπὸ τὸ Β ἐπάνω εἰς τὸ Α, καὶ πάντοτε προϋποθέτει δύο διαφορετικὰ σώματα.

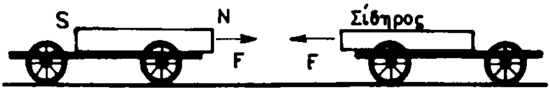


Σχ. 3 · 3 α.
Ἡ δύναμις F_1 ἀσκεῖται ἐπὶ τῆς δέστρας καὶ ἡ F_2 ἐπὶ τοῦ ἀνθρώπου.

Παραδείγματα: α) Εὑρισκόμεθα ἐντὸς λέμβου προσδεδεμένης μὲ σχοινίον εἰς πάσσαλον ἐπὶ τῆς προκυμαίας (σχ. 3 · 3 α). Σύρωμε τὸ σχοινίον, ἀσκοῦμεν δηλαδὴ μίαν δύναμιν ἐπάνω εἰς τὸν πάσσαλον καὶ ἀμέσως ὁ πάσσαλος ἀσκεῖ μίαν δύναμιν ἐπάνω μας. Τὸ ἴδιον θὰ συνέβαινεν, ἂν κάποιος ἀπὸ τὴν προκυμαίαν ἔσυρε τὴν λέμβον πλησίον του. Ἄρα:

Δύναμις ἀπὸ λέμβον ἐπὶ πασσάλου = Ἀντίθετος δύναμις ἀπὸ πασσάλου δρῶσα ἐπὶ τῆς λέμβου.

β) Ἕνας μαγνήτης εὑρίσκεται ἐπὶ μικρᾶς ἁμάξης, ἀπέναντι ἀπὸ τὴν ὁποίαν εὑρίσκεται ἄλλη ἅμαξα ὁμοία πρὸς τὴν πρώτην (σχ. 3 · 3 β). Ἐπ' αὐτῆς θέτομεν τεμάχιον ἴσης μάζης ἐκ σιδήρου. Καὶ αἱ δύο ἅμαξαι κινοῦνται ἡ μία πρὸς τὴν ἄλλην. Ἑπομένως, ὅσον ὁ μαγνήτης ἕλκει τὸν σίδηρον, ἄλλο τόσον ὁ σίδηρος ἕλκει τὸν μαγνήτην. Ὥστε σφάλμα εἶναι νὰ λέγωμεν ὅτι ἕλκει μόνον ὁ μαγνήτης, διότι τότε ὁ μαγνήτης θὰ παρέμενεν εἰς τὴν θέσιν του καὶ ὁ σίδηρος θὰ ἔτρεχε νὰ τὸν εὕρῃ, ἐνῶ πραγματικὰ συμβαίνει «δρᾶσις καὶ ἀντίδρασις» μὲ ἴσας δυνάμεις.



Σχ. 3 · 3 β.

γ) Κάθε σῶμα ἐλεύθερον πίπτει ἀπὸ ἕνα ὕψος, διότι ἕλκεται ἀπὸ τὴν Γῆν. Συνεπῶς καὶ ἡ Γῆ ἀνέρχεται πρὸς τὸ σῶμα ἑλκομένη ἀπὸ αὐτό. Ἡ κίνησις αὐτὴ εἶναι ἀμελητέα, διότι ἡ μᾶζα τῆς Γῆς εἶναι πάρα πολὺ μεγάλη ἐν σχέσει πρὸς τὴν μᾶζαν τοῦ σώματος καὶ ἡ ταχύτης ἀνυψώσεως μηδαμινή. Οὕτω παρατηρεῖται μόνον ἡ ταχύτης τῆς πτώσεως τοῦ σώματος.

Πρέπει νὰ προσέχωμεν ἰδιαιτέρως, ὅταν ἐξηγῶμεν φαινόμενα βάσει τοῦ Γου ἀξιώματος τοῦ Νεύτωνος, διότι εἶναι δυνατὸν νὰ διαπράξωμεν σφάλματα. Ἀπαραίτητον εἶναι πάντοτε νὰ ὑπάρχουν δύο σώματα, ἐκ τῶν ὁποίων τὸ ἕνα νὰ δρᾶ ἐπὶ τοῦ ἄλλου καὶ ἀντιστοίχως, ὅπως π.χ. ὅταν ἱστάμεθα ὄρθιοι εἰς τὸ πάτωμα. Τὸ βάρος μας δρᾶ ἐπ' αὐτοῦ καὶ τὸ πάτωμα ἀντιδρᾶ ἐπάνω εἰς τὸ σῶμα μας μὲ ἴσην καὶ ἀντίθετον δύναμιν. Ἀντιθέτως, ἡ κίνησις ἑνὸς πυραύλου εἰς τὸ διαστημικὸν κενὸν μὲ ἐπιτάχυνσιν *δὲν ἐξηγεῖται* βάσει τοῦ Γου ἀξιώματος τοῦ Νεύτωνος. Δὲν ὑπάρχει ἐδῶ τὸ δεύτερον σῶμα, ποὺ θὰ δράσῃ ἐπὶ τοῦ πυραύλου ὅπως εἰς τὸ παράδειγμα τῆς λέμβου. Ἡ κίνησις γενικῶς τῶν πυραύλων (ρουκέτες) γίνεται βάσει τοῦ Αου ἀξιώματος (τῆς ἀδρανείας) καὶ εἰδικώτερον βάσει τῆς *ἀρχῆς διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς*, περὶ τῆς ὁποίας θὰ γίνῃ λόγος εὐθὺς κατωτέρω.

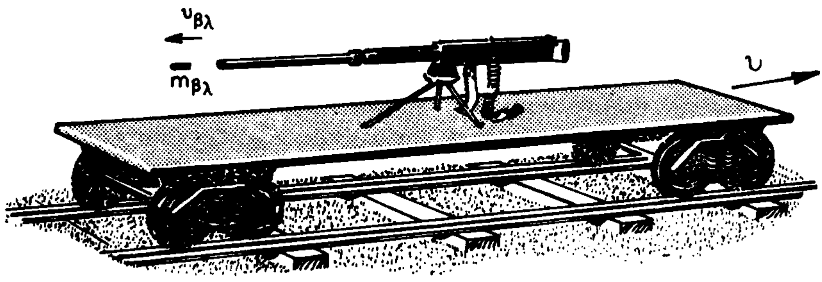
3 · 4 Ἀρχὴ διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς.

Ἀπὸ τῆς ἐποχῆς τοῦ Νεύτωνος ἐδόθη μεγάλη σημασία εἰς τὴν μᾶζαν m τοῦ κινουμένου σώματος καὶ εἰς τὴν ταχύτητά του υ. Τὸ γινόμενον αὐτῶν τῶν δύο μεγεθῶν χαρακτηρίζει ἕνα νέον φυσικὸν διανυσματικὸν μέγεθος, ποὺ καλεῖται ὁρμὴ P. Ὥστε:

$$\text{Ὁρμὴ} = \text{μᾶζα} \times \text{ταχύτητα} = \mathbf{P} = m\upsilon.$$

Διὰ τὴν ὁρμὴν τῶν κινουμένων σωμάτων ὑπάρχει εἰς τὸν φυσικὸν κόσμον μία γενικωτέρα *ἀρχή* (ἕνας Νόμος), κατὰ τὸν ὁποῖον: *ἡ ὁρμὴ ἑνὸς σώματος παραμένει σταθερά, ἐφ' ὅσον δὲν δράσῃ ἐπ' αὐτοῦ κάποια δύναμις ἐκ τῶν ἔξω.* Ἡ ὁρμὴ εἶναι μέγεθος, ποὺ ἔχει διεύθυνσιν (διάνυσμα), δι' αὐτὸ πρέπει μὲ προσοχὴν νὰ κάνωμε πράξεις, π.χ. νὰ μὴ προσθέτωμεν ἁπλῶς τὰ μέτρα τῶν ὁρμῶν, ἐκτὸς ἂν εἶναι τῆς αὐτῆς διευθύνσεως - φορᾶς. Εἰς ἀντίθετον περίπτωσιν θὰ χρησιμοποιηθοῦν ὅσα ἐμάθαμε διὰ τὴν ἄθροισιν τῶν δυνάμεων (παράγρ. 1 · 4).

Εἰς μικρὸν ὄχημα (βαγονάκι), τὸ ὁποῖον εὑρίσκεται ἐπάνω εἰς σιδηρᾶς γραμμὰς (σχ. 3 · 4 α) προσδένομεν ἕνα πυροβόλον ὅπλον. Δυνάμεθα μὲ κάποιον τρόπον, π.χ. μὲ κουρδισμένον ἐλατήριον, ποὺ σιγὰ - σιγὰ πιέζει τὴν σκανδάλην, νὰ προκαλέσωμεν τὴν ἐκπυρσοκρότησιν τοῦ ὅπλου καὶ τὴν ἐκτίναξιν τοῦ βλήματος, ὅταν τὸ ὅπλον καὶ τὸ ὄχημα ἠρεμοῦν. Παρατηροῦμεν ἀμέσως ὅτι τὸ ὄχημα ὀπισθοχωρεῖ, ὡσὰν κάποια δύναμις νὰ τὸ ἔσπρωξεν ἀντίθετα πρὸς τὴν φορὰν τῆς κινήσεως τοῦ βλήματος, ἐνῷ πράγματι κανεὶς ἐκ τῶν ἔξω δὲν ἐπέδρασεν οὔτε εἰς τὸ βλῆμα, οὔτε εἰς τὸ ὄχημα καὶ τὸ ὅπλον.



Σχ. 3 · 4 α.

Τὸ φαινόμενον συνέβη ἐξ αἰτίας τῆς ἀρχῆς διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς, καὶ ἐξηγεῖται ὡς ἑξῆς:

Πρὶν πιεσθῇ ἡ σκανδάλη, οὔτε τὸ ὅπλον, οὔτε τὸ βλῆμα, οὔτε τὸ ὄχημα ἐκινοῦντο. Ἡ μᾶζα ὅλων αὐτῶν τῶν σωμάτων πολλαπλασιαζομένη ἐπὶ μηδὲν ταχύτητα ἔδιδε σύνολον ὁρμῆς μηδέν. Συνεπῶς, ἐφ' ὅσον ἡμεῖς ἀπὸ ἔξω δὲν πειράξωμε τίποτε, πρέπει ἡ ὁρμὴ νὰ μείνῃ σταθερά, δηλαδὴ ἦτο μηδὲν καὶ θὰ μείνῃ μηδέν. (Αἱ δυνάμεις τοῦ ἐλατηρίου εἶναι ἐλαχίστης σημασίας).

Μετ' ὀλίγον προκαλεῖται ἡ ἐκπυρσοκρότησις τοῦ ὅπλου καὶ ἡ ἐκσφενδόνησις τοῦ βλήματος. Ἕνα τεμάχιον ὑλικοῦ (τὸ βλῆμα), ποὺ ἀνῆκε προηγουμένως εἰς τὸ ὅπλον, φεύγει μὲ ταχύτητα $\upsilon_{\beta\lambda}$ δηλαδὴ ἀποκτᾷ ὁρμὴν $m_{\beta\lambda} \cdot \upsilon_{\beta\lambda}$ (σχ. 3 · 4 α). Ἐπειδὴ πρέπει ἡ συνολικὴ ὁρμὴ νὰ μείνῃ μηδέν, ὁ μόνος τρόπος εἶναι τὸ ὄχημα μὲ τὸ ὅπλον νὰ κινηθοῦν ἀντίθετα πρὸς τὴν κίνησιν τοῦ βλήματος (ἀνάκρουσις τοῦ ὅπλου, κλώτσημα). Οὕτω καὶ αὐτὰ ἀποκτοῦν ὁρμὴν $m \cdot \upsilon$ ἴσην καὶ ἀντίθετον πρὸς τὴν $m_{\beta\lambda} \cdot \upsilon_{\beta\lambda}$, καὶ τὸ σύνολον τῶν δύο ὁρμῶν εἶναι πάλιν μηδέν:

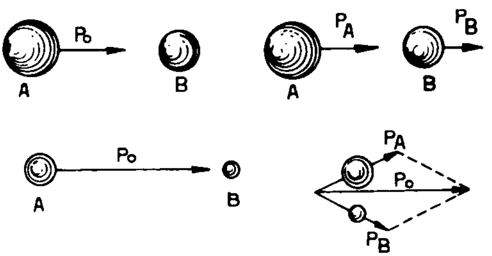
Ὁρμὴ πρὸ τῆς ἐκπυρσοκροτήσεως = Ὁρμὴ μετὰ τὴν ἐκπυρσοκρότησιν:

$$0 = \overrightarrow{m\upsilon} + \overrightarrow{m_{\beta\lambda} \cdot \upsilon_{\beta\lambda}}$$

Προφανῶς τὸ βλῆμα μὲ τὴν μικρὰν μᾶζαν θὰ ἔχῃ μεγάλην ταχύτητα, ἐνῶ τὸ ὅπλον + ὄχημα μὲ τὰς μεγάλας μάζας, θὰ ἔχουν μικρὰς ταχύτητας, τόσας, ὥστε τὰ γινόμενα μάζης καὶ ταχύτητος νὰ εἶναι τὰ αὐτά.

Ἕνα ἄλλο παράδειγμα διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς ἔχομεν κατὰ τὴν ἐλαστικὴν σύγκρουσιν δύο σφαιρῶν. Δεχόμεθα π.χ. ὅτι μία σφαῖρα εὑρίσκεται ἀκίνητος καὶ μία ἄλλη κινουμένη πίπτει ἐπάνω εἰς τὴν πρώτην.

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἔχομεν πρὸ τῆς συγκρούσεως ὁρμὴν P_0, ὄχι βεβαίως μηδέν, διότι ἡ μία σφαῖρα κινεῖται. Ἑπομένως, ἐφ' ὅσον κανεὶς δὲν ἐπιδρᾶ ἐκ τῶν ἔξω, κανεὶς δὲν ἐπηρεάζει τὴν κίνησιν τῆς σφαίρας, πρέπει ἡ ὑφισταμένη ὁρμὴ νὰ μένῃ σταθερά, δηλαδὴ ἡ P_0. Μετὰ τὴν σύγκρουσιν ὅμως ἀρχίζει καὶ ἡ κίνησις τῆς ἀκινήτου μέχρι ἐκείνης τῆς στιγμῆς σφαίρας, ἄρα ἐμφανίζεται καὶ ἄλλη ὁρμή. Μετὰ τὴν σύγκρουσιν αἱ ὁρμαὶ τῶν δύο σφαιρῶν ἀθροιζόμεναι πρέπει νὰ δίδουν τὴν ἀρχικήν, P_0. Αὐτὸ δηλοῖ ὅτι ἡ πρώτη σφαῖρα A δὲν δύναται νὰ ἔχῃ τὴν παλαιὰν ταχύτητά της, ἀλλὰ μικροτέραν, διότι ἤρχισε νὰ κινῆται καὶ ἡ δευτέρα σφαῖρα B. Ὅθεν ἰσχύει ἡ σχέσις (σχ. 3 · 4β):



Σχ. 3 · 4 β.

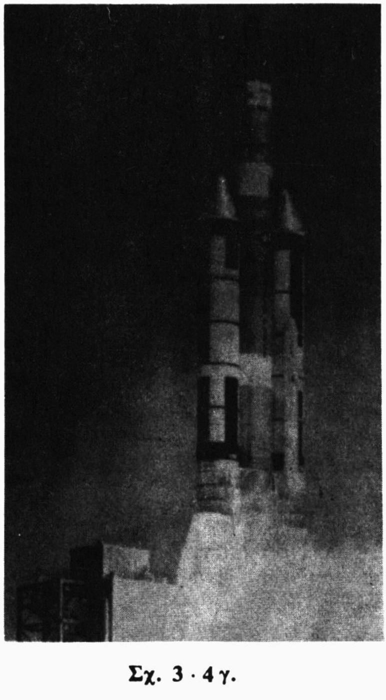
$$\overrightarrow{P_0} = \text{σταθερὰ} = \overrightarrow{P_A} + \overrightarrow{P_B}$$

ὅπου P_B καὶ P_B αἱ ὁρμαὶ τῶν σφαιρῶν μετὰ τὴν σύγκρουσιν.

Ὁρμὴ πρὸ τῆς συγκρούσεως = ὁρμὴ μετὰ τὴν σύγκρουσιν

$$\overrightarrow{P_0} + 0 = \overrightarrow{P_A} + \overrightarrow{P_B}\,.$$

Βάσει τῶν ἀνωτέρω δυνάμεθα νὰ μελετήσωμε τὴν κίνησιν ἑνὸς πυραύλου εἰς τὸ διαστημικὸν κενόν, ἔξω δηλαδὴ ἀπὸ τὴν ἀτμόσφαιραν τῆς γῆς. Ὁ πύραυλος ἐκτινάσσεται πρὸς τὰ ἄνω (σχ. 3·4γ), διότι τὰ καύσιμα ὑλικά του μετατρέπονται εἰς ἀέρια διάπυρα ὑψηλῆς θερμοκρασίας καὶ φεύγουν ἀπὸ τὸ ὀπίσω μέρος μὲ τρομακτικὴν ταχύτητα λόγω τῆς ἰσχυρᾶς ἐκρήξεως, ἀκριβῶς ὅπως συμβαίνει μὲ τὰ πυροτεχνήματα καὶ τὰς ρουκέτας κατὰ τὰς διαφόρους ἑορτάς.

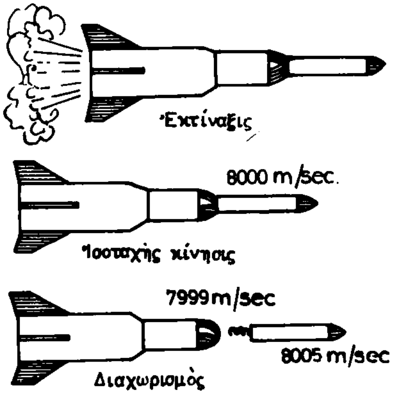


Σχ. 3·4γ.

Καὶ ἐντὸς μὲν τῆς ἀτμοσφαίρας δύναται νὰ χρησιμοποιηθῆ εἰς τὸν πύραυλον διὰ τὴν καῦσιν (ἔκρηξιν) ἐκτὸς τῶν ἄλλων καὶ τὸ ὀξυγόνον τοῦ ἀέρος, εἰς μεγάλα ὅμως ὕψη πρέπει τὰ καύσιμα νὰ ἔχουν ἴδιον ἐπαρκὲς ὀξυγόνον, ἄλλως ὁ πύραυλος δὲν ἀποκτᾶ νέαν ταχύτητα, μένει μὲ αὐτὴν ποὺ ἔχει ἀποκτήσει. Εἰς ἕνα ὡρισμένον ὕψος πρέπει νὰ ἐκτινάσση τὸν κῶνον, ποὺ συνήθως φέρει ἐμπρός του μὲ ἀνθρώπους ἢ ὄργανα. Τότε δίδεται διαταγὴ μὲ ἀσύρματον τηλέγραφον καὶ ὁ κῶνος χωρίζεται ἀπὸ τὸν κορμὸν τοῦ πυραύλου, ἀλλὰ δὲν ἀπομακρύνεται, διότι ὑπῆρχεν ἐξ ἀρχῆς δι' ὅλον τὸν πύραυλον μία ταχύτης σταθερά.

Ὁ κῶνος εἶναι ἐφωδιασμένος μὲ ἰσχυρὸν ἐλατήριον ἢ μικρὸν πύραυλον, ποὺ ἀμέσως τίθεται εἰς λειτουργίαν καὶ ὠθεῖ τὸν κῶνον πρὸς τὰ ἐμπρός, ἀλλὰ σύμφωνα μὲ τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς ἐλαττώνει τὴν ταχύτητα τοῦ κορμοῦ (σχ. 3·4δ).

Πόση ταχύτης θὰ μείνη εἰς τὸν κορμὸν μετὰ τὴν ἐκτίναξιν τοῦ κώνου τοῦ πυραύλου, τοῦτο θὰ ὑπολογισθῆ μὲ τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς. Πάντως εἶναι προφανὲς ὅτι ὅσον μεγαλυτέραν μᾶζαν ἔχει ὁ κορμός, τόσον ὀλιγώτερον θὰ ἐπηρεασθῇ ἀπὸ τὴν ἐκτίναξιν τοῦ κώνου.



Σχ. 3 · 4 δ.

Κάτι παρόμοιον συμβαίνει ἐπίσης εἰς τὴν θήραν (κυνῆγι). Ὅσον μεγαλυτέραν μᾶζαν ἔχει τὸ ὅπλον ἐν σχέσει πρὸς τὸ βλῆμα, τόσον ὀλιγώτερον αἰσθάνονται οἱ κυνηγοὶ τὸ «κλώτσημά» του κατὰ τὴν ἐκπυρσοκρότησιν. Ἂν τὸ ὅπλον * ἔχῃ μᾶζαν ὅσην καὶ τὸ βλῆμα, θὰ ἔπρεπε νὰ φύγῃ πρὸς τὰ ὀπίσω τόσον, ὅσον φεύγει πρὸς τὰ ἐμπρὸς τὸ βλῆμα.

Ἐξ ὅλων τῶν ἀνωτέρω παραδειγμάτων προκύπτει τὸ συμπέρασμα ὅτι ἐμφανίζεται δύναμις, ὅταν μεταβληθῇ ἡ ὁρμὴ ἑνὸς σώματος ἢ ἄλλως ὅτι χρειαζόμεθα δύναμιν διὰ νὰ μεταβάλωμεν τὴν ὁρμὴν ἑνὸς σώματος. Ἑπομένως ἕνα διαστημόπλοιον θὰ κινῆται *εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς* εἰς τὸ διηνεκές, ἐφ' ὅσον δὲν ἐπιδροῦν ἐπ' αὐτοῦ οἱαιδήποτε τριβαὶ ἢ ἕλξεις ἢ γενικῶς ἐξωτερικαὶ δυνάμεις. Ἐὰν ὅμως διαπιστωθῇ μεταβολὴ τῆς ὁρμῆς του (αὔξησις, ἐλάττωσις, μεταβολὴ τῆς διευθύνσεώς της) κατὰ Δp καὶ τοῦτο συμβῇ εἰς χρονικὸν διάστημα Δt, τότε ἐπέδρασεν ἐπὶ τοῦ διαστημοπλοίου (σώματος) δύναμις F ἴση πρὸς ΔP/Δ. Πράγματι δεχόμενοι τὴν μᾶζαν σταθερὰν ἔχωμεν:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\upsilon)}{\Delta t} = m\,\frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = m\gamma = F.$$

Ἡ σχέσις αὐτὴ ἀποτελεῖ τὴν θεμελιώδη ἐξίσωσιν τῆς Δυναμικῆς τοῦ Νεύτωνος.

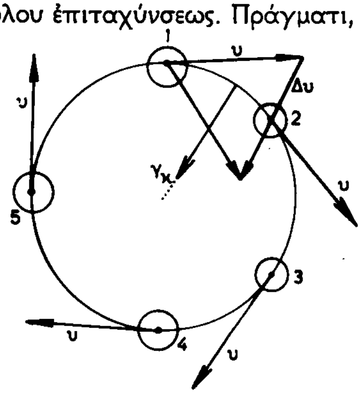
3 · 5 Κεντρομόλος καὶ φυγόκεντρος δύναμις.

Ἐπαναλαμβάνομεν ὅ,τι ἔχομεν ἀναφέρει εἰς τὴν παράγραφον 2 · 4 διὰ τὴν κυκλικὴν ἰσοταχῆ κίνησιν.

---

* Εἶναι σφάλμα νὰ λέγωμε «βαρὺ ὅπλον» ἀντὶ τοῦ ὀρθοῦ «μεγάλης μάζης», διότι ἐδῶ δὲν ἔχουν καμμίαν σχέσιν τὰ «βάρη», δηλαδὴ ἂν τὰ σώματα «βλῆμα-ὅπλον» ἕλκωνται ἢ ὄχι ἀπὸ τὴν Γῆν.

Εἰς κάθε κυκλικὴν καὶ ἐν γένει καμπυλόγραμμον ἰσοταχῆ κίνησιν, δηλαδὴ κίνησιν μὲ σταθερὰν κατὰ τὸ μέγεθος ταχύτητα, ὑπάρχει *ἐπιτάχυνσις*. Εἰς τὴν Φυσικὴν δέ, ὡς γνωστὸν ὅταν λέγωμεν ἐπιτάχυνσιν, δὲν ἐννοοῦμεν *μόνον* μεταβολὴν τῆς τιμῆς τῆς ταχύτητος ἀνὰ μονάδα χρόνου (αὐξομείωσιν ταχύτητος) ἀλλὰ καὶ μεταβολὴν εἰς τὴν διεύθυνσιν τῆς ταχύτητος. Εἰς τὴν κυκλικὴν ἰσοταχῆ κίνησιν ἡ ταχύτης ἀριθμητικῶς μένει ἡ ἰδία, ἔχει ὅμως ποικιλίαν διευθύνσεων (σχ. 3·5α). Ἕπεται λοιπὸν ὅτι ἡ ταχύτης ἐδῶ συνδέεται πρὸς ἐπιτάχυνσιν, ποὺ τῆς ἀλλάσσει μόνον τὴν διεύθυνσιν καὶ δι' αὐτὸ ὁμιλοῦμεν περὶ γεωμετρικῆς ἢ κεντρομόλου ἐπιταχύνσεως. Πράγματι, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 3·5α, ἀπὸ τὴν ἄνω θέσιν (1) διὰ νὰ ἀλλάξῃ διεύθυνσιν καὶ νὰ κατευθυνθῇ πρὸς τὰ κάτω (θέσις 2) πρέπει νὰ τῆς προστεθῇ τὸ ἄνυσμα $\Delta\upsilon$, ὁπότε ἡ συνισταμένη κλίνει πρὸς τὰ κάτω (διεύθυνσις ταχύτητος εἰς θέσιν 2). Ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ $\Delta\upsilon$ γίνεται εἰς τὸν χρόνον Δt, ὅσος ἀπαιτεῖται διὰ τὴν μετάβασιν τοῦ κινητοῦ ἀπὸ τὴν θέσιν (1) εἰς τὴν θέσιν (2), ἄρα ὑπάρχει ἐπιτάχυνσις $\gamma_\kappa = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}$. Λόγω τῆς ἐπιταχύνσεως γ_κ, ποὺ δρᾷ συνεχῶς, ἡ ταχύτης λαμβάνει θέσιν συνεχῶς ἐπὶ τῆς ἐφαπτομένης τοῦ κύκλου καὶ οὕτω τὸ σῶμα διαγράφει κυκλικὴν τροχιάν.



Σχ. 3·5 α.

Κατὰ τὸ Βον ἀξίωμα τοῦ Νεύτωνος κάθε ἐπιτάχυνσις σώματος μὲ μᾶζαν m σημαίνει ἐπίδρασιν ἐπ' αὐτοῦ ἐξωτερικῆς δυνάμεως. Ἑπομένως κυκλικὴ κίνησις, καὶ γενικῶς καμπυλόγραμμος, δὲν δύναται νὰ πραγματοποιηθῇ χωρὶς συνεχῆ δρᾶσιν δυνάμεως προερχομένης ἀπὸ τὸ κέντρον τοῦ κύκλου. Ἡ δύναμις αὐτή, ἐπειδὴ ἕλκει τὸ σῶμα πρὸς τὸ κέντρον, καλεῖται *κεντρομόλος*.

Ὥστε: α) Δὲν θὰ γυρίσῃ κυκλικὰ ἡ πέτρα εἰς τὴν σφενδόνην, ἂν δὲν ἀσκοῦμε συνεχῶς μὲ τὴν χεῖρα μας δύναμιν μέσω τοῦ σπάγγου. β) Δὲν δύναται ὁ ποδηλάτης νὰ πάρῃ τὴν στροφὴν εἰς μίαν καμπὴν τοῦ δρόμου, ἂν δὲν κλίνῃ τὸ σῶμα του πρὸς τὰ μέσα, ὁπότε μέρος τοῦ βάρους του δρᾷ ὡς κεντρομόλος δύναμις (συνιστῶσα). γ) Δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ γίνη δορυφόρος τῆς Γῆς ἢ ἄλλου οὐρανίου σώματος ἕνας θαλαμίσκος μὲ ἄνθρωπον ἢ ὄργανα, ἂν δὲν ἀσκῆται ἕλξις ἐπ' αὐτοῦ ἀπὸ τὸ κέντρον τῆς Γῆς ἢ τοῦ ὑπ' ὄψιν οὐρανίου σώματος. δ) Εἰς τὴν ἀνωτέρω περίπτωσιν (β), ὅταν δὲν εἶναι εὔκολον διὰ διαφόρους αἰτίας νὰ κλίνη ὁ ποδηλάτης τὸ σῶμα του, πρέπει τὸ ἔδαφος νὰ ἔχη κλίσιν, ὅπως γίνεται εἰς τὰ π.χ. ποδηλατοδρόμια.

Συμπέρασμα: Τὰ σώματα λόγω ἀδρανείας ἔχουν τὴν τάσιν νὰ κινοῦνται εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς, χωρὶς οἱανδήποτε ἐπιτάχυνσιν, δηλαδὴ χωρὶς οἱανδήποτε ἀλλαγὴν τῆς ταχύτητός των εἴτε κατὰ τιμὴν εἴτε κατὰ διεύθυνσιν. Διὰ νὰ λάβη ἐπιτάχυνσιν ἕνα σῶμα πρέπει νὰ δράση ἐπ' αὐτοῦ μία ἐξωτερικὴ δύναμις. Ὅταν ὅμως τὸ σῶμα τεμαχισθῆ μόνον του (ἔκρηξις), τότε δὲν χρειάζεται καμμία ἐξωτερικὴ δύναμις διὰ νὰ ἀλλάξη τὴν ταχύτητα τῶν τεμαχίων τοῦ σώματος. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν λέγομεν ὅτι τὸ σῶμα διατηρεῖ τὴν ἀρχικὴν ὁρμήν του.

Συμφώνως πρὸς τὸ Αον ἀξίωμα τῆς ἀδρανείας, κάθε σῶμα, τοῦ ὁποίου τὴν διαδρομὴν καμπυλώνει ἡ κεντρομόλος δύναμις, ἀντιδρᾶ μὲ τὴν φυγόκεντρον. Π.χ. ἔστω ὅτι στρέφομεν μίαν πέτραν δεμένην εἰς σπάγγον. Ἡ κεντρομόλος εἶναι ἡ δύναμις τῆς χειρός μας ἐπὶ τῆς πέτρας μέσω τοῦ σπάγγου καὶ ἡ φυγόκεντρος εἶναι ἡ λόγω τῆς ἀδρανείας ἀντίδρασις, ποὺ ἀσκεῖται ἐπὶ τῆς χειρός μας.

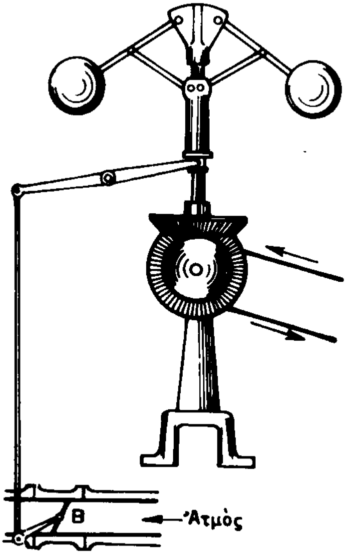
Μόλις κοπῆ ὁ σπάγγος ἢ ξεφύγη ἡ πέτρα, ἡ διαδρομὴ τοῦ σώματος δὲν εἶναι καμπύλη, διότι παύει νὰ ἀσκῆται ἡ κεντρομόλος καὶ αὐτομάτως ἡ φυγόκεντρος, τὸ δὲ σῶμα ἐλεύθερον πάσης δυνάμεως κινεῖται εὐθυγράμμως καὶ ἰσοταχῶς. Τὸ ὅτι ἔπειτα καμπυλοῦται καὶ πίπτει εἰς τὸ ἔδαφος, εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς βαρύτητος. Εἰς τὴν Τεχνικὴν γίνεται μεγάλη χρῆσις τῆς κεντρομόλου δυνάμεως πρὸς ἀνάπτυξιν τῆς φυγοκέντρου. Οὕτως, ἔχομεν τοὺς φυγοκεντρικοὺς ρυθμιστὰς εἰς ἀτμομηχανὰς (σχ. 3·5β) ἢ κινητῆρας γραμμοφώνων, τοὺς φυγοκεντρικοὺς διαχωριστὰς π.χ. τοῦ βουτύρου ἀπὸ τὸ γάλα, διότι τὰ σφαιρίδια τοῦ βουτύρου ἔχουν μεγαλυτέραν μᾶζαν (ἀδράνειαν) ἀπὸ τοῦ λοιποῦ γάλακτος καὶ ὠθοῦνται πρὸς τὰ ἔξω. Ἐπίσης τεμάχια ἰλύος (λάσπης), πηλοῦ κ.λπ. κολλημένα εἰς τροχὸν αὐτοκινήτου ἀποσπῶνται καὶ ἐκτινάσσωνται κατὰ τὴν ἐφαπτομένην τοῦ τροχοῦ, μόλις ἡ ταχύτης τοῦ τροχοῦ αὐξηθῆ.

Ὁ ὑπολογισμὸς τῆς φυγοκέντρου ἢ τῆς κεντρομόλου δυνάμεως γίνεται διὰ τῆς σχέσεως:

$$\boxed{F = m\gamma_\kappa = \frac{mv^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r}$$

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω τύπων συμπεραίνομεν ὅτι:

α) Ἡ φυγόκεντρος F εἶναι μεγαλυτέρα, ὅσον ἡ μᾶζα τοῦ σώματος, ποὺ ὑφίσταται τὴν κεντρομόλον, εἶναι μεγαλυτέρα.



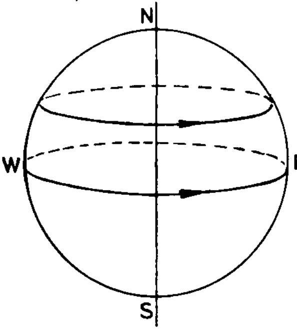
Σχ. 3·5 β.

β) Εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὸ τετράγωνον τῆς ταχύτητος εἴτε τῆς γραμμικῆς εἴτε τῆς γωνιακῆς, δηλαδὴ ἂν εἰς τὰ ἀνωτέρω παραδείγματα διπλασιάσωμε τὰ km/h τοῦ ποδηλάτου ἢ διπλασιάσωμεν τὰς στροφὰς τοῦ τόρνου, ἡ φυγόκεντρος F θὰ τετραπλασιασθῇ.

γ) Ἡ F ἐλαττοῦται, ὅταν ἡ διαδρομὴ τοῦ σώματος δὲν εἶναι πολὺ καμπύλη, ὅταν δηλαδὴ μεγαλώσῃ ἡ ἀκτὶς καμπυλότητος r. Προσοχὴ ὅμως, διότι ἡ φυγόκεντρος αὐξάνει ἀναλόγως πρὸς τὴν ἀκτῖνα καμπυλότητος, ὅταν θελήσωμε νὰ ἔχωμε τὰς ἰδίας στροφάς, διότι τότε διὰ κύκλον μεγαλυτέρας ἀκτῖνος, διατηροῦντες τὰς ἰδίας στροφάς, ἡ ταχύτης φυσικὰ γίνεται μεγαλυτέρα. Π.χ. εἰς αὐτοκίνητον μὲ τὰς ἰδίας στροφάς, ἂν αὐξήσωμεν τὴν διάμετρον εἰς τὰ ἐλαστικά του, θὰ ἔχωμε μεγαλυτέραν ταχύτητα.

3·6 Βαρύτης. Παγκόσμιος ἕλξις.

Εἶναι γνωστὸν ἐκ τῆς Στατικῆς (παράγρ. 1·2) ὅτι ἡ Γῆ ἕλκει κάθε σῶμα μὲ δύναμιν, ποὺ καλεῖται κοινῶς *βάρος* τοῦ σώματος. Ἡ δύναμις αὐτὴ διαφέρει ἀπὸ τόπου εἰς τόπον ἢ κατ' ἄλλην διατύπωσιν ἀπὸ ὕψους εἰς ὕψος ἀπὸ τὸ Κέντρον τῆς Γῆς. Ἡ Γῆ κατὰ προσέγγισιν θεωρεῖται σφαῖρα μὲ μέσην πυκνότητα περίπου 5,5 g/cm^3, ἤτοι, ἂν ἠδυνάμεθα νὰ τὴν ζυγίσωμε καὶ διαιρέσωμε τὴν μᾶζαν της διὰ τοῦ ὅλου ὄγκου της, θὰ εὑρίσκαμεν 5,5 g/cm^3. Ἡ ἀκτὶς τῆς Γῆς εἶναι 6400 km, ἤτοι περίπου 10 φορὰς ἡ ἀπόστασις Ἀθηνῶν - Σερρῶν μὲ αὐτοκίνητον. Ἡ Γῆ στρεφομένη περὶ τὸν Ἥλιον διανύει 30 km/sec, συγχρόνως ὅμως στρέφεται καὶ περὶ τὸν ἑαυτόν της, σὰν σβούρα, ἡ δὲ ταχύτης τῶν σωμάτων εἰς τὸν Ἰσημερινὸν (Κογκὸ) εἶναι περίπου 450 m/sec. Ἡ ταχύτης αὐτὴ ἐλαττοῦται, ὅσον ἀνερχόμεθα πρὸς τοὺς πόλους, ὅπου καὶ μηδενίζεται (σχ. 3 · 6 α). Ἡ Γῆ λόγω τῆς φυγοκέντρου δυνάμεως, πιθανῶς ὅταν ἦτο κάποτε διάπυρος, ἔχει ἐξογκωθῆ ὀλίγον εἰς τὸν Ἰσημερινὸν καὶ πλατυνθῆ εἰς τοὺς πόλους, ἡ δὲ πλάτυνσις αὐτὴ ἔχει ἐλαττώσει τὴν ἀκτῖνα εἰς τοὺς πόλους κατὰ τὸ 1/300 τῆς τοῦ Ἰσημερινοῦ. Ἡ ἕλξις τῆς Γῆς ἐπὶ τῶν σωμάτων εἶναι μία ἐπὶ μέρους περίπτωσις τοῦ γενικοῦ Νόμου τῆς παγκοσμίου ἕλξεως, τῆς ὁποίας ἡ μελέτη ὀφείλεται εἰς τὸν Νεύτωνα (1687).



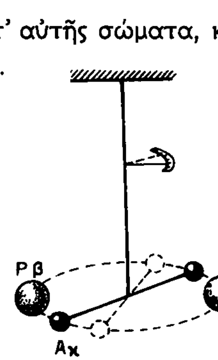
Σχ. 3 · 6 α.

Πειραματικῶς ἔχει διαπιστωθῆ ὅτι κάθε ὑλικὸν σῶμα, ἔστω μάζης m_1, ἕλκει ἕνα ἄλλο οἱονδήποτε ὑλικὸν σῶμα, μάζης m_2, μὲ δύναμιν F ἴσην πρός:

$$\boxed{F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}}$$

ὅπου k μία σταθερὰ ὀνομαζομένη *παγκόσμιος σταθερὰ ἕλξεως* καὶ r ἡ μεταξὺ τῶν κέντρων τῶν ἑλκομένων μαζῶν ἀπόστασις. Εἰς τὸ σχετικὸν πείραμα ἀναρτῶνται συνήθως δύο μικρὰ χρυσᾶ σφαιρίδια εἰς στέλεχος (σχ. 3 · 6 β) καὶ μὲ εὐπαθῆ κατάλληλον συσκευὴν στρέψεως μετρεῖται ἡ ἕλξις των ἀπὸ δύο ἄλλας μεγαλυτέρας μολυβδίνας σφαίρας. Αἱ τελευταῖαι τοποθετοῦνται εἰς γνωστὴν ἀπόστασιν ἀπὸ τὰ σφαιρίδια μὲ τὰ κέντρα τῶν 4 σφαιρῶν εἰς τὸ ἴδιον (ὁριζόντιον) ἐπίπεδον. Εὐθὺς ὡς αἱ μολύβδιναι σφαῖραι πλησιάσουν εἰς τὰ σφαιρίδια, ἀρχίζει νὰ στρέφεται τὸ στέλεχος (νῆμα), ἀπὸ ὅπου αὐτὰ εἶναι ἀνηρτημένα. Τοῦτο συμβαίνει λόγω τῆς ἕλξεως, ποὺ ἀσκεῖται μεταξὺ τῶν σφαιρῶν. Ὅπως τὸ χρυσοῦν σφαιρίδιον ἕλκει καὶ ἕλκεται ἀπὸ τὴν μολυβδίνην σφαίραν οὕτω καὶ ἡ Γῆ ἕλκει τὰ ἐπ' αὐτῆς σώματα, καὶ ἕλκεται ἀπὸ τὸν Ἥλιον, ἀπὸ τὴν Σελήνην κ.λπ.

Εἰδικώτερον, ὅταν λέγωμεν *βαρύτης*, ἐννοοῦμεν τὴν ἕλξιν τῆς Γῆς πρὸς τὰ γύρω της σώματα καὶ *βάρος*, τὴν ἕλξιν ποὺ ἀσκεῖ ἡ γῆ ἐπὶ ἑνὸς σώματος εὑρισκομένου ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας της. Ἂν τοῦτο εἶναι προσδεδεμένον εἰς δυναμόμετρον (κανταράκι), τὸ τελευταῖον τανύεται (τεντώνεται) καὶ δεικνύει ἔτσι τὴν ὕπαρξιν *βάρους* εἰς τὸ σῶμα. Ἐπειδὴ δὲ πᾶσα ἐκ τῶν ἔξω δύναμις δρῶσα ἐπὶ ἑνὸς σώματος εἶναι ἴση πρὸς τὸ γινόμενον τῆς μάζης τοῦ ἐν λόγῳ σώματος ἐπὶ τὴν ἐπιτάχυνσιν, ποὺ τοῦ προσδίδει (θεμελ. ἐξίσωσις Δυναμικῆς $F = m\gamma$), ἕπεται ὅτι καὶ τὸ βάρος ἑνὸς σώματος B, ὅπως καθωρίσθη ἀνωτέρω, ἰσοῦται μὲ τὴν μᾶζαν αὐτοῦ m ἐπὶ τὴν γηίνην ἐπιτάχυνσιν g. Ἄρα ἔχομε:



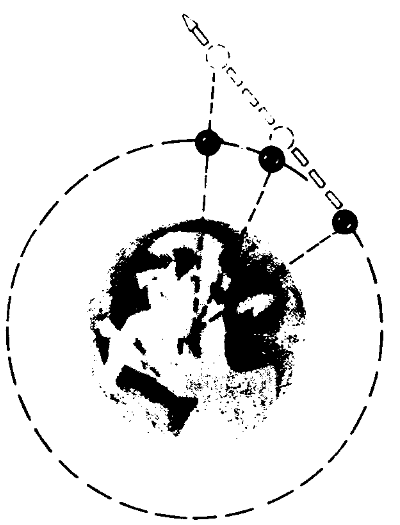
Σχ. 3·6β.

$$\boxed{B = mg}$$

Ἀλλὰ ἡ Γῆ δὲν εἶναι ἀκριβῶς σφαῖρα, ἐπὶ πλέον δὲ ἐπειδὴ στρέφεται περὶ τὸν ἄξονά της δημιουργοῦνται φυγοκεντρικαὶ δυνάμεις, συνεπῶς κάθε τόπος καὶ κάθε ὕψος ἔχει ἄλλην ἐπιτάχυνσιν g. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι τὸ ἴδιον σῶμα θὰ ἔχῃ διαφορετικὸν βάρος εἰς τὸ δυναμόμετρον ἀπὸ τόπου εἰς τόπον, διότι π.χ. εἰς τὸν Ἰσημερινὸν $g = 9{,}78$ m/sec^2, εἰς Παρισίους 9,81 m/sec^2, εἰς τοὺς πόλους 9,83 m/sec^2. Ἔτσι ἀπὸ τὸ βόρειον ἄκρον τῆς Εὐρώπης ἕως τὸν Ἰσημερινὸν (βόρειον ἀκρωτήριον Νορβηγίας ἕως τὸ Κογκό), τὸ βάρος ἑνὸς σώματος ἐλαττοῦται περίπου κατὰ 4 ‰. Ἐπίσης ἀνερχόμενοι εἰς ὕψος 13 km γινόμεθα ἐλαφρότεροι κατὰ 4 ‰.

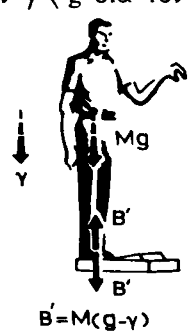
Δυνατὸν νὰ χάσωμεν ἀπολύτως τὸ βάρος, ὅταν ἀπομακρυνθῶμεν πάρα πολὺ ἀπὸ τὴν Γῆν. Δυνατὸν ἐπίσης νὰ χάσωμε τὸ βάρος μας σχετικῶς πρὸς τὸ περιβάλλον, ὅταν κινούμεθα μέσα εἰς δορυφόρον ἐλευθέρως περὶ τὴν Γῆν.

Ὡς γνωστὸν (παράγρ. 3·5), ἡ κίνησις ἑνὸς σώματος γύρω ἀπὸ ἕνα κέντρον γίνεται συνεπείᾳ ἕλξεως πρὸς αὐτό, ἐπομένως ὁ δορυφόρος πίπτει πρὸς τὴν Γῆν, ἀλλὰ καὶ προχωρεῖ κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς ἑκάστοτε ἐφαπτομένης, ὥστε τελικὰ νὰ διαγράφῃ κυκλικὴν τροχιὰν (σχ. 3·6γ). Ὅταν ὅμως συμβαίνῃ ἐλευθέρα πτῶσις, τότε σχετικὸν βάρος μεταξὺ τῶν πιπτόντων σωμάτων δὲν ὑπάρχει. Π.χ. ἀναστρέφει ὁ ἀστροναύτης ποτήριον μὲ ἕνα κέρμα ἐντὸς αὐτοῦ, τὸ κέρμα πίπτει ἀλλὰ ἐξ ἴσου πίπτει καὶ τὸ ποτήριον, χωρὶς νὰ ἀποχωρίζεται τὸ κέρμα ἀπὸ αὐτό. Τὸ ἴδιον φυσικὰ ἰσχύει καὶ διὰ τὸν ἀστροναύτην ὡς πρὸς τὸ ποτήριον. Ἐπίσης χάνομεν τὸ βάρος μας, ὅταν π.χ. ἕνας ἀνελκυστὴρ πίπτη ἐλευθέρως. Ἂν ὁ ἀνελκυστὴρ τρέξη πρὸς τὰ κάτω γρηγορώτερον ἀπὸ ὅ,τι προβλέπεται ἀπὸ τὴν ἐλευθέραν πτῶσιν, ἂν π.χ. ἕλκεται καὶ ἀπὸ ἕνα μαγνήτην, τότε θὰ ἀποκτήσωμεν ἕνα εἶδος βάρους πρὸς τὰ ἄνω.



Σχ. 3 · 6 γ.
Ὁ δορυφόρος προχωρεῖ καὶ συγχρόνως πίπτει ἐλευθέρως πρὸς τὴν ἕλκουσαν αὐτὸν Γῆν διαγράφων τελικῶς τὴν καμπύλην τῆς τροχιᾶς του.

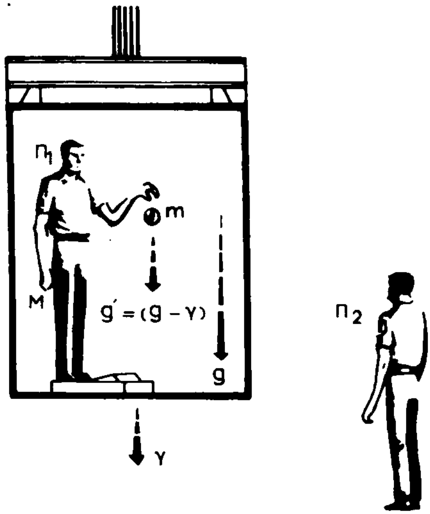
Δυνάμεθα λοιπὸν διὰ καταλλήλου συσκευῆς νὰ δώσωμε π.χ. εἰς τὸν ἄνθρωπον διάφορα (φαινομενικὰ) βάρη (σχ. 3 · 6 δ), ὅπως πράγματι γίνεται εἰς τὰ μεγάλα ἐργαστήρια ἐρευνῶν τοῦ Διαστήματος διὰ νὰ δοκιμάζουν τοὺς ἀστροναύτας. Οὕτως, εἰς τὴν περίπτωσιν ἀνελκυστῆρος κατερχομένου μὲ σταθερὰν ἐπιτάχυνσιν $\gamma < g$ διὰ τὸν παρατηρητὴν Π_1 ἡ ἀφιεμένη ἐλευθέρως ὑπ' αὐτοῦ σφαῖρα κατέρχεται μὲ ἐπιτάχυνσιν $g' = g - \gamma$, ἐνῶ διὰ τὸν ἔξω τοῦ ἀνελκυστῆρος παρατηρητὴν Π_2 ἡ σφαῖρα πίπτει μὲ g (σχ. 3 · 6 ε). Ἄρα διὰ τὸν παρατηρητὴν Π_1 τὸ βάρος τῆς σφαίρας εἶναι μικρότερον τοῦ βάρους τῆς ἐν στάσει. Διὰ $\gamma = g$ τότε $g = 0$, ἤτοι διὰ τὸν Π_1 ἡ σφαῖρα δὲν ἔχει βάρος. Ἐπίσης δυνάμεθα νὰ ἐκμεταλλευθῶμεν τὴν ἰδιότητα τῆς ἀδρανείας (φυγοκέντρισις) διὰ νὰ αὐξήσωμεν φαινομενικῶς τὸ βάρος τοῦ ἀνθρώπου. Οὕτως, ἕνας ἀεροπόρος, ποὺ κάνει κάθετον περίπου ἐφόρμησιν διὰ νὰ βομβαρδίση ἕνα στόχον καὶ ἔπειτα ταχύτατα στρέφει πρὸς τὰ ἄνω



Σχ. 3 · 6 δ.

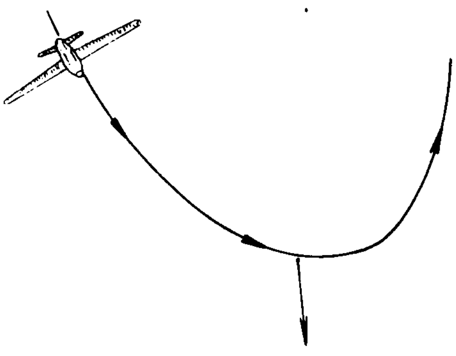
διὰ νὰ διαφύγῃ, καθηλώνεται εἰς τὴν θέσιν του ἀπὸ μίαν ἰσχυροτάτην δύναμιν, ποὺ ἕλκει τὸ αἷμα εἰς τὰ πόδια του μέχρις ἀπωλείας αἰσθήσεων (σχ. 3 · 6 στ).

Μὲ ἄλλους λόγους, ἂν ὁ ἀεροπόρος ἐκάθητο ἐπάνω εἰς ἕνα ζυγὸν ἐλατηρίου, ἄλλο βάρος θὰ ἐδείκνυε ὁ ζυγὸς εἰς τὴν ξηράν, ἄλλο κατὰ τὴν ὁριζοντίαν πτῆσιν εἰς ὕψος, ἄλλο (πολὺ μικρότερον) κατὰ τὴν κάθετον ἐφόρμησιν καὶ ἄλλο (πολὺ μεγάλο) μετὰ τὴν ἀπότομον κάμψιν τῆς πορείας του πρὸς τὰ ἄνω.



Σχ. 3 · 6 ε.

Συμπέρασμα: Ἑνὸς καὶ τοῦ αὐτοῦ σώματος ὡρισμένης μάζης δυνάμεθα νὰ αὐξομειώσωμεν τὸ βάρος του ἀπὸ τῆς πλήρους ἐλλείψεως, ἕως πολλὰς φορὰς περισσότερον ἀπὸ ὅ,τι δεικνύει τὸ κανταράκι εἰς ἕνα τόπον ἐπὶ τῆς Γῆς. Δι' αὐτὸ λέγομεν *κανονικὸν βάρος*, ὅταν τὸ σῶμα ζυγίζεται εἰς τὸ Παρίσι, ὅπου τὸ $g = 9{,}8$ m/sec^2.



Σχ. 3 · 6 στ.

Εἰς πολλὰ οὐράνια σώματα ἡ ἐπιτάχυνσις λόγω τῆς ἐκεῖ ἕλξεως εἶναι μικροτέρα ἢ μεγαλυτέρα ἀπὸ ὅ,τι ἐπὶ τῆς Γῆς. Π.χ. εἰς τὴν Σελήνην τὰ σώματα ζυγίζουν περίπου τὸ 1/6 τοῦ ἐπιγείου βάρους των, εἰς τὸν Ἑρμῆν τὸ 1/4, εἰς τὸν Ἄρην τὰ 2/5, ἀλλὰ εἰς τὸν Δία 2,6 φορὰς περισσότερον καὶ εἰς τὸν Ἥλιον 28 φορὰς ἐπὶ πλέον κ.λπ.

3·7 Πυκνότης. Εἰδικὸν βάρος.

Ὡς γνωστόν (παράγρ. 0·3), κάθε σῶμα ὑπὸ ὡρισμένας συνθήκας, π.χ. σταθερὰν πίεσιν, θερμοκρασίαν κ.λπ., καταλαμβάνει κάποιον ὄγκον. Ἑπομένως, ὅταν διαιρέσωμεν τὴν μᾶζαν τοῦ σώματος διὰ τοῦ ὄγκου του, εὑρίσκομεν προφανῶς πόση μᾶζα ἀναλογεῖ εἰς τὴν μονάδα τοῦ ὄγκου, τὸ πηλίκον δὲ αὐτὸ μᾶς δίδει ἕνα μέτρον τοῦ πόσον πυκνὴ εἶναι ἡ ὕλη τοῦ σώματος. Τὸ ἴδιον γίνεται π.χ. διὰ νὰ εὕρωμεν τὴν πυκνότητα πληθυσμοῦ μιᾶς πόλεως. Διαιροῦμεν τὸν ἀριθμὸν τῶν κατοίκων τῆς πόλεως διὰ τοῦ πόσα km^2 καταλαμβάνει ἡ πόλις καὶ λέγομεν π.χ. πυκνότης πληθυσμοῦ τοῦ Δήμου Ἀθηναίων τόσοι κάτοικοι ἀνὰ km^2.

Ὅθεν γράφομεν:

$$\text{Πυκνότης: } \boxed{\rho = \frac{m}{V}} \ g/cm^3 \quad \text{ἢ} \quad kg/m^3.$$

Ἡ πυκνότης ἑνὸς σώματος π.χ. τεμαχίου μετάλλου, εἶναι μέγεθος ὑπὸ ὡρισμένους ὅρους ἀμετάβλητον καὶ δυνατὸν νὰ τὴν γράψωμεν ἐπὶ τοῦ σώματος ὡς χαρακτηριστικὸν αὐτοῦ. Ἀντιθέτως, ὅπως ἤδη πολλὰς φορὰς ἔχει λεχθῆ, τὸ βάρος τοῦ ἐν λόγω τεμαχίου εἶναι δυνατὸν νὰ ποικίλλῃ· μένει δὲ σταθερὸν μόνον ὑπὸ ὡρισμένας προϋποθέσεις, π.χ. ὅταν τὸ τεμάχιον ζυγίζεται εἰς τὸν ἴδιον τόπον, ὄχι μέσα εἰς ἐπιταχυνόμενα ὀχήματα, οὔτε εἰς ὕψος ἀπὸ τὴν Γῆν κ.λπ. Διὰ τοὺς ἀνωτέρω λόγους εἰς τὴν σημερινὴν τεχνικὴν τὸ εἰδικὸν βάρος ε δὲν ὁρίζεται ὅπως ἄλλοτε, ὡς πηλίκον τοῦ βάρους τοῦ σώματος διὰ τοῦ ὄγκου του $\varepsilon = \frac{mg}{V} = \rho g$ (μονάδες $dyne/cm^3$ ἢ kp/m^3).

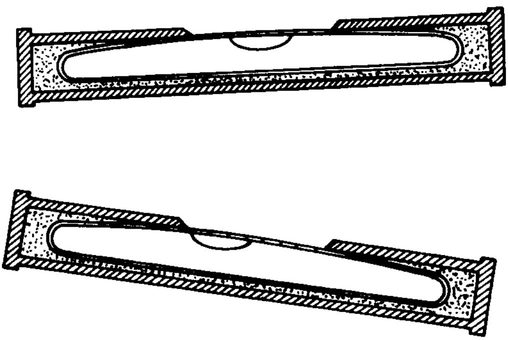
Εἰς πολλὰς χώρας, καθὼς καὶ εἰς τὴν Ἑλλάδα, τὸ μέγεθος *εἰδικὸν βάρος* δηλοῖ τώρα τὸ πόσας φορὰς τὸ σῶμα εἶναι βαρύτερον ἀπὸ τὸν ὄγκον ὕδατος ὑπὸ θερμοκρασίαν 4^0 C, ὅταν καὶ τὸ σῶμα καὶ τὸ ὕδωρ ζυγίζωνται εἰς τὸν ἴδιον τόπον. Ὑπὸ τὰς συνθήκας αὐτὰς μετρούμενον τὸ εἰδικὸν βάρος ἐκφράζεται μόνον μὲ ἕνα ἀριθμόν, χωρὶς αὐτὸς νὰ συνοδεύεται ἀπὸ ἔνδειξιν μονάδος, π.χ. εἰδικὸν βάρος χρυσοῦ 19, ὑδραργύρου 13,6 κ.ο.κ. Ἐὰν δεχθῶμεν κατὰ μεγάλην προσέγγισιν ὅτι 1 g ὕδατος εἰς 4^0 C καταλαμβάνει ὄγκον 1 cm^3, τότε τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὕδατος συμπίπτει ἀριθμητικῶς μὲ τὴν πυκνότητα αὐτοῦ. Ὅταν τὸ σῶμα ἔχῃ ὀπάς, κοιλότητας ἢ εἶναι μῖγμα, ὅπως τὸ μπετόν, τότε ἡ πυκνότης, ἢ τὸ εἰδικὸν βάρος, ἐκφράζει μίαν μέσην τιμήν, ὡς ἐὰν τὸ σῶμα ἦτο ὁμοιογενές. Ἔτσι μπετὸν 3,00 σημαίνει μῖγμα χαλικιῶν, ἄμμου, ὕδατος καὶ τσιμέντου ὡρισμένων ἀναλογιῶν, ὥστε νὰ προκύψῃ τελικὰ στερεὸν σῶμα 3,00 φορὰς βαρύτερον ἀπὸ τὸ ὕδωρ ἢ 3,00 t/m^3. Ὑπενθυμίζομεν, ἕνας τόννος ὕδατος καταλαμβάνει ὄγκον ἑνὸς m^3 ἢ 1000 λίτρων. Μετρήσεις μεγεθῶν ρ καὶ ε θὰ μελετήσωμεν εἰς τὴν παράγραφον 7·7.

3·8 Κίνησις τῶν σωμάτων ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν τῆς βαρύτητος. Βολαί.

α) *Κατακόρυφος κίνησις.*

Ἡ βαρύτης, ὡς γνωστόν (παράγρ. 3·6), τείνει νὰ φέρῃ τὰ ἔξω τῆς Γῆς σώματα πρὸς τὸ κέντρον αὐτῆς. Τοῦτο, ἐφ' ὅσον ἡ Γῆ θεωρηθῇ κατὰ προσέγγισιν σφαῖρα ἀπὸ ὁμοίας πυκνότητος ὑλικόν, δηλαδὴ ὅταν δὲν ληφθοῦν ὑπ' ὄψιν αἱ διάφοροι ἀνωμαλίαι τοῦ ἐδάφους της, αἱ διαφοραὶ ὑδάτων - πετρωμάτων κ.λπ. Ἄρα, ἡ τροχιὰ πίπτοντος σώματος ἄνευ τριβῶν ἢ ἄλλων ἀντιστάσεων εἶναι ἡ *κατακόρυφος* τοῦ τόπου, εἰς τὸν ὁποῖον πίπτει τὸ σῶμα, ἡ κάθετος διεύθυνσις ἐπὶ τῆς ὁριζοντίας, ὡς καλεῖται, ἐπιφανείας ἠρεμοῦντος ὑγροῦ. Τὴν διεύθυνσιν αὐτὴν καὶ τὴν ἐκτίμησιν τῆς ὁριζοντιότητος εὑρίσκομεν διὰ τοῦ νήματος τῆς στάθμης καὶ τῶν συναφῶν ὀργάνων (σχ. 3·8 α).

Ἐφ' ὅσον ἡ κατακόρυφος ἑνὸς τόπου εἶναι ἡ ἀκτὶς τῆς σφαίρας Γῆς, ἕπεται ὅτι καὶ αἱ κατακόρυφοι διαφόρων τόπων δὲν εἶναι γενικῶς παράλληλοι εὐθεῖαι. Τοῦτο εἶναι βεβαίως δυνατὸν διὰ θέσεις τοῦ ἰδίου τόπου, ποὺ ἀπέχουν ὀλίγον μεταξύ των. Σχετικῶς πρὸς τὴν μὴ παραλληλίαν τῶν κατακορύφων ἀναφέρομεν ὅτι, ἐὰν αἱ κατακόρυφοι δύο τόπων σχηματίζουν γωνίαν 1 πρώτου λεπτοῦ τῆς μοίρας, τότε ἡ ἀπόστασις αὐτῶν εἶναι 1852 m καὶ καλεῖται *ναυτικὸν μίλιον* (μίλιον ξηρᾶς = 1760 γυάρδαι = 1609 m).



Σχ. 3·8 α.

Τὰ σώματα πίπτουν ἀπὸ ὕψος μὲ κίνησιν ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένην, διότι συμφώνως πρὸς τὸ Βον Ἀξίωμα τοῦ Νεύτωνος πᾶσα δύναμις (ἐδῶ τὸ βάρος) προκαλεῖ ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένην κίνησιν, ἐφ' ὅσον δρᾶ συνεχῶς ἐπὶ ἑνὸς σώματος. Αὐτὰ διεπιστώθησαν πειραματικῶς ἀπὸ τὸν Γαλιλαῖον καὶ τὸν Νεύτωνα μὲ τὴν βοήθειαν διαφόρων συσκευῶν. Ἀπὸ αὐτὰς θὰ ἐξετάσωμεν τὸν σωλῆνα τοῦ Νεύτωνος καὶ τὸ κεκλιμένον ἐπίπεδον.

1) *Σωλὴν τοῦ Νεύτωνος*. Ἀποτελεῖται ἀπὸ σωλῆνα ὑάλινον μήκους 2 ἕως 3 m, ἐντὸς τοῦ ὁποίου ὑπάρχουν συνήθως λεπτὸν πτίλον (πούπουλο), μία σφαῖρα ξυλίνη καὶ μικρὸς κύβος σιδηροῦς. Ὁ σωλὴν εἰς τὸ ἕνα ἄκρον φέρει στρόφιγγα διὰ νὰ δύναται νὰ συνδεθῇ πρὸς ἀεραντλίαν κενοῦ, ἐνῶ εἰς τὸ ἄλλο εἶναι κλειστός. Κατ' ἀρχὰς μὲ ἀνοικτὴν τὸν στρόφιγγα ἀνατρέπομεν τὸν σωλῆνα καὶ παρατηροῦμεν τὸν χρόνον καθόδου τῶν τριῶν σωμάτων· πρῶτος κατέρχεται ὁ κύβος, ἀκολούθως ἡ σφαῖρα καὶ τελευταῖον τὸ πτίλον. Ὁ διαφορετικὸς χρόνος καθόδου εἶναι ἀπόδειξις τῆς διαφόρου ἀντιστάσεως (τριβῆς) τῶν σωμάτων ἐντὸς τοῦ ἀέρος. Μόλις ὅμως δημιουργήσωμεν καλὸν κενὸν καὶ ἀναστρέψωμεν τὸν σωλῆνα, τότε πίπτουν ὅλα συγχρόνως, ἄρα μία μόνον ἐπιτάχυνσις ὑπάρχει εἰς κάθε τόπον δι' ὅλα τὰ σώματα. Ἤτοι ἀντιστοίχως διὰ τὰ τρία σώματα ἔχομεν:

$$B_1 = m_1 g, \qquad B_2 = m_2 g \qquad B_3 = m_3 g$$

καὶ συνεπῶς τὸ διανυόμενον διάστημα, δηλαδὴ τὸ μῆκος τοῦ σωλῆνος s θὰ εἶναι, ὡς γνωστὸν (παράγρ. 2·3):

$$\boxed{s = \frac{1}{2} g t^2}$$

Ἐπειδὴ τὸ s εἶναι τὸ αὐτὸ διὰ τὰ τρία σώματα, θὰ εἶναι καὶ g τὸ αὐτό, διότι καὶ t εἶναι τὸ ἴδιον δι' ὅλα τὰ σώματα εἰς τὸ κενόν. Εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν τὰ σώματα συναντοῦν διαφόρους τριβὰς καὶ ρεύματα (ἄνεμοι) μὲ ἀποτέλεσμα νὰ πίπτουν εἰς διαφόρους χρόνους, π.χ. μία βόμβα ἀπὸ ἀεροπλάνον πίπτει εἰς ἄλλον χρόνον ἀπὸ ὅ,τι ἕνας ἀλεξιπτωτιστής.

2) *Κεκλιμένον ἐπίπεδον*. Ἐπειδὴ ἡ ἐπιτάχυνσις τῆς Γῆς εἶναι σχετικῶς μεγάλη (9,81 m/sec^2), μελετῶμεν τὴν κίνησιν τῶν σωμάτων ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν τοῦ βάρους των διὰ τῆς ὀλισθήσεώς των ἐπὶ πολὺ λείας ἐπιφανείας (ἀμελητέα τριβὴ) ὑπὸ κλίσιν πρὸς τὸ ὁρι-

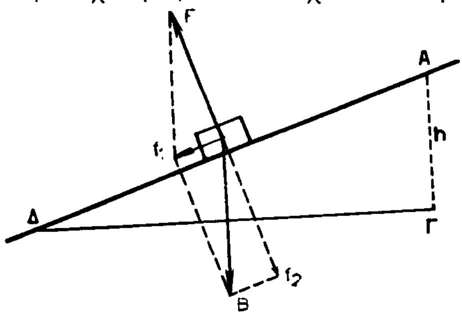
ζόντιον ἐπίπεδον. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν ἡ δύναμις, μὲ τὴν ὁποίαν ὀλισθαίνει τὸ σῶμα, εἶναι μέρος τοῦ βάρους του (συνιστῶσα). Ὡς φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 3 · 8 β:

$$\vec{B} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2$$

ἡ f_1 κινεῖ τὸ σῶμα καὶ ἡ f_2 τὸ στηρίζει ἐπὶ τοῦ κεκλιμένου ἐπιπέδου (λεία ἐπιφάνεια σανίδος ΑΔ). Μὲ κατάλληλον κλίσιν ἐπιτυγχάνομεν κίνησιν ὄχι πολὺ ταχεῖαν, ὁπότε ἐὰν παρακολουθήσωμεν τὰ διανυόμενα διαστήματα ἐπάνω εἰς τὰς διαιρέσεις τοῦ κεκλιμένου ἐπιπέδου Α ἕως Δ μὲ χρονόμετρον ἢ μὲ κινηματογραφικὴν μηχανήν, διαπιστώνομεν τοὺς Νόμους τῆς ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένης κινήσεως, ἤτοι:

$$ΑΔ = s = \frac{1}{2}\gamma t^2 \quad \text{καὶ} \quad \upsilon = \gamma t$$

Νὰ προσέξωμεν ἐπίσης ὅτι ἡ ταχύτης τοῦ σώματος εἰς τὸ ἄκρον Δ τῆς σανίδος εἶναι ἡ αὐτὴ μὲ τὴν ταχύτητα, ποὺ θὰ εἶχεν ἀποκτήσει τὸ σῶμα, ἐὰν ἔπιπτεν ἀπὸ τὴν θέσιν Α κατακορύφως εἰς τὸ Γ.



Σχ. 3 · 8 β.

Συμπέρασμα: Ἡ ἐλευθέρα ἄνευ τριβῶν καὶ ἀντιστάσεων πτῶσις σώματος ἀπὸ ἕνα ὕψος ἀκολουθεῖ κατακόρυφον τροχιὰν καὶ τοὺς νόμους τῆς ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένης κινήσεως. Τὰ αὐτὰ συμβαίνουν καὶ κατὰ τὴν πρὸς τὰ ἄνω κατακόρυφον βολήν, μὲ τὴν διαφορὰν ὅτι ἡ ἐπιτάχυνσις **g** ἔχει εἰς τοὺς τύπους τῆς κινήσεως ἀρνητικὸν σημεῖον. Ὅθεν οἱ βασικοὶ νόμοι τῆς πτώσεως γράφονται:

1) Ἄνευ ἀρχικῆς πρὸς τὰ κάτω ταχύτητος (ἄφεσις λίθου ἀπὸ χείλους φρέατος): βάθος πτώσεως $h = \frac{1}{2} g t^2 \quad \upsilon = g t$

2) Μετ' ἀρχικῆς πρὸς τὰ κάτω ταχύτητος υ_0 (ῥῖψις μὲ ὁρμὴν λίθου ἀπὸ χείλους φρέατος):

$$h = \upsilon_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$\upsilon = \upsilon_0 + \gamma t$$

3) Βολή πρὸς τὰ ἄνω μὲ ἀρχικὴν ταχύτητα υ (πυροβολισμὸς πρὸς τὰ ἄνω κατακορύφως):

$$\text{ὕψος } h = \upsilon_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\upsilon = \upsilon_0 - g_0 t$$

Μέγιστον ὕψος, ὅπου ἡ ταχύτης μηδενίζεται:

$$h = \upsilon_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad \upsilon = 0 = \upsilon_0 - g t$$

Ἄρα χρόνος μεγίστου ὕψους: $t = \frac{\upsilon_0}{g}$

καὶ $$h_{max} = \frac{\upsilon_0^2}{2g}$$

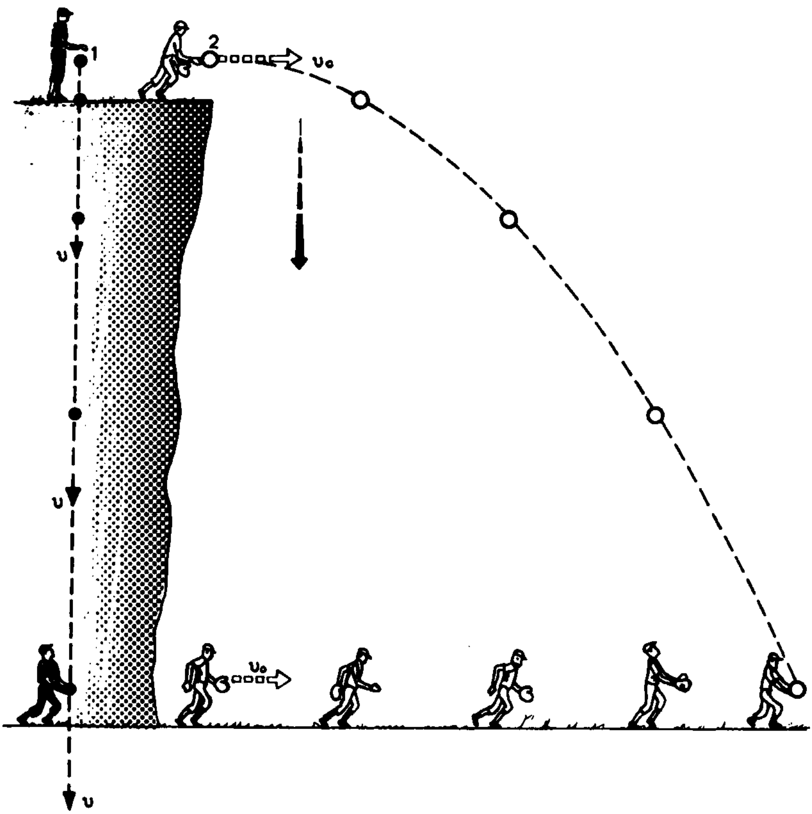
Χρόνος καθόδου = χρόνος ἀνόδου.

Ταχύτης ἀφίξεως εἰς τὴν Γῆν = ταχύτης βολῆς ἐκ τῆς Γῆς.

β) *Βολὴ ὁριζοντίως ἀπὸ ἕνα ὕψος.* Εἰς τὴν βολὴν αὐτήν, ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν ὁριζοντίου πυροβολισμοῦ ἀπὸ χείλους κρημνοῦ ἢ ἀφέσεως βόμβας ἀπὸ ὁριζοντίως καὶ ὁμαλῶς ἱπταμένου ἀεροπλάνου, ἔχομεν εἰς τὸ σῶμα, ποὺ ἀφίνομεν νὰ κινηθῆ, δύο ταχύτητας, τὴν ὁριζοντίαν ὁμαλὴν υ_0 καὶ τὴν κατακόρυφον διηνεκῶς αὐξανομένην λόγω τῆς βαρύτητος (σχ. 3 · 8 γ). Ἡ υ_0 πρέπει ὡς ἐκ τοῦ ἀξιώματος τῆς ἀδρανείας νὰ παραμένη σταθερὰ (τριβαὶ δὲν λογίζονται), ἐνῶ ἡ υ ἰσοῦται πρὸς gt, δηλαδὴ αὐξάνεται μὲ τὸν χρόνον. Συνεπεία τούτου θὰ δημιουργηθῆ μία καμπυλόγραμμος (παραβολικὴ) τροχιά, ὅπως ἡ εἰκονιζομένη κινηματογραφηθεῖσα πτῶσις μετὰ ὁριζοντίαν ἐκτίναξιν (σχ. 3 · 8 γ). Πάντως ὁ χρόνος καθόδου εἶναι ὁ αὐτὸς εἴτε πέση τὸ σῶμα κατακορύφως εἴτε δι' ἄλλης τροχιᾶς καὶ τοῦτο, διότι μόνον μία δύναμις δρᾶ, ἡ *βαρύτης*. Εἰς τὴν ὁριζοντίαν διεύθυνσιν *δὲν* ὑπάρχει δύναμις. Ἂν ὑπῆρχε, τότε θὰ ἐκινεῖτο ὁριζοντίως καὶ μὲ ἐπιτάχυνσιν, συμφώνως πρὸς τὸ Β^ον^ ἀξίωμα.

γ) *Βολὴ ὑπὸ γωνίαν.*

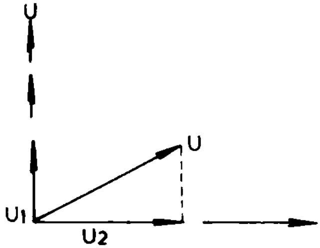
Εἰς τὴν κίνησιν αὐτὴν ἔχομεν συνδυασμὸν ἐπιβραδυνομένης πρὸς τὰ ἄνω κινήσεως καὶ ὁριζοντίας, δηλαδὴ παραλλήλου πρὸς τὸ ἔδαφος μετατοπίσεως. Ἑπομένως συμβαίνει κάτι τὸ ἀνάλογον μὲ τὴν προηγουμένην περίπτωσιν τῆς ὁριζοντίας μετακινήσεως καὶ συγχρόνου πτώσεως ἀπὸ ἕνα ὕψος.



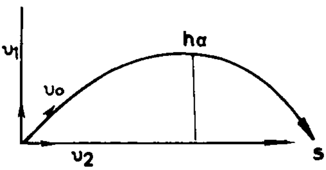
Σχ. 3·8γ.
Σύγχρονος ἄφεσις τῆς σφαίρας 1 ἐντὸς φρέατος καὶ ἐκτίναξις ὁριζοντίως τῆς σφαίρας 2 μὲ ταχύτητα $υ_0$. Ταυτόχρονος ἡ ἄφιξίς των εἰς τὸ ἴδιον ἐπίπεδον καὶ παραλαβὴ τῆς 2 ἀπὸ παρατηρητὴν τρέχοντα μὲ ταχύτητα ἐπίσης $υ_0$.

Ἡ ἀρχικὴ ταχύτης $υ_0$ ἀναλύεται εἰς δύο συνιστώσας τὴν $υ_1$, ἡ ὁποία ὁλονὲν ἐλαττοῦται μέχρι μηδενισμοῦ καὶ ἔπειτα αὐξάνεται ἀκολουθοῦσα τὴν ἀντίστροφον σειρὰν καὶ τὴν $υ_2$, ποὺ θὰ μένῃ μονίμως σταθερὰ (σχ. 3·8δ).

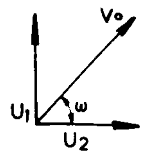
Τὸ ἀποτέλεσμα εἶναι μία καμπυλόγραμμος τροχιὰ (παραβολική) (σχ. 3 · 8 ε) ὕψους μεγίστου $h_a = v_1^2/2\,g$ καὶ μεγίστης ἀποστάσεως ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν θέσιν (βεληνεκὲς ἢ ἐμβέλεια βολῆς) $s = v_1 \cdot 2v_2/g$. Ἔτσι διὰ γωνίαν βολῆς 45° ἔχομεν τὸ μέγιστον βεληνεκὲς π.χ. διὰ $v_0 = 600$ m/sec, $v_1 = v_2 = 424$ m/sec, $v_1^2 + v_2^2 = v_0^2$ (Πυθαγόρειον) (σχ. 3 · 8 στ)· ἄρα $s = 2 \cdot 180\,000/9{,}81$, περίπου 36 km. Διὰ βολὴν ὑπὸ γωνίαν 60°, ὁπότε ἡ ἀνάλυσις θὰ δώση πάλιν $v_1^2 + v_2^2 = v_0^2$



Σχ. 3 · 8 δ.



Σχ. 3 · 8 ε.



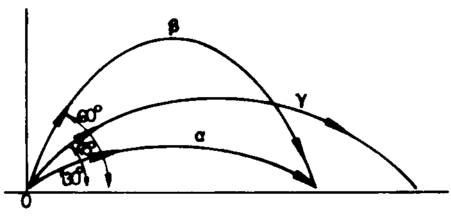
Σχ. 3 · 8 στ.

ἀλλὰ $v_2 = v_0/2$, ὁπότε ἔχομεν $v_2 = 300$ m/sec καὶ $v_1 = 516$ m/sec. Ὅθεν βεληνεκὲς $300 \cdot 2 \cdot 516/9{,}81 = 31$ km.

Μέγιστα ὕψη 45° $h_{max} = 9$ km

Διὰ 60° $h_{max} = 11{,}5$ km.

Δηλαδὴ μὲ μεγαλυτέραν τῶν 45° γωνίαν βολῆς, ὕψος μεγαλύτερον, βεληνεκὲς μικρότερον. Ἐπίσης βεληνεκὲς μικρότερον ἀλλὰ καὶ ὕψος μικρότερον μὲ γωνίαν βολῆς μικροτέραν τῶν 45°. Αὐτὰ δηλοῦν ὅτι δυνάμεθα νὰ ἐπιτύχωμεν ἕνα στόχον ἐντὸς τοῦ μεγίστου βεληνεκοῦς τῶν 45° μὲ δύο βολάς, μίαν ὑπὸ γωνίαν μικροτέραν τῶν 45° [εὐθύφορος, σχ. 3 · 8 ζ (α)] καὶ μίαν μεγαλυτέραν τῶν 45° [ἐπισκηπτικὴ σχ. 3 · 8 ζ (β)].



Σχ. 3 · 8 ζ.

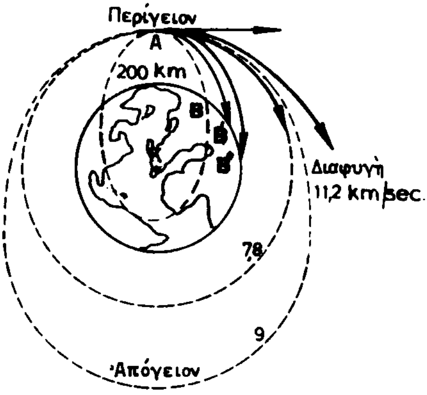
$\left.\begin{array}{l}\text{α) Βολὴ ὑπὸ γωνίαν } 30^\circ \\ \text{β) Βολὴ ὑπὸ » } 60^\circ\end{array}\right\} 90^\circ$

γ) Βολὴ ὑπὸ » 45°, τότε

βεληνεκὲς μέγιστον [σχ. 3 · 8 ζ (γ)].

3 · 9 Δορυφόροι.

Ἂς δεχθῶμεν ὅτι διὰ νὰ ἀποφύγωμεν τὰς τριβὰς - ἀντιστάσεις τῆς ἀτμοσφαίρας, δυνάμεθα νὰ ἀνέλθωμεν καὶ νὰ σταθῶμεν εἰς ἕνα ἀρκετὰ ὑψηλὸν σημεῖον Α (200 km) ὑπεράνω τῆς Γῆς (σχ. 3·9). Ἐὰν ἀπὸ ἐκεῖ ἀφήσωμεν ἐλεύθερον ἕνα σῶμα νὰ πέσῃ, τότε αὐτὸ θὰ ἀκολουθήσῃ τὴν *κατακόρυφον* ΑΚ κινούμενον μὲ ἐπιταχυνομένην κίνησιν. Ὅταν ὅμως ἐκτινάξωμεν τὸ σῶμα ὁριζοντίως μὲ ἀρχικὴν ταχύτητα $υ_0$, γνωρίζομεν ὅτι τὸ σῶμα θὰ κινηθῇ: α) ὁριζοντίως λόγῳ τῆς $υ_0$ καὶ β) κατακορύφως λόγῳ τῆς γηΐνης ἕλξεως, ὁπότε θὰ διαγράψῃ μίαν καμπύλην τροχιάν, ὅπως τὴν ΑΒ, καὶ ἂν



Σχ. 3·9.

τοῦ ἦτο δυνατὸν θὰ διέγραφε ἔλλειψιν μὲ μίαν ἑστίαν, τὸ κέντρον τῆς Γῆς Κ. Ἔστω τώρα ὅτι αὐξάνομεν τὴν $υ_0$. Φανερὸν εἶναι ὅτι ἡ τροχιὰ θὰ μεγαλώσῃ καὶ τὸ σῶμα θὰ φθάσῃ εἰς τὴν Γῆν πέραν τοῦ Β, εἰς τὸ Β'. Ἐὰν κατὰ ἀνάλογον τρόπον ἐσυνεχίζαμεν τὰς βολάς, θὰ ἐφθάναμεν εἰς τὸ Β'' καὶ τέλος πέραν ὡρισμένης ταχύτητος τὸ σῶμα πῖπτον πρὸς τὴν Γῆν δὲν θὰ τὴν ἔφθανε ποτὲ καὶ θὰ καθίστατο *δορυφόρος* τῆς Γῆς, διαγράφον ἐλλειπτικὴν τροχιάν. Ὑπάρχει ὅμως καὶ μία ὡρισμένη ταχύτης ἐξαρτωμένη ἀπὸ τὸ ὕψος τοῦ Α, ἡ ὁποία ἀποδίδει κυκλικὴν τροχιὰν καὶ εἶναι π.χ. διὰ τὰ 200 km, $υ = 7{,}79$ km/sec (σχ. 3·9).

Ὅταν ἡ ταχύτης αὐξάνῃ πέραν τῶν 8 km/sec, ἡ τροχιὰ τοῦ δορυφόρου δὲν θὰ εἶναι κυκλική, θὰ γίνεται ὁλονὲν περισσότερον ἐλλειπτικὴ καὶ θὰ ἀπέχῃ ὁ δορυφόρος ἀπόστασιν πολὺ μεγαλυτέραν ἀπὸ τὴν μίαν πλευρὰν (ἀπόγειον) παρὰ ἀπὸ τὴν ἄλλην (περίγειον). Διὰ ταχύτητας $\geqslant 11{,}2$ km/sec ἤτοι $\geqslant 40\,000$ km/h τὸ σῶμα θὰ διαφύγῃ τῆς ἐπιδράσεως τῆς Γῆς ἐξαφανιζόμενον εἰς τὸ Διάστημα. Πιθανώτατα ἐκεῖ ἢ θὰ προσκρούσῃ ἐπὶ τοῦ Ἡλίου ἢ θὰ μεταβληθῇ εἰς δορυφόρον του.

Παρατηροῦμεν ἐπομένως ὅτι διὰ νὰ γίνη ἕνα σῶμα δορυφόρος, πρέπει ὁπωσδήποτε νὰ ὑψωθῆ εἰς ἀρκετὸν ὕψος, πρὸς ἀποφυγὴν τῶν τριβῶν καὶ νὰ ἀποκτήση ὁριζοντίαν ταχύτητα μεταξὺ 8 καὶ 11,2 km/sec, ὁπότε τὸ σῶμα πῖπτον ἐλευθέρως πρὸς τὴν Γῆν καὶ κινούμενον συγχρόνως ὁριζοντίως διαγράφει τελικὰ τὴν περὶ τὴν Γῆν συνήθως ἐλλειπτικὴν τροχιάν. Ἰδιαιτέρως πρέπει καὶ πάλιν νὰ σημειώσωμεν ὅτι τὸ σῶμα γινόμενον δορυφόρος πίπτει *ἐλευθέρως καὶ συνεχῶς* πρὸς τὴν Γῆν, τὴν ὁποίαν οὐδέποτε φθάνη, ἄρα τὰ ἐντὸς τοῦ δορυφόρου ὑλικὰ δὲν θὰ δείχνουν κανένα πρὸς ἄλληλα σχετικὸν βάρος (παράγρ. 3 · 6). Ἐφ' ὅσον δὲν ὑπάρχουν τριβαὶ ἢ ἄλλα φαινόμενα (συγκρούσεις), ὁ δορυφόρος θὰ ἐξακολουθήση νὰ κινῆται περὶ τὴν γῆν ἐπ' ἄπειρον, δὲν ὑπάρχει δὲ καμμία περίπτωσις νὰ σταματήση τὴν περιφοράν του. Ὅταν ὅμως τὸ ὕψος δὲν εἶναι πολὺ μεγάλο (περίπτωσις Σποῦτνικ I, 4 Ὀκτωβρίου 1957, περίγειον 228 km, ἀπόγειον 947 km), ὁ δορυφόρος σιγά - σιγὰ χάνει ταχύτητα, λόγω τριβῆς μὲ τὴν ἐξωτάτην (ἀραιὰν) ἀτμόσφαιραν τῆς Γῆς, αἱ ἀποστάσεις του ἀπὸ τὴν Γῆν ἐλαττώνονται, αἱ τριβαὶ ὁλονὲν αὐξάνουν, ὁ δορυφόρος θερμαίνεται, πυρακτοῦται καὶ τελικὰ κονιορτοποιεῖται ἐξατμιζόμενος λόγω τῆς πολὺ ὑψηλῆς θερμοκρασίας. (Διάρκεια ζωῆς Σποῦτνικ I, 3 μῆνες).

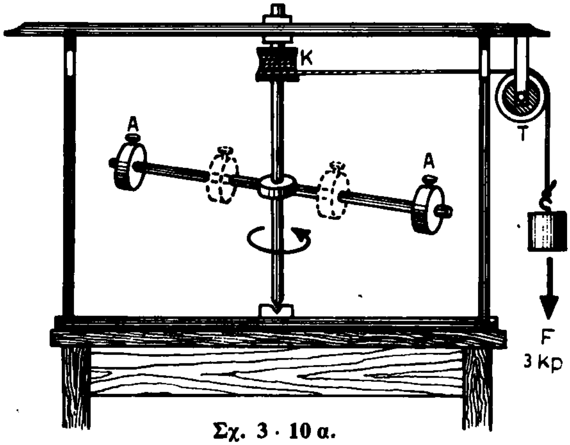
Οἱ δορυφόροι τόσον μὲ ὄργανα ὅσον καὶ μὲ ἀστροναύτας ἔχουν προσφέρει μεγίστας ὑπηρεσίας εἰς τὴν Ἐπιστήμην καὶ τὴν Τεχνικήν, ὅπως π.χ. ἡ δι' αὐτῶν πρόγνωσις τοῦ καιροῦ καὶ ἡ βελτίωσις τῶν τηλεπικοινωνιῶν. Ἐκτὸς τούτου δι' ἐλευθέρου διαστημοπλοίου ἐπετεύχθη ἡ κατάκτησις τῆς Σελήνης ὑπὸ τῶν Ἀμερικανῶν ἀστροναυτῶν τὸν Ἰούλιον τοῦ 1969.

3 · 10 Ροπὴ ἀδρανείας στρεφομένου σώματος.

Θὰ μελετήσωμεν τώρα τὰ ἀποτελέσματα μιᾶς σταθερᾶς καὶ συνεχῶς ἐπιδρώσης ροπῆς M ἐπὶ σώματος, ποὺ δυνατὸν νὰ στραφῆ μὲ ἀμελητέας τριβάς.

Πρὸς τὸν σκοπὸν αὐτὸν ἃς ἐπιχειρήσωμεν τὸ ἀκόλουθον πείραμα : Διαθέτομεν μίαν συσκευήν, ὅπως αὐτὴν τοῦ σχήματος 3 · 10 α, ἡ ὁποία συνίσταται κυρίως ἀπὸ ἕνα κύλινδρον K μὲ ἄξονα προεκτεινόμενον εἰς σχῆμα σταυροῦ, ὥστε νὰ εἶναι δυνατὸν νὰ μεταθέτωμεν δύο μάζας A καὶ νὰ τὰς στερεώνωμεν εἰς ὡρισμένας ἀποστάσεις.

Ὁ κύλινδρος (ἔστω ἀκτῖνος r = 20 cm) φέρει μικρὰν αὔλακα, ὅπου τυλίγομεν λεπτὸν σύρμα ἢ στερεὸν νῆμα καὶ διὰ τῆς τροχαλίας Τ ἀσκεῖται διὰ βαριδίου ἡ σταθερὰ δύναμις F(π.χ. 3 kp) *.



Σχ. 3 · 10 α.

Τοῦτο σημαίνει ὅτι δρᾷ ἐπὶ τοῦ κυλίνδρου μία ροπὴ M = F · r, ἤτοι ἀριθμητικῶς 30 × 0,2 m = 6 Nm, διότι τὰ 3 kp εἰς τὸ μετρικὸν σύστημα ἰσοδυναμοῦν μὲ 30 Newton περίπου καὶ τὰ 20 cm = 0,2 m.

Ἐὰν ἐπιτρέψωμεν εἰς τὸ σύστημα νὰ στραφῇ, παρακολουθοῦμεν τὰς στροφάς του καὶ δυνάμεθα μὲ κατάλληλον χρονόμετρον νὰ μετρήσωμεν τὸν χρόνον κάθε στροφῆς. Ἂς δεχθῶμεν ὅτι αἱ μετρήσεις μᾶς ἔδωσαν τὸν ἑξῆς πίνακα:

Γωνία	Τέρμα	Χρόνος	Διάρκεια στροφῆς
2π	1ης στροφῆς	2,10 sec	2,10 sec
4π	2ας »	3,00 »	0,90 »
6π	3ης »	3,70 »	0,70 »
8π	4ης »	4,25 »	0,55 »
. . .	. . . .	. . . . .	. . . .

Παρατηροῦμεν ὅθεν τὴν ἐπιταχυνομένην στροφικὴν κίνησιν, διότι μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου κάθε στροφὴ διαρκεῖ ὀλιγώτερον χρόνον ἢ ἄλλως εἰς τὸν αὐτὸν χρόνον αὐξάνει ὁλονὲν ὁ ἀριθμὸς τῶν

* Σημείωσις: Ἐφ' ὅσον πίπτει τὸ βαρίδιον καὶ δὴ μὲ ἐπιτάχυνσιν, ἡ δρῶσα δύναμις F εἶναι μικροτέρα τῶν 3 kp, ἡ ὁποία δρᾷ κατὰ τὴν ἐκκίνησιν. Τὴν διαφορὰν αὐτὴν παραλείπομεν θεωροῦντες μικρὰν τὴν ἐπιτάχυνσιν καθόδου τῶν 3 kp.

στροφῶν καὶ μάλιστα κατὰ ὁμαλὸν τρόπον, δηλαδὴ ὄχι ἀποτόμως. Συμπεραίνομεν λοιπὸν ὅτι, ὅπως μία δύναμις δρῶσα σταθερῶς καὶ συνεχῶς προσδίδει εἰς ἕνα σῶμα ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένην μετακίνησιν, ἔτσι καὶ μία σταθερὰ ροπὴ δρῶσα συνεχῶς ἐπὶ στρεπτοῦ σώματος προσδίδει εἰς αὐτὸ ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένην στροφικὴν κίνησιν.

Ἐπειδὴ δυνάμεθα νὰ γράψωμεν διὰ τὴν δρᾶσιν μιᾶς δυνάμεως τὴν γνωστήν μας θεμελιώδη ἐξίσωσιν τῆς Δυναμικῆς:

$$\boxed{F = m \cdot \gamma}$$

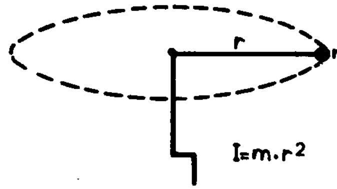
ἔτσι διὰ τὴν ροπὴν γράφομεν τὴν ἀνάλογον σχέσιν:

$$\boxed{M = I \cdot \omega'}$$ ἤτοι

ἡ ροπὴ εἶναι ἀνάλογος τῆς γωνιακῆς ἐπιταχύνσεως.

Καὶ ὅπως εἰς τὴν θεμελιώδη ἐξίσωσιν τῆς Δυναμικῆς τὸ πηλίκον F/γ ὁρίζει τὴν μᾶζαν (μέτρον ἀδρανείας) τοῦ ὑλικοῦ σώματος, ἔτσι καὶ εἰς τὴν στροφικὴν κίνησιν πρέπει τὸ πηλίκον M/ω' νὰ ἐκφράζῃ τὴν ἀδράνειαν τοῦ στρεπτοῦ σώματος εἰς τὴν ροπήν, ποὺ προσπαθεῖ νὰ τὸ στρέψῃ. Ἐκ τῆς ἀναλογίας αὐτῆς προκύπτει ὁ χαρακτηρισμὸς τοῦ πηλίκου $M/\omega' = I$ ὡς *ροπῆς ἀδρανείας* τοῦ στρεπτοῦ σώματος.

Ἡ ὀνομασία ροπὴ ἀδρανείας δυνατὸν νὰ παρεξηγηθῇ καὶ νὰ νομίσωμεν ὅτι ἡ ἀδράνεια εἶναι δύναμις καὶ παρέχει ὡς πρὸς ἄξονα μίαν ροπήν. Τοῦτο εἶναι ἄτοπον· ἡ ροπὴ τῆς ἀδρανείας εἶναι μέγεθος πολὺ ὅμοιον μὲ τὴν μᾶζαν. Ὅπως εἰς τὴν μετακίνησιν ἑνὸς σώματος λόγω δυνάμεως, ἡ μᾶζα τοῦ σώματος παρουσιάζει ἐξ ἀδρανείας ἀντίδρασιν, ἔτσι καὶ εἰς τὸν ἐξαναγκασμὸν ἑνὸς στρεπτοῦ σώματος διὰ νὰ ἀρχίσῃ τὰς στροφάς του, ἡ ἀντίδρασις θὰ παρουσιασθῇ ἀπὸ τὴν ροπὴν ἀδρανείας του.



Σχ. 3 · 10 β.

Μαθηματικῶς, δι' ἕνα ὑλικὸν σημεῖον μάζης m, ποὺ στρέφεται εἰς ἀπόστασιν r ἀπὸ ἕνα ἄξονα (σχ. 3 · 10 β), ὅπως π.χ. μία μικρὰ σφαῖρα, τὴν ὁποίαν περιστρέφομεν δεμένην μὲ ἕνα νῆμα ἀπὸ ἄξονα, ἡ ροπὴ ἀδρανείας ὑπολογίζεται ὡς ἴση πρὸς τὸ γινόμενον $m \cdot r^2$ καὶ ἔχει μονάδας εἰς τὸ μετρικὸν σύστημα $kg \cdot m^2$ ἢ εἰς τὸ C, G, S, $g \cdot cm^2$.

Ἤτοι *ἡ ροπὴ ἀδρανείας ἑνὸς ὑλικοῦ σημείου ὡς πρὸς ἄξονα εἶναι ἴση πρὸς τὴν μᾶζαν τοῦ ὑλικοῦ σημείου ἐπὶ τὸ τετράγωνον τῆς ἀποστάσεώς του ἀπὸ τὸν ἄξονα.*

$$\boxed{I = m \cdot r^2}$$

Προκειμένου δι' ὑλικὸν σῶμα ἡ ροπὴ ἀδρανείας θὰ εὑρεθῇ, ὅταν ἀθροίσωμεν ὅλα τὰ γινόμενα $m \cdot r^2$, δηλαδὴ ὅλα τὰ ὑλικὰ σημεῖα ἐπὶ τὰ τετράγωνα τῶν ἀποστάσεών των ἀπὸ τοῦ ἄξονος· ὥστε $I =$ ἄθροισμα ὅλων τῶν ὑπαρχόντων γινομένων $m \cdot r^2$.

Ὁ ὑπολογισμὸς αὐτὸς γίνεται συνήθως μὲ ἀνώτερα Μαθηματικά, πειραματικῶς ὅμως εὑρίσκομεν τὴν ροπὴν ἀδρανείας, ἂν γνωρίζωμεν τὴν ἐξασκουμένην ροπὴν Μ καὶ τὴν διαιρέσωμεν διὰ τῆς παρουσιαζομένης γωνιακῆς ἐπιταχύνσεως ω'.

Εἰς τὸ παράδειγμά μας (Πίναξ σελ. 79) ἡ γωνιακὴ ἐπιτάχυνσις ω' εὑρίσκεται ἐκ τύπου τελείως ἀναλόγου πρὸς τόν:

$$s = \frac{1}{2}\gamma t^2, \qquad \varphi = \frac{1}{2}\omega' t^2$$

ὅπου φ ἡ γωνία καὶ t ὁ χρόνος.

Μὲ ἄλλους λόγους εἰς τὴν γνωστήν μας σχέσιν τοῦ διαστήματος τῆς ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένης κινήσεως $s = \frac{1}{2}\gamma t^2$ ἀντικαθιστῶμεν τὸ διάστημα s διὰ τῆς γωνίας φ καὶ τὴν συνήθη ἐπιτάχυνσιν γ διὰ τῆς γωνιακῆς τοιαύτης ω'. Συνεπῶς ἔχομεν βάσει τοῦ πίνακος τῶν μετρήσεων:

$$1\eta \text{ στροφὴ} \rightarrow 2\pi = \frac{1}{2}\,\omega'\,(2{,}1)^2$$

$$2\alpha \text{ στροφὴ} \rightarrow 4\pi = \frac{1}{2}\,\omega'\,(3{,}0)^2$$

. . . . ἐκ τῶν ὁποίων εὑρίσκομεν κατὰ προσέγγισιν δεκάτου:

$\omega' = 2{,}8\ \text{sec}^{-2}$, ἤτοι 2,8 ἀκτίνια ἀνὰ sec διὰ κάθε sec. Ὑπενθυμίζομεν, γωνία ἑνὸς ἀκτινίου εἶναι περίπου 57°.

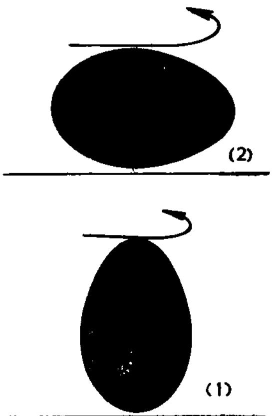
Ἐργαζόμενοι τώρα εἰς τὸ μετρικὸν σύστημα, ὅπου ἡ μᾶζα, ὡς γνωστόν, ἐκφράζεται εἰς kg καὶ ἡ δύναμις εἰς Νιοῦτον, μετατρέπομεν τὸ ἀναρτηθὲν βάρος τῶν 3 kp εἰς Νιοῦτον καὶ ἔχομεν περίπου 30 Νιοῦτον. Ἑπομένως ἡ ἐφαρμοζομένη ροπὴ δυνάμεως θὰ εἶναι $30 \cdot 0{,}2 = 6$ Nm, ἄρα:

$$I = \frac{M}{\omega'} = 6\ \mathrm{Nm}/2{,}8\ \mathrm{sec}^{-2} = 2{,}1\ \mathrm{kgm}^2\ (\text{διότι}\ \mathrm{N} = \mathrm{kg}\cdot\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{sec}^2}).$$

Ἤτοι ἡ ροπὴ ἀδρανείας I τοῦ στρεφομένου συστήματος, δηλαδὴ τοῦ κυλίνδρου καὶ τῶν μεταθετῶν μαζῶν εἰς τὴν θέσιν ποὺ εὑρίσκονται, εἶναι $2{,}1\ \mathrm{kgm}^2$.

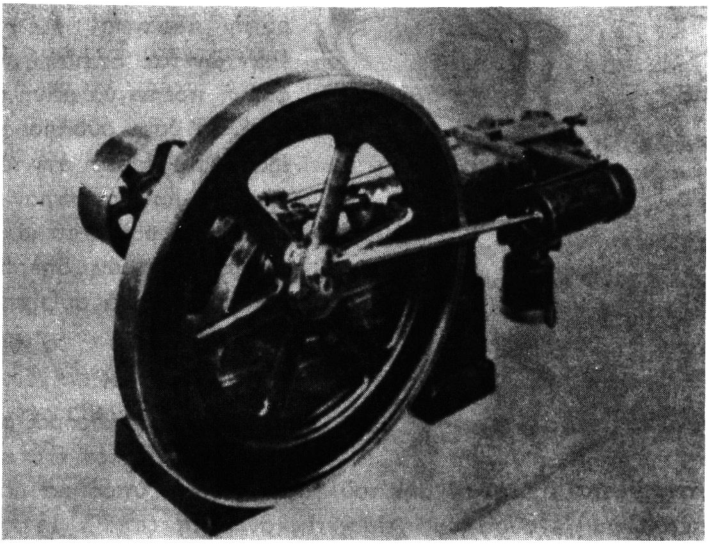
Δυνάμεθα τώρα νὰ αὐξομειώσωμεν τὴν ροπὴν ἀδρανείας I, διὰ τῆς μεταθέσεως τῶν προσθέτων μαζῶν Α, Α. Πράγματι, ἐὰν τὰς πλησιάσωμεν πρὸς τὸν ἄξονα, αἱ ἀποστάσεις ἐλαττώνονται, ἡ ροπὴ ἀδρανείας μικραίνει, μὲ συνέπειαν τὸ σύστημά μας νὰ στρέφεται ταχύτερον, δηλαδὴ εἶναι ὡς νὰ ἐλάφρυνε τὸ σῶμα. Ἀντιθέτως, μὲ τὴν ἀπομάκρυνσιν τῶν μαζῶν ἀπὸ τοῦ ἄξονος, τὸ σύστημα γίνεται ἀδρανέστερον καὶ δὲν στρέφεται εὐκόλως, ἀλλὰ φυσικὰ καὶ δὲν σταματᾶ λόγω ἀδρανείας ἀμέσως, ὅταν τὸ πεδήσωμεν (φρενάρωμεν).

Ἕνα στερεὸν σῶμα γνωστῆς σταθερᾶς μάζης εἶναι δυνατὸν νὰ ἀποκτήσῃ διαφόρους ροπὰς ἀδρανείας ἀναλόγως πρὸς ποῖον ἄξονα στροφῆς τὸ ἐξετάζομεν. Π.χ. ἕνα βρασμένον αὐγὸν (σχ. 3 · 10 γ) δύναται νὰ στραφῇ κατὰ τὸν διαμήκη ἄξονά του (1), ποὺ εἶναι ἄξων μικρᾶς ροπῆς ἀδρανείας, διότι αἱ μᾶζαι τοῦ αὐγοῦ εὑρίσκονται σχετικῶς πλησίον αὐτοῦ. Δυνατὸν ὅμως νὰ στραφῇ καὶ κατὰ τὸν κάθετον ἄξονά του (2), ὅπου ἡ I αὐξάνει. Εἰς αὐτὸν τὸν ἄξονα τῆς μεγάλης I ἡ κίνησις εἶναι εὐσταθεστέρα καὶ συντηρεῖται ἐπὶ πολύ, δηλαδὴ ὅπως ἡ μεγάλη μᾶζα δυσκόλως ἐπιταχύνεται καὶ κινουμένη δυσκόλως σταματᾶ, ἔτσι καὶ ἕνα στρεπτὸν σῶμα περὶ ἄξονα μὲ τὴν μεγάλην ροπὴν ἀδρανείας δυσκόλως περιστρέφεται, ἀλλ' ἅπαξ στρεφόμενον δυσκόλως θὰ τοῦ ἀνακόψωμεν τὰς στροφάς του.



Σχ. 3 · 10 γ.

Μᾶς συμφέρει ἑπομένως πολλὰς φορὰς νὰ στρέφωμεν τὰ σώματα περὶ ἄξονα μεγάλης ροπῆς ἀδρανείας διὰ νὰ ἔχωμεν ὁμαλότητα κινήσεως καὶ διατήρησιν αὐτῆς (Κεφάλ. 4, ἐνέργεια, ἰσχύς). Αὐτὸς εἶναι ὁ λόγος, ποὺ ὁ πρῶτος τροχὸς (σφόνδυλος) μιᾶς μηχανῆς, εἴτε βενζινομηχανῆς εἴτε ἀτμομηχανῆς, εἶναι μεγάλος καὶ ἔχει πολλὴν μᾶζαν εἰς τὰ ἄκρα του, ὥστε τὰ γινόμενα $m \cdot r^2$ νὰ δώσουν ἀθροιζόμενα μεγάλην ροπὴν ἀδρανείας καὶ κατὰ συνέπειαν εὐστάθειαν στροφικῆς κινήσεως (σχ. 3 · 10 δ).



Σχ. 3 · 10 δ.

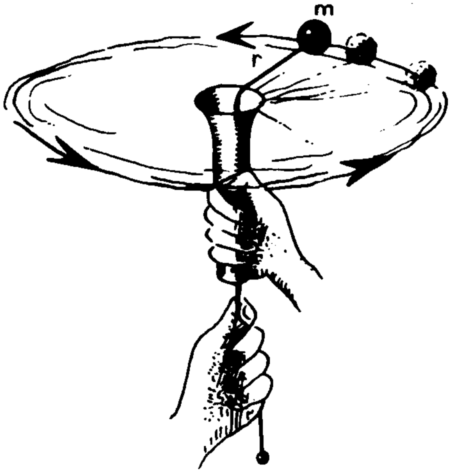
3 · 11 Στροφορμή.

Μὲ τὸ μέγεθος τῆς ροπῆς ἀδρανείας καὶ τὴν γωνιακὴν ταχύτητα ω (ὄχι τὴν γωνιακὴν ἐπιτάχυνσιν ω') ἑνὸς στρεπτοῦ σώματος συνδέεται ἕνα φυσικὸν μέγεθος, ἀνάλογον πρὸς τὴν ὁρμὴν ($mυ$) τῶν μετακινουμένων σωμάτων, ἡ *στροφορμὴ* Ιω. Ἐδῶ πάλιν χρησιμοποιοῦμεν τὴν γνωστὴν σχέσιν : ὁρμὴ = μᾶζα × ταχύτητα καὶ τὴν τροποποιοῦμεν εἰς στροφορμὴ = ροπὴ ἀδρανείας × γωνιακὴν ταχύτητα.

Ὅ,τι γνωρίζομεν διὰ τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς, ἀντιστοίχως ἰσχύει διὰ τὴν διατήρησιν τῆς στροφορμῆς· μερικὰ παραδείγματα θὰ μᾶς τὸ καταστήσουν σαφέστερον:

Παράδειγμα 1ον.

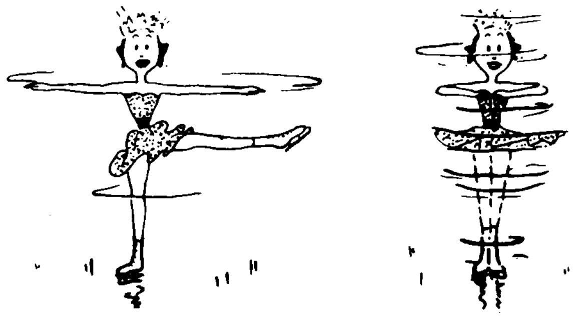
Ἔχομεν ἕνα σωλῆνα καὶ διὰ μέσου αὐτοῦ διέρχεται ἕνα νῆμα, ποὺ καταλήγει εἰς μίαν σφαῖραν (σχ. 3 · 11 α). Στρέφομεν τὸν σωλῆνα, ὁπότε ἀρχίζει καὶ περιστρέφεται ἡ σφαῖρα. Τὸ νῆμα τὸ κρατοῦμε στερεωμένον, διότι λόγῳ τῆς φυγοκέντρου δυνάμεως σύρεται ἀπὸ τὴν σφαῖραν πρὸς τὰ ἔξω. Ἐνῶ τώρα ἡ σφαῖρα γυρίζει, σύρομεν σιγὰ - σιγὰ τὸ νῆμα, ἡ ἀπόστασις r βραχύνεται, ἄρα ἡ ροπὴ ἀδρανείας $I = m \cdot r^2$ ἐλαττώνεται. Ἐπειδὴ ἡ στροφορμὴ πρέπει νὰ μείνῃ σταθερά, ἐφ' ὅσον οὐδεμία ροπὴ ἐξασκεῖται, ἕπεται ὅτι τὸ γινόμενον $I\omega =$ σταθερὸν καὶ διὰ μικρότερον I, τὸ ω γίνεται μεγαλύτερον, δηλαδὴ ἡ σφαῖρα μόνη θὰ αὐξήσῃ τὰς στροφάς της.



Σχ. 3 · 11 α.

Παράδειγμα 2ον.

Μία παγοδρόμος περιστρέφεται εἰς τὸν ἕνα πόδα της (στηρίζεται εἰς τὴν αἰχμὴν τοῦ παγοπεδίλου — ὑπόδημα μὲ κόψιν μεταλλικήν), ἔχουσα τὰς χεῖρας της ἀνοικτὰς (σχ. 3 · 11 β). Ἡ ροπὴ ἀδρανείας της εἶναι προφανῶς μεγάλη, ἐνῶ ἂν συμμαζευθῇ γύρω εἰς τὸν ἄξονα γίνεται μικρά. Πράγματι, μόλις κλείσῃ τὰς χεῖρας της καὶ θέσῃ τοὺς πόδας τὸν ἕνα κοντὰ εἰς τὸν ἄλλον, αἱ στροφαί της αὐξάνουν πάρα πολύ.



Σχ. 3 · 11 β.
I μεγάλον, ω μικρὸν   I μικρόν, ω μεγάλον
$I\omega =$ σταθερό.

Παράδειγμα 3ον.

Ὅταν λάβωμε μίαν πέτραν λεπτήν, ἐπίπεδον καὶ τὴν ρίψωμεν εἰς τὴν θάλασσαν στρέφοντες αὐτὴν εἰς ἄξονα μεγάλης I κατακόρυφον, τότε ἡ στροφορμὴ διατηρουμένη συγκρατεῖ τὴν πέτραν ὁριζοντίαν καὶ δι' αὐτὸ εἰς τὴν θάλασσαν ἀνακλᾶται προσκρούουσα μὲ τὸ πλάτος αὐτῆς καὶ ὄχι μὲ τὴν κόψιν. Εἰς τὴν διατήρησιν τοῦ ἄξονος τῆς στροφορμῆς στηρίζεται καὶ ἡ περιστροφή, ποὺ δίδει ὁ δισκοβόλος ἀθλητὴς εἰς τὸν δίσκον του, διὰ νὰ δυνηθῆ νὰ ἀποκτήση μὲ τὴν βοήθειαν καὶ τῆς στηρίξεως λόγω ἀντιστάσεως τοῦ ἀέρος (βλ. πτέρυγα ἀεροπλάνου) μεγαλύτερον μῆκος ἡ βολὴ τοῦ δίσκου του, διότι ἄνευ ὡρισμένης φορᾶς στροφορμῆς ὑπάρχει κίνδυνος ὁ δίσκος νὰ στροβιλίζεται ἀτάκτως καὶ νὰ μὴ φθάση εἰς μεγάλην ἀπόστασιν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 4

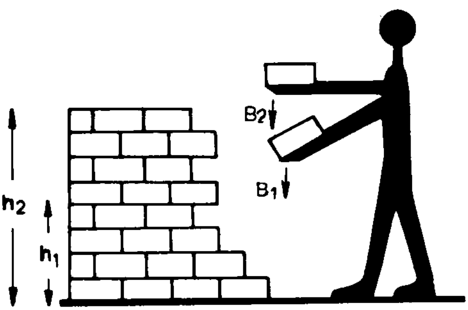
ΕΡΓΟΝ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΙΣΧΥΣ

4 · 1 Ἔργον δυνάμεως.

Ὁ ἄνθρωπος ἀπὸ τῆς ἐμφανίσεώς του ἐπὶ τῆς Γῆς, ἤρχισε νὰ ἀποκτᾷ πεῖραν τοῦ κόπου, ποὺ καταβάλλει διὰ νὰ ὑψώσῃ ἕνα ὑλικὸν σῶμα, δηλαδὴ νὰ μετακινήσῃ πρὸς τὰ ἄνω τὸ κέντρον βάρους τοῦ σώματος, ἀκόμη καὶ τοῦ ἰδικοῦ του σώματος, μὲ ἄλλους λόγους νὰ σηκωθῇ ἢ καὶ νὰ ἀνέβῃ εἰς ἕνα ὕψωμα.

Διὰ νὰ ἀποφύγῃ μάλιστα νὰ κοπιάσῃ ἐξηνάγκασε ἄλλους ἀνθρώπους (δούλους) ἢ καὶ ἐπλήρωσε αὐτοὺς μὲ χρήματα ἢ μὲ εἴδη διὰ νὰ ἐπιτύχῃ τελικῶς τοῦ σκοποῦ του.

Ἑπομένως, ὅλοι γνωρίζομεν ἀπὸ τόσων αἰώνων πεῖραν ὅτι ἡ μετακίνησις τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς μιᾶς δυνάμεως (π.χ. τοῦ βάρους) ἀντιθέτως πρὸς τὴν φοράν της ἀπαιτεῖ ἐκ μέρους μας καταβολὴν προσπαθείας, κάποιας κοπώσεως. Πράγματι, ἂν θελήσωμεν νὰ ἀνεβάσωμεν τοῦβλα εἰς ἕνα τοῖχον, θὰ κουρασθῶμεν τόσον περισσότερον, ὅσον τὸ τοῦβλον ποὺ θὰ σηκώσωμεν εἶναι βαρύτερον καὶ ὅσον τὸ ὕψος τῆς σειρᾶς, ποὺ θὰ τὸ τοποθετήσωμεν, εἶναι ἐν σχέσει πρὸς τὸ πάτωμα μεγαλύτερον (σχ. 4 · 1 α).



Σχ. 4 · 1 α.

Δυνάμεθα λοιπὸν νὰ ὁρίσωμεν ἕνα φυσικὸν μέγεθος ἀντίστοιχον μὲ τὸν κόπον, ποὺ καταβάλλομεν κάθε φοράν, καὶ νὰ τὸ ὀνομάσωμεν γενικῶς *ἔργον*.

Καλοῦμεν ὅθεν ἔργον δυνάμεως A διὰ τὴν περίπτωσιν δυνάμεως, τῆς ὁποίας τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς μετακινεῖται, ἕνα φυσικὸν μέγεθος, τοῦ ὁποίου τὴν τιμὴν εὑρίσκομεν πολλαπλασιάζοντες τὴν δύναμιν F ἐπὶ τὴν διαδρομὴν s τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς της καὶ αὐτὴν μόνον κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς δυνάμεως. Ὅταν ἡ F καὶ ἡ διαδρομὴ s σχηματίζουν γωνίαν φ, τότε ὡς διαδρομὴ λαμβάνεται ἡ προβολὴ τῆς s ἐπὶ τῆς διευθύνσεως τῆς F.

Ἐκ τοῦ ὁρισμοῦ τοῦ ἔργου προκύπτει ὅτι ἡ διαδρομὴ πρέπει νὰ ὑπολογίζεται μόνον κατὰ μῆκος τῆς διευθύνσεως τῆς δυνάμεως καὶ ὄχι διὰ κάθε τυχοῦσαν διαδρομήν. Ἐπίσης, ἂν ἡ διαδρομὴ γίνεται ἀφ' ἑαυτῆς λόγῳ τῆς δυνάμεως (π.χ. πτῶσις τοῦ βιβλίου), τότε τὸ Ἔργον μᾶς παρέχεται, μᾶς ἐξυπηρετεῖ, εἶναι δι' ἡμᾶς θετικόν, εἶναι κέρδος. Τὸ ἀντίθετον συμβαίνει, ὅταν ἔχωμεν μετακινήσεις ἀντιθέτους πρὸς τὴν φορὰν τῆς δυνάμεως.

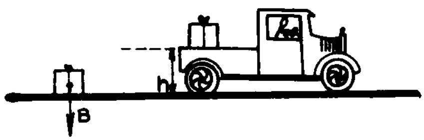
Βάσει τῶν ἀνωτέρω γράφομεν γενικῶς $A = F \cdot s \cdot$ συνφ (ἐσωτερικὸν γινόμενον).

$A = \pm F \cdot s$ διὰ s παράλληλον πρὸς F

$A = 0$ διὰ s κάθετον πρὸς F.

Παράδειγμα.

Ἔστω ἕνα ἀντικείμενον ἐν ἠρεμίᾳ, π.χ. ἕνα κιβώτιον βάρους B (5 kp), ποὺ πρέπει νὰ φορτωθῇ εἰς αὐτοκίνητον, τοῦ ὁποίου τὸ δάπεδον ἀπέχει τοῦ ἐδάφους 1,2 m (σχ. 4·1 β). Ἐφ' ὅσον τὸ κιβώτιον κινηθῇ, τὸ κέντρον βάρους του θὰ κινηθῇ ἀντιθέτως πρὸς τὴν βαρύτητα. Διὰ τοῦτο πρέπει νὰ καταβληθῇ ἐκ μέρους μας ἔργον:



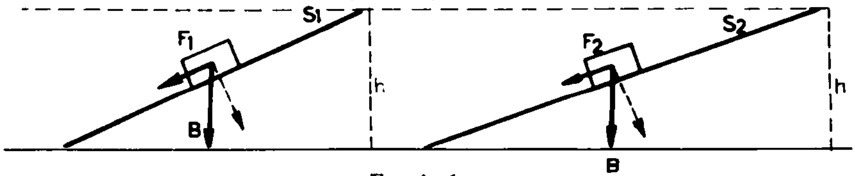
Σχ. 4·1 β.

$A = F \cdot s = B \cdot h$ ἤτοι $5 \times 1{,}2 = 6$ kp · m (Κιλοπόντμετρα ἢ ἄλλως χιλιογραμμόμετρα).

Τώρα τὸ κιβώτιον ἐτέθη εἰς τὸ δάπεδον τοῦ αὐτοκινήτου καὶ τὸ ὠθοῦμεν ἀργὰ-ἀργὰ πρὸς τὸ ἐσωτερικόν. Ἔχομεν ἔργον ἢ ὄχι; Ἡ ἀπάντησις εἶναι ὄχι ὡς πρὸς τὴν βαρύτητα, διότι ἡ νέα διαδρομὴ γίνεται ὁριζοντίως καὶ τὸ κέντρον βάρους δὲν μετακινεῖται κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς βαρύτητος, ποὺ εἶναι ἡ κατακόρυφος, δηλαδὴ οὔτε ἀνέρχεται οὔτε κατέρχεται.

Ἐμφανίζεται ὅμως μία νέα δύναμις, ἡ *τριβή*, ἡ ὁποία ἀναπτύσσεται ὁριζοντίως εἰς τὴν ἐπαφὴν τοῦ κιβωτίου πρὸς τὸ δάπεδον. Ἑπομένως, ὡς πρὸς τὴν δύναμιν αὐτὴν ἔχομεν ἔργον, ὅταν ὠθοῦμε τὸ κιβώτιον ὁριζοντίως, δηλαδὴ κάποιο ἔργον θὰ καταβάλωμεν διὰ νὰ κατορθώσωμεν νὰ μετακινήσωμεν τὸ κιβώτιον ἀπὸ τὸ ἄκρον πρὸς τὸ μέσον τοῦ αὐτοκινήτου, ἐκτὸς ἂν δὲν ὑπάρχουν τριβαί, ὁπότε καὶ τὸ ἔργον αὐτὸ μηδενίζεται.

Τέλος, ἀντὶ νὰ ἀνεβάσωμεν τὸ κιβώτιον κατακορύφως, δυνάμεθα νὰ τοποθετήσωμεν μίαν σανίδα (κεκλιμένον ἐπίπεδον) μεταξὺ ἐδάφους καὶ αὐτοκινήτου, ὁπότε εὐκολώτερον θὰ ἀνεβάσωμεν τὸ κιβώτιον εἰς τὸ αὐτοκίνητον (σχ. 4 · 1 γ).

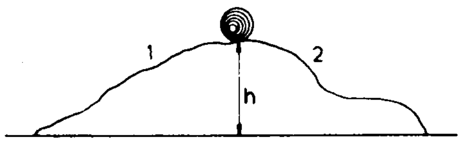


Σχ. 4 · 1 γ.

Τί συμβαίνει τότε, ἐλαττώνεται τὸ ἔργον; Ἡ ἀπάντησις εἶναι ἀρνητική, τὸ ἔργον μένει τὸ ἴδιον, μόνον ποὺ ἐμεγαλώσαμεν τὴν διαδρομὴν καὶ ἐμειώσαμεν τὴν δύναμιν. Ὥστε πάντοτε καὶ ἀνεξαρτήτως τῆς διαδρομῆς ἰσχύει ἡ σταθερὰ τιμή, ἐφ' ὅσον παραμελοῦμεν τὰς τριβάς:

$$A = B \cdot h = F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 = \ldots\ldots$$

Ἐπίσης ἡ πτῶσις ἑνὸς σώματος π.χ. μιᾶς σφαίρας (ἂν παραμεληθοῦν αἱ τριβαί), θὰ δώσῃ τὸν ἴδιον ἔργον, ὅταν πέσῃ ἀπὸ ὕψους h ἀνεξαρτήτως τοῦ δρόμου πτώσεως (σχ. 4 · 1 δ).



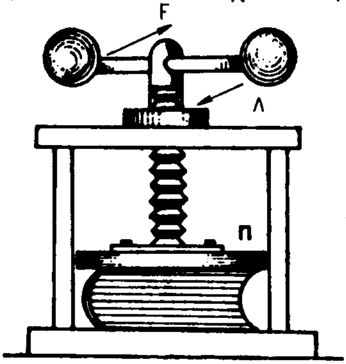
Σχ. 4 · 1 δ.

Τὸ ἔργον αὐτὸ τῆς πτώσεως τὸ ἐκμεταλλευόμεθα κυρίως εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ ὕδατος, ὅταν διὰ κατασκευῆς φραγμάτων συλλέγωμεν αὐτὸ καὶ διὰ καταλλήλων σωλήνων τὸ ἀφήνωμεν νὰ προσπέσῃ ἐπὶ πτερυγίων μηχανῆς παράγοντες οὕτω χρήσιμον δι' ἡμᾶς ἔργον ἀκόπως.

4 · 2 Ἔργον ροπῆς.

Γνωρίζομεν ὅτι καταβάλλομεν ἔργον δυνάμεως $A = F \cdot s$, ὅταν τανύωμεν (τεντώνωμεν) ἕνα ἐλατήριον ἔναντι τοῦ στηρίγματός του. Τί συμβαίνει ὅμως, ὅταν «κουρδίζωμεν» ἕνα ἐλατήριον ἢ ὅταν ἀντὶ μετακινήσεως τοῦ σώματος ἔχωμεν στροφὴν αὐτοῦ, ὅπως εἰς τὴν πρέσσαν τῶν βιβλιοδετῶν. Διατί κοπιάζομεν διὰ νὰ ἐπιτύχωμεν τὴν στροφὴν τοῦ ἄξονος (σχ. 4·2 α);

Πρέπει λοιπὸν νὰ ἀναζητήσωμεν καὶ πάλιν τὴν καταβολὴν ἔργου. Ἐδῶ ὅμως τὸν ρόλον τῆς δυνάμεως, ὅπως εἰς κάθε περίπτωσιν στροφῆς, παίζει ἡ ροπή, ποὺ ἐξασκοῦμεν καὶ ἀντὶ τῆς διαδρομῆς s, ἡ διαγραφομένη γωνία φ. Ὥστε τὸ ἔργον ροπῆς θὰ εὑρεθῇ ἐὰν πολλαπλασιάσωμεν τὴν ροπὴν Μ ἐπὶ τὴν γωνίαν φ, ἤτοι $A = M \cdot \varphi$ καὶ διὰ πλήρη περιστροφή: $\varphi = 2\pi$, $A = M \cdot 2\pi$.



Σχ. 4·2 α.

Ἀριθμητικὸν Παράδειγμα.

Κουρδίζομεν τὸ ἐλατήριον ἑνὸς παιγνιδίου, ἐξασκοῦντες ἐπὶ τοῦ κλειδίου του μήκους 3 cm ζεῦγος δυνάμεων, ἑκάστη τῶν ὁποίων ἰσοῦται πρὸς 2 kp. Ἐκτελοῦμεν συνολικῶς 20 πλήρεις στροφάς. Πόσον τὸ καταβληθὲν ἔργον;

Ροπὴ $M = 2 \times 0{,}03 = 0{,}06$ kpm. Ἔργον $= M \times 2\pi \times 20$

$A = 0{,}06 \times 2 \times 3{,}14 \times 20 = 7{,}53$ kpm.

Τοῦτο δηλοῖ ὅτι παράγομεν τὸ ἴδιον ἔργον, ὡσὰν νὰ ἐσηκώναμε βάρος 7,53 kp εἰς ὕψος 1 m ἢ 1 kp εἰς ὕψος 7,53 m, κ.ο.κ. Ἡ ροπὴ κατὰ τὸ κούρδισμα τοῦ ἐλατηρίου δὲν εἶναι σταθερά, ἀλλὰ ἀνάλογος τῆς γωνίας στροφῆς. Ἐδῶ χάριν ἁπλότητος τοῦ ὑπολογισμοῦ θεωρεῖται σταθερά.

4·3 Ἐνέργεια (δυναμική, κινητική).

Τὸ ἔργον εἴτε τῆς δυνάμεως εἴτε τῆς ροπῆς εἶναι μορφὴ κάποιου ἄλλου πολὺ γενικωτέρου φυσικοῦ μεγέθους, ποὺ ὀνομάζεται *ἐνέργεια*, καὶ παρουσιάζεται εἰς τὴν Φύσιν ὑπὸ διαφόρους μορφάς, μὲ δυνατότητα μετατροπῆς τῆς μιᾶς μορφῆς εἰς τὴν ἄλλην.

Πρακτικὸν παράδειγμα θὰ ἦτο, ἂν ὠνομάζαμεν *ἐνέργειαν* τὴν περιουσίαν ἑνὸς ἀτόμου, ποὺ ἐμφανίζεται ὑπὸ διαφόρους μορφὰς (χρῆμα, κτήματα, ἐπιχειρήσεις, πλοῖα κ.τλ.), ποὺ νὰ δύνανται νὰ μετατρέπωνται ἰσοδυνάμως ἡ μία εἰς τὴν ἄλλην, π.χ. ἐλάττωσις χρημάτων, αὔξησις κτημάτων, πωλήσεις πλοίων, ἄνοιγμα νέων ἐπιχειρήσεων κ.λπ.

Ἑπομένως μορφαὶ ἐνεργείας εἶναι ὅλα ἐκεῖνα τὰ φυσικὰ μεγέθη, ποὺ εἶναι δυνατὸν νὰ μετατραποῦν εἰς ἔργον ἢ ἀντιστρόφως δύναται τὸ ἔργον νὰ μετατραπῆ εἰς ἄλλα μεγέθη, τὰ ὁποῖα ἀποτελοῦν τὰς μορφὰς τῆς ἐνεργείας.

Εἰς τὴν Μηχανικὴν ἐκτὸς ἀπὸ τὸ ἔργον αἱ ἄλλαι ὑπάρχουσαι μορφαὶ ἐνεργείας εἶναι : α) Ἡ κινητικὴ καὶ β) ἡ δυναμικὴ ἢ ἐνέργεια λόγω θέσεως.

Ἡ μὲν πρώτη ἐγκλείεται εἰς κάθε κινούμενον σῶμα καὶ εἶναι ἀποταμίευσις τοῦ ἔργου, ποὺ ἐχρειάσθη διὰ νὰ κινηθῆ τὸ σῶμα. Π.χ. μία δύναμις F ὠθεῖ ἕνα σῶμα μάζης m προσδίδουσα ἐπιτάχυνσιν γ εἰς διαδρομὴν s (περίπτωσις ἀερίων πυρίτιδος φυσιγγίου ὠθούντων τὴν σφαῖραν ἔξω τῆς κάννης τοῦ ὅπλου). Ἐπειδὴ ἡ δύναμις F ἔδρασε κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς διαδρομῆς s, θὰ ἔχωμεν ἔργον:

$$F \cdot s = m\gamma \cdot \frac{1}{2} \gamma t^2 = \frac{1}{2} m\upsilon^2, \text{ διότι } \gamma t = \upsilon.$$

Ἄρα κινητικὴ ἐνέργεια τῆς σφαίρας:

$$\boxed{E_{\kappa\iota\nu} = \frac{1}{2} m\upsilon^2}$$

Εἰς τὴν περίπτωσιν στροφῆς, π.χ. διὰ τὴν κινητικὴν ἐνέργειαν μιᾶς σβούρας, θὰ ἀντικαταστήσωμεν τὴν μᾶζαν m μὲ τὴν ροπὴν ἀδρανείας I καὶ τὴν ταχύτητα υ μὲ τὴν γωνιακὴν ταχύτητα ω, ἤτοι

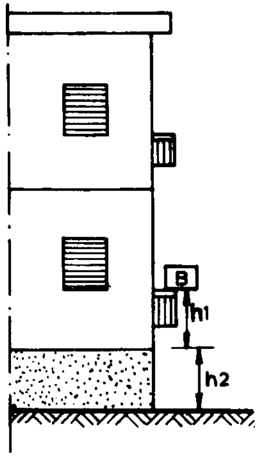
$$\boxed{E_{\kappa\iota\nu} = \frac{1}{2} I\omega^2}$$

Ἡ ἄλλη μορφὴ τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας εἶναι ἡ δυναμική, ὅπως ἡ ἐνέργεια ποὺ ἐμπεριέχει ἕνα βιβλίον εἰς ἕνα ράφι τῆς βιβλιοθήκης, προφανῶς ἴση μὲ τὸ ἔργον ποὺ κατεβάλαμε διὰ νὰ ἀνυψώσωμεν τὸ βιβλίον βάρους B, ἕως αὐτὸ τὸ ὕψος ἤτοι:

$$\boxed{E_{\delta\upsilon\nu} = B \cdot h = m\, g\, h}$$

Ἐδῶ τὸ h παριστᾶ τὸ ὕψος, ἀλλὰ ποῖον ὕψος, ἀπὸ τὸ πάτωμα τοῦ δωματίου ἢ ἀπὸ τὸ ἔδαφος ; καὶ τοῦτο, διότι δυνατὸν τὸ δωμάτιον νὰ εὑρίσκεται εἰς κάποιον ὄροφον καὶ νὰ μὴ εἶναι ἰσόγειον.

Πρέπει λοιπὸν *ἀπαραιτήτως* κατὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας νὰ ὁρίζωμεν πρωτίστως ποῖον ἐπίπεδον, ποίαν θέσιν θεωροῦμεν ὡς βασικήν, ὡς ἀρχικὴν καὶ ἔπειτα νὰ ὑπολογίζωμεν τὴν δυναμικὴν ἐνέργειαν. Δηλαδὴ πρῶτα νὰ ἀποφασίζωμεν ποῖον ἐπίπεδον θεωροῦμεν ὡς ἀρχήν, τὸ πάτωμα τοῦ δωματίου ἢ τὸ ἔδαφος, καὶ ἔπειτα νὰ δίδωμεν εἰς τὸ ὕψος h τὴν κατάλληλον τιμὴν (σχ. 4·3α).



Σχ. 4·3α.

Τὸ βάρος **B** ὡς πρὸς τὸ πάτωμα ἔχει δυναμικὴν ἐνέργειαν: Bh_1 καὶ ὡς πρὸς τὸ ἔδαφος: $B\,(h_1 + h_2)$.

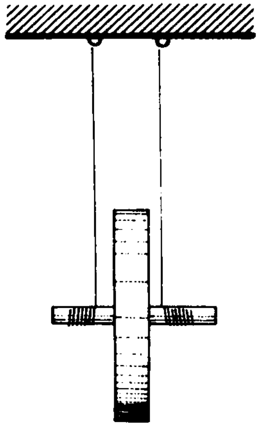
Ὅταν τὸ σῶμα πέσῃ εἰς τὸ πάτωμα, θὰ μειωθῇ ἡ δυναμικὴ ἐνέργειά του κατὰ Bh_1 καὶ θὰ γίνῃ κινητική $\frac{1}{2}\,mu^2 = Bh_1$, ὅπου $u = \sqrt{2gh_1}$, ἤτοι ἡ ταχύτης του κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς ἐπαφῆς του πρὸς τὸ πάτωμα. Ἐκεῖ ἡ κινητικὴ θὰ μετατραπῇ εἰς ἄλλην μορφὴν ἐνεργείας, π.χ. ἔργον θραύσεως, ἔργον παραμορφώσεως κ.τλ.

Ἂν τὸ σῶμα δὲν ἀλλοιωθῇ, θὰ διατηρήσῃ εἰς τὴν νέαν θέσιν του τὴν ὑπόλοιπον δυναμικὴν ἐνέργειαν, δηλαδὴ τὴν Bh_2 ὡς πρὸς τὸ ἔδαφος. Ἂν πάλιν τὸ σῶμα ἔπιπτε ἀπὸ τὸ παράθυρον εἰς τὸ ἔδαφος, τότε θὰ ἀπέδιδε ὅλην τὴν ἐνέργειαν: $B\,(h_1 + h_2) = \frac{1}{2}\,mu^2$, ὅπου $u = \sqrt{2g(h_1+h_2)}$. Γενικῶς ἕνα σῶμα δύναται νὰ αὐξομειώσῃ τὴν δυναμικὴν ἐνέργειάν του μὲ ἀντίστροφον αὐξομείωσιν τῆς κινητικῆς ἐνεργείας του, ὁπότε, ἂν δὲν ὑπῆρχον τριβαί, ὥστε νὰ παρουσιασθοῦν ἄλλαι μετατροπαί, π.χ. (θερμότης), θὰ ἔπρεπε αἱ ἐναλλαγαὶ αὐταὶ νὰ διατηρηθοῦν αἰωνίως (ἀρχὴ διατηρήσεως τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας). Ἄλλο παράδειγμα μετατροπῆς δυναμικῆς ἐνεργείας εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν ἐκ περιστροφῆς καὶ ἀντιστρόφως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 4·3β.

Δυστυχῶς ὅμως εἰς τὰς ἐφαρμογὰς πάντοτε ἐμφανίζονται τριβαὶ καὶ ἀρχίζει ἡ ἐλάττωσις τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας λόγω παρουσίας θερμότητος.

Συνεπῶς ἡ θερμότης εἶναι καὶ αὐτὴ μία μορφὴ ἐνεργείας (ἐσωτερικὴ ἐνέργεια σώματος).

Ἐπειδὴ γενικῶς ἡ θερμότης, ἡ ὁποία προέρχεται συνήθως ἀπὸ κάποιαν καῦσιν, δύναται νὰ προκαλέσῃ κίνησιν καὶ ἀνύψωσιν ἑνὸς βάρους διὰ μέσου μιᾶς *μηχανῆς*, ἕπεται ὅτι ἡ καῦσις ἐλαττώνει τὴν χημικὴν ἐνέργειαν τοῦ καυσίμου, ἡ ὁποία ἐλευθερουμένη, μετατρέπεται εἰς θερμότητα καὶ αὐτὴ εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν καὶ αὐτὴ τέλος εἰς ἔργον κ.ο.κ.



Σχ. 4·3β.

Αἱ μορφαὶ λοιπὸν τοῦ σπουδαιοτάτου αὐτοῦ παγκοσμίου φυσικοῦ μεγέθους, ποὺ καλεῖται *ἐνέργεια*, εἶναι πολλαὶ καὶ αἱ περισσότερον γνωσταὶ καὶ ἐκμεταλλεύσιμοι ἀπὸ τὸν ἄνθρωπον εἶναι αἱ κάτωθι:

1) Ἔργον (ὕψωσις, πτῶσις σώματος, τέντωμα ἐλατηρίου, χόρδισμα ἐλατηρίου κ.λπ.).

2) Κινητικὴ ἐνέργεια (ἐνέργεια μετακινουμένου σώματος ἢ στρεφομένου σώματος, ὅπως ἡ ἐνέργεια ἑνὸς βλήματος, ἡ ἐνέργεια μιᾶς σβούρας κ.λπ.).

3) Δυναμικὴ ἐνέργεια (ἀποταμιευμένη ἐνέργεια λόγω τῆς θέσεως, ποὺ ἔλαβε τὸ σῶμα κατόπιν ἑνὸς ἔργου, π.χ. ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια σώματος εὑρισκομένου ἐπάνω εἰς ράφι, ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια ἑνὸς χορδισθέντος ἐλατηρίου κ.λπ.).

4) Θερμότης (ἐσωτερικὴ ἐνέργεια).

5) Ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια.

6) Μαγνητικὴ ἐνέργεια.

7) Χημικὴ ἐνέργεια.

8) Φωτεινὴ ἐνέργεια.

9) Πυρηνικὴ ἐνέργεια κ.ο.κ.,

περὶ τῶν ὁποίων πραγματεύονται τὰ διάφορα κεφάλαια τῆς Φυσικῆς καὶ Χημείας.

Τὴν ἐνέργειαν ἐθεώρουν οἱ παλαιότεροι ἐπιστήμονες ὡς κάτι τὸ ἀνεξάρτητον τῆς ὕλης, διότι ναὶ μὲν αἱ περισσότεραι μορφαὶ τῆς ἐνεργείας, ὅπως ἡ θερμότης ἢ ἡ κινητικὴ ἐνέργεια, συνδέονται ἀπαραιτήτως μὲ ὕλην (θερμότης εἰς τὸ κενὸν ἢ κινητικὴ ἐνέργεια τοῦ κενοῦ δὲν νοεῖται, τὸ ἄυλον κενὸν δὲν δύναται νὰ ζεσταθῇ ἢ νὰ κινηθῇ) ὑπάρχουν ὅμως μορφαὶ ἐνεργείας, ὅπως τὸ φῶς, ποὺ δὲν χρειάζεται ὕλην (μᾶζαν) διὰ νὰ διαδοθῆ, ἀλλὰ ὅταν προσβάλλη ἕνα σῶμα μετατρέπεται εἰς ἄλλην μορφὴν ἐνεργείας (θερμότης).

Ἀντιστοίχως, ἕνα ὑλικὸν σῶμα ἐθεωρεῖτο ὅτι ἦτο δυνατὸν νὰ *ἐγκλείῃ* ἢ *νὰ μὴ ἐγκλείῃ* ἐνέργειαν, πρᾶγμα τὸ ὁποῖον σήμερον δὲν θεωρεῖται ὀρθόν.

Συμφώνως πρὸς τὴν πρότασιν τοῦ Ἄινστάιν ὅτι ἡ ἐνέργεια καὶ ἡ μᾶζα εἶναι μεγέθη ἐξ ἴσου μετατρέψιμα τὸ ἕνα εἰς τὸ ἄλλο καὶ τὴν διατύπωσιν τῆς ἰσοδυναμίας διὰ τοῦ περιφήμου τύπου του:

$$\boxed{E = mc^2}$$

ὅπου c^2 εἶναι τὸ τετράγωνον τῆς ταχύτητος τοῦ φωτὸς εἰς τὸ κενόν, ἑνοποιήθησαν τὰ δύο θεμέλια τοῦ σύμπαντος, ἡ μᾶζα καὶ ἡ ἐνέργεια εἰς ἕνα ἑνιαῖον σύνολον.

Τὴν ἀλήθειαν τῆς προτάσεως Ἄινστάιν ἐβεβαίωσαν πλῆθος πειραμάτων τῆς Πυρηνικῆς Φυσικῆς, ἐκ τῶν ὁποίων τελικῶς προῆλθεν ἡ τεραστία ἔκλυσις τῆς ἐνεργείας τῶν πυρηνικῶν βομβῶν διὰ τῆς χρησιμοποιήσεως μόνον ὀλίγων γραμμαρίων ὑλικοῦ, ποὺ ἐξαυλωθὲν ἀπωλέσθη ἀπὸ τὸ Σύμπαν.

Ἑπομένως ἡ θεμελιώδης ἀρχὴ ἀφθαρσίας τῆς μάζης, γνωστὴ ἀπὸ τοὺς φιλοσόφους τῆς ἀρχαιότητος ὡς : *μηδὲν ἐκ τοῦ μὴ ὄντος γίγνεσθαι, μηδὲν εἰς τὸ μὴ ὂν φθείρεσθαι* (Δημόκριτος), διατυποῦται σήμερον ὡς ἑξῆς:

Εἰς τὸ Σύμπαν ὑπάρχει ἕνα ποσὸν ὕλης - ἐνεργείας καὶ τοῦτο διατηρεῖται ἀμετάβλητον, σταθερόν. Εἰς κάθε περίπτωσιν ἑνὸς φαινομένου, ποσὸν ἐνεργείας ἀλλάσσει μορφὴν ἢ καὶ ἀποδίδει μᾶζαν, ἀκόμη δὲ ἕνα ποσὸν μάζης τοῦ Κόσμου δύναται νὰ μετατραπῆ εἰς κάποιαν μορφὴν ἐνεργείας.

Πάντοτε ὅμως καὶ ὑπὸ οἱασδήποτε μορφὰς ἢ μεταβολὰς τὸ συνολικὸν ποσὸν ἐνεργείας - ὕλης μένει σταθερόν.

Ὡς ἁπλοῦν παράδειγμα ἂς δεχθῶμεν ὅτι τὰ χρήματα (χαρτονομίσματα) ἀποτελοῦν ἐνέργειαν καὶ δύνανται νὰ παρουσιασθοῦν ὑπὸ διαφόρους μορφάς, αἱ ὁποῖαι δύνανται νὰ μετατραποῦν ἡ μία εἰς τὴν ἄλλην, ὅπως π.χ. μετατρέπονται αἱ δραχμαὶ εἰς δολλάρια, λίρας, λιρέττας κ.λπ. μὲ καταλλήλους συντελεστὰς μετατροπῆς (ἰσοδυναμίας). Οὕτω π.χ. ποσὸν Δ δραχμῶν $=$ Δ · Α ποσὸν δολλαρίων ἢ Δ · Λ ποσὸν λιρεττῶν. Ἐπίσης ποσὸν Σ λιρῶν $=$ Β · Σ ποσὸν δραχμῶν ἢ Γ · Σ ποσὸν δολλαρίων,

$B = 72$ δραχμαὶ ἀνὰ λίραν στερλίναν
$\Gamma = 2{,}4$ δολλάρια ἀνὰ λίραν στερλίναν
$\Lambda = 20$ λιρέτται ἀνὰ δραχμήν.

Ἐπίσης ἄς δεχθῶμεν ὅτι τὸ ἀπόθεμα χρυσοῦ τῶν Κρατῶν εἶναι τρόπον τινὰ ἡ *μᾶζα*. Ἄρα ὅλα τὰ χαρτονομίσματα θὰ μετατρέπωνται διὰ καταλλήλων συντελεστῶν ὄχι μόνον μεταξύ των ἀλλὰ καὶ πρὸς χρυσὸν ὅπως καὶ ὁ χρυσὸς πρὸς τὰ χαρτονομίσματα τῶν διαφόρων Κρατῶν, ὑπὸ τὸν ὅρον ὅτι τὸ συνολικὸν ποσὸν τῶν χαρτονομισμάτων καὶ χρυσοῦ θὰ διατηρῆται — διὰ παγκοσμίου συμφωνίας τῶν Κρατῶν — σταθερόν. Κάτι ἀνάλογον, ἀλλὰ ἀπείρως θαυμαστὸν καὶ αὐστηρόν, τηρεῖται εἰς τὴν Φύσιν.

Κατόπιν τῶν ἀνωτέρω, συμπεραίνομεν ὅτι εἶναι ἀπολύτως ἀδύνατον νὰ κατασκευασθῇ κάποια μηχανή, ἕνα κατάλληλον *σύστημα σωμάτων, ποὺ νὰ παράγῃ ἔργον ἐκ τοῦ μηδενός, χωρὶς νὰ δαπανᾷ ἄλλην ἐνέργειαν ἢ ὕλην*. Ἂν ἦτο δυνατὸν νὰ κατασκευασθῇ ἕνα τέτοιο μηχάνημα, θὰ τὸ ἐθέταμεν εἰς λειτουργίαν καὶ ἔκτοτε θὰ ἐλαμβάνομεν συνεχῶς ποσὸν ἐνεργείας Ε μεγαλύτερον ἀπὸ ὅ,τι ἐνέργειαν Ε′ θὰ ἐδίδαμεν διὰ νὰ συντηρήσωμεν τυχὸν τὴν λειτουργίαν του. Ἑπομένως ἕνα ποσὸν ἐνεργείας, τὸ ἐπιπλέον, Ε - Ε′, θὰ παρήγετο ἀπὸ τὸ μηδέν. Ἡ μηχανὴ αὐτὴ ὀνομάζεται *ἀεικίνητον πρώτου εἴδους* καὶ ἡ κατασκευή της εἶναι ἀπολύτως ἀδύνατος. Ἂν κατεσκευάζετο, τότε οὐδεὶς νόμος τῆς Φυσικῆς θὰ ἔμενεν ἀδιατάρακτος καὶ ὁ σημερινὸς κόσμος θὰ ἔχανε τὴν μορφήν του.

Ἀλλὰ καὶ μηχανὴ χωρὶς τριβάς, χωρὶς ἀπωλείας μηχανικῆς ἐνεργείας καὶ τελικῆς μετατροπῆς εἰς διάχυτον θερμότητα δὲν ὑπάρχει. Πράγματι, μηχανὴ μετατρέπουσα τὴν δυναμικὴν (ἔργον) εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν καὶ ἀντιστρόφως, χωρὶς ἐμφάνισιν θερμότητος, δὲν κατέστη δυνατὸν νὰ κατασκευασθῇ μέχρι σήμερον *(ἀεικίνητον δευτέρου εἴδους)*. Ἑπομένως καὶ 100% μετατροπὴ χωρὶς ἐμφάνισιν μὴ χρησίμου διὰ τὸν Τεχνικὸν ποσοῦ θερμότητος εἶναι ἀδύνατος.

4·4 Ἰσχύς.

Εἰς τὰς προηγουμένας περιπτώσεις παραγωγῆς ἔργου δὲν ἀνεφέραμεν οὔτε ὑπελογίσαμεν τὸν χρόνον, εἰς τὸν ὁποῖον παρήγετο. Εἶναι ὅμως διὰ τὸν ἄνθρωπον μεγίστης σημασίας ὄχι μόνον ἡ ἱκανότης μιᾶς μηχανῆς νὰ παράγῃ ἔργον διὰ τῆς μετατροπῆς ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας, ἀλλὰ καὶ εἰς πόσον χρόνον δύναται νὰ τὸ παράγη. Π.χ. δύο αὐτοκίνητα ἕκαστον βάρους 1000 kp ἀνέρχονται νὰ περάσουν ἕνα ὄρος ὕψους 1500 m. Ἐὰν παραλειφθοῦν αἱ τριβαί, παράγουν ἔργον 1 500 000 kpm καὶ αὐτὸ διατηροῦν ὡς δυναμικὴν ἐνέργειαν, ὅταν σταθοῦν εἰς τὸν αὐχένα τοῦ ὄρους. Ἐξαρτᾶται ὅμως ἀπὸ τὴν μηχανὴν κάθε αὐτοκινήτου εἰς πόσον χρόνον θὰ παραχθῆ τὸ ἔργον αὐτό. Ὅσον μικρότερος ὁ χρόνος, τόσον περισσότερον ἔργον παράγει ὁ κινητὴρ ἀνὰ μονάδα χρόνου, τόσον *ἰσχυρότερος* εἶναι.

Ὁρίζομεν ἑπομένως ἕνα νέον μέγεθος, τὸ ὁποῖον καλοῦμεν *ἰσχὺν P* καὶ τὸ ἐξισώνομεν μὲ τὸ πηλίκον τοῦ ἔργου διὰ τοῦ χρόνου, ποὺ ἀπητήθη διὰ νὰ παραχθῆ, ὥστε θεωροῦντες σταθερὰν παροχὴν ἔργου κατὰ τὸν χρονικὸν διάστημα γράφομεν: $P = A/t =$ ἰσχύς.

Ὅταν τώρα προσφέρωμεν ἔργον (ἰσχὺν) εἰς τὴν μηχανὴν καὶ αὐτή, ὅπως προηγουμένως ἀνεφέραμεν, μᾶς τὸ ἐπέστρεφεν ἀλλὰ πάντοτε μικρότερον, ὁρίζομεν ἕνα ἄλλο μέγεθος, τὴν *ἀπόδοσιν* η. Ἡ ἀπόδοσις ἰσοῦται μὲ τὸ πηλίκον τῆς ἰσχύος, ποὺ λαμβάνομεν, διὰ τῆς ἰσχύος ποὺ προσφέρομεν, ὥστε:

$$\eta = \frac{\text{P ἐξόδου ἐκ τῆς μηχανῆς}}{\text{P εἰσόδου εἰς τὴν μηχανὴν}}.$$

Ὁ ἀριθμὸς η εἶναι προφανῶς πάντοτε μικρότερος τῆς μονάδος καὶ ἐκφράζεται ἐπὶ τοῖς ἑκατόν, π.χ. $\eta = 0{,}9$ ἢ 90%, δηλαδὴ δίδομεν 100 λαμβάνομεν 90.

Μονάδες ἐνεργείας καὶ ἰσχύος.

Μετρικὸν σύστημα:

$A = F \cdot s$ ὅπου F εἰς N καὶ s εἰς m

ὅθεν A εἰς Nm = Newtonmètre = Joule.

Ἡ μονὰς αὐτὴ φέρει τὸ ὄνομα τοῦ Ἄγγλου φυσικοῦ Τζοὺλ (ὄχι Τζάουλ).

1 Joule = 1 Nm = 10^5 dyne × 10^2 cm = 10^7 erg (ἔργια), ὅπου ἔργιον ἡ μονὰς ἔργου τοῦ συστήματος C,G,S ἴση πρὸς 1 dyne × 1 cm.

Τεχνικὸν σύστημα:

Δύναμις εἰς χιλιόγραμμα βάρους = kilopond (κιλοπόντ).

Διαδρομὴ εἰς μέτρα. Ὅθεν ἔργον:

A εἰς kilopondmètre ἢ ἄλλως χιλιογραμμόμετρα (παλαιὰ ὀνομασία).

1 kpm = 9,81 Joule.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτουν αἱ μονάδες ἰσχύος:

α) Μετρικὸν σύστημα:

1 Joule/sec = Watt, 1 kW = 1000 W.

β) Τεχνικὸν σύστημα :

1 kpm/sec.

Ἡ μονὰς αὐτὴ δὲν χρησιμοποιεῖται εἰς τὴν βιομηχανίαν, ἀλλὰ ἡ 75 ἢ 76 φορὰς μεγαλυτέρα καλουμένη *ἵππος*.

σύμβολον CV = Διεθνὴς ἢ γαλλικὸς ἵππος = 75 kpm/sec = 736 Watt.

σύμβολον HP = Ἀγγλικὸς ἵππος = 76 kpm/sec = 746 Watt.

Προκειμένου περὶ κινουμένου σώματος καὶ διατηροῦντος ταχύτητα υ ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν δυνάμεως F ἡ ἰσχύς:

$$\boxed{P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F\upsilon}$$

δίδεται ἐκ τῆς σχέσεως $F \cdot \upsilon$.

Π.χ. ὠτομοτρὶς (αὐτοκινητάμαξα) ἀναπτύσσει ταχύτητα 100 km/h μὲ δύναμιν ἕλξεως σταθερὰν F = 21 600 Νιοῦτον, περίπου 2,2 ton βάρος. Ποία ἡ ἰσχὺς τῆς μηχανῆς;

Ἀπάντησις:

$P = F \cdot \upsilon = 21\,600 \times 100\,000/3\,600 = 600$ kW = 815 ἵπποι (CV).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 5

ΑΠΛΑΙ ΜΗΧΑΝΑΙ

5 · 1 Γενικά.

Ὅπως ἀνεφέραμεν προηγουμένως (παράγρ. 4 · 3), χρειαζόμεθα ἕνα ἢ περισσότερα σώματα διὰ νὰ προκαλέσωμεν μὲ τὴν βοήθειάν των τὴν μετατροπὴν τῆς ἐνεργείας εἰς τὴν συμφέρουσαν κάθε φορὰν μορφήν, π.χ. ἀπὸ θερμότητα καύσεως νὰ λάβωμεν κινητικὴν ἐνέργειαν.

Οὕτω διὰ τῆς καύσεως πετρελαίου (ἢ βενζίνης) εἰς μῖγμα ἀέρος - πετρελαίου, ποὺ τὸ σταγονοποιοῦμεν, προκαλοῦμεν διαδοχικὰς ἐκρήξεις ἐντὸς κυλίνδρων καὶ ὡς ἐκ τούτου ἰσχυρὰς ἐκτινάξεις ἐμβόλων. Αἱ κινήσεις αὐταὶ διὰ καταλλήλου τρόπου ἀπολήγουν εἰς στροφὰς τῶν ἀξόνων μιᾶς αὐτοκινηταμάξης.

Ἄρα, διὰ νὰ φθάσωμεν ἀπὸ τὴν θερμότητα καύσεως εἰς τὴν κινητικὴν ἐνέργειαν τοῦ αὐτοκινήτου, χρειαζόμεθα σειρὰν ἀπὸ διάφορα σώματα (πετρέλαιον, ἀέρα, κυλίνδρους, ἔμβολα, ἄξονας κ.λπ.).

Ἐπίσης, πολλάκις παρίσταται ἀνάγκη νὰ μεταβάλλωμεν τὰ χαρακτηριστικὰ μεγέθη τοῦ ἔργου μιᾶς δυνάμεως (δύναμις - διάστημα) ἢ ροπῆς (ροπὴ - γωνία) καὶ μάλιστα τὸ ἕνα ἀντιστρόφως πρὸς τὸ ἄλλο, δηλαδὴ διπλασιάζομεν τὸ διάστημα διὰ νὰ ὑποδιπλασιασθῇ ἡ δύναμις. Πράγματι, ἐφ' ὅσον τὸ ἔργον δυνάμεως εἶναι $A = F \cdot s$ καὶ τὸ ἔργον ροπῆς $A = M \cdot \varphi$, θέλομεν νὰ ἔχωμεν τὴν δυνατότητα νὰ ἀλλάξωμεν τὸ F ὡς πρὸς τὸ s ἢ τὸ M ὡς πρὸς τὸ φ, διατηροῦντες τὸ γινόμενον σταθερὸν (ἀρχὴ διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας). Οὕτω, π.χ. ὅταν πρόκειται νὰ ἀνυψώσωμεν μεγάλα βάρη εἶναι συμφερώτερον νὰ ἐλαττώνωμεν τὴν δύναμιν, ποὺ καταβάλλομεν διὰ τὴν ἀνύψωσίν των καὶ νὰ αὐξάνωμεν τὴν διαδρομὴν s, διότι τότε παράγομεν τὸ ἴδιον ἔργον τῆς ἀνυψώσεως τοῦ βάρους ἀλλὰ εὐκολώτερον. Ἀλλὰ ὁ χρόνος γίνεται συνήθως μεγαλύτερος (μικροτέρα ἰσχύς), π.χ. ἀντὶ νὰ ἀνυψώσωμεν κατακορύφως ἕνα βαρέλι ἀπὸ τὸ ἔδαφος, διὰ νὰ τὸ φορτώσωμεν εἰς ἕνα φορτηγὸν αὐτοκίνητον, τὸ μετακινοῦμεν ἐπὶ κεκλιμένης σανίδος κυλίοντες αὐτὸ ἀπὸ τὸ ἔδαφος εἰς τὸ φορτηγόν. Διὰ νὰ ἐπιτύχωμεν ὅμως αὐτὴν τὴν αὔξησιν τῆς διαδρομῆς μὲ ἀντίστοιχον ἐλάττωσιν τῆς δυνάμεως χρειαζόμεθα, ὅπως ἀνεφέραμεν, ἕνα ἢ περισσότερα σώματα, ποὺ θὰ μᾶς ἐξυπηρετήσουν νὰ ἐπιτύχωμεν τὸν σκοπόν μας, χωρὶς μερικὰ ἀπὸ αὐτὰ νὰ ὑποστοῦν καὶ βασικὰς μεταβολάς. Θὰ χρησιμοποιήσωμεν ὅθεν *μηχανάς*. Γενικῶς λοιπόν, ὀνομάζομεν *μηχανὴν* ἕνα συγκρότημα σωμάτων, ποὺ μᾶς χρησιμεύει διὰ τὴν μετατροπὴν τῆς ἐνεργείας ἀπὸ τὴν μίαν μορφὴν εἰς τὴν ἄλλην ἢ διὰ τὸν μετασχηματισμὸν τοῦ ἔργου. Εἰδικώτερον, καλοῦμεν *ἁπλῆν μηχανὴν* ἕνα σύστημα στερεῶν σωμάτων, διὰ τοῦ ὁποίου δυνάμεθα νὰ ἀλλάξωμεν κατὰ τὸν συμφερώτερον τρόπον τὰ δύο χαρακτηριστικὰ μεγέθη ἑνὸς δοθέντος μηχανικοῦ ἔργου, ἤτοι τὴν δύναμιν, ὡς πρὸς τὴν διαδρομὴν τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς της, ἢ τὴν ροπήν, ὡς πρὸς τὴν γωνίαν περιστροφῆς. Βασιζόμενοι ἐξ ἄλλου εἰς τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας καὶ κατὰ συνέπειαν τοῦ μηχανικοῦ ἔργου συμπεραίνομεν ὅτι, ὅταν ἡ μηχανὴ δέχεται τὴν ἐλάττωσιν τῆς δυνάμεως, ποὺ προσφέρομεν, τότε *ἀναγκαστικῶς* θὰ παρουσιάζεται μεγαλυτέρα ἡ διαδρομὴ τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς της κ.ο.κ. (χρυσοῦς κανὼν Μηχανικῆς). Εἶναι ἐπίσης δυνατὸν μία ἁπλῆ σχετικῶς μηχανὴ νὰ μετατρέψῃ καὶ τὴν κινητικὴν ἐνέργειαν εἰς δυναμικὴν ἢ ἀντιστρόφως. Εἰς τὰς περιγραφὰς τῶν ἁπλῶν μηχανῶν καὶ διὰ τὴν ἁπλότητα τῶν ὑπολογισμῶν δὲν θὰ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τὴν ὕπαρξιν τριβῶν οὔτε καὶ τὸ ἴδιόν των βάρος.

5·2 Μοχλοί.

Μοχλὸς ὀνομάζεται ἁπλῆ μηχανή, ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα στερεὸν σῶμα καταλλήλου σχήματος, τὸ ὁποῖον δύναται νὰ στηριχθῇ καὶ νὰ στραφῇ περὶ ἕνα ἄξονα (ἢ μίαν ἀκμήν), ὁ ὁποῖος καλεῖται *ὑπομόχλιον*. Ἡ γνωστοτέρα μορφὴ τοῦ μοχλοῦ εἶναι ἐκείνη, ποὺ φέρει δυνάμεις δεξιὰ καὶ ἀριστερὰ τοῦ ὑπομοχλίου. Διὰ νὰ διακρίνωμεν τὰς δύο δυνάμεις : ἤτοι α) τὴν ἰδικήν μας, δηλαδὴ αὐτὴν ποὺ προσφέρομεν καὶ β) τὴν ἄλλην, δηλαδὴ ἐκείνη ποὺ θέλομεν νὰ μετατοπίσωμεν, δυνάμεθα νὰ τὰς ὀνομάσωμεν εἰς τὴν Τεχνικὴν α') *Δύναμιν εἰσόδου* καὶ β') *δύναμιν ἐξόδου*. Τὸ ἔργον τῶν δυνάμεων αὐτῶν καλεῖται ἀντιστοίχως α'') *ἔργον εἰσόδου*, καὶ β'') *ἔργον ἐξόδου* τῆς μηχανῆς.

Ἐπομένως, ἐφ' ὅσον ἡ μηχανὴ δὲν δύναται νὰ γίνῃ ἀεικίνητον, θὰ ἔχωμεν τὸ πολὺ τὰς ἰσότητας:

$$\boxed{\text{Α εἰσόδου} = \text{Α ἐξόδου}}$$

ἤ $$\boxed{(F_1 \cdot s_1)\ \text{εἰσόδου} = (F_2 \cdot s_2)\ \text{ἐξόδου}}$$

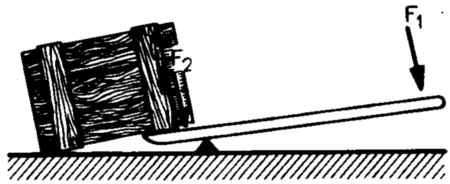
ἢ διὰ τὴν ἰσχύν: P εἰσόδου = P ἐξόδου (ἀγγλιστὶ input, output).

Ἄρα, ἐλάττωσις τῆς F_1 (δυνάμεως εἰσόδου), πρᾶγμα ποὺ μᾶς συμφέρει, σημαίνει αὔξησιν τῆς διαδρομῆς s_1, ποὺ θὰ μετακινηθῆ, ὁπότε ἀντιστρόφως ἀπὸ τὴν ἄλλην πλευρὰν ἐλαττώνεται ἡ διαδρομὴ s_2, αὐξάνεται ἡ F_2 (δύναμις ἐξόδου) καὶ ἔτσι κατανικῶνται μεγάλαι δυνάμεις F_2 μὲ τὰς μικρὰς ἰδικάς μας. Π.χ. καὶ ἕνα παιδίον μὲ τὸν μοχλὸν ἀνασηκώνει εὐκόλως τὰ καρφιὰ καὶ ξεκαρφώνει ἕνα κιβώτιον [σχ. 5 · 2 α (2)].

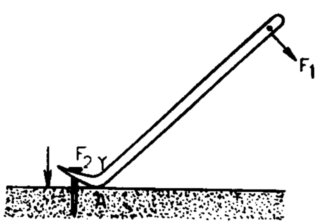
Μοχλοὶ τοῦ τύπου τῶν ἑκατέρωθεν δυνάμεων παριστάνονται εἰς τὸ σχῆμα 5 · 2 α (1, 2 καὶ 3).

Ἄλλα παραδείγματα μοχλῶν εἶναι ἐκεῖνα, ποὺ ἔχουν τὸ ὑπομόχλιον Υ πέραν τῶν δύο δυνάμεων [σχ. 5 · 2 β (1, 2, 3, 4, 5, 6)].

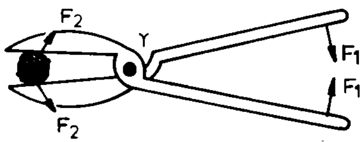
Προσέξατε: Εἰς τὰ παραδείγματα 5 · 2 α (1, 2 καὶ 3) τὸ ὑπομόχλιον Υ εὑρίσκεται πλησίον τῆς δυνάμεως F_2 ἐξόδου τῆς μηχανῆς, ἡ δὲ δύναμις F_1, ποὺ προσφέρομεν εἰς τὴν μηχανήν, κεῖται μακρὰν τοῦ ὑπομοχλίου. Εἰς τὰ σχήματα 5 · 2 β (4, 5, 6) τὸ ὑπομόχλιον εἶναι πλησίον πρὸς τὴν δύναμιν εἰσόδου, δηλαδὴ τὴν δύναμιν, ποὺ προσφέρομεν εἰς τὸν μοχλόν.



1) Μοχλὸς ἀνυψώσεως βαρέος ἀντικειμένου.



2) Μοχλὸς (δίχαλος) ξεκαρφώματος.



3) Ψαλίδι π.χ. κοπῆς σύρματος.

Σχ. 5 · 2 α.

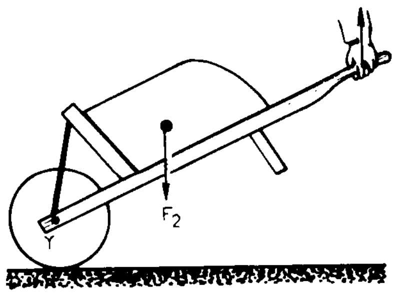
F_1 δύναμις εἰσόδου, F_2 δύναμις ἐξόδου ἤτοι δύναμις ποὺ θέλομεν νὰ κατανικήσωμεν.

Ἡ γενικὴ ἐξίσωσις διὰ κάθε μοχλὸν προκύπτει ἀπὸ τὴν διατήρησιν τοῦ ἔργου δηλαδή:

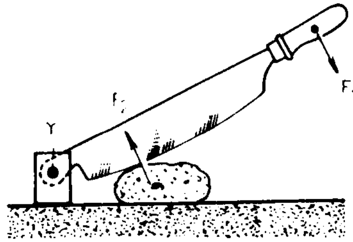
$$A \text{ εἰσόδου} = A \text{ ἐξόδου} \quad ἢ \quad F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

ἄρα
$$F_1 / F_2 = s_2 / s_1$$

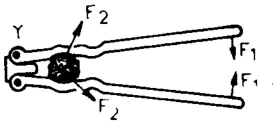
ὅπου F_1 καὶ F_2 αἱ δυνάμεις καὶ s_1, s_2 αἱ διαδρομαὶ τῶν σημείων ἐφαρ-



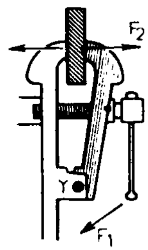
1. Χειράμαξα.



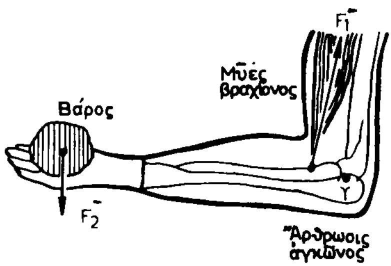
2. Μάχαιρα κοπῆς ἄρτου



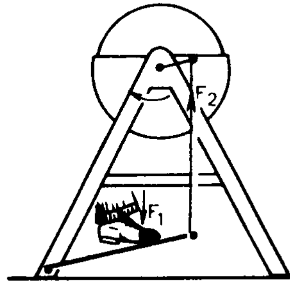
3. Καρυοθραύστης.



4. Σφιγκτὴρ (μέγγενη).



5. Χεὶρ κρατοῦσα βαρὺ σῶμα ὁριζοντίως.

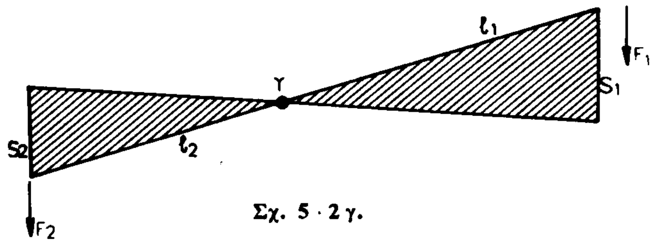


6. Ἀκονιστὴς τροχός.

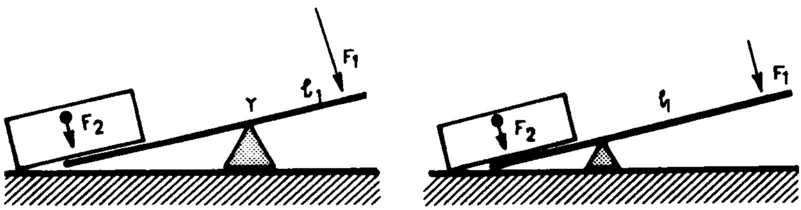
Σχ. 5 · 2 β.

μογῆς των (σχ. 5 · 2 γ). Ἀλλά, ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα, ὅσον περισσότερον ἀπέχει κάθε δύναμις ἀπὸ τὸ ὑπομόχλιον Υ, τόσον μεγαλύτεραι γίνονται αἱ διαδρομαί των s_1, s_2. Πράγματι, ἀπὸ τὰ ἐσκιασμένα τρίγωνα προκύπτει ἡ ἀναλογία $l_1 : l_2 = s_1 : s_2$. Ὀνομάζοντες ὅθεν τὰς ἀποστάσεις l_1, l_2 *μοχλοβραχίονας*, καταλήγομεν εἰς τὸν ἀκόλουθον κανόνα:

Εἰς ἕνα μοχλόν, ἡ δύναμις εἰσόδου εἶναι τόσας φορὰς μικροτέρα τῆς δυνάμεως ἐξόδου, ὅσας φορὰς μεγαλύτερος εἶναι ὁ μοχλοβραχίων της ἀπὸ τὸν μοχλοβραχίονα τῆς δυνάμεως ἐξόδου (σχ. 5 : 2 δ).



Σχ. 5 · 2 γ.



Μικρὸς βραχίων l_1 κακὴ ἐκμετάλλευσις τοῦ μοχλοῦ.

Αὔξησις τοῦ μοχλοβραχίονος τῆς F_1 καλὴ χρησιμοποίησις τοῦ μοχλοῦ.

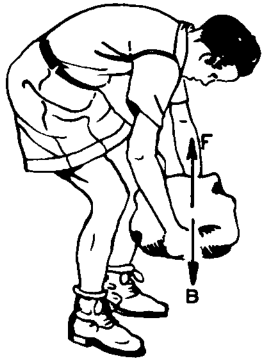
Σχ. 5 · 2 δ.

5 · 3 Τροχαλίαι.

Τροχαλία ὀνομάζεται ἁπλῆ μηχανή, ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα στερεὸν στρεπτὸν περὶ ἄξονα σῶμα σχήματος δίσκου, ὁ ὁποῖος φέρει συνήθως αὔλακα εἰς τὴν περιφέρειάν του διὰ τὴν διὰ μέσου αὐτοῦ κίνησιν ἑνὸς σχοινίου. Διακρίνομεν δύο εἰδῶν τροχαλίας, τὴν *παγίαν* (στερεωμένην ἢ ἐξαρτωμένην ἀπὸ τοῦ ἄξονός της) καὶ τὴν *ἐλευθέραν* (μετακινουμένην κατὰ τὴν χρησιμοποίησίν της).

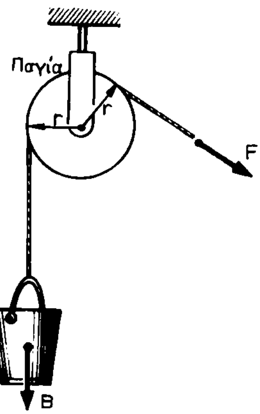
Εἶναι προφανὲς ἀπὸ τὰ σχήματα 5 · 3 α καὶ 5 · 3 β ὅτι διὰ νὰ κρατήσωμεν ἀνυψωμένον βάρος **B** πρέπει νὰ καταβάλωμεν δύναμιν **F** ἴσην πρὸς τὸ **B** (ἢ κάπως μεγαλυτέραν, εἰς τὴν περίπτωσιν ποὺ πρόκειται καὶ νὰ τὸ μετακινήσωμεν πρὸς τὰ ἄνω). Διὰ τῆς παγίας τροχαλίας δὲν ἐπιτυγχάνομεν τίποτε περισσότερον, ἀπὸ τοῦ νὰ ἀλλάξωμεν τὴν διεύθυνσιν τῆς δυνάμεως F, ὥστε νὰ μᾶς διευκολύνη καλύτερον ἡ ἐφαρμογή της. Ἀντιθέτως, διὰ τῆς ἐλευθέρας τροχαλίας (σχ. 5 · 3 γ) ὠφελούμεθα πολύ, διότι σύροντες τὸ σχοινίον κατὰ s, *δὲν* ἀνεβαίνει τὸ βάρος B κατὰ s, ἀλλὰ κατὰ τὸ ἥμισυ, ἄρα ἡ δύναμις F', ποὺ ἐφαρμόζομεν, γίνεται ἡ ἡμίσεια τοῦ B, ἤτοι, κατὰ τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας ὠφελούμεθα μὲν εἰς δύναμιν εἰσόδου, ἀλλὰ χάνομεν εἰς *διαδρομὴν* τῆς δυνάμεως ἐξόδου, ἄρα:

A εἰσόδου = A ἐξόδου ἢ $F' \cdot s = B \cdot s/2$ καὶ $F' = B/2$.

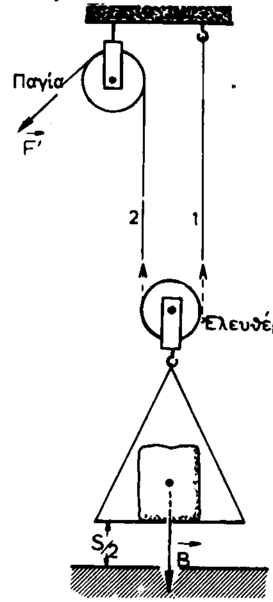


Σχ. 5 · 3 α.
Ἐργάτης ἀνυψώνει τὸ B μὲ δύναμιν $F > B$.

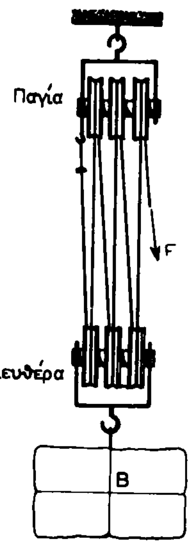
Τὸ ὅτι τὸ βάρος ἀνεβαίνει εἰς τὸ ἥμισυ τῆς διαδρομῆς s εἶναι εὐνόητον, διότι, ἂν σύρωμεν τὸ σχοινίον κατὰ s = 1 m, τὸ σχοινίον θὰ κοντύνη βεβαίως κατὰ 1 m καὶ ἐπειδὴ ἡ ἐλευθέρα τροχαλία ἀναρτᾶται καὶ ἀπὸ τὸ τμῆμα 1 καὶ ἀπὸ τὸ τμῆμα 2 τοῦ σχοινίου, ἡ ἀνύψωσίς της θὰ εἶναι 1/2 m.



Σχ. 5 · 3 β.
Τὸ αὐτὸν ἔργον μὲ τὴν βοήθειαν παγίας τροχαλίας, ἀλλὰ πάλιν $F > B$.

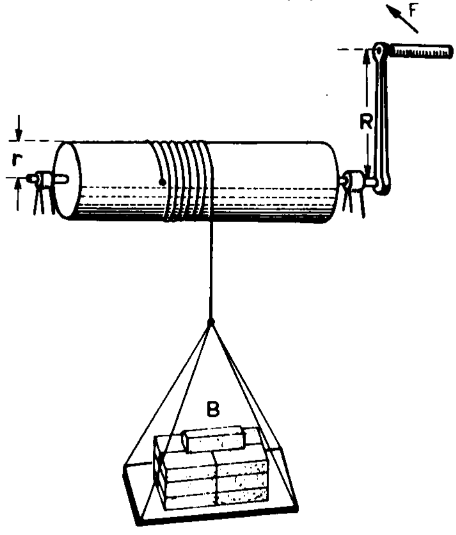


Σχ. 5 · 3 γ.
Ἡ δύναμις ἕλξεως εἶναι ἡμίσεια τοῦ βάρους λόγω τῆς ἐλευθέρας τροχαλίας $F > B/2$.



Σχ. 5 · 3 δ.

Συνδυασμὸς ἐλευθέρων καὶ παγίων τροχαλιῶν εἶναι τὰ *πολύσπαστα* (σχ. 5 · 3 δ), ὅπου τὴν ἐλάττωσιν τῆς δυνάμεως F ὡς πρὸς τὸ βάρος B (γενικώτερον, τὴν κατανικητέαν δύναμιν) ρυθμίζουν αἱ ἐλεύθεραι τροχαλίαι. Ἂν εἶναι 3, τότε F = B/6, διότι διὰ κάθε μίαν ἐλευθέραν ἰσχύει ἡ μείωσις εἰς τὸ ἥμισυ.



Σχ. 5 · 4 α.

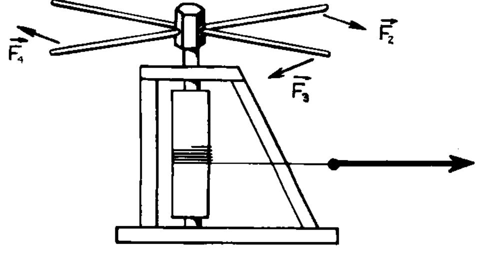
5 · 4 Βαροῦλκα.

Τὸ βαροῦλκον εἶναι κύλινδρος στερεὸς στρεπτὸς περὶ ἄξονα καταλλήλως στηριζόμενον. Φέρει τυλιγμένον σχοινίον πρὸς ἄσκησιν ἕλξεως. Ἡ στροφὴ τοῦ βαρούλκου γίνεται διὰ χειρολαβῆς (μανιβέλας), ἡ ὁποία ἔχει ἀκτῖνα R πολὺ μεγαλυτέραν τῆς ἀκτῖνος r τοῦ κυλίνδρου (σχ. 5 · 4 α).

Καὶ ἐδῶ πάλιν ἰσχύει ἡ ἀρχὴ διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας διὰ τὴν ἁπλῆν αὐτὴν μηχανήν, ἤτοι:

$$A_{\text{εἰσόδου}} = A_{\text{ἐξόδου}} \qquad \mathbf{F \cdot 2\pi R = B \cdot h},$$

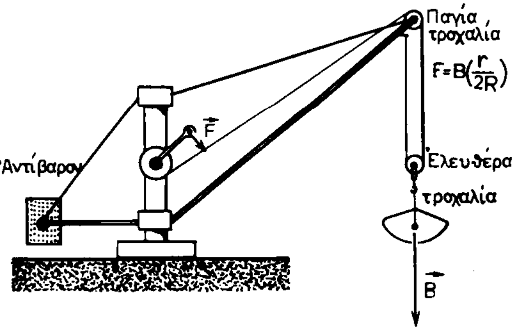
ὅπου 2πR ἡ διαγραφομένη περιφέρεια (διαδρομὴ) ἀπὸ τὴν δύναμιν F, ποὺ ἐφαρμόζεται εἰς τὴν χειρολαβὴν καὶ h τὸ ὕψος, εἰς τὸ ὁποῖον ἀνέρχεται ἀντιστοίχως τὸ βάρος B. Ἐπειδὴ ὅμως τὸ ὕψος αὐτὸ δὲν εἶναι ἄλλο παρὰ τὸ πόσον σχοινίον τυλίσσεται εἰς κάθε περιστροφήν, ἤτοι $h = 2\pi r$, ἕπεται ὅτι $F = 2\pi R = B \cdot 2\pi r$,



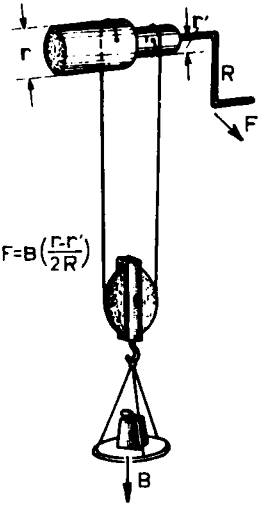
Σχ. 5 · 4 β.
Βαροῦλκον κατακόρυφον.

$$\text{ἄρα: } \mathbf{F = B \cdot \frac{r}{R}}$$

Ἀρκεῖ λοιπὸν νὰ καταστήσωμεν τὸν λόγον r/R μικρὸν διὰ νὰ ἀποκτήσωμεν ἱκανότητα ἀνυψώσεως μεγάλου βάρους **B** μὲ μικρὰν δύναμιν F. Ἄρα, συμφέρει ἡ μικρὰ ἀκτὶς εἰς τὸν κύλινδρον καὶ ἡ μεγάλη ἀκτὶς εἰς τὴν χειρολαβήν. Βεβαίως ὅλα αὐτὰ ἐντὸς τῶν ὁρίων ἀντοχῆς τῶν ὑλικῶν, ἐκ τῶν ὁποίων θὰ κατα-



Σχ. 5·4γ.
Γερανός.



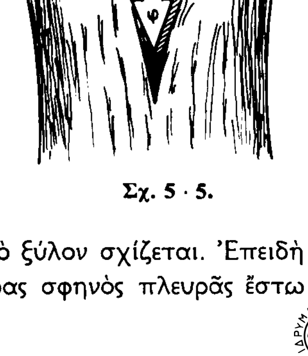
Σχ. 5·4δ.
Διαφορικὸν βαροῦλκον.

σκευασθῇ τὸ βαροῦλκον, διότι ἄλλως, ὅπως καὶ κάθε μηχανὴ ὑπερφορτωμένη, θὰ ὑπερβῇ τὰ ὅρια ἀσφαλοῦς λειτουργίας καὶ θὰ καταστραφῇ. Εἰς τὰ σχήματα 5·4β, 5·4γ καὶ 5·4δ φαίνονται διάφοροι τύποι βαρούλκων. Διὰ τὸ σχῆμα 5·4δ ἰσχύει ἡ σχέσις:

$$F = B\left(\frac{r-r'}{2R}\right)$$

5·5 Σφήν.

Σφὴν καλεῖται στερεὸν σῶμα κωνικοῦ σχήματος, τὸ ὁποῖον εἰσερχόμενον εἰς ρωγμὴν ἑνὸς ἄλλου στερεοῦ προκαλεῖ ἀπομάκρυνσιν τῶν ἑκατέρωθεν μερῶν του (σχ. 5·5).



Σχ. 5·5.

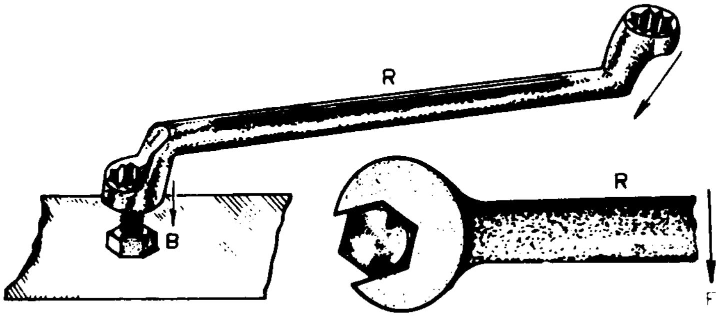
Μὲ τὴν ἐφαρμογὴν τῆς δυνάμεως F, ἡ ὁποία ἀναλύεται εἰς δύο ἴσας δυνάμεις F_1 καὶ F_2 προκαλεῖται ἄπωσις εἰς τὰς δύο πλευρικὰς ἐπιφανείας, ὁ σφὴν εἰσδύει καὶ τὸ ξύλον σχίζεται. Ἐπειδὴ ἡ δύναμις F δρᾷ καθέτως ἐπὶ τῆς ἄνω ἕδρας σφηνὸς πλευρᾶς ἔστω α, αἱ δὲ συνιστῶσαι F_1 καὶ F_2 δροῦν ἐπίσης καθέτως ἐπὶ τῶν πλευρικῶν ὄψεών της (ἑδρῶν) μήκους β, προκύπτει ὁμοιότης τῶν σχηματιζομένων τριγώνων καὶ ἐξ αὐτῆς ἡ ἀναλογία:

$$F = F_1 \frac{\alpha}{\beta} = F_2 \frac{\alpha}{\beta} \cdot$$

Ἤτοι, λεπτὸς σφὴν δηλαδὴ μεγάλου πλαγίου μήκους β καὶ μικρᾶς ἄνω πλευρᾶς α εἰσέρχεται μὲ μικρὰν δύναμιν F καὶ ἀναπτύσσει μεγάλας πλευρικὰς δυνάμεις F_1 καὶ F_2.

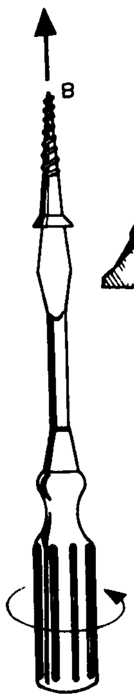
5 · 6 Κοχλίας.

Εἰς τὸν κοχλίαν (βίδα) ἡ δύναμις (ροπὴ) ἐφαρμόζεται εἴτε μέσω



Σχ. 5 · 6 α.

Σχ. 5 · 6 β.



Σχ. 5 · 6 γ.

χειρολαβῆς εἴτε μὲ κατάλληλον ἐργαλεῖον (σχ. 5 · 6 α, 5 · 6 β, 5 · 6 γ).

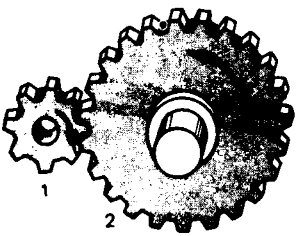
Ἔστω ὅτι μὲ μίαν πλήρη περιστροφὴν τῆς κεφαλῆς του ὁ κοχλίας προχωρεῖ εἰς τὸ περικόχλιόν του (βάσις στηρίξεως, παξιμάδι) κατὰ τὸ *βῆμα* του μήκους h, καὶ ἐξασκεῖ δύναμιν **B**, ὅταν ἡμεῖς ἐπιδρῶμεν ἐπὶ τῆς λαβῆς μὲ δύναμιν F, μέσω μοχλοβραχίονος R. Στηριζόμενοι καὶ πάλιν ἐπὶ τῆς γενικῆς ἀρχῆς τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας θὰ ἔχωμεν: ἔργον προσφερόμενον = ἔργον ἀποδιδόμενον, ἤτοι: $F \cdot 2\pi R = B \cdot h$ ἢ

$$F = B \frac{h}{2\pi R}$$

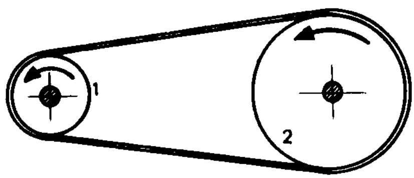
Συνεπῶς ὁ κοχλίας μὲ μικρὰν δύναμιν F θὰ κατανικᾶ μεγάλην δύναμιν B, ὅταν ἔχῃ μικρὸν βῆμα h (ψιλὴ βόλτα), ἡμεῖς δὲ χρησιμοποιοῦμεν μεγάλο βραχίονα εἰς τὴν χειρολαβὴν ἢ εἰς τὸ κλειδὶον ἢ χονδρὴν χειρολαβὴν εἰς τὸν βιδολόγον.

5 · 7 Ὀδοντωτοὶ τροχοὶ καὶ τροχοὶ μὲ ἱμάντας.

Ἔτσι ὀνομάζονται οἱ τροχοί, οἱ ὁποῖοι συμπλέκονται εἴτε μὲ τοὺς ὀδόντας, ποὺ φέρουν εἰς τὴν περιφέρειάν των, εἴτε συνδέονται μὲ ἱμάντα (λουρὶ) κατὰ τέτοιον τρόπον, ὥστε ἡ στροφὴ τοῦ ἑνὸς νὰ μεταδίδεται εἰς ἄλλον. Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 5 · 7 α, ἡ πλήρης στροφὴ τοῦ μικρᾶς διαμέτρου τροχοῦ 1 προκαλεῖ στροφὴν κατὰ τμῆμα τῆς ὅλης περιστροφῆς τοῦ μεγάλου τροχοῦ καὶ μάλιστα τό-



Σχ. 5 · 7 α.

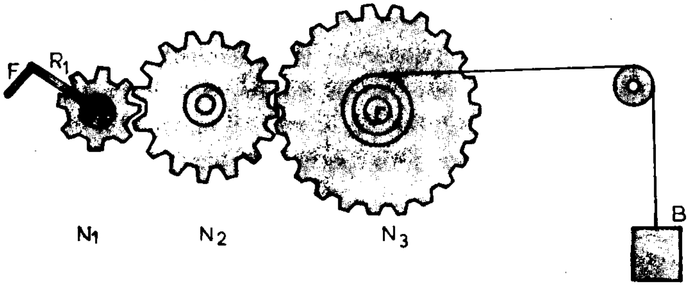


Σχ. 5 · 7 β.

σον, ὅσον εἶναι τὸ κλάσμα $\frac{N_1}{N_2}$, ὅπου N_1 καὶ N_2 ὁ ἀριθμὸς τῶν ὀδόντων τῶν τροχῶν. Ἀνάλογον συμβαίνει καὶ μὲ δύο τροχοὺς συνδεομένους μὲ ἱμάντα (σχ. 5 · 7 β), ὅπου ὁ μεγαλύτερος θὰ διαγράψῃ τμῆμα τῆς περιφερείας ἴσον πρὸς $\frac{r}{R}$, ὅταν ὁ μικρότερος διαγράψῃ πλήρως τὴν περιφέρειάν του. Παρὰ τὴν ὁμοιότητα αὐτὴν ὑπάρχει μεταξὺ τῶν δύο αὐτῶν μηχανῶν διαφορὰ κατὰ τὴν *φορὰν περιστροφῆς*.

Πράγματι, εἰς τοὺς ὀδοντωτοὺς τροχοὺς ἀλλάσσει ἡ φορὰ (βέλη περιστροφῆς) ἀπὸ δεξιόστροφον τοῦ τροχοῦ 1 εἰς ἀριστερόστροφον τοῦ τροχοῦ 2, ἐνῶ εἰς τὴν σύνδεσιν μὲ ἱμάντα τοῦτο δὲν συμβαίνει καὶ ἀμφότεροι οἱ τροχοὶ κινοῦνται ἀριστερόστροφα.

Χρησιμοποιοῦντες λοιπὸν τὴν ἐλάττωσιν τῆς διαδρομῆς, ἡ ὁποία γίνεται ὅταν ἀπὸ μικροὺς τροχοὺς μεταδίδωμεν τὴν κίνησιν πρὸς τοὺς μεγαλυτέρους, κατορθώνομεν νὰ κατανικήσωμεν μεγάλην ῥοπὴν συνδεομένην πρὸς τὸν μεγαλύτερον τροχόν, ἐνῶ ἡμεῖς στρέφομεν τὸν μικρότερον 1 ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν σχημάτων 5 · 7 α καὶ 5 · 7 β (ὀρθότερον ἐλάττωσις μὲν τῆς γωνίας στροφῆς, αὔξησις δὲ τῆς ροπῆς). Τύπον βαρούλκου μὲ ὀδοντωτοὺς τροχοὺς παριστᾶ τὸ σχῆμα 5 · 7 γ.



Σχ. 5 · 7 γ.

Σημείωσις: Πλήρης στροφὴ τῆς χειρολαβῆς ἀκτῖνος R δι᾽ ἐπιδράσεως τῆς δυνάμεώς μας F προκαλεῖ ἔργον $F \cdot 2\pi R$, ἐνῷ τὸ βάρος **B** ἀνυψοῦται κατὰ h ἀποδιδομένου ὑπὸ τῆς μηχανῆς ἔργου **Bh**, ἄρα ἰσχύει $F \cdot 2\pi R = Bh$. Ἀλλὰ τὸ h εἶναι πολὺ μικρότερον τῆς διαδρομῆς $2\pi R$ καὶ δὴ κατὰ τὴν ἀναλογίαν $\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{N_2}{N_3} \cdot \frac{r}{R}$, ὅπου N_1, N_2, N_3 οἱ ἀριθμοὶ τῶν ὀδόντων τῶν τροχῶν 1, 2 καὶ 3 καὶ ἡ δύναμις:

$$F = B\left(\frac{N_1}{N_3} \cdot \frac{r}{R_1}\right)$$

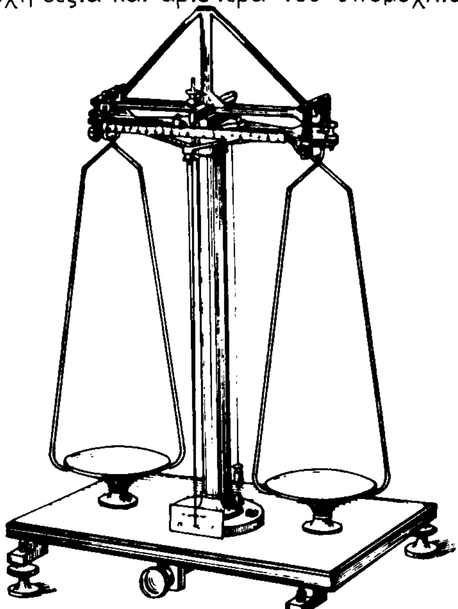
5 · 8 Ζυγοί.

Ὁ *ζυγὸς* (ζυγαριὰ) ὑπὸ τὰς διαφόρους μορφάς του εἶναι ἁπλῆ μηχανὴ τοῦ εἴδους τῶν μοχλῶν καὶ δύναται νὰ μᾶς χρησιμεύσῃ διὰ τὴν μέτρησιν τῆς μάζης τῶν σωμάτων, ἐφ᾽ ὅσον γνωρίζομεν ὅτι ἰσχύει ἡ ἰσότης $B = mg$, ἄρα τὰ βάρη τῶν σωμάτων εἶναι ἀνάλογα πρὸς τὰς μᾶζας τῶν σωμάτων διὰ τὸν αὐτὸν τόπον (g σταθερόν). Ἐὰν λοιπὸν ἕνα σῶμα A_2 ἔχῃ διπλάσιον βάρος ἀπὸ ἕνα ἄλλο A ὑπὸ τὰς αὐτὰς συνθήκας ζυγίσεως, ἕπεται ὅτι καὶ ἡ μᾶζα τοῦ A_2 εἶναι διπλασία ἀπὸ τὴν μᾶζαν τοῦ A_1. Οὕτως, ὅταν ἀγοράζωμεν τρόφιμα, δὲν μᾶς ἐνδιαφέρει τὸ βάρος αὐτὸ καθ᾽ ἑαυτό, δηλαδὴ ἡ δύναμις μὲ τὴν ὁποίαν ἕλκονται ἀπὸ τὴν Γῆν, ἀλλὰ τὸ ποσὸν τῆς ὕλης, ποὺ περιέχουν (μᾶζα), διότι αὐτὸ θὰ μᾶς θρέψῃ καὶ ὄχι τὸ βάρος.

Τύποι ζυγῶν εἶναι οἱ ἀκόλουθοι:

α) *Ζυγὸς ἁπλοῦς ἴσων μοχλοβραχιόνων.*

Ἀποτελεῖται ἀπὸ τὴν φάλαγγα, δύο πλάστιγγας καὶ δείκτην ἰσορροπίας. Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα 5 · 8 α, ὅταν ὁ ζυγὸς κλίνη, οἱ δίσκοι τῶν πλαστίγγων μένουν ὁριζόντιοι, διότι μετατοπίζονται παραλλήλως (δὲν γέρνουν). Ἄρα πάντοτε αἱ δυνάμεις (τὰ βάρη) δροῦν καθέτως ἐπὶ τῶν δίσκων καὶ μάλιστα κατὰ τὴν κατακόρυφον. Ὁ ζυγὸς πρέπει βεβαίως νὰ ἰσορροπῇ μόνος του, ἀλλὰ καὶ νὰ ἔχῃ δεξιὰ καὶ ἀριστερὰ τοῦ ὑπομοχλίου ἴσα μήκη καὶ βάρη βραχιόνων καὶ πλαστίγγων.



Σχ. 5 · 8 α.

Τοῦτο δυνάμεθα νὰ τὸ διαπιστώσωμεν, ἂν ζυγίσωμεν ἕνα σῶμα Σ μὲ τὰ κατάλληλα σταθμὰ Β καὶ ἔπειτα ἀνταλλάξωμεν τὰς θέσεις των, δηλαδὴ ἐὰν εἰς τὸν δίσκον τῶν σταθμῶν θέσωμεν τὸ σῶμα, καὶ τὰ σταθμὰ τὰ τοποθετήσωμεν εἰς τὸν δίσκον, ὅπου εὑρίσκετο τὸ σῶμα.

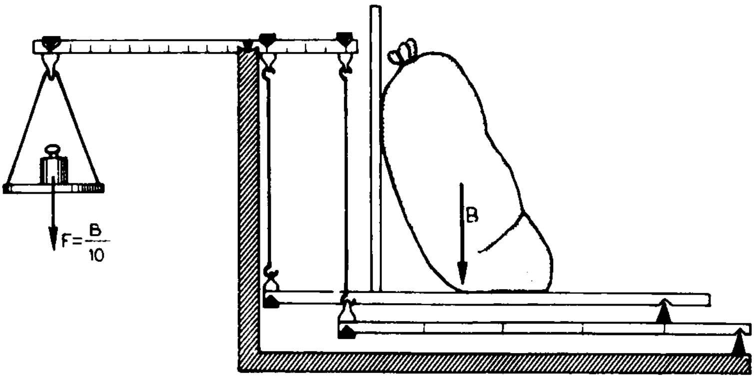
Ἂν ὁ ζυγὸς εἶναι *ἀκριβής*, ἡ ἰσορροπία θὰ ἀποκατασταθῇ ἐκ νέου, ἄλλως πρέπει νὰ ἐπισκευασθῇ.

Ὁ ζυγὸς ἐκτὸς τῆς ἀκριβείας του πρέπει νὰ ἔχῃ καὶ *εὐαισθησίαν*, ἤτοι νὰ κλίνῃ εὐκόλως καὶ νὰ φαίνεται ἡ γωνία τῆς κλίσεώς του μὲ μικρὸν σχετικῶς βάρος ἐπάνω εἰς τὸν ἕνα δίσκον του, ὅταν ζυγίζῃ κάποιον σῶμα, ὅταν εἶναι δηλαδὴ φορτωμένος. Οἱ καλοὶ ζυγοὶ τοῦ ἐμπορίου δείχνουν τὴν προσθήκην τοῦ ἑνὸς γραμμαρίου, ὅταν ζυγίζουν σῶμα 10 kg (1 : 10), ἐνῷ ὁ ζυγὸς τῶν χημικῶν ἀναλύσεων δύναται νὰ σημειώσῃ διαφορὰν 1/10 τοῦ mg, ὅταν ζυγίζῃ οὐσίαν βάρους 100 g ($1:10^6$).

Ὁ πολὺ εὐαίσθητος ζυγὸς χαρακτηρίζεται ἀπὸ μικροὺς λεπτοὺς βραχίονας καὶ ἐλαφρὰς πλάστιγγας, αὐτὰ ὅμως τὰ πλεονεκτήματά του (διὰ τὴν εὐαισθησίαν) τὸν καθιστοῦν πολὺ εὔθραυστον καὶ συνεπῶς δὲν δυνάμεθα μὲ τὸν τύπον αὐτὸν τοῦ ζυγοῦ νὰ ζυγίσωμεν βαρέα σώματα.

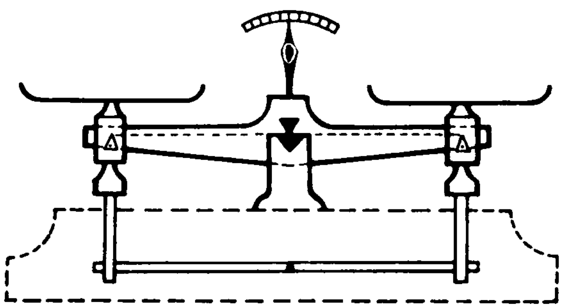
β) Δεκαπλασιαστικὸς ζυγὸς (κοινῶς πλάστιγγα).

Ἡ πλάστιγξ δύναται νὰ ζυγίσῃ βαρέα σώματα μὲ χρῆσιν ὄχι ἴσου βάρους σταθμῶν ἀλλὰ 10 φορὰς μικροτέρων καὶ τοῦτο, διότι αὐξάνομεν τὸν μοχλοβραχίονα τῶν σταθμῶν ἐν σχέσει πρὸς τὸν μοχλοβραχίονα τοῦ σώματος, ποὺ θὰ ζυγίσωμεν (σχ. 5·8β).



Σχ. 5·8β.

Ἔχομεν δηλαδὴ εἰς ἁπλοῦν σχῆμα μονίμως τὴν σχέσιν ἕνα πρὸς δέκα (1:10) τῶν βραχιόνων, ὁπότε ἡ δύναμις F εἶναι 10 φορὰς μικροτέρα τοῦ B.



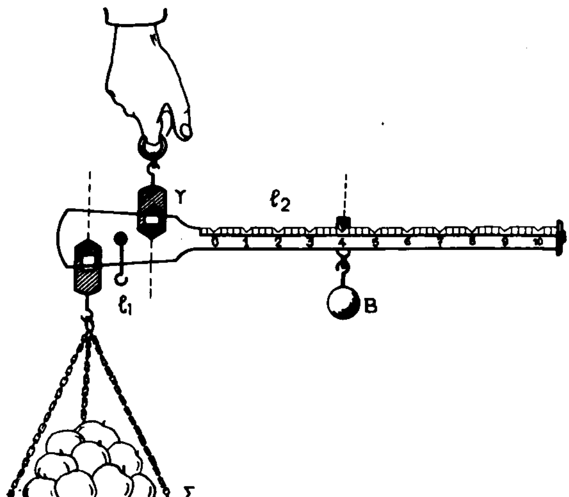
Σχ. 5·8γ.

Ἂν προσέξωμεν τὸ εἶδος τῆς στηρίξεως τῆς πλακὸς τοῦ ζυγοῦ, ὁπωσδήποτε καὶ ἂν τεθῇ ὁ σάκκος, ἡ πλὰξ δὲν γέρνει ἀλλὰ μετατοπίζεται παράλληλως ὅπως καὶ εἰς ἐπιτραπεζίους ζυγοὺς συνήθους τύπου (σχ. 5·8γ) ἢ αὐτομάτους δίχως σταθμά, μὲ ἀντίβαρον.

Ἡ ἰδιότης αὐτὴ τῆς παραλλήλου ὁριζοντίας μετατοπίσεως εἶναι σπουδαία καὶ πρέπει πάντοτε νὰ φροντίζωμεν κάθε ζυγαριὰ νὰ ὁριζοντιώνεται πρὸ πάσης χρήσεως μὲ τὰ κατάλληλα στηρίγματα, καὶ μὲ ἔλεγχον, ἂν εἶναι δυνατόν, δι' ἀεροστάθμης (ἀλφάδι). Ὅταν δὲν συμβαίνῃ ἡ παράλληλος αὐτὴ μετατόπισις, τότε δὲν μετρεῖται τὸ πραγματικὸν βάρος (κατὰ τὴν κατακόρυφον) καὶ κατὰ συνέπειαν καὶ αἱ ἐνδείξεις τῆς μάζης τοῦ ζυγιζομένου σώματος εἶναι ἐσφαλμέναι.

γ) Ρωμαϊκὸς στατὴρ (καντάρι).

Ἔτσι καλεῖται ζυγαριὰ παλαιοῦ τύπου μὲ τὸ ἀντίβαρον B μετακινούμενον ἐπὶ τοῦ μοχλοβραχίονός του l_2 (σχ.5·8δ). Εἰς κάθε

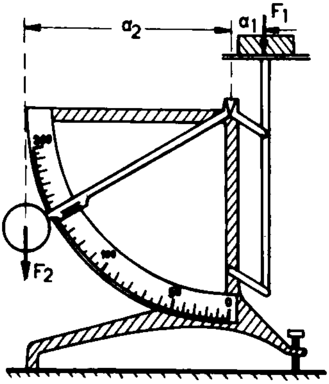


Σχ. 5·8δ.

θέσιν ὁριζοντίας ἰσορροπίας τοῦ ζυγοῦ, αἱ ῥοπαὶ τῶν δύο βαρῶν ὡς πρὸς τὸ ὑπομόχλιον Υ εἶναι ἴσαι, δηλαδὴ $\Sigma \cdot l_1 = \mathrm{B} \cdot l_2$ καὶ ἐπειδὴ l_1 σταθερὸν καὶ B σταθερόν, ἕπεται ὅτι διὰ κάθε βάρος Σ, θὰ ἀλλάσσῃ τὸ μῆκος l_2. Πλεονέκτημα τοῦ στατῆρος εἶναι (ὅπως καὶ τῶν αὐτομάτων ἐπιτραπεζίων ζυγαριῶν) ἡ ἔλλειψις σταθμῶν, μειονεκτεῖ ὅμως κατὰ τὴν ἀκρίβειαν καὶ εὐαισθησίαν.

δ) Ζυγὸς ἐπιστολῶν ἢ ἄλλων ἐλαφρῶν ἀντικειμένων.

Εἶναι ἁπλοῦς ζυγὸς μὲ ἀντίβαρον καὶ παράλληλον μετατόπισιν τοῦ δίσκου του κατάλληλος διὰ ζύγισιν μικροῦ βάρους ἀντικειμένων. Προσέξατε τὴν κίνησιν τοῦ δείκτου του ἐπὶ τοῦ βαθμολογημένου τόξου καὶ θὰ παρατηρήσετε ἀνίσους τὰς διαιρέσεις (σχ. 5 · 8 ε).



Σχ. 5 · 8 ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 6

ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΣ, ΤΡΙΒΗ, ΣΚΛΗΡΟΤΗΣ

6 · 1 Δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων.

Εἰς τὴν Εἰσαγωγὴν (παράγρ. 0 · 3) διεκρίναμεν τὰς τρεῖς καταστάσεις τῶν ὑλικῶν σωμάτων καὶ τὰ ἐλάχιστα τεμαχίδια (μόρια), ἐκ τῶν ὁποίων ἀποτελεῖται κάθε σῶμα. Μεταξὺ τῶν μορίων τῶν σωμάτων ὑπάρχουν δυνάμεις, ποὺ εἶναι ἰδιαιτέρως μεγάλαι εἰς τὰ στερεὰ σώματα καὶ δι' αὐτὸ τὰ στερεὰ δὲν καταρρέουν, δὲν παραμορφώνονται μόνα των, δὲν ἀλλάσσουν εὔκολα σχήματα ὅπως τὰ ὑγρὰ ἢ ἀκόμη εὐκολώτερον τὰ ἀέρια.

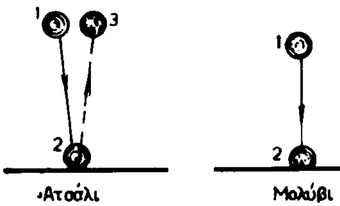
Ὑφίστανται ὅθεν δυνάμεις ἑλκτικαὶ μεταξὺ τῶν μορίων τῶν σωμάτων καὶ ἂν μὲν πρόκειται διὰ τὰ μόρια ἑνὸς καὶ τοῦ αὐτοῦ σώματος, ὀνομάζονται *δυνάμεις συνοχῆς*, ἐνῶ εἰς τὰς δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων δύο διαφόρων σωμάτων δίδομεν τὸ ὄνομα *δυνάμεις συναφείας*. Οὕτω π.χ. ὅταν ρέῃ τὸ ὕδωρ, τὰ πρῶτα στρώματα παρασύρουν καὶ τὰ ἄλλα, ἐν μέρει, λόγῳ δυνάμεων συνοχῆς, ὥστε καὶ μέσα εἰς ἕνα διαστημόπλοιον, ὅπου δὲν παρουσιάζεται ἐπίδρασις βάρους, ὅταν ἀρχίσῃ νὰ κινῆται μία ποσότης ὕδατος, αὐτὴ θὰ παρασύρῃ καὶ τὸ ὑπόλοιπον ποσόν, ὡσὰν νὰ ἦσαν ὅλα τὰ μόρια πλεγμένα μὲ ἀόρατα νήματα.

Ἀντιστοίχως, ὅταν γράφωμεν εἰς τὸν πίνακα μὲ τὴν κιμωλίαν, ἢ ὅταν κάθεται καὶ δὲν πίπτῃ ἡ κόνις, ποὺ σκεπάζει ἕνα ὑαλοπίνακα παραθύρου ἢ ἀκόμη ὅταν ὁ ὑαλοπίναξ βρέχεται καὶ ἐπάνω του ἁπλώνεται ἕνα λεπτὸν στρῶμα (ὑμένιον) ὕδατος κ.ο.κ.· ὅλα αὐτὰ ὀφείλονται εἰς τὰς δυνάμεις συναφείας, δηλαδὴ δυνάμεις μορίων ἑνὸς σώματος μὲ τὰ μόρια τοῦ ἄλλου σώματος.

Αἱ δυνάμεις συναφείας, κυρίως ὅμως αἱ δυνάμεις συνοχῆς, παρουσιάζονται μόνον, ὅταν τὰ σώματα πλησιάσουν πάρα πολὺ οὕτως, ὥστε νὰ ἀλληλοσυνδεθοῦν τὰ μόριά των, διότι διαφορετικὰ θὰ ἠδυνάμεθα νὰ συμπιέζωμεν ἁπλῶς δύο τεμάχια π.χ. χρυσοῦ καὶ νὰ ἀποκτούσαμε ἕνα συμπαγὲς σῶμα λόγῳ δυνάμεων συνοχῆς. Αὐτὸ ὅμως, ὅπως εἶναι γνωστόν, δὲν συμβαίνει. Γενικῶς αἱ δυνάμεις αὐταὶ γίνονται μικρότεραι, ὅσον θερμαίνομεν ἕνα σῶμα, διότι τότε, ὅπως ἀποδεικνύεται, τὰ μόρια τῶν σωμάτων ἀρχίζουν νὰ κινοῦνται ἢ νὰ ταλαντεύωνται (τρέμουν) ἔντονα καὶ ἔτσι χαλαρώνεται ἡ συνοχὴ τῶν σωμάτων καὶ ἀπὸ στερεὰ γίνονται ὑγρὰ καὶ τέλος ἀέρια (πάγος, ὕδωρ, ὑδρατμός).

6 · 2 Ἐλαστικότης, παραμορφώσεις. Νόμος Χοὺκ.

Τὰ μόρια τῶν στερεῶν ἔχουν βέβαια ὡρισμένας θέσεις μέσα εἰς τὸ σῶμα, ἀλλὰ ὑπάρχει καὶ κάποια – ἔστω καὶ ἐλαχίστη – ἀπόστασις μεταξύ των. Δυνάμεθα ἑπομένως μὲ τὴν ἐπίδρασιν ἐξωτερικῶν αἰτίων (π.χ. δυνάμεων) νὰ τὰ πλησιάσωμεν ὀλίγον (συμπίεσις) ἢ νὰ τὰ ἀπομακρύνωμεν (ἑλκυσμός), ὁπότε τὸ σῶμα *παραμορφώνεται*, ἐφ' ὅσον ἡμεῖς ἀσκοῦμεν τὴν δύναμίν μας, ὅταν δὲ παύσωμεν νὰ ἐπιδρῶμεν, τὸ σῶμα ἀναλαμβάνει τὸ σχῆμα του, ἡ παραμόρφωσις παύει καὶ τὰ μόρια παίρνουν τὰς προηγουμένας θέσεις των. Λέγομεν τότε ὅτι ἡ παραμόρφωσις εἶναι *ἐλαστική*, ἐνῶ, ὅταν παραμένη μονίμως ἡ παραμόρφωσις, ὀνομάζεται *πλαστική*. Καλοῦμεν ὅθεν ἐλαστικότητα τὴν ἰδιότητα τῶν σωμάτων νὰ παραμορφώνωνται ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν ἐξωτερικῶν αἰτίων καὶ νὰ ἀναλαμβάνουν ἀκριβῶς τὸ προηγούμενον σχῆμα των, ὅταν παύση δρῶσα ἡ ἐξωτερικὴ αἰτία, πού τὰ παρεμόρφωσεν.



Σχ. 6 · 2 α.

Ἄριστον ἐλαστικὸν σῶμα εἶναι ὁ χάλυψ (ἀτσάλι), ἐνῶ πλαστικὸν ὁ μόλυβδος. Πράγματι, μία μπίλια ἀτσαλένια (μπίλια ἀπὸ ἔνσφαιρον τριβέα, ρουλεμάν), ὅταν ἀφεθῆ νὰ πέση ἐπάνω εἰς μαρμαρίνην πλάκα, παραμορφώνεται κατὰ τὸ κτύπημα, πλατύνεται, ἀλλὰ ἀμέσως μαζεύεται ἐκ νέου, ἀναλαμβάνει τὸ σφαιρικὸν σχῆμα καὶ ἀναπηδῶσα φθάνει σχεδὸν εἰς τὸ ὕψος, ἀπὸ τὸ ὁποῖον ἐκκίνησεν (θέσεις 1, 2, 3).

Αὐτὸ ὅμως δὲν συμβαίνει καθόλου εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς μολυβδίνης μπίλιας, ἡ ὁποία μένει μονίμως παραμορφωμένη ἐπάνω εἰς τὴν πλάκα, ὅλη δὲ ἡ κινητικὴ ἐνέργεια δαπανᾶται διὰ τὴν παραμόρφωσιν καὶ τὴν θέρμανσίν της (σχ. 6 · 2 α). Εἰς ἕνα καλὸν ἐλαστικὸν σῶμα ὅπως τὸ ἀτσάλι, παρατηροῦμεν κατ' ἀρχὰς μίαν ἀναλογίαν μεταξὺ δυνάμεων καὶ παραμορφώσεων, ἡ ὁποία ἀποτελεῖ τὸν Νόμον τοῦ Χούκ, ποὺ μᾶς λέγει ὅτι *αἱ ἐλαστικαὶ παραμορφώσεις εἶναι ἀνάλογοι τῶν ἐξωτερικῶν αἰτίων, ποὺ τὰς προκαλοῦν.* Ἄρα, διπλασία δύναμις εἰς ἕνα κανταράκι (ἐλατήρια) θὰ προκαλέση διπλασίαν ἐπιμήκυνσιν, τριπλασία δύναμις θὰ κατεβάση τὸν δείκτην εἰς τριπλασίαν ἀπόστασιν κ.ο.κ. Αὐτὴ ἡ ἀναλογία δὲν ἰσχύει ἐπὶ πολύ, διότι, ὅταν ἡ δύναμις ὑπερβῇ ὡρισμένον ὅριον, ποὺ ὀνομάζεται *ὅριον ἐλαστικότητος,* τὸ σῶμα παραμορφώνεται μονίμως, πρᾶγμα ποὺ τὸ βλέπομεν εἰς τὸ κανταράκι, ὅταν τὸ παραφορτώσωμε. Τότε τὸ ἐλατήριόν του ἀνοίγει καὶ μένει χαλαρωμένον, χωρὶς νὰ ἐπανέρχεται ὁ δείκτης εἰς τὸ μηδέν, ὅταν ἀφαιρέσωμε τὸ βάρος. Ἐὰν τὸ φορτώσωμεν ἀκόμη περισσότερον, φθάνομεν εἰς τὸ *ὅριον θραύσεως,* καὶ τὸ ἐλατήριον θραύεται, ἀφοῦ προηγουμένως χάση σχεδὸν τελείως τὸ σχῆμα του.

Εἰδικώτερον, διὰ τὸν ἑλκυσμὸν ἑνὸς σύρματος ἰσχύει ἡ σχέσις :

$$\boxed{\Delta l = \frac{Fl}{ES}} \qquad \boxed{\Delta l = l_2 - l_1}$$

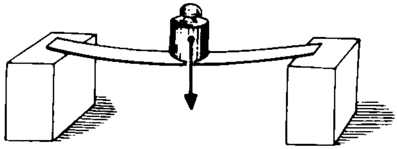
ὅπου l_1 τὸ ἀρχικὸν μῆκος, l_2 τὸ νέον μῆκος τοῦ σύρματος, F ἡ τείνουσα αὐτὸ δύναμις, S ἡ τομὴ τοῦ σύρματος καὶ E ἕνα χαρακτηριστικὸν μέγεθος ὀνομαζόμενον *μέτρον ἑλκυσμοῦ* τοῦ ὑλικοῦ τοῦ σύρματος, π.χ. διὰ τὸ ἀτσάλι 21 000 kp/mm². Ἡ σχέσις αὐτὴ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ ὑπολογίζωμεν τὸ νέον μῆκος, ὅταν γνωρίζωμεν τὴν δύναμιν καὶ τὰς διαστάσεις τοῦ σύρματος.

Ἔστω π.χ. σύρμα διαμέτρου 2 mm μήκους 4 m, ἀπὸ τὸ ἄκρον τοῦ ὁποίου ἐξαρτῶμεν βάρος 25 kp. Ζητεῖται ἡ ἐπιμήκυνσίς του. Ἔχωμεν (4m 4000 mm)

$$l_2 - l_1 = \frac{25}{\frac{\pi}{4}\times 2^2} \times \frac{4\,000}{21\,000} = 1{,}5 \text{ mm.}$$

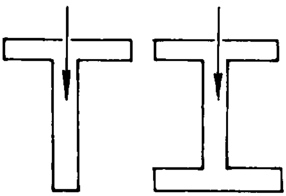
Ἑπομένως τὸ νέον μῆκος θὰ εἶναι 4,0015 ἢ ἄλλως τὸ σύρμα θὰ ἐπιμηκυνθῇ κατὰ 1,5 mm.

Ἀναλόγως πρὸς τὴν *ἐλαστικότητα τοῦ ἑλκυσμοῦ* ἔχομεν καὶ *ἐλαστικότητα κάμψεως.* Χαρακτηριστικὸν παράδειγμα κάμψεως ἔχομεν εἰς μίαν σανίδα, ποὺ στηρίζεται εἰς τὰ δύο ἄκρα της καὶ εἰς τὸ μέσον φορτίζεται, ὁπότε καὶ σχηματίζει τόξον (σχ. 6 · 2 β). Ἡ κάμψις δὲν εἶναι ἰδιαιτέρως ἐλαστικὴ παραμόρφωσις, ἀλλὰ σχετίζεται μὲ τὸν ἑλκυσμὸν καὶ τὸ ἀντίθετόν του, τὴν συμπίεσιν, τὴν θλῖψιν. Πράγματι, ἂν διαθέτωμεν κατάλληλα ὄργανα, θὰ διαπιστώσωμεν ὅτι λόγω τῆς καμπυλώσεως ἡ κάτω ἕδρα τῆς σανίδος ἐπιμηκύνεται, ἐνῶ ἡ ἄνω συρρικνοῦται, ὅπως ἡ φυσαρμόνικα.



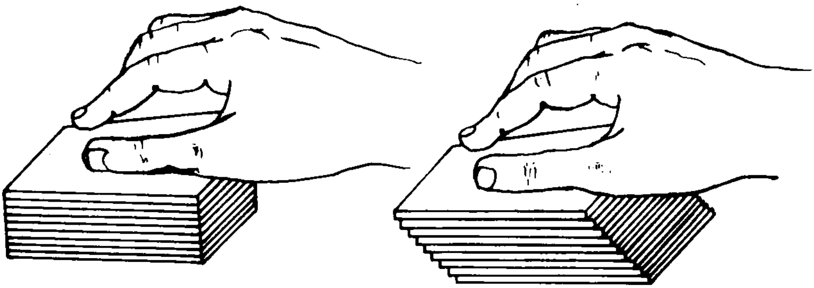
Σχ. 6 · 2β.

Τὸ φαινόμενον αὐτὸ εἶναι δύσκολον νὰ γίνῃ ἀντιληπτὸν εἰς τὴν σανίδα, ἀλλὰ ὑπάρχει τρόπος νὰ μετρηθοῦν αἱ μηκύνσεις καὶ βραχύνσεις. Εἰς τὴν τεχνικὴν βασικὴ σημασία δίδεται εἰς τὴν ἐλάττωσιν τῆς καμπυλώσεως. Πρὸς τοῦτο χρησιμοποιοῦμεν τὰ ὑλικὰ κατὰ τέτοιον τρόπον, ὥστε νὰ λάβουν σχήματα, λόγω τῶν ὁποίων ἡ καμπυλότης νὰ εἶναι πολὺ μικρά. Μορφαὶ τοῦ εἴδους αὐτοῦ δεικνύονται εἰςτὸ σχῆμα 6 · 2γ.



Σχ. 6 · 2γ.

Μία ἄλλη μορφὴ ἐλαστικῆς παραμορφώσεως εἶναι ἡ *ὀλίσθησις* ἢ ἡ *στρέψις*. Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς προκαλοῦμεν παράλληλον μετατό-



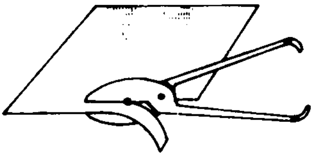
Σχ. 6 · 2δ.

πισιν τῶν στρωμάτων τοῦ ὑλικοῦ ὅπως εἰς τὰ φύλλα μιᾶς δεσμίδος χάρτου (σχ. 6 · 2 δ), ὅταν μὲ τὴν παλάμην μας ἐπὶ τῆς δεσμίδος ἐφαρμόσωμεν παράλληλον πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν δύναμιν (διατμητικὴ δύναμις).

Βεβαίως ἡ δεσμὶς δὲν χαρακτηρίζεται ἀπὸ ἐλαστικότητα καὶ τὸ πλαγιογώνιον σχῆμα μένει, ἐνῶ τὰ ἐλαστικὰ σώματα ἀνακτοῦν τὸ προηγούμενον σχῆμα, ὅταν λείψῃ ἡ παραμορφοῦσα αὐτὰ αἰτία.

Παρόμοιον φαινόμενον γίνεται, ὅταν μὲ τὴν παλάμην ἐπάνω εἰς τὴν δεσμίδα στρέψωμεν τὰ φύλλα, ὁπότε διαγράφονται τόξα κύκλου.

Ὀλίσθησις (διάτμησις) γίνεται, ὅταν ἕνα ὑλικὸν κόπτεται μὲ ψαλίδι (σχ. 6 · 2 ε) καὶ *στρέψις*, ὅταν τὸ ἕνα ἄκρον ἑνὸς κοχλίου (βίδας) ἔχῃ φθάσει εἰς τὸ τέρμα καὶ ἡμεῖς ἐξακολουθῶμεν νὰ στρέφωμεν τὴν κεφαλὴν μὲ τὸ κλειδὶ ἢ τὸν βιδολόγον. Τὴν αὐτὴν κόπωσιν ὑφίσταται ὁ ἄξων καὶ εἰς ὅλας τὰς χειρολαβὰς (μανιβέλλες).



Σχ. 6 · 2 ε.

Τέλος ἄλλη περίπτωσις ἰδιαιτέρως σχετιζομένη μὲ τὴν ἐλαστικότητα ὑγρῶν καὶ ἀερίων εἶναι ἡ ἐλαστικότης τῶν ὑλικῶν εἰς *πανταχόθεν συμπίεσιν*. Ἕνας ὄγκος ὑγροῦ ἐκ τῆς ἐπιφανείας τῆς θαλάσσης, ὅταν κλεισθῇ εἰς εὔκαμπτον δοχεῖον καὶ βυθισθῇ εἰς ἀρκετὸν βάθος, γίνεται μικρότερος λόγω τῆς πανταχόθεν ἐξασκουμένης συνθλίψεως. Ἀποδεικνύεται ὅτι ἕνα λίτρον ὕδατος ἐπιφανείας εἰς βάθος 1000 m ἐντὸς τῆς θαλάσσης ἐλαττώνεται κατὰ 5 cm^3 καὶ ὅταν ἀνασυρθῇ ἀποκτᾷ καὶ πάλιν τὸν ἀρχικὸν ὄγκον του τῶν 1000 cm^3.

Γενικὴ παρατήρησις : Τὰ φαινόμενα τῆς ἐλαστικότητος μᾶς ἐξυπηρετοῦν, διότι δύνανται νὰ μᾶς χρησιμεύσουν διὰ τὴν ἀποταμίευσιν ἐνεργείας. Οὕτω, καταβάλλοντες ἔργον κουρδίζομεν ἕνα ἐλατήριον ὡρολογίου παραμορφώνοντες αὐτὸ καὶ ἔπειτα βραδέως λαμβάνεται ἡ ἐνέργεια αὐτὴ ἀπὸ τὸν μηχανισμὸν τοῦ ὡρολογίου διὰ τὴν συντήρησιν τῆς κινήσεώς του ἔναντι τῶν τριβῶν, ποὺ τείνουν νὰ τὸ σταματήσουν. Παρομοίαν ἀποθήκην ἐνεργείας ἀποτελεῖ καὶ ἡ τεταμένη χορδὴ εἰς τόξον σκοποβολῆς ἢ τὸ δίχαλον μὲ τὰ τεταμένα λάστιχα (σφεντόνα) κ.λπ. Ἂν τὸ σῶμα δὲν εἶναι καλῶν ἐλαστικῶν ἰδιοτήτων, τότε τὸ ἔργον, ποὺ κατεβάλαμε, δὲν τὸ ἀνακτῶμεν, διότι δαπανᾶται διὰ τὴν μόνιμον παραμόρφωσιν καὶ διὰ τὴν μετατροπήν του εἰς αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ σώματος (θερμότης).

6 · 3 Τριβὴ ὀλισθήσεως καὶ κυλίσεως.

Ἡ τριβὴ ὀλισθήσεως εἶναι γενικῶς μία δύναμις, ἡ ὁποία αναφαίνεται μεταξὺ τῶν ἐπιφανειῶν δύο σωμάτων εὑρισκομένων εἰς στενήν έπαφήν καί μετακινουμένων τό ένα ώς πρός τό άλλο. Π.χ. ή κιμωλία έπάνω είς τόν πίνακα, ή βούρτσα έπάνω είς τά ροῦχα, πού ξεσκονίζει, τά έλαστικά τοῦ ποδηλάτου έπάνω είς τήν ἄσφαλτον τοῦ δρόμου, ὅταν πατηθῆ καλά ή πέδη (φρένο) κ.ο.κ.

Ἡ τριβή ἀντιδρᾶ εἰς τήν ταχύτητα τῆς μετακινήσεως (ὀλισθήσεως) τοῦ ἑνός σώματος ὡς πρός τό ἄλλο καί ὡς ἐκ τούτου, τό σῶμα, πού μετακινεῖται, ὀλισθαίνει ἐπί ἕνα διάστημα καί σταματᾶ, ἐφ' ὅσον ἐμεῖς ἤ κάποια ἄλλη αἰτία δέν συντηρεῖ τήν κίνησιν.

Ἡ τριβή ὀλισθήσεως εἶναι ἐπιφανειακή δύναμις καί ὀφείλεται εἰς τήν φύσιν τῶν ἐπιφανειῶν, διότι, ἄν ἐμφανισθοῦν νέαι ἀνωμαλίαι αὐτῶν, μεταβάλλεται καί ἡ τριβή. Ὅσον τραχύτεραι γίνονται αἱ ἐπιφάνειαι τῶν σωμάτων, τόσον ἡ τριβή τοῦ ἑνός ὡς πρός ἕνα ἄλλο αὐξάνει.

Παράδειγμα : Ὀλίσθησις (γλίστρημα) ἐπάνω εἰς κατηφορικήν ὁδόν μέ λείαν ἄσφαλτον ἐν συγκρίσει πρός ὁδόν μέ χονδρούς κόκκους τσιμέντου ἤ χαλίκια.

Πράγματι, ἄν ἕνα αὐτοκίνητον σταματήση ἀποτόμως, ὁπότε ἀκινητοποιοῦνται μέν οἱ τροχοί ἀλλά τό ἁμάξι γλυστρᾶ, ἡ διαδρομή πού θά κάνη ὀλισθαίνοντας εἶναι πολύ μεγαλυτέρα ἐπάνω εἰς τήν ἄσφαλτον, διότι ἐκεῖ ἡ τριβή εἶναι μικροτέρα.

Δυνάμεθα νά ἐλαττώσωμεν τήν τριβήν, ἄν δεχθῶμεν ὅτι θά ἦτο δυνατόν εὐκόλως νά εἴχαμε πάρα πολύ λείας ἐπιφανείας, ἤ ἐάν ἠδυνάμεθα νά γεμίσωμεν μέ ἕνα κατάλληλον ὑλικόν τάς διαφόρους κοιλότητας μιᾶς ἐπιφανείας, μέχρις ὅτου καταστῆ λεία.

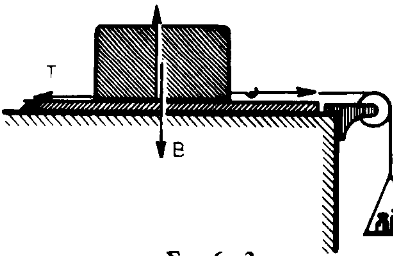
Αὐτό κατορθώνεται μέ τό γέμισμα τῶν ἔστω ἐλαχίστων κοιλοτήτων μέ ἕνα ὑγρόν, συνήθως ὀρυκτέλαιον (λίπανσις), διότι τό ὕδωρ προκαλεῖ εἰς τά μέταλλα σκωρίαν καί ἐκτός τούτου δέν προσκολλᾶται καλά, ὅπως τό ὀρυκτέλαιον ἤ τό εἰδικόν λίπος (γράσσο). Ἀπαγορεύεται τό ἔλαιον φαγητῶν ἤ λίπος ζώου, διότι περιέχουν ὀξυγόνον καί τά μέταλλα σκουριάζουν.

Κατ' αὐτόν τόν τρόπον ἐλαττώνεται κατά πολύ ἡ τριβή, ἀλλά, ἄν προσέξωμεν, θά διαπιστώσωμεν ὅτι δέν πρόκειται πλέον διά τριβήν στερεῶν σωμάτων, ἀλλά μᾶλλον διά τριβήν ὑγροῦ ἐπί ὑγροῦ, ὅπως συμβαίνει εἰς τήν περίπτωσιν τοῦ χορευτοῦ ἐπάνω εἰς παρκέ, πού ἔχει γυαλισθῆ μέ εἰδικόν μαλακόν κηρόν (παρκετίνη) ἤ εἰς τό γλίστρημα αὐτοκινήτου ἐπάνω εἰς βρεγμένην λασπωμένην ἄσφαλτον. Διὰ νὰ ἔχωμεν ἕνα μέγεθος χαρακτηριστικὸν τῆς τριβῆς, ὁρίζομεν ὡς *συντελεστὴν τριβῆς* τὸν ἀριθμόν:

$$\boxed{\eta = \frac{F \text{ σύρουσα ἰσοταχῶς ὁριζοντίως δύναμις}}{B \text{ βάρος ὀλισθαίνοντος σώματος}}.}$$

Παράδειγμα 1ον.

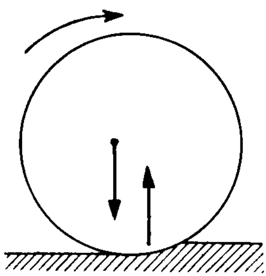
Σύρομεν ἕνα κομμάτι ξύλον ἐπάνω εἰς πλάκα μπετὸν (σχ. 6·3 α). Ἔστω ὅτι τὸ ξύλον ζυγίζει 100 kp καὶ τὸ σύρομεν ὁμαλῶς μὲ δύναμιν 85 kp. Ἑπομένως, συντελεστὴς τριβῆς $\eta = \frac{85}{100} = 0{,}85 = 85\%$. Σημειωτέον, ὅτι ὁ συντελεστὴς αὐξάνει ὀλίγον κατὰ τὴν ἐκκίνησιν καὶ ἔπειτα φθάνει εἰς τὴν κανονικὴν τιμὴν τῆς ὀλισθήσεως, π.χ. εἰς τὴν ἀρχὴν $\eta = 1$ καὶ μετὰ 0,85.



Σχ. 6·3 α.

Παράδειγμα 2ον.

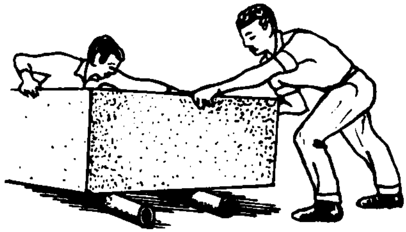
Εἰς ἕνα σύρτην μιᾶς μηχανῆς ὀλισθαίνει χαλύβδινον τεμάχιον βάρους 50 kp ἐπάνω εἰς μπρούντζινον ὑπόβαθρον. Συντελεστὴς τριβῆς ἐκκινήσεως 0,25, ὀλισθήσεως 0,20, ὀλισθήσεως μὲ λίπανσιν 0,05. Ἄρα δύναμις F διὰ νὰ σύρῃ τὸ τεμάχιον κατὰ τὸ ξεκίνημα $F = 0{,}25 \times 50 = 12{,}5$ kp, ἔπειτα ἡ F γίνεται 10 kp καὶ μὲ τὴν λίπανσιν F μόνον 2,5 kp.


Σχ. 6·3 β.

Ἡ τριβὴ ἀποδεικνύεται ὅτι δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ μέγεθος τῆς ἐπιφανείας παρὰ μόνον ἀπὸ τὸ εἶδος καὶ τὴν κατεργασίαν τῆς ἐπιφανείας, ἀναφέρεται δὲ πάντοτε εἰς ζεῦγος ἐπιφανειῶν, π.χ. χάλυψ εἰς χάλυβα, χάλυψ εἰς ξύλον, χάλυψ εἰς πάγον (πολὺ μικρὰ τριβή, διότι ὁ πάγος λειώνει καὶ γίνεται τρόπον τινὰ λίπανσις), χάλυψ εἰς δέρμα (κίνησις, ὀλίσθησις ἱμάντος εἰς τροχὸν) κ.λπ. Τὸ μέγεθος τῆς τριβῆς τὸ εὑρίσκομεν ἀπὸ τὸν ἀναφερθέντα προηγουμένως τύπον, ἐφ' ὅσον γνωρίζομεν τὸν συντελεστὴν η καὶ τὴν καθέτως ἐπὶ τὰς τριβομένας ἐπιφανείας δρῶσαν δύναμιν *.

Εἰς τὴν περίπτωσιν κυλίσεως ἡ τριβὴ προέρχεται ἀπὸ ἄλλας αἰτίας (σύνθλιψις τοῦ σώματος καὶ τῆς βάσεως, παραμορφώσεις, ἀσυμμετρίαι κ.λπ) (σχ. 6 · 3 β)· πάντως εἶναι γενικῶς πολὺ μικροτέρα ἀπὸ τὴν τριβὴν ὀλισθήσεως, περίπου 10 φοράς. Εἰς αὐτὸ ὀφείλεται ἡ προσπάθεια μετατροπῆς τῶν ὀλισθήσεων εἰς κυλίσεις σχ. 6 · 3 γ) καὶ δι' αὐτὸ χρησιμοποιοῦμεν ἀντὶ συνήθων τριβέων (κουσινέττων) τοὺς ἐνσφαίρους τριβεῖς (ρουλεμάν), ὁπότε μὲ καλὴν λίπανσιν ἡ τριβὴ F γίνεται πολὺ μικρὸν ποσοστὸν τοῦ βάρους **B** καὶ ἡ σύρουσα δύναμις ἐλαττώνεται καταπληκτικά: $\eta = \frac{F}{B} < \frac{1}{1000}$.

Καίτοι ἡ τριβὴ μᾶς ἐνοχλεῖ, διότι ἕνα μέρος τοῦ ἔργου, ποὺ καταβάλλομεν, μετατρέπεται δι' αὐτῆς εἰς ἄχρηστον θερμότητα, ἐν τούτοις εἰς πλείστας περιπτώσεις εἶναι πολὺ χρήσιμος. Χωρὶς τριβὴν θὰ ἦτο δύσκολον νὰ περπατήσωμεν, θὰ ὠλισθαίναμεν ταχέως τόσον, ὥστε θὰ ἦτο ἀδύνατον νὰ κρατηθῶμεν ἐπὶ τοῦ ἐδάφους. Οὔτε αἱ ἁμαξοστοιχίαι θὰ ἐκινοῦντο ἐπάνω εἰς τὰς τροχιάς των, οὔτε θὰ ἦτο δυνατὸν νὰ πεδήσωμεν, διότι πέδη (φρένο) σημαίνει μηχάνημα, ποὺ μετατρέπει διὰ τῆς τριβῆς τὴν κινητικὴν ἐνέργειαν εἰς θερμότητα.



Σχ. 6 · 3 γ.

Δι' αὐτὸ πολλὰς φορὰς χρησιμοποιοῦμεν εἰς τὴν τεχνικὴν συστήματα ἢ σχήματα κατάλληλα ἢ οὐσίας εἰδικὰς διὰ νὰ αὐξήσωμεν τὴν τριβήν, ὅπως αἱ τροχαλίαι μὲ κωνικοὺς ἱμάντας, τὰ διάφορα σχήματα ἐπὶ τῶν ἐλαστικῶν τῶν αὐτοκινήτων, ἡ λεπτὴ ἄμμος, ποὺ ρίπτεται εἰς τὰς σιδηροδρομικὰς γραμμάς, τὸ κολοφώνιον, διὰ τὸ δοξάρι τοῦ βιολιοῦ κ.λπ.

---

* Σημ. ὀρθότερον

$$\eta = \frac{\text{σύρουσα ὁμαλῶς δύναμις παράλληλος πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν}}{\text{κάθετος ἐπὶ τὴν ἐπιφάνειαν δύναμις ἐκ τοῦ σώματος}}$$

6 · 4 Σκληρότης.

Ὀνομάζομεν γενικῶς *σκληρότητα*, τὴν ἀντίστασιν ποὺ παρουσιάζουν τὰ στερεὰ σώματα, ὅταν διὰ μέσου τῆς ἐπιφανείας των προσπαθῶμεν νὰ εἰσαγάγωμεν ἄλλο στερεὸν σῶμα.

Ἀναλόγως τῶν περιπτώσεων ἔχομεν σκληρότητα εἰς τὴν χάραξιν (μὲ τὸ νύχι μας, π.χ. χαράσσομεν μαλακὰς πέτρας ἢ ὀρυκτὰ ὅπως ὁ τάλκης) ἢ σκληρότητα εἰς πίεσιν (μὲ ἀρβύλες, ποὺ φέρουν καρφιὰ ἀφίνομεν ἴχνη ἐπάνω εἰς τὸ παρκέτο) καὶ εἰς κροῦσιν (μὲ ἀνάγλυφον μονόγραμμα μαρκάρομεν μὲ ἕνα κτύπημα σφυριοῦ φύλλον σιδήρου) κ.ο.κ.

Συνήθως εἰς τὴν Βιομηχανίαν μετροῦν τὴν σκληρότητα τῶν μετάλλων μὲ τὸ ἴχνος (λακκούβα), ποὺ ἀφίνει εἰς τὸ λεῖον μέταλλον μία χαλυβδίνη σφαῖρα, ὅταν διὰ καταλλήλου συσκευῆς συμπιεσθῇ ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ μετάλλου. Εἰς τὴν ὀρυκτολογίαν προτιμᾶται ἡ χάραξις τοῦ ὑλικοῦ μὲ σειρὰν ἀπὸ 10 ὀρυκτά, ποὺ ἀποτελοῦν αὐθαίρετον κλίμακα σκληρότητος. Τὸ πρῶτον εἶναι τὸ πολὺ μαλακὸν ὀρυκτὸν τάλκης, τὸ δεύτερον εἶναι οἱ κρύσταλλοι γύψου, τὸ πέμπτον εἶναι τὸ ὀρυκτὸν ἀπατίτης, τὸ ἕβδομον ὁ χαλαζίας, τὸ ἔνατον τὸ κορούνδιον καὶ τέλος ὁ ἀδάμας. Ὅταν π.χ. ἕνα ὑλικὸν χαράσσεται ἔστω ἀπὸ τὸν ἀδάμαντα (Νο 10) ἀλλὰ ὄχι ἀπὸ τὸ κορούνδιον (Νο 9), τότε θὰ ἔχῃ ἐνδιάμεσον σκληρότητα (Νο 9,5).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 7

ΥΔΡΟ - ΑΕΡΟ - ΜΗΧΑΝΙΚΗ

7 · 1 Εἰσαγωγὴ - Ὑδροστατική.

Εἰς τὸ κεφάλαιον τοῦτο θὰ μελετήσωμεν τὴν συμπεριφορὰν τῶν ὑγρῶν καὶ ἀερίων, ὑπὸ δύο καταστάσεις:

α) Ὅταν τὸ ὑγρὸν ἢ ἀέριον μετὰ τυχὸν κίνησίν των ἠρεμῇ, δηλαδὴ εὑρίσκεται ἐν στάσει (στατικὴ κατάστασις) καὶ

β) ὅταν ὑπάρχῃ μετακίνησις τῆς μάζης των, δηλαδὴ ροὴ (δυναμικὴ κατάστασις).

Οὕτως, ἔχομεν δύο βασικὰς ὑποδιαιρέσεις:

α) Τὴν *ὑδροστατικὴν* καὶ *ἀεροστατικὴν* καὶ

β) τὴν *ὑδροδυναμικὴν* καὶ *ἀεροδυναμικήν*.

Τὰ ὑγρὰ καὶ ἀέρια ὀνομάζονται γενικῶς *ρευστά*, ἐπειδὴ δύνανται νὰ ρέουν διὰ μέσου σωλήνων, νὰ μεταγγίζωνται ἀπὸ δοχείου εἰς δοχεῖον κ.ο.κ. Κάποτε ὅμως θὰ συναντήσωμεν εἰς τὴν τεχνικὴν καὶ σώματα, τὰ ὁποῖα, ἐνῷ εἶναι στερεά, ἐν τούτοις, ἐπειδὴ εὑρίσκονται ὑπὸ μορφὴν μικρῶν τεμαχιδίων ἢ κόκκων, τὰ παρομοιάζομεν μὲ ρευστά. Οὕτω π.χ. ὅταν τὸ τσιμέντο ἢ τὸ σιτάρι χύνεται εἰς αὔλακας ἢ μὲ μεγάλα χωνιὰ πρὸς τὰς ἀποθήκας του ἢ καὶ ἀναρροφῆται ἀπὸ τὰ ἀμπάρια τῶν μεγάλων φορτηγῶν πλοίων μὲ χρῆσιν σωλήνων, τότε ἡ ὅλη κίνησις ὁμοιάζει πολὺ πρὸς τὴν ροὴν τῶν ὑγρῶν ἢ ἀερίων. Καὶ πράγματι, ἂν φαντασθῶμεν ὅτι κατορθώνομεν νὰ τεμαχίσωμεν τοὺς κόκκους μιᾶς κόνεως, π.χ. τοῦ καθαροῦ χημικῶς ἄνθρακος, τόσον, ὥστε νὰ φθάσωμεν εἰς τὰς διαστάσεις τῶν ἀτόμων του, θὰ διαπιστώσωμεν ὅτι τὰ ἄτομά του εἶναι τόσον μικρά, ὥστε εἰς 12 g ἄνθρακος (ἕνα γραμμοάτομον) περιέχεται τεράστιον πλῆθος ἀτόμων* (6 μὲ 23 μηδενικά). Ἐπίσης ἔχει ἀποδειχθῆ ὅτι εἰς 32 g ἀερίου ὀξυγόνου (ἕνα γραμμομόριον) περιέχεται ὁ ἴδιος ἀριθμὸς τώρα

---

* Διεθνῶς ὁ ἀριθμὸς $N = 6 \cdot 10^{23}$ ἢ διὰ τὴν ἀκρίβειαν $60{,}25 \cdot 10^{22}$ ὀνομάζεται *σταθερὰ τοῦ Λόσμιθ ἢ Ἀβογκάντρο* καὶ δηλοῖ τὰ μόρια ἀνὰ γραμμομόριον (βλ. Χημείαν) ἢ ἄτομα ἀνὰ γραμμοάτομον χημικῶς καθαροῦ στοιχείου.

ὅμως μορίων, ὄχι ἀτόμων. Ἐπίσης γνωρίζομεν ὅτι εἰς 18 g ὕδατος (H_2O) περιλαμβάνεται ὁ ἴδιος ἀριθμὸς μορίων. Βασικῶς ἑπομένως καταλήγομεν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι μικροσκοπικῶς τὰ στερεά, τὰ ὑγρὰ καὶ τὰ ἀέρια ἀποτελοῦνται ἀπὸ μικρὰ σωματίδια (μόρια ἢ ἄτομα), καὶ μάλιστα μὲ ἴσον ἀριθμὸν μορίων ἀνὰ γραμμομόριον.

Ὅπως ἐγνωρίσαμεν εἰς τὴν εἰσαγωγὴν (παράγρ. 0 · 3), τὰ μὲν στερεὰ σώματα χαρακτηρίζονται ἀπὸ ὡρισμένον ὄγκον, σχῆμα, μᾶζαν, τὰ δὲ ὑγρὰ ἀπὸ ὄγκον, μᾶζαν ἀλλὰ τὸ σχῆμα των εἶναι κάθε φορὰν τὸ σχῆμα τοῦ δοχείου ποὺ τὰ περιέχει.

Οὕτως, 1 kg ὕδατος, ὄγκου ἑνὸς λίτρου λαμβάνει διάφορα σχήματα, ὅταν τεθῇ ἐντὸς φιάλης, χύτρας ἢ ἀνθοδοχείου κ.ο.κ., πάντοτε ὅμως εἶναι ὑγρὸν 1 kg καὶ 1 *lt* (1000 cm^3).

Τέλος, εἰς τὰ ἀέρια δὲν ἔχομεν οὔτε τὸν ὄγκον σταθερόν, παρὰ μόνον τὴν μᾶζαν των. Ἐὰν π.χ. λάβωμεν 2 g ὀξυγόνου, εἶναι δυνατὸν νὰ πληρώσωμεν ἕνα μπαλόνι καὶ αὐτὸ νὰ τὸ κάνωμεν νὰ λάβη διάφορα σχήματα καὶ ὄγκους πιέζοντάς το μὲ τὰς χεῖρας μας. Τέτοια περίπτωσις συμπιέσεως δὲν εἶναι δυνατὴ εἰς τὰ ὑγρά, ποὺ συμπιέζονται τόσον ὀλίγον, ὥστε εἰς τὴν Τεχνικὴν νὰ τὰ θεωρῶμεν πρακτικῶς ὡς *ἀσυμπίεστα* [1]. Ἀπὸ πολλὰ πειράματα καταλήγομεν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι αἱ δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων τῶν ὑγρῶν δὲν ἀφίνουν τὰ μόρια νὰ πλησιάσουν ἢ νὰ ἀπομακρυνθοῦν, ἀλλὰ μόνον νὰ γλυστρήσουν τὸ ἕνα ὡς πρὸς τὸ ἄλλο, ἐνῷ εἰς τὰ ἀέρια τὰ μόρια δύνανται νὰ κάνουν μεγάλας σχετικῶς κινήσεις κατὰ πᾶσαν διεύθυνσιν.

Ἄλλη βασικὴ ἰδιότης τῶν ἠρεμούντων ὑγρῶν, ὅταν εὑρίσκωνται ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν τοῦ βάρους των, εἶναι ἡ τάσις νὰ ἐπεκταθοῦν, νὰ ἐξαπλωθοῦν ὅσον τοὺς ἐπιτρέπει τὸ δοχεῖον, καὶ πρὸς τοῦτο, ἂν εἶναι δυνατόν, θὰ τὸ παραμορφώσουν, θὰ τὸ σπάσουν οὕτως, ὥστε νὰ ἀποκτήσουν τὸ χαμηλότερον δυνατὸν ὕψος καὶ τὴν ὁμαλωτέραν δυνατὴν ἐπιφάνειαν κάθετον ἐπὶ τὴν διεύθυνσιν τοῦ νήματος τῆς στάθμης, δηλαδὴ τὴν *ὁριζοντίαν* ἐπιφάνειαν.

Παράδειγμα : Μία κουταλιὰ μέλι εἰς τὸ μέσον μιᾶς χύτρας θὰ καταλήξη τελικῶς νὰ ἠρεμήση, ὡσὰν λεπτὸν στρῶμα ἐπὶ ὅλου τοῦ πυθμένος.

---

1. Διὰ νὰ ἐλαττώσωμε τὸν ὄγκον τοῦ ὕδατος κατὰ 1 %, πρέπει νὰ τὸ συμπιέσωμεν μὲ 200 ἀτμοσφαίρας.

7 · 2 Δρᾶσις δυνάμεων ἐπὶ ἠρεμούντων ὑγρῶν.

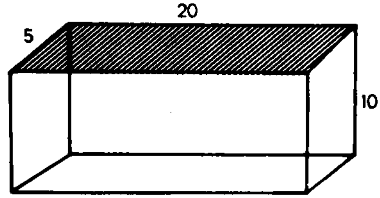
Μία δύναμις δύναται νὰ ἐφαρμοσθῇ εἰς σημεῖον ἑνὸς στερεοῦ καὶ ὡς πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν αὐτοῦ νὰ τεθῇ καθέτως ἢ ἐφαπτομενικῶς (διατμητικὴ τάσις) αὐτῆς.

Εἰς τὰ ἠρεμοῦντα ὑγρὰ ἡ ἄσκησις μιᾶς δυνάμεως εἶναι δυνατὴ μόνον εἰς ἐπιφάνειαν καὶ καθέτως πρὸς αὐτήν. Μὲ ἄλλους λόγους δὲν δυνάμεθα νὰ ἔχωμεν ἤρεμον ὑγρὸν καὶ νὰ ἔχῃ ἐπάνω του δρώσας δυνάμεις παραλλήλους πρὸς τὴν ἐπιφάνειάν του, διότι θὰ ἀρχίσῃ νὰ γλυστρᾷ καὶ παύει νὰ ἰσχύῃ ἡ ὑδροστατική.

Ἐξ ἄλλου νὰ σημειωθῇ μὲ *μεγάλην προσοχὴν* ὅτι μὲ τὰ στερεὰ ἀναλύομεν μίαν δύναμιν, μεταφέρομεν τὰ σημεῖα ἐφαρμογῆς καὶ μοιράζομεν τὴν δρᾶσιν τῶν δυνάμεων, ὅταν π.χ. καθήμεθα εἰς τὴν καρέκλαν, ὅλον τὸ βάρος μας μοιράζεται εἰς τοὺς τέσσαρας πόδας της, ἐνῷ εἰς τὰ ὑγρὰ μεταφορὰ δυνάμεων *δὲν* γίνεται οὔτε μοίρασμα εἰς διάφορα σημεῖα τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἠρεμοῦντος ὑγροῦ. Ἐδῶ, ἕνα ἄλλο φυσικὸν μέγεθος, ἡ *πίεσις*, εἶναι ἐκεῖνο ποὺ μεταφέρεται, χωρὶς ὅμως νὰ μοιράζεται, διακρίνεται δὲ ἀπὸ τὴν δύναμιν, διότι *δὲν ἔχει σημεῖον ἐφαρμογῆς*.

7 · 3 Πίεσις. Ὑδροστατικὴ πίεσις. Ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ.

Ἕνα λοιπὸν τῶν σπουδαιοτέρων φυσικῶν μεγεθῶν τῆς Τεχνικῆς εἶναι ἡ *πίεσις*, ἡ ὁποία πρέπει νὰ μὴ συγχέεται μὲ τὴν *δύναμιν* καὶ πρέπει τοῦτο ἰδιαιτέρως νὰ τὸ προσέξωμεν, διότι ἄλλως θὰ μᾶς ὁδηγήσῃ εἰς πολλὰς παρανοήσεις καὶ κακοὺς τεχνικοὺς ὑπολογισμούς.



Σχ. 7 · 3 α.

Ἔστω π.χ. ὅτι ἔχομεν ἕνα μολύβδινον παραλληλεπίπεδον διαστάσεων $20 \times 10 \times 5$ cm, ἤτοι ὄγκου ἑνὸς λίτρου καὶ ἐπειδὴ ὁ μόλυβδος εἶναι βαρύτερος τοῦ ὕδατος 11 περίπου φοράς, ἕπεται ὅτι τὸ κομμάτι αὐτὸ τοῦ μολύβδου θὰ ζυγίζῃ $B = 11$ kp (χιλιόγραμμα βάρους). Τὸ παραλληλεπίπεδον δύναται νὰ σταθῇ κατὰ τρεῖς τρόπους : ἢ ἐπὶ τῆς βάσεως ἐμβαδοῦ 20×10, ἢ ἐπὶ τῆς στενῆς βάσεως 5×20, ἢ ὄρθιον ἐπὶ τῆς βάσεως 5×10, ὅπως ἀκριβῶς καὶ ἕνα κυτίον σπίρτων (σχ. 7 · 3 α).

Ἑπομένως τὰ 11 kp τὴν μὲν πρώτην φορὰν θὰ στηρίζωνται ἐπὶ ἐπιφανείας $S_1 = 200\ cm^2$, τὴν δευτέραν ἐπὶ $S_2 = 100\ cm^2$ καὶ τὴν τρίτην ἐπὶ $S_3 = 50\ m^2$.

Ἐὰν τὸ πείραμα αὐτὸ τῆς στηρίξεως γίνη ἐπάνω εἰς στρῶμα λεπτῆς ἄμμου, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι ἡ ἄμμος θὰ ὑποχωρήση περισσότερον εἰς τὴν τρίτην περίπτωσιν καὶ ὀλιγώτερον εἰς τὴν πρώτην.

Λέγομεν ὅθεν ὅτι ἡ ἄμμος *ἐπιέσθη* ἢ *κατεπονήθη* πολὺ ἢ ὀλίγον ἀναλόγως πρὸς τὸ πόσον βάρος (δύναμις) ἀναλογεῖ καὶ δρᾷ καθέτως εἰς κάθε cm^2 τῆς ἑκάστοτε βάσεως. Πράγματι, τὴν πρώτην φορὰν

μὲ τὴν εὐρεῖαν βάσιν ἔχομεν : $P_1 = \frac{B}{S_1} = \frac{11}{200} = 0{,}055\ kp/cm^2$.

Εἰς τὴν δευτέραν περίπτωσιν : $P_2 = \frac{B}{S_2} = \frac{11}{100} = 0{,}110\ kp/cm^2$.

Εἰς τὴν τρίτην, τὴν πλέον συμπιέζουσαν : $P_3 = \frac{B}{S_3} = \frac{11}{50} =$

$0{,}220\ kp/cm^2$ ἢ $P_3 = 2P_2 = 4P_1$.

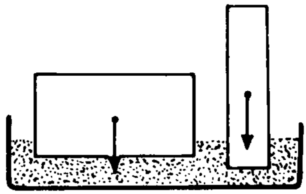
Βάσει τῶν ἀνωτέρω, *καλοῦμεν πίεσιν P φυσικὸν μέγεθος, τοῦ ὁποίου τὴν τιμὴν εὑρίσκομεν*, ὅταν διαιρέσωμεν τὴν ἐπιδρῶσαν καθέτως ἐπὶ μιᾶς ἐπιφανείας δύναμιν F διὰ τοῦ ἐμβαδοῦ αὐτῆς S.

Μονὰς πιέσεως εἶναι ἡ τεχνικὴ ἀτμόσφαιρα, ἴση πρὸς τὴν πίεσιν 1 kp ἀνὰ cm^2 καὶ ἡ φυσικὴ ἀτμόσφαιρα, ποὺ συνδέεται μὲ τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν καὶ εἶναι ὀλίγον μεγαλυτέρα τῆς τεχνικῆς ἀτμοσφαίρας.

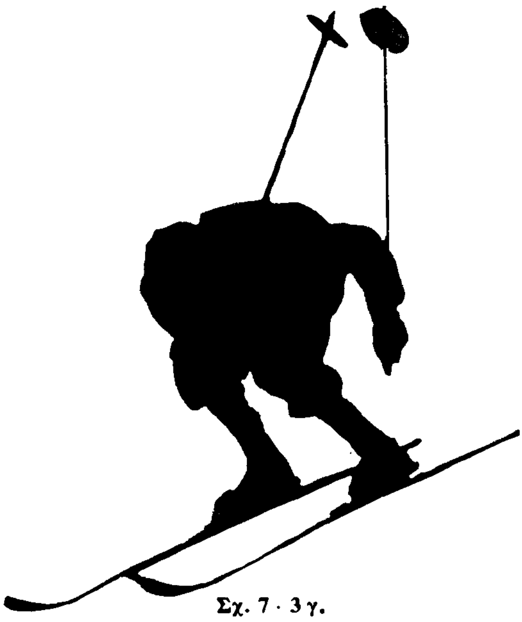
1 φυσικὴ ἀτμόσφαιρα = 1,033 τεχνικαὶ ἀτμόσφαιραι.

Ἐὰν τὴν τεχνικὴν ἀτμόσφαιραν μετατρέψωμεν εἰς στήλην καθαροῦ ὕδατος διὰ νὰ ἔχωμεν βάρος ὕδατος 1 kp ἀνὰ cm^2 βάσεως, πρέπει νὰ γεμίσωμεν ἕνα δοχεῖον εἰς ὕψος 10 m ἢ μὲ ὑδράργυρον εἰς ὕψος 73,6 cm, διότι ὁ ὑδράργυρος εἶναι βαρύτερος 13,6 φορὰς ἀπὸ τὸ ὕδωρ, ἄρα ἡ στήλη τοῦ 1 kp ἀνὰ cm^2 θὰ εἶναι 13,6 φορὰς βραχυτέρα ἀπὸ τὴν στήλην τοῦ ὕδατος. Ἀντιστοίχως ἡ φυσικὴ ἀτμόσφαιρα, ὀλίγον μεγαλυτέρα τῆς τεχνικῆς, θὰ ἔχη ὕψος ἴσον πρὸς 10,33 m ὕδατος ἢ 76 cm ὑδραργύρου.

Εἰς τὸ παράδειγμα, ποὺ ἀνεφέραμεν, τὸ βάρος ἐμοιράσθη εἰς τὴν εὐρεῖαν βάσιν καὶ ἡ ἄμμος δὲν ὑπεχώρησεν, ὅπως συνέβη μὲ τὴν ὀρθίαν θέσιν (σχ. 7 · 3 β) (καὶ ἐδῶ θεωροῦμεν τὴν ἄμμον ὡς εἶδος ρευστοῦ). Αὐτὸ ἀκριβῶς γίνεται μὲ τὰ σκὶ ἐπάνω εἰς τὰ χιόνια. Αὐξάνομεν δηλαδὴ τὴν βάσιν μας, ὁπότε ἐλαττώνομεν τὴν *πίεσιν* (ὀρθότερον, τὴν καταπόνησιν) ἐπάνω εἰς τὴν χιόνα διὰ νὰ μὴ βυθισθῶμεν καὶ δυσκολευθῇ ἡ ὀλίσθησις (σχ. 7 · 3 γ). Ἀντιθέτως εἰς τὴν παγοδρομίαν κάτω ἀπὸ τὰ παγοπέδιλα ὑπάρχουν κόψεις, ὡς μάχαιραι, ἄρα ἡ *πίεσις* αὐξάνει πολύ, ὁ πάγος πιεζόμενος τήκεται καὶ μετατρέπεται εἰς ὕδωρ ὁπότε, κατὰ κάποιον τρόπον στηριζόμεθα ἐπάνω εἰς τὸ ὕδωρ, ποὺ παρουσιάζει ἐλαχίστην τριβὴν καὶ ἔτσι ἀποκτῶμεν μεγάλας ταχύτητας.



Σχ. 7 · 3 β.



Σχ. 7 · 3 γ.

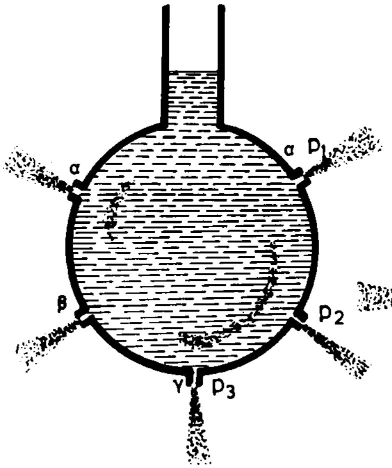
Εἰς τὰ ὑγρὰ λόγω τοῦ βάρους των καὶ τῆς εὐκολίας μετατοπίσεως τῶν μορίων των ὑπάρχει : α) ἡ πίεσις ἐπὶ τοῦ πυθμένος τοῦ δοχείου, ὡς νὰ ἦτο ὑπεράνω του στερεὸν σῶμα, καὶ β) ἡ πίεσις ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου, διότι, ὡς ἀνεφέραμεν, τὰ ὑγρὰ τείνουν νὰ καταλάβουν ἔκτασιν, ὥστε νὰ ἀποκτήσουν τὴν μεγαλυτέραν δυνατὴν ὁριζοντίαν ἐπιφάνειαν.

Ἡ πίεσις γενικῶς τῶν ἠρεμούντων ὑγρῶν ὀνομάζεται *ὑδροστατικὴ πίεσις* καὶ αἱ ἐξ αὐτῆς προερχόμεναι δυνάμεις δροῦν καθέτως ἐπὶ οἱουδήποτε σώματος ἢ τοιχώματος, μὲ τὸ ὁποῖον εὑρίσκεται τὸ ὑγρὸν ἐν ἐπαφῇ (σχ. 7 · 3 δ).

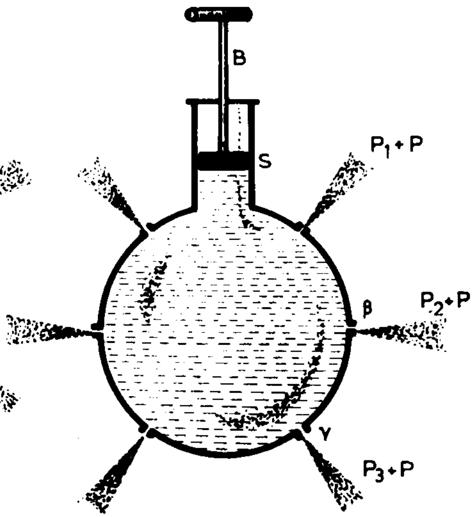
Ἐκτὸς τῆς ὑδροστατικῆς πιέσεως δυνάμεθα νὰ ἀσκήσωμεν ἐκ τῶν ἔξω νέαν πίεσιν θέτοντες π.χ. εἰς τὸ δοχεῖον ἔμβολον μὲ βάρη.

Τότε, ἡ νέα πίεσις θὰ προστεθῆ εἰς τὴν ὑπάρχουσαν ἐξ ἴσου κατὰ πᾶσαν διεύθυνσιν. Αὐτὸ ἀκριβῶς μᾶς λέγει ἡ ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ:

Πᾶσα πίεσις ἐπιφερομένη ἐκ τῶν ἔξω ἐπὶ ὑγροῦ (ἢ ἀερίου) διοχετεύεται ἀμείωτος πρὸς πᾶσαν διεύθυνσιν, τόσον ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ ὅσον καὶ ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου.



Σχ. 7 · 3 δ.
Μεγαλυτέρα πίεσις εἰς γ, μικροτέρα εἰς α, β λόγω βαρύτητος. $P_3 > P_2 > P_1$.



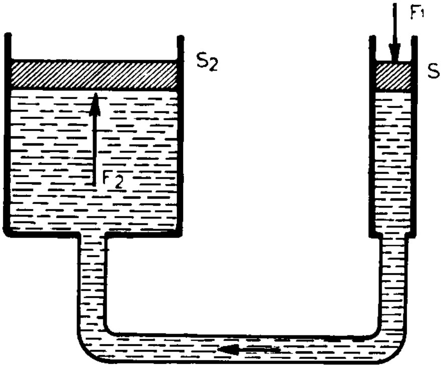
Σχ. 7 · 3 ε.
Ἰσότιμος αὔξησις ροῆς λόγω προσθέτου πιέσεως
$P_3 + P > P_2 + P > P_1 + P$.

Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 7 · 3 ε ἡ νέα πίεσις P, ἴση πρὸς τὸ βάρος τοῦ ἐμβόλου διὰ τοῦ ἐμβαδοῦ τῆς βάσεώς του, προκαλεῖ αὔξησιν εἰς τὰς ροὰς ἀλλὰ τὴν αὐτὴν πάντοτε καὶ ἀνεξαρτήτως τῆς θέσεως τῆς ὀπῆς, ἐκ τῆς ὁποίας ρέει τὸ ὑγρόν.

Ἄρα εἰς ἕνα διαστημόπλοιον (δορυφόρον) κατὰ τὸ πρῶτον πείραμα δὲν θὰ ἔτρεχεν ὑγρὸν ἀπὸ καμμίαν ὀπὴν λόγω ἐλλείψεως βάρους, ἐνῶ κατὰ τὸ δεύτερον μὲ κάποιαν ἰδικήν μας ὤθησιν (ὄχι μὲ βάρος) ἐπάνω εἰς τὸ ἔμβολον θὰ ἐξετοξεύετο τὸ ὑγρὸν ἐξ ἴσου ὁρμητικῶς ἀπὸ ὅλας τὰς ὀπὰς ἀνεξαρτήτως θέσεως.

7 · 4 Ὑδραυλικὸν πιεστήριον.

Ἐφαρμογὴ τῆς ἀρχῆς τοῦ Πασκὰλ γίνεται εἰς τὸ ὑδραυλικὸν πιεστήριον (σχ. 7 · 4), ὅπου συνήθως ἀντὶ ὕδατος διὰ νὰ μὴ ὀξειδώνεται ἡ μηχανὴ χρησιμοποιοῦμεν ὀρυκτέλαιον, ὅπως εἰς τὸ ποδόφρενον τοῦ αὐτοκινήτου.



Σχ. 7 · 4.

Εἰς γενικὰς γραμμὰς τὸ πιεστήριον ἔχει ὡς ἑξῆς:

Τὸ ὑγρὸν εὑρίσκεται μεταξὺ δύο ἐμβόλων ἀνίσου ἐπιφανείας, ἕνα μικρᾶς S_1 καὶ ἕνα μεγάλης S_2. Κενὸν δὲν ἐπιτρέπεται οὔτε φυσαλλίδες ἀέρος, διότι ἡ πίεσις δὲν θὰ προκαλέση ἐπαρκῆ μετακίνησιν τῶν ἐμβόλων, ἀλλὰ θὰ συνθλίψη τὰς φυσαλλίδας.

Ἀσκοῦμεν ἐπὶ τοῦ μικροῦ ἐμβόλου καθέτως δύναμιν F_1, ἄρα δημιουργοῦμεν πίεσιν $P_1 = F_1/S_1$. Ἡ πίεσις αὐτὴ θὰ ἀσκηθῆ παντοῦ ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ καὶ ἐπάνω εἰς τὰ τοιχώματα, συνεπῶς καὶ ἐπὶ τοῦ δευτέρου ἐμβόλου ἐπιφανείας S_2, ἐκεῖ δὲ θὰ ἐμφανισθῆ δύναμις F_2 πρὸς τὰ ἄνω τοιαύτη, ὥστε νὰ ἰσχύη ἡ ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ:

$$\boxed{P_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}}$$

Ἑπομένως, ἂν ἡ ἐπιφάνεια τοῦ μεγάλου ἐμβόλου εἶναι διπλασία τοῦ μικροῦ, τότε ἡ δύναμις F_2 πρὸς τὰ ἄνω θὰ εἶναι διπλασία τῆς F_1.

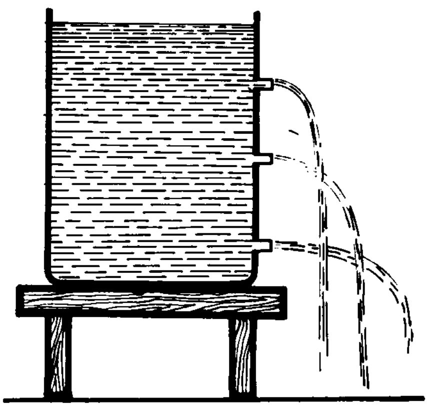
Ἤτοι, συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν τοῦ Πασκάλ, αἱ δυνάμεις ἐπὶ τῶν ἐμβόλων εἶναι ἀνάλογοι πρὸς τὰς βάσεις αὐτῶν, ἐπὶ τῶν ὁποίων καὶ δροῦν καθέτως. Ἰδιαιτέρως νὰ σημειωθῆ ὅτι κάθε ὑπολογισμὸς δυνάμεως προερχομένης ἐκ πιέσεως ἀπαιτεῖ ἀπαραιτήτως τὴν γνῶσιν τοῦ μεγέθους τῆς ἐπιφανείας. Μὲ ἄλλους λόγους, ἂν δὲν γνωρίζωμεν πόση εἶναι ἡ ἐπιφάνεια, ἡ ὁποία εὑρίσκεται ὑπὸ πίεσιν, *δὲν* εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν δύναμιν, ποὺ θὰ ἐμφανισθῆ καθέτως ἐπ' αὐτῆς.

Παράδειγμα: Πίεσις 5 ἀτμοσφαιρῶν ἀτμοῦ ἐντὸς κυβικοῦ δοχείου πλευρᾶς 20 cm, ἤτοι ἐμβαδοῦ 400 cm² ἀνὰ ἕδραν, θὰ δώση F = 2000 kp ἐπὶ κάθε ἕδρας ἢ σύνολον δυνάμεως ἐπὶ τῶν 6 ἑδρῶν τοῦ κύβου 12 τόννους.

Τὸ ὑδραυλικὸν πιεστήριον εἶναι χρήσιμος μηχανὴ πολλαπλασιάζουσα μὲν τὴν δύναμιν, ἀλλὰ βραχύνουσα τὴν μετακίνησιν τοῦ δευτέρου ἐμβόλου (ἔργον τὸ αὐτό), ὁμοιάζει δὲ μὲ τὸ πολύσπαστον, ὅπου μὲ μικρὰν δύναμιν σηκώνομεν μεγάλα βάρη ἀλλὰ μὲ βραδεῖαν μετατόπισιν.

7 · 5 Τὸ θεμελιῶδες θεώρημα τῆς ὑδροστατικῆς.

Ἐπανερχόμεθα τώρα εἰς τὴν ὑδροστατικὴν πίεσιν, ποὺ προέρχεται ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ ὑγροῦ καὶ δὲν παρουσιάζεται, ὅπως γνωρίζομεν (παράγρ. 7 · 3), εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ διαστημοπλοίου (δορυφόρου). Ἐὰν θεωρήσωμεν τὴν πίεσιν αὐτήν, τότε τὰ κατώτερα τοιχώματα τοῦ δοχείου καὶ ὁ πυθμὴν ὑποφέρουν περισσότερον ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ ὑπερκειμένου ὑγροῦ, παρὰ τὰ πλησιέστερον τῆς ἐλευθέρας ἐπιφανείας τοῦ ὑγροῦ μέρη τοῦ δοχείου. Ἀπόδειξις ἡ ὁρμητικότης ἐκροῆς, ὅταν ἀνοίξωμεν ὀπὰς εἰς διάφορα ὕψη (σχ. 7 · 5 α).



Σχ. 7 · 5 α.

α) Διὰ τὴν ὑδροστατικὴν πίεσιν τὴν προερχομένην ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς ἑνὸς δοχείου ἰσχύει τὸ θεμελιῶδες θεώρημα, τὸ ὁποῖον μᾶς λέγει ὅτι:

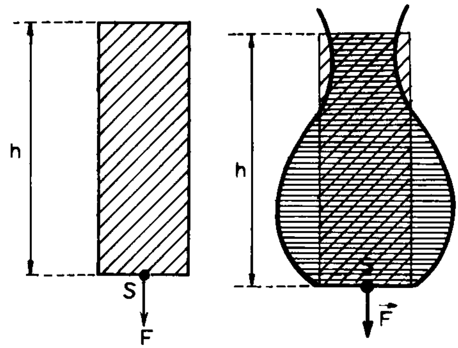
Ἡ πίεσις ἐπὶ τοιχώματος ἢ τοῦ πυθμένος δοχείου περιέχοντος ὑγρὸν ἰσοῦται πρὸς τὸ βάρος στήλης ὑγροῦ ἐχούσης τομὴν 1 cm² καὶ ὕψος h τὴν κατακόρυφον ἀπόστασιν ἀπὸ τοῦ θεωρουμένου τοιχώματος ἢ πυθμένος μέχρι τῆς ἐλευθέρας ἐπιφανείας τοῦ ὑγροῦ καὶ τοῦτο ἀνεξαρτήτως οἱουδήποτε σχήματος τοῦ δοχείου. Ἐπειδὴ τὸ βάρος μιᾶς τοιαύτης στήλης ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πυκνότητα τοῦ ὑγροῦ ρ καὶ τὴν γηίνην ἐπιτάχυνσιν τοῦ τόπου (εἰς τοὺς πόλους μεγαλυτέρα εἰς ὕψος μικροτέρα κ.λπ.), ἕπεται ὅτι $P = h\rho g$, ἄρα ἡ δύναμις ἐπὶ τοῦ τοιχώματος ἢ τοῦ πυθμένος θὰ ὑπολογισθῇ ἐκ τοῦ γινομένου P ἐπὶ S, ὅπου S ἡ ἐπιφάνεια καὶ P ἡ πίεσις (ἢ ἡ μέση πίεσις).

Παραδείγματα.

1) Πίεσις καὶ δύναμις ἐπὶ τοῦ πυθμένος $P = h\rho g$ (σχ. 7 · 5 β).

$F = Sphg$ = βάρος ὑπερκειμένου κυλίνδρου - ὑγροῦ.

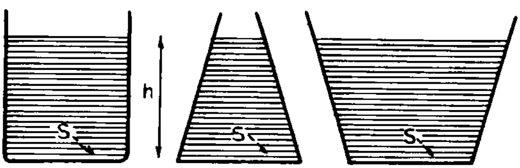
Δηλαδὴ ὑπολογίζεται μόνον τὸ βάρος τῆς στήλης τῆς ὑπεράνω τοῦ πυθμένος καὶ ὄχι ὅλον τὸ βάρος τοῦ περιεχομένου ὕδατος, ποὺ εἶναι εἰς τὸ ἀνθοδοχεῖον πολὺ περισσότερον ἀπὸ ὅτι εἰς τὸν κύλινδρον.



Σχ 7 · 5 β.

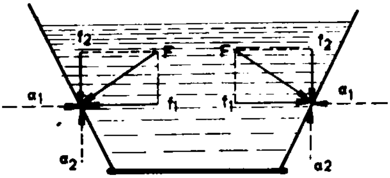
2) *Ὑδροστατικὸν παράδοξον.*

Εἰς τὰ τρία δοχεῖα μὲ διαφορετικὰ σχήματα (σχ. 7 · 5 γ), ὄγκους, ἄρα καὶ ποσότητος ὕδατος, ἀλλὰ μὲ τὴν ἰδίαν βάσιν καὶ τὸ ἴδιον ὕψος ὕδατος, οἱ πυθμένες ὑφίστανται τὴν *ἰδίαν* δύναμιν, ὅσην ὑφίσταται ὁ πυθμὴν τοῦ πρώτου (κυλινδρικοῦ) δοχείου. Πράγματι, ἂν οἱ πυθμένες εἶναι ἀπὸ ἐλαστικὴν μεμβράνην, καμπυλώνονται καὶ οἱ τρεῖς ἐξ ἴσου. Τὸ φαινόμενον τοῦτο μὴ ἀναμενόμενον ἐκ πρώτης ὄψεως ὀνομάζεται *ὑδροστατικὸν παράδοξον*, εἶναι δὲ συνέπεια τοῦ θεμελιώδους θεωρήματος καὶ προέρχεται ἀπὸ τὰς ἀντιδράσεις A τῶν δυνάμεων F, ποὺ ἀσκοῦνται ἐπάνω εἰς τὰ πλευρικὰ τοιχώματα (σχ. 7 · 5 δ) καθὼς καὶ ἀπὸ τὰς συνιστώσας αὐτῶν.

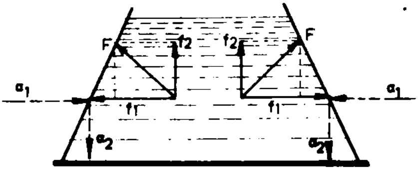


Σχ. 7 · 5 γ.

Οὕτως, αἱ κάθετοι δυνάμεις F (σχ. 7 · 5 δ) ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων ἀναλύονται εἰς f_1, f_2. Ἐξ αὐτῶν αἱ f_1 ἐξουδετεροῦνται ἀπὸ τὰς ὁριζοντίας ἀντιδράσεις α_1 τοῦ τοιχώματος, ἐνῶ αἱ f_2 ἀναιροῦνται ἀπὸ τὰς καθέτους πρὸς τὰ ἄνω ἀντιδράσεις α_2, ὥστε τελικῶς ὁ πυθμὴν νὰ ὑφίσταται μόνον τὸ βάρος τοῦ ὑπερκειμένου κυλίνδρου - ὑγροῦ. Ἐπίσης εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ στενωτέρου πρὸς τὰ ἄνω δοχείου (σχ. 7 · 5 ε) ἐπειδὴ αἱ ἀντιδράσεις α_2 δροῦν πρὸς τὰ κάτω ἐπὶ τοῦ πυθμένος, διὰ τοῦτο παρὰ τὴν μικροτέραν ποσότητα τοῦ ὑγροῦ, ὁ πυθμὴν ὑφίσταται τὴν αὐτὴν δύναμιν, ὡς ἐὰν ὑπερέκειτο αὐτοῦ κύλινδρος ὑγροῦ τοῦ αὐτοῦ ὕψους.



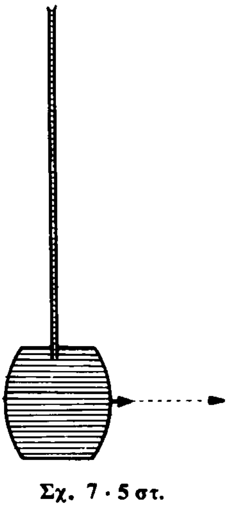
Σχ. 7 · 5 δ.



Σχ. 7 · 5 ε.

3) *Κάδος τοῦ Πασκάλ.*

Ὁ Πασκὰλ ἐγέμισε ἕνα βαρέλι μὲ ὕδωρ (σχ. 7 · 5 στ) καὶ ἐτοποθέτησεν εἰς τὴν ἐπάνω βάσιν του ἕνα σωλῆνα ἐπίσης μὲ ὕδωρ ὕψους ἀρκετῶν μέτρων, ὁπότε τὸ βαρέλι διερράγη ἀπὸ τὰς δυνάμεις, ποὺ προεκάλεσεν ἡ αὐξηθεῖσα πίεσις, ἐνῶ πραγματικὰ δὲν ηὐξήθη πολὺ τὸ βάρος τοῦ ὕδατος. Ἐν τούτοις ἦτο ὡς νὰ ἐσυνεχίζετο τὸ βαρέλι εἰς τὸ ὕψος π.χ. τῶν 10 m, ὁπότε τὰ κάτω μέρη του δὲν ἄνθεξαν εἰς τὴν τάσιν νὰ ἐκταθοῦν. Ἀναλόγως εἰς τὰ φράγματα τεχνητῶν λιμνῶν αὐξάνεται τὸ πάχος τῶν κάτω τοιχωμάτων.

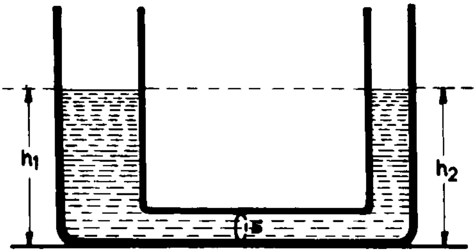


Σχ. 7 · 5 στ.

4) *Τὰ συγκοινωνοῦντα δοχεῖα.*

Ἐὰν λάβωμεν δύο συγκοινωνοῦντα δοχεῖα, ἔστω καὶ διαφόρου σχήματος καὶ ἀρχίσωμεν νὰ γεμίζωμεν τὸ ἕνα ἐξ αὐτῶν, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι τὸ ὑγρὸν (π.χ. ὕδωρ) κινεῖται, ἡ δὲ στάθμη του ἀνέρχεται καὶ εἰς τὸ ἄλλο, ὥστε τελικῶς, καὶ ἀνεξαρτήτως οἱασδήποτε κλίσεως τῶν συγκοινωνούντων δοχείων, αἱ ἐπιφάνειαι νὰ εὑρίσκωνται εἰς τὸ ἴδιον ὁριζόντιον ἐπίπεδον.

Ὁ λόγος εἶναι προφανής, διότι δὲν ἔχομεν παρὰ νὰ σκεφθῶμεν τὸ θεμελιῶδες θεώρημα ($P = h\rho g$), ποὺ μᾶς λέγει ὅτι διὰ τὸ αὐτὸ ὑγρὸν καὶ τὸν αὐτὸν τόπον (ἰδία πυκνότης ρ καὶ ἰδία ἐπιτάχυνσις g), ἡ πίεσις θὰ ἐξαρτᾶται μόνον ἀπὸ τὸ κατακόρυφον ὕψος. Ἄρα, ἐφ' ὅσον τὸ ὑγρὸν δὲν κινεῖται πλέον, σημαίνει ὅτι δὲν ὑπάρχουν πιέσεις διαφορετικαί, ποὺ νὰ τὸ μετακινήσουν, συνεπῶς ἡ ἰδία πίεσις ποὺ δημιουργεῖται ἀπὸ τὸ δεξιὸν δοχεῖον εἰς τὸ κατώτατον στρῶμα τοῦ ὑγροῦ (τομὴ S), ἡ ἰδία δημιουργεῖται καὶ ἀπὸ τὴν ἀριστερὰν στήλην τοῦ ὑγροῦ, δηλαδὴ μετακίνησις δὲν ὑφίσταται, αἱ πιέσεις εἶναι αἱ αὐταί, τὰ ὕψη $h_1 = h_2$ τὰ αὐτὰ (σχ. 7·5ζ).



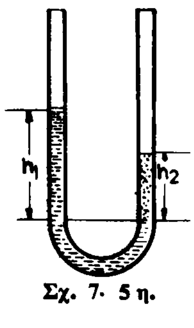
Σχ. 7·5ζ.

Ὅταν ὅμως τὸ δεξιὸν δοχεῖον ἔστω ἔχῃ ὑγρὸν διπλασίας πυκνότητος ἀπὸ τὸ ἀριστερόν, τότε ἀναγκαστικῶς διὰ τὴν ἰδίαν πίεσιν καὶ ἐφ᾽ ὅσον ἔχομεν τώρα πυκνότητα $\rho_2 = 2\rho_1$, θὰ ἀποκτήσωμεν ὕψος $h_2 = h_1/2$ ἤτοι ἡμίσειαν στήλην διὰ τὸ πυκνότερον ὑγρόν:

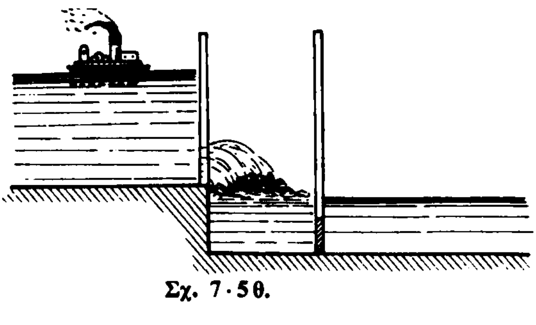
Ὅθεν: $P_1 = P_2$ $\qquad P_1 = h_1\rho_1 g \qquad P_2 = \frac{h_1}{2}\cdot 2\rho_1 \cdot g = h_2\rho_2 g$

$$\text{ἢ} \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

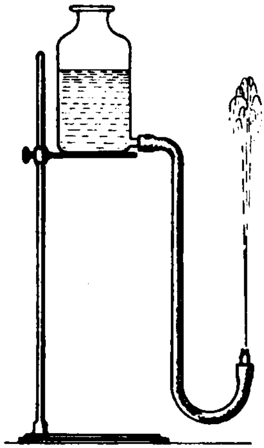
Ὅθεν διὰ τὸν αὐτὸν τόπον (g τὸ ἴδιον) εἰς τὰ συγκοινωνοῦντα δοχεῖα περιέχοντα διαφόρου πυκνότητος ὑγρὰ (P_1, P_2) τὰ ὕψη h_1, h_2 τῶν στηλῶν τῶν ὑγρῶν ἄνω τῆς διαχωριζούσης τὰ ὑγρὰ ἐπιφανείας εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογα πρὸς τὰς πυκνότητάς των ἢ ἄλλως τὰ γινόμενα ὕψους καὶ πυκνότητος εἶναι τὰ αὐτά: $h_1\,\rho_1 = h_2\,\rho_2$ (σχ. 7·5η).

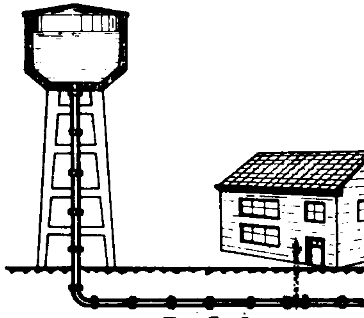


Σχ. 7·5η.

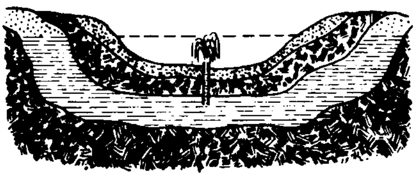

Σχ. 7·5θ.

Τῶν συγκοινωνούντων δοχείων ἔχομεν πολλὰς ἐφαρμογὰς ὅπως εἰς τὰ κλιμακωτὰ κανάλια (διῶρυξ Παναμᾶ), ὅπου τὰ πλοῖα ἀνέρχονται εἰς πολὺ ὑψηλοτέρας ἐπιφανείας θαλάσσας καὶ ἀντιστρόφως (σχ. 7 · 5 θ). Ἐπίσης οἱ πύργοι ὕδατος (σχ. 7 · 5 ι), οἱ πίδακες (σχ. 7 · 5 ια), οἱ ἐνδεῖκται ὑγρῶν ἀποθηκῶν (σχ. 7 · 5 ιβ) κ.ο.κ. στηρίζον-

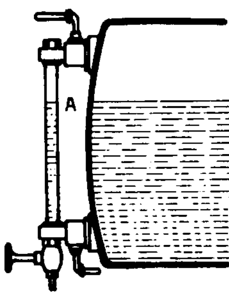




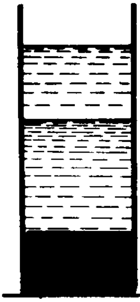
Σχ. 7 · 5 ι.



Σχ. 7 · 5 ια.



Σχ. 7 · 5 ιβ.



Σχ. 7 · 5 ιγ.

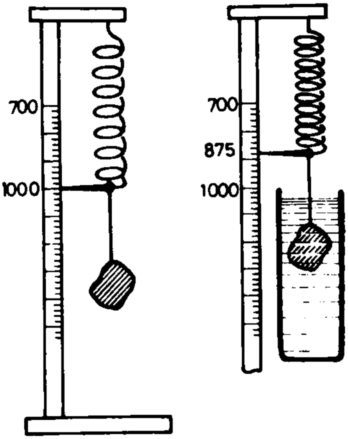
ται εἰς τὰ συγκοινωνοῦντα δοχεῖα. Τὸ θεμελιῶδες θεώρημα τῆς ὑδροστατικῆς ἐξηγεῖ ἐπίσης, διατί εἰς μὴ μιγνυόμενα ὑγρὰ αἱ μὲν ἐπιφάνειαί των εἶναι ὁριζόντια ἐπίπεδα, ἡ δὲ τοποθέτησίς των γίνεται μὲ αὐξανομένην πυκνότητα ἐκ τῶν ἄνω πρὸς τὰ κάτω. Οὕτως, εἰς μῖγμα ὑδραργύρου (πυκνότης 13,6 g/cm^3), ὕδατος (1 g/cm^3) καὶ ἐλαίου (0,92 g/cm^3) κατὰ σειρὰν θὰ εἶναι: ἐπάνω ἔλαιον, εἰς τὸ μέσον ὕδωρ, κάτω ὑδράργυρος (σχ. 7 · 5 ιγ).

7 · 6 Ἀρχὴ τοῦ Ἀρχιμήδους.

Ὁ Ἀρχιμήδης, ποὺ ἔζησεν εἰς τὰς Συρακούσας τῆς Σικελίας (287 ἕως 212 π.Χ.) ὑπῆρξεν ὁ μόνος Ἕλλην σοφός, εἰς τὸν ὁποῖον ὀφείλονται πειράματα καὶ ἐφαρμογαὶ ἰδίως τῆς Φυσικῆς, τῆς Μηχανικῆς, τῆς Ὑδροστατικῆς καὶ τῆς Ὀπτικῆς.

Λέγεται ὅτι τὴν διατύπωσιν τῆς ἀρχῆς, ποὺ φέρει τὸ ὄνομα του, εὗρεν εἰς τὸ λουτρόν του, ὅπου ἡ ἐλάττωσις τοῦ βάρους τοῦ σώματός του τὸν ὡδήγησεν εἰς τὴν λύσιν τοῦ προβλήματος τῶν μὴ βυθιζομένων σωμάτων, παρ' ὅλον ὅτι αἱ πυκνότητες τῶν ὑλικῶν των εἶναι πολλάκις μεγαλύτεραι ἀπὸ τὴν πυκνότητα τοῦ ὕδατος ἢ τοῦ ἀέρος, ὡς π.χ. σήμερον τὰ ὑποβρύχια ἀπὸ σίδηρον ἢ τὰ ἀερόστατα (μπαλόνια) ἀπὸ λεπτὸν ἀλουμίνιον γεμᾶτα μὲ ὑδρογόνον ἢ ἥλιον κ.ο.κ.

Ἔστω τώρα ὅτι ἐξαρτῶμεν ἀπὸ ἕνα κανταράκι (δυναμόμετρον) μὲ λεπτὴν κλωστὴν σῶμα κράματος σιδήρου ὄγκου 125 cm^3. Μετροῦμεν τὸ βάρος του καὶ ἔστω ὅτι εἶναι 1 kp. Ἐμβαπτίζομεν τὸ σῶμα εἰς τὸ ὕδωρ, κρατῶντες τὸ κανταράκι (σχ. 7 · 6 α), ὥστε τὸ σῶμα νὰ βυθισθῇ τελείως εἰς τὸ ὕδωρ καὶ παρατηροῦμεν τὸν δείκτην τοῦ βάρους του. Βλέπομεν τότε ὅτι τὸ βάρος του ἔγινε μικρότερον, ἔγινε 875 g βάρους, πρᾶγμα ποὺ τὸ αἰσθανόμεθα καὶ εἰς τὴν χεῖρα μας. Δηλαδὴ κάποια δύναμις σηκώνει τὸ σῶμα ἐκ τῶν κάτω καὶ ἔτσι τὸ βάρος του ἀπὸ 1 kp ἔγινε 0,875 kp.



Σχ. 7 · 6 α.

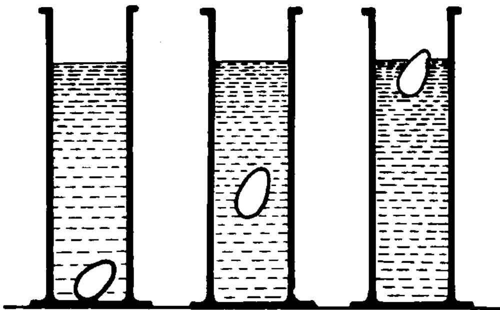
Αὐτὴ ἡ δύναμις ἐκ τῶν κάτω πρὸς τὰ ἄνω, δηλαδὴ τοῦ ἐκτοπισθέντος ὑγροῦ ὀνομάζεται *ἄνωσις* τῶν σωμάτων, ποὺ εἶναι βυθισμένα ἢ ἐπιπλέουν. Κανονικῶς τὸ σῶμα, ἐπειδὴ κατὰ τὴν μέτρησιν τοῦ βάρους ἔξω ἀπὸ τὸ ὕδωρ περιβάλλεται ὑπὸ ἀέρος, ὑφίσταται ἄνωσιν ὑπὸ τοῦ ἀέρος, ἄρα ἔχει μεγαλύτερον βάρος μέσα εἰς τὸ κενόν, π.χ. μέσα εἰς ἕνα δωμάτιον χωρὶς ἀέρα. Εἰς τὴν Τεχνικὴν ὅμως παραλείπομεν τὴν ἄνωσιν αὐτὴν τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος, διότι εἶναι ἀμελητέα διὰ μικροῦ ὄγκου ἀντικείμενα. Ἀντιθέτως διὰ μεγάλα ὀγκώδη σώματα εἶναι ἀπαραίτητον νὰ ληφθῇ ὑπ' ὄψιν, ὅπως καὶ εἰς τὰς ζυγίσεις ἀκριβείας.

Εἰς τὸ πείραμά μας τὸ σῶμα ἐν πλήρει βυθίσει ἐντὸς τοῦ ὕδατος ἔχει χάσει βάρος 125 g, ἀλλὰ ἂν σκεφθῶμεν ὅτι ἔχομεν τὸ ἀνωτέρω σῶμα ἐξ ὕδατος ὄγκου 125 cm^2, αὐτὸ τὸ ὑδάτινον θὰ ἐζύγιζε

125 g βάρους. Ὥστε τὸ σιδηροῦν σῶμα χάνει τόσον βάρος, ὅσον ζυγίζει τὸ ὅμοιόν του ὑδάτινον ἢ ἀπὸ ὑγρὸν γενικῶς. Φθάνομεν λοιπὸν εἰς τὴν διατύπωσιν τῆς ἀρχῆς τοῦ Ἀρχιμήδους:

Κάθε σῶμα τελείως βυθισμένον ἐντὸς ἑνὸς ὑγροῦ (ἢ ἀερίου) χάνει τόσον ἐκ τοῦ βάρους του, ὅσον ζυγίζει ἕνα ὅμοιον πρὸς αὐτὸ σῶμα ἐκ τοῦ ὑγροῦ ἢ ἀερίου ἐντὸς τοῦ ὁποίου εὑρίσκεται βυθισμένον.

Ἔστω π.χ. ἕνας ἄνθρωπος βάρους 70 kp καὶ ἂς φαντασθῶμεν ἕνα ἄλλον ἀκριβῶς ὅμοιόν του κατὰ τὸ σχῆμα ὄγκον κ.λπ. ἀπὸ θαλάσσιον ὕδωρ (πυκνότης 1,03 g/cm^3), ποὺ ζυγίζει 72 kp, τότε εἶναι προφανὲς ὅτι ὁ ἄνθρωπος δὲν θὰ βουλιάζῃ, διότι ἡ πρὸς τὰ ἄνω δύναμις, ἡ συνολικὴ ἄνωσις A εἶναι 72 kp, ἐνῶ τὸ βάρος του, ποὺ τὸν βουλιάζει εἶναι 70 kp.



Σχ. 7 · 6 β.

Ἑπομένως, ὅταν τὸ σῶμα ἔχῃ:

α) Βάρος > Ἀνώσεως A, τὸ σῶμα βυθίζεται.

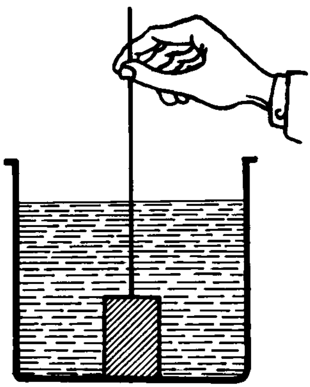
β) Βάρος = Ἀνώσεως A, τὸ σῶμα μετεωρίζεται ἐκτὸς τοῦ ὑγροῦ.

γ) Βάρος < Ἀνώσεως A, τὸ σῶμα ἐπιπλέει καὶ μέρος αὐτοῦ ἐξέχει τοῦ ὑγροῦ.

Ἐπειδὴ ὁ ἄνθρωπος ἔχει περίπου τὸ ἴδιον βάρος μὲ τὴν ἄνωσίν του μέσα εἰς καθαρὸν γλυκὺ ὕδωρ, ἕπεται ὅτι εἰς καθαρὰν λίμνην θὰ μετεωρίζεται ὅπως τὸ νωπὸν ᾠὸν μέσα εἰς διάλυμα ἅλατος (15 %). Εἰς τὴν θάλασσαν ὅμως ὁ ἄνθρωπος θὰ ἐπιπλέῃ ὅπως τὸ ᾠὸν εἰς πυκνὸν διάλυμα μαγειρικοῦ ἅλατος (σχ. 7 · 6 β).

Ἂν θέλωμεν ὁ ἄνθρωπος νὰ μὴ βυθίζεται καὶ εἰς τὸ γλυκὺ ὕδωρ, ἀρκεῖ νὰ τοῦ αὐξήσωμεν πολὺ τὸν ὄγκον του καὶ ὀλίγον τὸ βάρος του, π.χ. νὰ τὸν προσδέσωμεν εἰς ἕνα ἀεροθάλαμον τροχοῦ αὐτοκινήτου πλήρη ἀέρος ἢ εἰς σωσίβιον ἀπὸ ἐλαφρότατον ὑλικόν, ὅπως π.χ. φελλὸν ἢ ἄλλα ἐλαφρὰ σώματα.

Ἐπαναλαμβάνομεν ὅτι ἡ ἄνωσις εἶναι δύναμις πρὸς τὰ ἄνω, ἴση πρὸς τὸ βάρος τοῦ ἐκτοπιζομένου — ὑπὸ τοῦ πλήρως ἢ μερικῶς βυθισμένου σώματος — ὄγκου ὑγροῦ (ἢ ἀερίου) καὶ ὑφίσταται μόνον, ὅταν τὸ σῶμα *ἔχῃ ἐκ τῶν κάτω* ἐπαφὴν μὲ τὸ ὑγρὸν (ἢ ἀέριον), ἄλλως *ἄνωσις δὲν ὑπάρχει.* Τοῦτο φαίνεται ἐκ τοῦ ἀκολούθου πειράματος: Λαμβάνομεν τεμάχιον ἐλαφροῦ ξύλου, τὸ ὁποῖον στιλβώνομεν καὶ τὸ κρατοῦμεν ὑπὸ πίεσιν μὲ μίαν ράβδον ἐντὸς ὑαλίνου ποτηρίου μὲ ἐπίπεδον πυθμένα.



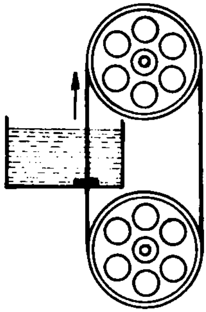
Σχ. 7·6 γ.

Χύνομε σιγά - σιγὰ ὕδωρ, προσέχοντες, ὥστε νὰ μὴ διέλθῃ μεταξὺ πυθμένος καὶ ξύλου, δηλαδὴ νὰ μὴ βραχῇ ἀπὸ κάτω τὸ ξύλον.

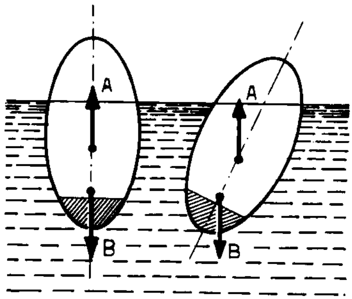
Κατόπιν μὲ προσοχὴν ἀποσύρομεν τὴν ράβδον, ὁπότε τὸ ξύλον δὲν θὰ ἐπιπλεύσῃ, δὲν θὰ ὑποστῇ ἄνωσιν, διότι δὲν ὑπάρχει δύναμις ἐκ τῶν κάτω, ἡ ὁποία νὰ τὸ ὑψώσῃ (σχ. 7·6 γ).

Αὐτὴν τὴν ἔλλειψιν τῆς ἀνώσεως πρέπει νὰ τὴν προσέξωμεν, διότι ἄλλως θὰ φθάσωμεν εἰς ἄτοπα συμπεράσματα, ὅπως π.χ. εἰς τὸ ἑπόμενον παράδειγμα.

Ἔστω ἕνα χονδρὸν λεῖον σχοινίον ἀπὸ πλαστικὸν ὑλικὸν τεταμένον μεταξὺ δύο τροχαλιῶν (σχ. 7·6 δ). Τὸ σχοινίον περνᾶ ἀπὸ τὴν ὀπὴν τοῦ πυθμένος ἑνὸς δοχείου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου χύνομεν ὑδράρ-

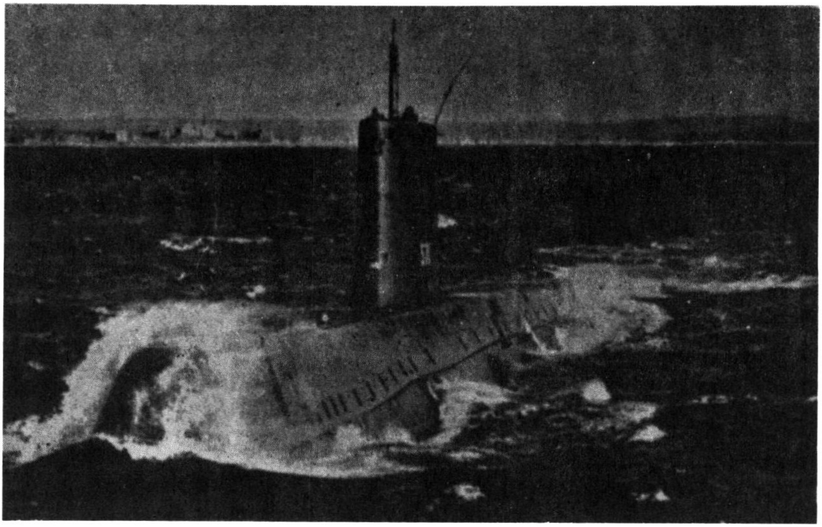


Σχ. 7·6 δ.

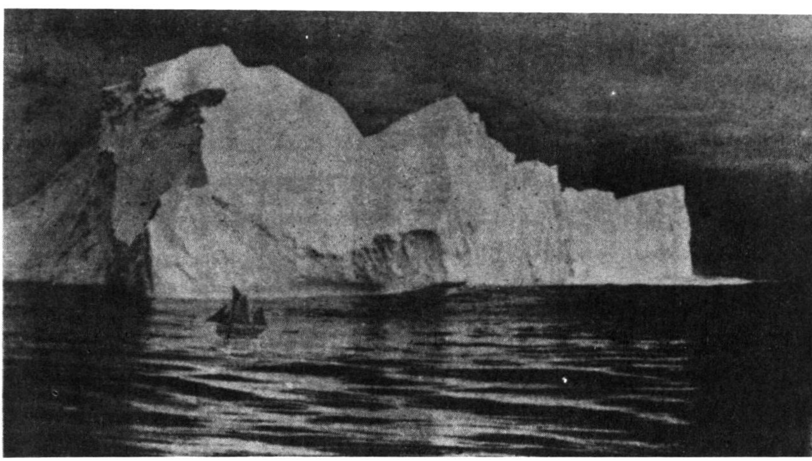


Σχ. 7·6 ε.

γυρον. Τότε φυσικὸν εἶναι νὰ μᾶς εἰπῇ κάποιος ὅτι ἐφ' ὅσον τὸ σχοινίον εἶναι βυθισμένον ἐντὸς τοῦ ὑδραργύρου, θὰ ὑποστῇ ἄνωσιν, ἡ ὁποία θὰ τὸ ἀνασηκώσῃ, ὁπότε θὰ ἀρχίσῃ νὰ κινῆται διὰ τῶν τροχαλιῶν εἰς τὸ διηνεκές, ἡμεῖς ὅμως θὰ ἀπαντήσωμεν: ὄχι δὲν θὰ παρατηρηθῇ κίνησις, διότι δύναμις πρὸς τὰ ἄνω δὲν ὑπάρχει, ἄνωσις δὲν



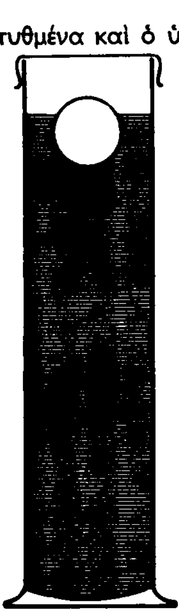
Σχ. 7·6στ.



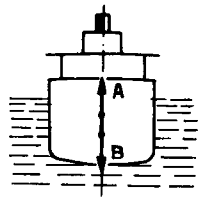
Σχ. 7·6ζ.
Παγόβουνον.

ὑφίσταται, μόνον ὅταν θὰ κόψωμεν τὸ σχοινίον, π.χ. κοντὰ εἰς τὸν πυθμένα καὶ ὁ ὑδράργυρος τὸ ἐγγίστη καθ' ὅλην τὴν τομήν του, τότε θὰ ἐκτιναχθῇ πρὸς τὰ ἄνω λόγω τῆς ἰσχυρᾶς ἀνώσεως (παράγρ. 16 · 3).

Τέλος, πρέπει νὰ γνωρίζωμεν ὅτι ἡ ἄνωσις ὡς δύναμις ἔχει τὸ ἰδικόν της σημεῖον ἐφαρμογῆς, ποὺ καθορίζεται ἀπὸ τὸ σχῆμα τοῦ ἐν βυθίσει ὄγκου, ποὺ δὲν συμπίπτει πάντοτε μὲ τὸ κέντρον βάρους τοῦ σώματος. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι εἶναι δυνατὸν νὰ παρουσιασθῇ συνισταμένη δυνάμεων καὶ ροπή, ἄρα τὸ σῶμα νὰ κινηθῇ καὶ νὰ στραφῇ, ἕως ὅτου ἐπέλθῃ ἰσορροπία. Οὕτως, ἂν ἔχωμεν ἕνα ξύλινον ᾠόν, εἰς τὸ κάτω μέρος τοῦ ὁποίου ἔχει τοποθετηθῇ μόλυβδος (ἕρμα, σαβούρα) καὶ τὸ ρίξωμεν λοξὰ εἰς τὸ ὕδωρ, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι μετὰ κίνησιν καὶ στροφὴν θὰ σταθῇ ὄρθιον ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 7 · 6 ε, ἡ δὲ ἄνωσις, ἤτοι ἡ μερικὴ ἄνωσις τοῦ ἐν βυθίσει τμήματος, θὰ ἰσοῦται πρὸς τὸ βάρος τοῦ σώματος. Εἰς τὰ ἀνωτέρω σχήματα 7 · 6 στ, 7 · 6 ζ, 7 · 6 η, 7 · 6 θ, δεικνύονται μερικαὶ ἐφαρμογαὶ τῆς ἀρχῆς τοῦ Ἀρχιμήδους (ὑποβρύχιον, κολυμβητὴς καρτεσίου, παγόβουνον, τομὴ πλοίου).



Σχ. 7 · 6 η.
Κολυμβητὴς Καρτεσίου.



Σχ. 7 · 6 θ.
Τομὴ πλοίου.

7 · 7 Μετρήσεις πυκνότητος. Ἀραιόμετρα.

Ὁρισμοί: Ὅπως εἴδαμεν (παράγρ. 0· 3), ὅλα τὰ σώματα μάζης, ἔστω m g δὲν κατέχουν τὸν ἴδιον ὄγκον V. Εἰς μερικὰ σώματα ἡ ὕλη εἶναι ἀραιά, ἀναλογεῖ δηλαδὴ μικρὸν ποσὸν ὕλης εἰς κάθε cm^3, ἐνῷ εἰς ἄλλα σώματα ἔχομεν μεγάλην συμπύκνωσιν εἰς κάθε cm^3 π.χ. εἰς τὸν λευκόχρυσον (κοινῶς πλατίνα) ἔχομεν 21,5 g/cm^3.

Ἑπομένως, ὅπως καὶ προηγουμένως ἀνεφέραμεν (παράγρ. 3 · 7), ὁρίζομεν ἕνα φυσικὸν μέγεθος ρ χαρακτηριστικὸν κάθε σώματος καὶ οὕτω καλοῦμεν: *πυκνότητα τὸν λόγον τῆς μάζης τοῦ σώματος πρὸς τὸν ὄγκον, ποὺ κατέχει τοῦτο:*

$$\text{Ὅθεν } \rho = \frac{m}{V} \text{ εἰς } \frac{g}{cm^3} \text{ ἢ } \frac{kg}{m^3}$$

Ἡ πυκνότης ἑνὸς ὑλικοῦ, π.χ. τοῦ καθαροῦ χρυσοῦ, εἶναι σταθερὰ καὶ δὲν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν περιοχὴν τῆς Γῆς, οὔτε ἀπὸ τὸ ἂν εὑρίσκεται εἰς διαστημόπλοιον ἢ δορυφόρον πλησίον τῆς Γῆς. Ἐπηρεάζεται ὅμως ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν, διότι τὰ σώματα θερμαινόμενα ἀραιώνουν, διαστέλλονται, αὐξάνεται ὁ ὄγκος των καὶ κατὰ συνέπειαν ἡ πυκνότης των ἐλαττώνεται.

Παλαιότερον ἐγίνετο χρῆσις ἑνὸς ἄλλου φυσικοῦ μεγέθους, τὸ ὁποῖον ὅμως σιγὰ - σιγὰ καταργεῖται, τοῦ *εἰδικοῦ βάρους*. Δηλαδὴ

$$\varepsilon = \frac{\text{βάρος}}{\text{ὄγκος}} = \rho g.$$

Αὐτὸ ὅμως τὸ μέγεθος ἐξαρτᾶται πολὺ ἀπὸ τὴν περιοχὴν τῆς Γῆς καὶ τὸ ὕψος ἀπ' αὐτῆς, ἄρα τὸ ἴδιον ὑλικὸν ἔχει διαφορετικὰς τιμὰς εἰδικοῦ βάρους εἰς κάθε περιοχὴν καὶ ὕψος, διότι ἐκεῖ ἀλλάσσει, ὡς γνωστόν, τὸ βάρος καὶ ὄχι ὁ ὄγκος του.

Πρέπει νὰ μάθωμεν ὅμως καὶ τὸν χρήσιμον ὁρισμόν, ποὺ δίδουν οἱ ἀγγλοαμερικανοὶ σήμερον εἰς τὸ *εἰδικὸν βάρος*. *Καλεῖται εἰδικὸν βάρος ε ἡ σχέσις τοῦ βάρους τοῦ σώματος πρὸς τὸ βάρος ἴσου ὄγκου ὕδατος.*

Ἐπειδὴ πρόκειται περὶ σχέσεως, περὶ συγκρίσεως τοῦ σώματος πρὸς τὸ ὅμοιόν του ἀπὸ ὕδωρ, αἱ μονάδες δὲν γράφονται. Οὕτω π.χ. λέγομεν εἰδικὸν βάρος χρυσοῦ $\varepsilon = 19$ φορὰς βαρύτερον ἀπὸ τὸ ὅμοιόν του ἐκ καθαροῦ ὕδατος 4^0 Κελσίου.

Ὅθεν $$\varepsilon = \frac{\text{βάρος σώματος}}{\text{βάρος ἴσου ὄγκου ὕδατος } 4^0} = \frac{\beta}{\beta_1}.$$

Ἡ θερμοκρασία 4^0 Κελσίου εἶναι, ὅπως ἐμάθαμεν εἰς τὴν Εἰσαγωγὴν (παράγρ. 0 · 7), ἡ θερμοκρασία ἐκείνη, ὅπου τὸ καθαρὸν (ἀπεσταγμένον) ὕδωρ ἔχει τὴν μεγαλυτέραν συμπύκνωσίν του, τὴν μεγαλυτέραν πυκνότητα, ἡ ὁποία διεθνῶς ἐθεσπίσθη ἴση πρὸς 1 g/cm^3 ἢ 1 ton εἰς κάθε m^3 ἢ 1 kg ἀνὰ λίτρον.

Ὅ,τι εὑρίσκομεν ἐκ τῆς μετρήσεως τοῦ εἰδικοῦ βάρους ε, αὐτὸ ἰσχύει καὶ διὰ τὴν πυκνότητα ρ. Αἱ δύο τιμαὶ ταυτίζονται, διότι ἀπὸ τόπου εἰς τόπον ὅσον ἀλλάσσει τὸ βάρος τοῦ σώματος, τόσον μεταβάλλεται καὶ τὸ βάρος τοῦ ὕδατος, ἄρα ἡ ἀναλογία μένει ἡ αὐτή, ὅπως καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς πυκνότητος. Δὲν πρέπει δὲ νὰ λησμονῆται ὅτι κατὰ μεγάλην προσέγγισιν 1 γραμμάριον ὕδατος 4^0 C κατέχει ὄγκον 1 cm^3, ἄρα ὄγκος π.χ. 50 cm^3, ὅταν γεμίσῃ μὲ ὕδωρ, θὰ περιλάβῃ 50 g ὕδατος (παράγρ. 0 · 8).

Μετρήσεις: Ἐὰν προσέξωμεν εἰς τὰ πειράματα ἐπὶ τῆς ἀρχῆς τοῦ Ἀρχιμήδους, θὰ ἀντιληφθῶμεν ὅτι μᾶς δίδουν τὸ μέσον διὰ νὰ μετρήσωμεν τὴν πυκνότητα τοῦ ἐμβαπτιζομένου σώματος. Πράγματι, ἡ ἄνωσις ἐντὸς τοῦ ὕδατος, ὅταν τοῦτο εἶναι ἀπεσταγμένον 4^0 Κελσίου, μᾶς δίδει πόσον εἶναι τὸ βάρος τοῦ ἐκτοπιζομένου ὕδατος, δηλαδὴ τὸ βάρος, τὸ ὁποῖον ἔχει ὅμοιον σῶμα ἐξ ὕδατος 4^0 C. Κατόπιν τούτου ἐκτελοῦμεν τὴν μέτρησιν ὡς ἑξῆς:

α) Ζύγισις τοῦ σώματος εἰς τὸν ἀέρα καὶ ἔστω βάρος B_0.

β) Ζύγισις τοῦ σώματος πλήρως βυθισμένου ἐντὸς ὕδατος 4^0 C. Ἔστω βάρος B_1. Ἄρα χάνει βάρος $B = B_0 - B_1$, ἀλλὰ αὐτὴ εἶναι ἡ ἄνωσις ἴση πρὸς τὸ βάρος τοῦ ἐκτοπιζομένου ὕδατος B. Ἑπομένως τὸ εἰδικὸν βάρος ἰσοῦται πρός:

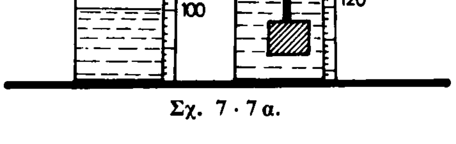
$$\varepsilon = \frac{B_0}{B_0 - B_1} = \frac{B_0}{B}$$

Ὁ προκύπτων ὅμως ἀριθμὸς ἐκφράζει καὶ τὴν πυκνότητα, ρ, διότι δεχόμενοι ὅτι εἰς κάθε cm^3 ὕδατος 4^0 C περιέχεται 1 g μάζης αὐτοῦ, ἕπεται ὅτι ὅσα cm^3 εἶναι ὁ ὄγκος, τόσα g ὕδατος ἐκτοπίζει τὸ βύθισμα τοῦ σώματος.

Προσοχή: Ἡ μέτρησις αὐτὴ δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ πραγματοποιηθῇ εἰς διαστημόπλοιον (δορυφόρον), διότι ἐκεῖ δὲν δυνάμεθα νὰ ζυγίσωμεν. Ἄλλη πρόχειρος μέθοδος ἀλλὰ ὄχι τόσον ἀκριβὴς εἶναι καὶ ἡ ἀκόλουθος, κατὰ τὴν ὁποίαν ἐκτελοῦμεν μόνον μίαν ζύγισιν, δηλαδή:

α) Ζύγισις τοῦ σώματος καὶ ἔστω βάρος $B_0 = 0{,}200$ kp.

β) Ἐμβάπτισις τοῦ σώματος εἰς ὕδωρ 4^0 C, ποὺ περιέχεται εἰς βαθμολογημένον ὀγκομετρικὸν κύλινδρον, ὁπότε ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος θὰ ἀνέλθῃ. Ἀναγινώσκομεν τὴν διαφοράν, ὁπότε μετροῦμεν τὸν ὄγκον V τοῦ σώματος, ποὺ ἐβυθίσαμεν εἰς τὸν κύλινδρον ἢ ἄλλως τὸ βάρος B τοῦ ἐκτοπισθέντος ὕδατος (σχ. 7 · 7 α).



Σχ. 7 · 7 α.

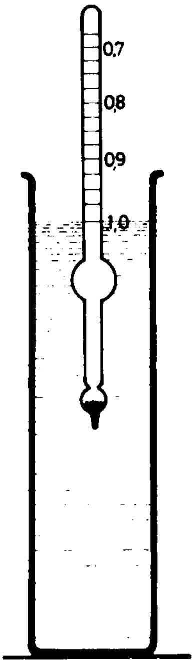
Τελικῶς: $\varepsilon = \frac{B_0}{B} = \frac{200}{20} = 10$ g/cm^3.

Ἐὰν τὸ σῶμα εἶναι πορῶδες, πρέπει νὰ τὸ καλύψωμεν μὲ ἐλαφρότατον στρῶμα ἀδιαβρόχου βερνικίου, ὅταν ὅμως εἶναι ἐλαφρότερον τοῦ ὕδατος, θὰ τὸ συνδυάσωμεν μὲ ἕρμα γνωστῆς πυκνότητος καὶ ὄγκου, ἔπειτα δὲ θὰ ἀφαιρέσωμεν ὅ,τι ἀνήκει εἰς τὸ ἕρμα.

Διὰ τὰ ὑγρὰ ὑπάρχει ἡ μέθοδος τοῦ βαρέος πλωτῆρος, ἡ ὁποία ἔχει ὡς ἑξῆς.

α) Ἐξαρτῶμεν ἀπὸ ἕνα κανταράκι ἀκριβείας ἕνα πλωτῆρα, π.χ. ὑάλινον κύλινδρον, καὶ ἔστω τὸ βάρος του B_0.

β) Τὸν ζυγίζομεν ἐντὸς τοῦ ὕδατος καὶ ἔστω τὸ βάρος του B_1, δηλαδὴ χάνει βάρος $B_0 - B_1$.



Σχ. 7 · 7 β.

γ) Τὸν ζυγίζομεν ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ, π.χ. τοῦ πετρελαίου, καὶ ἔστω τὸ βάρος του B_2, δηλαδὴ χάνει βάρος $B_0 - B_2$. Τότε ἔχομεν:

$$\varepsilon = \frac{B_0 - B_2}{B_0 - B_1} = \frac{\text{ἄνωσις ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ}}{\text{ἄνωσις ἐντὸς τοῦ ὕδατος}}.$$

Αἱ ἀνώσεις ὅμως εἶναι βάρη ἐκτοπιζομένου ὁμοίου ὄγκου τῶν δύο ὑγρῶν, ἄρα τὸ πηλίκον αὐτῶν εἶναι τὸ εἰδικὸν βάρος τοῦ ὑγροῦ, ἐφ' ὅσον παρονομαστὴς εἶναι τὸ βάρος τοῦ ὕδατος 4^0 C.

Αἱ ζυγίσεις καὶ αἱ διαιρέσεις ἀποφεύγονται μὲ τὴν χρῆσιν τῶν *ἀραιομέτρων*, τὰ ὁποῖα εἶναι ὄργανα, ποὺ ἔστω καὶ ἂν μετροῦν πολλάκις πυκνότερα τοῦ ὕδατος ὑγρά, ἐν τούτοις πάλιν καλοῦνται εἰς τὴν Τεχνικὴν *ἀραιόμετρα*.

Τὰ ἀραιόμετρα εἶναι κοῖλοι πλωτῆρες (σχ. 7 · 7 β) μὲ ἕρμα (ὑδράργυρον ἢ σφαιρίδια ἐκ μολύβδου) διαφορετικὸν κάθε φορὰν ἀναλόγως τοῦ διὰ ποῖα ὑγρὰ πρόκειται νὰ χρησιμοποιηθοῦν.

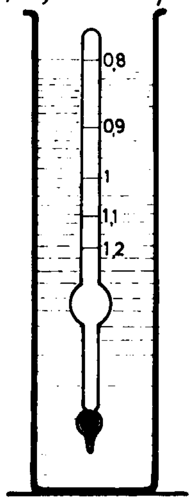
α) Τὰ κυρίως ἀραιόμετρα ἔχουν ὀλίγον ἕρμα, ἄρα δὲν βυθίζονται πολὺ ἐντὸς τοῦ καθαροῦ ὕδατος, τὸ στέλεχός των προεξέχει καὶ ἐκεῖ ὅπου ἐγγίζει ἡ ἐπιφάνεια τοῦ ὕδατος φέρουν τὴν πρώτην χαραγήν, τὴν ἀρχὴν τῆς κλίμακος. Οὕτως, ἐπάνω εἰς τὴν ὕαλον εἶναι χαραγμένος ὁ ἀριθμὸς 1, ποὺ σημαίνει ὅτι αὐτὸ τὸ ὑγρὸν (τὸ ὕδωρ) ἔχει πυκνότητα (εἰδικὸν βάρος) 1 g/cm³.

Εἰς τὰ ἀραιότερα ὑγρά, ὅπως τὸ ἐλαιόλαδον (0,92), τὸ πετρέλαιον (0,80), ὁ αἰθὴρ (0,72) κ.ο.κ. τὸ ἀραιόμετρον ὑφίσταται μικροτέραν ἄνωσιν, βυθίζεται καὶ συνεπῶς ἡ ἐπιφάνεια ἐφάπτεται εἰς χαραγὰς μὲ μικροτέρους ἀριθμούς.

Τὰ πυκνόμετρα ἔχουν πολὺ ἕρμα, ἄρα βυθίζονται πολὺ ἐντὸς τοῦ ὕδατος μέχρι τοῦ σημείου, ὅπου φέρουν τὴν χαραγὴν 1.

Ὅταν τεθοῦν ἐντὸς πυκνοτέρων τοῦ ὕδατος ὑγρῶν, π.χ. θαλάσσιον ὕδωρ (1,03), γλυκερίνην (1,26), χλωροφόρμιον (1,48) κ.ο.κ. λόγω τῆς μεγαλυτέρας ἀνώσεως ἀνυψοῦνται καὶ τὸ ὑγρὸν ἐφάπτεται εἰς μεγαλυτέρας μονάδος χαραγάς.

Ἐὰν τὸ ἕρμα εἶναι μέτριον, τότε τὰ ὄργανα κατασκευάζονται δι' ἀραιὰ καὶ πυκνὰ ὑγρά, ἡ δὲ μονὰς εὑρίσκεται εἰς τὸ μέσον τοῦ στελέχους των (σχ. 7·7γ).



Σχ. 7·7γ.

Εἰς τὴν βιομηχανίαν χρησιμοποιοῦνται ἀραιόμετρα καὶ πυκνόμετρα εἰδικὰ διὰ γάλα, οἰνόπνευμα, σιρόπια κ.λπ., ἔχουν πολλὰς χαραγὰς βαθμολογημένας εἰς αὐθαιρέτους κλίμακας, ὅπως π.χ. ἡ κλῖμαξ Μπωμέ, εἰς τὴν ὁποίαν ἡ χαραγὴ 0 δηλοῖ καθαρὸν ὕδωρ καὶ ἡ χαραγὴ 15 διάλυμα 15 g ἅλατος εἰς 85 g ὕδατος (σύνολον 100 g).

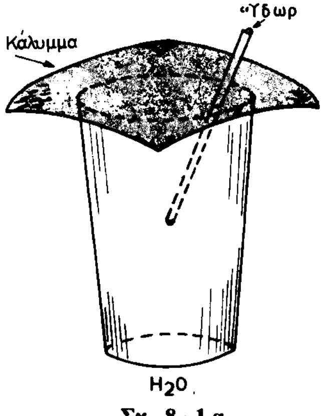
Ἰδιαιτέρα προσοχὴ πρέπει νὰ δίδεται εἰς τὴν θερμοκρασίαν, διότι τότε μεταβάλλεται ἡ πυκνότης καὶ αἱ ἐνδείξεις εἶναι ἐσφαλμέναι. Συνήθως βαθμολογοῦνται εἰς μέσην θερμοκρασίαν δωματίου 15^0 ἕως 17^0 C καὶ συνοδεύονται μὲ πίνακα ἀναγωγῆς εἰς τοὺς 4^0 C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 8

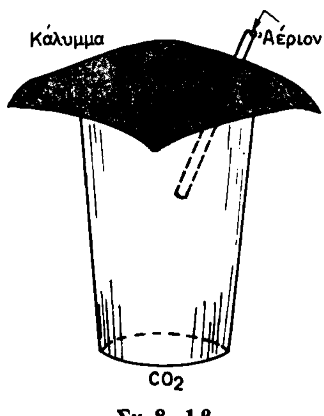
ΑΕΡΟΣΤΑΤΙΚΗ

8 · 1 Γενικαὶ ἀρχαί.

Ὅπως γνωρίζομεν ἀπὸ τὴν Εἰσαγωγὴν (παράγρ. 0 · 3), τὰ ἀέρια ὅπως καὶ τὰ ὑγρὰ δὲν ἔχουν καθωρισμένον σχῆμα, ἀλλὰ λαμβάνουν τὸ σχῆμα τοῦ δοχείου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου περιέχονται. Ὅμως τὰ ἀέρια ἔχουν μίαν βασικὴν διαφορὰν ἀπὸ τὰ ὑγρά, ὅσον ἀφορᾶ εἰς τὸν ὄγκον, τὸν ὄγκον των ἐντὸς τοῦ δοχείου καὶ ὡς πρὸς τὴν ἐλευθέραν ἐπιφάνειαν συμφώνως μὲ τὰ κατωτέρω:



Σχ. 8 · 1 α.



Σχ 8 · 1 β.

Ἂν π.χ. λάβωμεν ἕνα ποτήριον κεκαλυμμένον μὲ χαρτόνι καὶ τὸ γεμίσωμεν κατὰ τὸ ἥμισυ μὲ ὕδωρ (σχ. 8 · 1 α), τὸ ὕδωρ, ἐνῶ θὰ ἀποκτήση τὸ σχῆμα τῶν παρειῶν καὶ τοῦ πυθμένος τοῦ ποτηρίου, θὰ ἔχη τὴν ἄνω ἐπιφάνειαν πάντοτε ὁριζοντίαν, τὰ δὲ μόριά του *δὲν* θὰ σηκωθοῦν νὰ κυκλοφορήσουν εἰς ὅλο τὸ ποτήριον, πρᾶγμα ποὺ θὰ συμβῆ, ὅταν μέσα εἰς τὸ ποτήριον θέσωμεν ἕνα ἀέριον ὅπως τὸ διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος (CO_2), τὸ γνωστόν μας δηλαδὴ ἀέριον, μὲ τὸ ὁποῖον συμπιέζομεν διάφορα ἀεριοῦχα ποτὰ (ζῦθος, λεμονάδα κ.λπ. σχ. 8 · 1 β). Ἑπομένως ἡ μεγάλη κινητικότης τῶν μορίων τῶν ἀερίων τὰ στερεῖ τῆς ἰδιότητος νὰ ἔχουν ἰδικόν των ὄγκον, ἐνῶ τὰ ὑγρὰ ἔχουν καὶ ὄγκον ἰδικόν των καὶ ἐλευθέραν ἐπιφάνειαν. Γενικῶς λοιπόν, τὰ ὑλικὰ σώματα, ὅταν δὲν τὰ διαταράσσουν διάφορα αἴτια, διακρίνονται εἰς:

α) *Στερεά*, τὰ ὁποῖα ἔχουν ὄγκον, ἔχουν πολλὰς ἐλευθέρας ἐπιφανείας (ἕδρας), ἔχουν σχῆμα.

β) *Ὑγρά*, τὰ ὁποῖα ἔχουν ὄγκον, ἔχουν μόνον *μίαν* ἐλευθέραν ἐπιφάνειαν (ὁριζοντίαν), διότι ὅλαι αἱ ἄλλαι μὴ ἐλεύθεραι ἐπιφάνειαι διαμορφώνονται ἀναλόγως τοῦ δοχείου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου περιέχονται, ἄρα δὲν ἔχουν ἴδιον σχῆμα.

γ) *Ἀέρια*, τῶν ὁποίων τὰ μόρια κινούμενα ταχέως ἀτάκτως καὶ ἀλληλοσυγκρουόμενα κυκλοφοροῦν εἰς ὅλον τὸ περιέχον αὐτὰ δοχεῖον, συνεπῶς δὲν ἔχουν οὔτε ἴδιον ὄγκον, οὔτε ἴδιον σχῆμα, οὔτε σχηματίζουν σαφῆ ἐλευθέραν ἐπιφάνειαν, ὅπως τὰ ὑγρά. Ὅμως τὰ ἀέρια ἔχουν ἐξαιρετικῶς ἔντονον τὴν ἰδιότητα τοῦ *συμπιεστοῦ* καὶ ὡς ἐκ τούτου μία μᾶζα ὀλίγων π.χ. g ἀερίου CO_2 δύναται νὰ ἀποκτήση διαφόρους ὄγκους μεγάλους ἢ μικροὺς ἀναλόγως τῆς συμπιέσεώς της καὶ τέλος νὰ γίνη ὑγρὸν CO_2, ἀκόμη δὲ νὰ γίνη καὶ στερεὸν CO_2 (ξηρὸς πάγος) θερμοκρασίας 78 °C κάτω τοῦ μηδενός.

Αὐτὴ ἡ εὔκολος ἔκτασις τῶν ἀερίων τὰ ἀποστερεῖ μιᾶς ὡρισμένης πυκνότητος, ἑπομένως ἀναλόγως τῆς ἑκάστοτε θερμοκρασίας καὶ τῆς συμπιέσεως ἔχουν καὶ ἄλλην πυκνότητα. Δι' αὐτὸ ἐνίοτε ὁρίζομεν διὰ τὰ ἀέρια τὴν *σχετικὴν πυκνότητά* των ὡς πρὸς τὸν ἀέρα τῆς ἰδίας πιέσεως καὶ θερμοκρασίας.

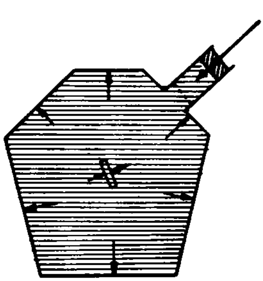
Π.χ. ἀντὶ νὰ γράφωμεν ὅτι ἡ πυκνότης τοῦ ἀερίου CO_2 εἶναι *ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας* (ἔτσι καλεῖται ἡ θερμοκρασία τοῦ μηδενὸς Κελσίου καὶ ἡ πίεσις μιᾶς ἀτμοσφαίρας) $\rho = 1{,}97$ g/lt (ἐνῷ τοῦ ἀέρος εἶναι $\rho = 1{,}29$ g/lt), λέγομεν ἁπλῶς τὸ CO_2 εἶναι μία καὶ ἡμισείαν φορὰν πυκνότερον τοῦ ἀέρος.

Ἐπειδὴ συνηθίζεται εἰς τὴν Τεχνικὴν νὰ λαμβάνεται — κατὰ προσέγγισιν — ἡ ἰδία διαστολὴ δι' ὅλα τὰ ἀέρια, ἕπεται ὅτι πάντοτε ὑπὸ ὁμοίας συνθήκας (π.χ. θερμοκρασίαν 20° καὶ πίεσιν 2,5 ἀτμοσφαιρῶν) τὸ διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος θὰ εἶναι πάλιν 1,5 φορὰν πυκνότερον τοῦ ἀέρος. Ἐπίσης, ὅταν ἡ πίεσις ἑνὸς ἀερίου διπλασιασθῆ, τριπλασιασθῆ κ.λπ. ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν, τότε λέγομεν ὅτι ἡ πυκνότης του ὑπέστη ἀνάλογον αὔξησιν.

Εἰς τὰ ἀέρια ἰσχύει τόσον ἡ *ἀρχὴ τοῦ Πασκάλ*, ὅσον καὶ ἡ *ἀρχὴ τοῦ Ἀρχιμήδους*, ἀκριβῶς ὅπως καὶ εἰς τὰ ὑγρὰ (παράγρ. 7·3 καὶ

7 · 6). Τὸ αὐτὸ περίπου συμβαίνει καὶ διὰ τὸ *θεμελιῶδες θεώρημα* (παράγρ. 7 · 5). Ἑπομένως ἐπαναλαμβάνοντες ὅσα ἐγράφησαν διὰ τὰ ὑγρὰ ἔχομεν:

α) Ἕνα ἀέριον, ὅπως ἕνα ὑγρόν, εὑρισκόμενον ἐν ἠρεμίᾳ (στατικὴ κατάστασις) ἐξασκεῖ ἐπὶ τῶν τοιχωμάτων τοῦ περιέχοντος αὐτὸ δοχείου δύναμιν κάθετον ἐπὶ τοῦ θεωρουμένου τοιχώματος, οἱανδήποτε θέσιν καὶ ἂν τοῦτο κατέχῃ. Τὸ αὐτὸ συμβαίνει καὶ ἐπὶ οἱουδήποτε τοιχώματος (ἐπιφανείας) ἐντὸς τῆς μάζης τοῦ ἀερίου. Κάθε τυχὸν ἐφαρμοζομένη ἔξωθεν πίεσις (Pascal) μεταφέρεται εἰς ὅλην τὴν ἔκτασιν, ποὺ κατέχει τὸ ἀέριον, δηλαδὴ ἡ ἰδία δύναμις θὰ παρουσιασθῇ καθέτως εἰς κάθε cm^2 ἀνεξαρτήτως τῆς θέσεως, ποὺ κατέχει τοῦτο (σχ. 8 · 1 γ).



Σχ. 8 · 1 γ.

β) Κάθε σῶμα περιβαλλόμενον ὑπὸ ἀερίου ὑφίσταται ἄνωσιν ἴσην πρὸς τὸ βάρος τοῦ ἀερίου, ποὺ ἐκτοπίζεται ὑπὸ τοῦ σώματος. Δηλαδὴ ὑφίσταται ἄνωσιν = δύναμιν πρὸς τὰ ἄνω, ἴσην πρὸς τὸ βάρος ποὺ θὰ ἐζύγιζε τὸ σῶμα, ἐὰν ἦτο κατεσκευασμένον ἀπὸ τὸ ἀέριον.

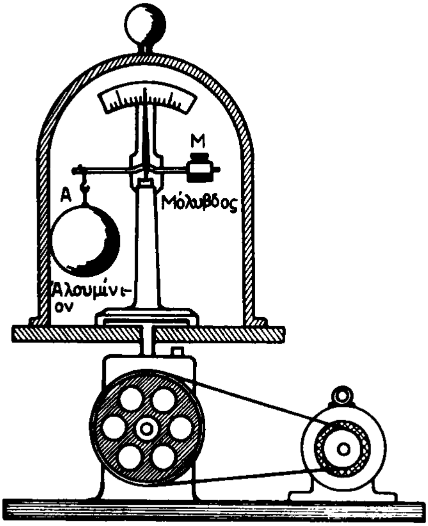
Ἄρα καὶ ὁ ἄνθρωπος ὑφίσταται ἄνωσιν, ἔστω καὶ μικράν. Ἂν δεχθῶμεν ὅτι ὁ ὄγκος ἑνὸς ἀνθρώπου εἶναι συνήθως 50 ἕως 70 *lt*, τότε ἡ ἄνωσις εἶναι περίπου ἴση πρὸς βάρος 65 ἕως 90 g. Τὸ γνωστὸν δὲ ἐρώτημα *ποῖον εἶναι βαρύτερον ἕνα κιλὸ σίδηρος ἢ ἕνα κιλὸ φελλός*, ἔχει ἀπάντησιν ὅτι, ἂν δὲν ὑπῆρχε ὁ ἀήρ, ὁ φελλὸς θὰ ἦτο βαρύτερος, διότι τώρα ἐντὸς τοῦ ἀέρος ἔχει ἄνωσιν μεγαλυτέραν, ἐπειδὴ κατέχει μεγαλύτερον ὄγκον.

Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 8 · 1 δ, ὑπάρχει ἰσορροπία βαρῶν μεταξὺ τῆς ἐκ μολύβδου σφαίρας Μ καὶ τῆς ἐξ ἀλουμινίου Α διότι: [βάρος Pb − ἄνωσις Μ = βάρος Al − ἄνωσις Α].

Ἐπειδὴ Ἄνωσις Μ < Ἄνωσις Α, διότι Ὄγκος Pb < Ὄγκος A*l*, ἕπεται ὅτι ἄνευ ἀνώσεων, πραγματικῶς, Βάρος Pb < Βάρους A*l*.

γ) Ὅταν ἐντὸς δοχείου τεθῇ ἕνα ἀέριον, θὰ ἔχῃ τὸ δοχεῖον προφανῶς μεγαλύτερον βάρος, διότι δὲν ὑπάρχει ὑλικὸν σῶμα, ποὺ δὲν ἕλκεται ὑπὸ τῆς Γῆς. Ἑπομένως μία ἀερία στήλη δημιουργεῖ πίεσιν ὅπως καὶ μία στήλη ὑγροῦ. Ἄρα, συμφώνως πρὸς τὸ *θεμε-*

λιῶδες θεώρημα, ἔστω καὶ ἂν τὰ ἀέρια δὲν ἔχουν ὅπως τὰ ὑγρὰ ὡρισμένην πυκνότητα καὶ ἐλευθέραν ἐπιφάνειαν, ἡ πίεσις πάλιν δημιουργεῖται, μόνον ποὺ δὲν μᾶς εἶναι πάντοτε εὔκολος ὁ ὑπολογισμὸς αὐτῆς, ὅπως γίνεται εἰς τὰ ὑγρά. Ὑπάρχουν ὅμως εἰς τὴν τεχνικὴν διάφοροι τύποι, ποὺ μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ ὑπολογίζωμεν τὴν πίεσιν, ποὺ ὑφίσταται εἰς μίαν περιοχὴν ἐντὸς ἀερίας στήλης. Π.χ. ὅπως λογαριάζομεν τὴν πίεσιν εἰς βάθος 40 m θαλάσσης, ἀναλόγως δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν πίεσιν εἰς τὸ βάθος μιᾶς καπνοδόχου ἐργοστασίου ὕψους 40 m πλήρους CO_2 ἢ μίγματος ἀερίων γνωστῆς πυκνότητος, θερμοκρασίας κ.λπ.



Σχ. 8 · 1 δ.

8 · 2 Ἀτμοσφαιρικὴ Πίεσις. Τορρικέλλι.

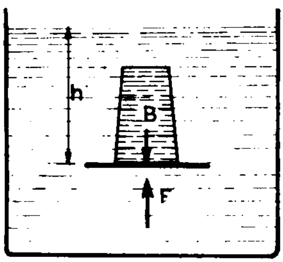
Ἡ ἀτμόσφαιρα εἶναι μῖγμα ἀερίων, κυρίως ἀζώτου (78 %) καὶ ὀξυγόνου (21 %), μὲ 1 % διαφόρους προσμίξεις ἄλλων ἀερίων, ὅπως π.χ. ἠλίου, νέου, ἀργοῦ, διοξειδίου τοῦ ἄνθρακος, ὕδατος ἐξαεριωμένου, ὑδρογόνου κ.λπ.

Εἰς μεγαλύτερα ὕψη π.χ. 50000 m ἐλαττοῦται τὸ ὀξυγόνον, αὐξάνει τὸ ἄζωτον καὶ πάρα πολὺ τὸ ὑδρογόνον (13 %), ἐνῶ συγχρόνως ἀραιοῦται τόσον τὸ ὀξυγόνον, ὥστε ὁ ἄνθρωπος δὲν ζῇ, ὅσον γρήγορα καὶ ἐὰν ἀναπνέῃ διὰ νὰ πάρῃ ἀρκετὸν ὀξυγόνον. Ἤδη εἰς ὕψος 15 000 m ἀρχίζουν λόγῳ τῆς ἀραιότητος τῆς ἀτμοσφαίρας καὶ τῆς ἐξατμίσεως τοῦ ὕδατος νὰ ξηραίνωνται οἱ πνεύμονες καὶ διὰ τοῦτο εἰς τὰ ἀνοικτὰ ἀεροπλάνα ἤδη ἀπὸ τοῦ ὕψους τῶν 4 ἕως 5000 m χρησιμοποιεῖται μάσκα μὲ φιάλην ὀξυγόνου.

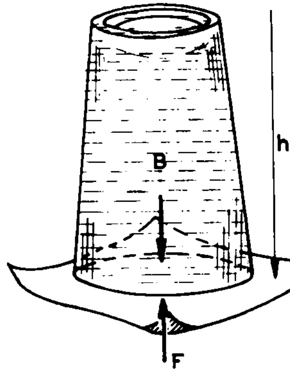
Ἐξ ὅλων αὐτῶν προκύπτει ὅτι ἡ ἀτμόσφαιρα δὲν ἔχει σαφὲς τέρμα, ἐνῶ ἂν θεωρηθῇ ὅτι ἡ πυκνότης της ἔμεινε πάντα ἡ ἰδίᾳ, ὅπως εἶναι ἐπὶ τῆς Γῆς ($\rho = 1{,}29$ g/l), τότε θὰ ἔφθανε μόνον μέχρι τὰ

8000 m. Ἐν πάσῃ περιπτώσει ἡ ἀερία μᾶζα, πού περιβάλλει τὴν Γῆν, ἕλκεται ἀπὸ αὐτὴν καὶ δημιουργεῖ πίεσιν, ὡς ἐὰν ἦτο ὑγρὸν (ρευστόν).

Τοῦτο φαίνεται ἀπὸ τὰ ἀκόλουθα πειράματα: Πληρώνομεν ἕνα ποτήριον μὲ πυκνὸν ὑγρὸν π.χ. μὲ ἐλαφρῶς συμπυκνωμένον γάλα (ἐβαπορὲ) τόσον, ὥστε νὰ ὑπερχειλίσῃ καὶ τὸ καλύπτομεν μὲ μίαν ὑαλίνην λεπτὴν πλάκα (σχ. 8 · 2 α). Βυθίζομεν εἰς ἕνα βαρέλι μὲ ὕδωρ τὸ ποτήριον μὲ τὸ κάλυμμά του, τὸ ἀναστρέφομεν, παύομεν νὰ στηρίζωμεν τὴν πλάκα ἐπάνω εἰς τὰ χείλη του καὶ παρατηροῦμεν ὅτι τὸ κάλυμμα δὲν φεύγει καὶ τὸ γάλα δὲν χύνεται ἐντὸς τοῦ ὕδατος. Ἡ ἐξήγησις τοῦ φαινομένου εἶναι ἁπλῆ : ἡ πλὰξ ὠθεῖται πρὸς τὰ ἄνω (ἄνωσις) καὶ φράσσει τὸ ποτήριον, διότι ἐπ' αὐτῆς ἀσκεῖται δύναμις προερχομένη ἀπὸ τὴν πίεσιν τοῦ ὕδατος. Ἡ πίεσις αὐτὴ ὑπολογίζεται εὐκόλως καὶ εἶναι (παράγρ. 7 · 5) $P = h\rho g$. Ἐὰν ἡ ἐπιφάνεια, πού φράσσεται, εἶναι S, τότε ἀσκεῖται ἡ δύναμις $F = S\,h\rho g$ πρὸς τὰ ἄνω. Ἐπειδὴ πιθανώτατα τὸ βάρος B τοῦ γάλακτος δὲν εἶναι πολὺ μεγάλο, ἕπεται ὅτι τὸ ποτήριον θὰ μείνῃ κεκαλυμμένον καὶ ἡ πλὰξ δὲν θὰ πέσῃ. Φυσικὰ τὸ ἴδιον πείραμα δὲν γίνεται μὲ ὑδράργυρον, ἐκτὸς ἂν βυθίσωμεν τὸ ποτήριον εἰς μέγα βάθος, ὁπότε πάλιν θὰ συμβῇ $F > B$.



Σχ. 8 · 2 α.

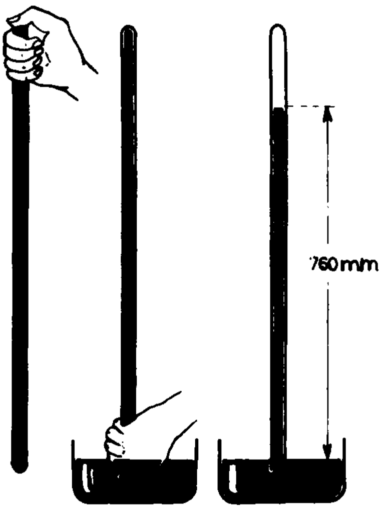


Σχ. 8 · 2 β.

Συμπέρασμα: *ἡ στήλη h τοῦ ὕδατος δημιουργεῖ πίεσιν, συνέπεια τῆς ὁποίας εἶναι ἡ δύναμις F πρὸς τὰ ἄνω, πού δὲν ἀφίνει νὰ κατέλθῃ ἡ πλὰξ καὶ ἡ στήλη τοῦ γάλακτος.*

Τὸ ἴδιον πείραμα γίνεται, μὲ προσοχὴν ὅμως, καὶ ἐκτὸς τοῦ ὕδατος εἰς τὸν ἀέρα (συνήθως χρησιμοποιεῖται ὕδωρ ἀντὶ γάλακτος) (σχ. 8 · 2 β) καὶ ἀποδεικνύει τὴν ὕπαρξιν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως, τῆς ὁποίας τόσον τὸ ὕψος h ὅσον καὶ ἡ πυκνότης ρ δὲν μᾶς εἶναι εὐκόλως γνωστά. Ἀλλὰ καὶ τὸ g ἀπὸ ὕψους εἰς ὕψος μεταβάλλεται. Ἑπομένως δὲν δυνάμεθα νὰ χρησιμοποιήσωμεν τὴν σχέσιν $P = h\rho g$, ἀλλὰ μᾶς ἐξυπηρετοῦν εἰδικοὶ τύποι χρήσιμοι διὰ τὴν μετεωρολογίαν καὶ ἀεροπορίαν.

Καίτοι δὲν εἶναι εὔκολος ὁ ὑπολογισμὸς τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως, ἐν τούτοις εἶναι δυνατὴ ἀμέσως ἡ μέτρησίς της. Τὸ πλέον χαρακτηριστικὸν πείραμα ἐξετέλεσεν ὁ Ἰταλὸς Torricelli (1644), ὁ ὁποῖος ἔλαβεν ἕνα σωλῆνα ὑάλινον (ἡ τομή του δὲν μᾶς ἐνδιαφέρει, ἀρκεῖ νὰ μὴ εἶναι πάρα πολὺ λεπτὸς καὶ δυσκολευθῶμεν νὰ τὸν γεμίσωμεν, λόγω τοῦ τριχοειδοῦς) (σχ. 8 · 2 γ) κλειστὸν κατὰ τὸ ἕνα ἄκρον, τὸν ἐγέμισε μὲ ὑδράργυρον, τὸν ἔφραξε μὲ τὸν δάκτυλόν του, τὸν ἀνέτρεψε μέσα εἰς λεκάνην ὑδραργύρου καὶ τέλος ἀπέσυρε τὸν δάκτυλόν του.



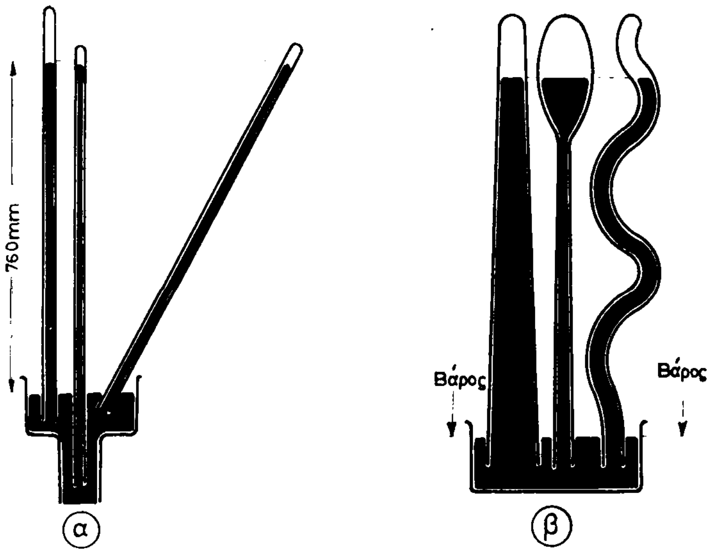
Σχ. 8 · 2 γ.

Κανονικῶς ἐπερίμενε — βάσει τῆς ἀρχῆς τῶν συγκοινωνούντων δοχείων — νὰ κατέλθη ἡ στήλη τοῦ Hg μέσα εἰς τὸν σωλῆνα καὶ νὰ ὑψωθῆ μέσα εἰς τὴν λεκάνην ἡ ἐπιφάνειά του, ἕως ὅτου ἠρεμήση τελείως. Αὐτὸ ὅμως ποὺ παρετήρησεν ἦτο τὸ ἀντίθετον, ἡ στήλη κατῆλθεν, ἄφησεν ἕνα κενὸν καὶ ἐσταμάτησεν εἰς ὕψος 760 mm ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας τοῦ Hg τῆς λεκάνης.

Ὅταν ἔκλινε τὸν σωλῆνα, ἡ στάθμη δὲν μετεβάλλετο, ἀλλὰ πάντα ἀπεῖχεν κατακορύφως 760 mm ἀπὸ τὸν ὑδράργυρον τῆς λεκάνης, οὔτε καὶ εἶχεν σημασίαν τὸ σχῆμα τοῦ σωλῆνος ἢ ἡ τομή του [σχ. 8 · 2 δ (α) (β)].

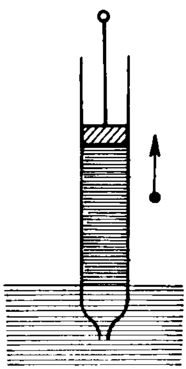
Τὸ πείραμα Τορρικέλλι ἐξηγεῖται ἀμέσως βάσει τῆς ἀερίας στήλης, ἡ ὁποία συμπιέζουσα τὸν ὑδράργυρον τῆς λεκάνης μὲ τὸ βάρος της ἐμποδίζει τὸν Hg τοῦ σωλῆνος νὰ κατέλθη καὶ τὸν σταματᾶ εἰς τὸ ὕψος τῶν 760 mm.

Τὸ ἴδιον θὰ συμβῇ, ὅταν ἐμεῖς θέσωμεν ἕνα ἔμβολον εἰς ἕνα σω-

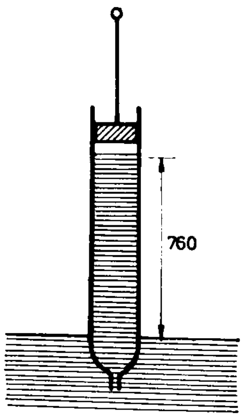


Σχ. 8 · 2 δ.

λῆνα καὶ τὸ ἀνασύρωμεν ἔχοντες καταλλήλως (σχ. 8 · 2 ε) βυθισμένον τὸ ἄκρον τοῦ σωλῆνος μέσα εἰς τὸν ὑδράργυρον τῆς λεκάνης. Μόλις ἀρχίσωμεν νὰ ἕλκωμεν τὸ ἔμβολον, ὁ ὑδράργυρος θὰ τὸ ἀκολουθήσῃ, καὶ ἂν φροντίσωμεν νὰ γίνῃ τὸ πείραμα μὲ μεγάλην ἀκρίβειαν καὶ δίχως ἀπωλείας στεγανότητος τοῦ ἐμβόλου, τότε ὁ ὑδράργυρος θὰ τὸ ἀκολουθήσῃ ἕως τὸ ὕψος τῶν 760mm (σχ. 8 · 2 στ) καὶ ἐκεῖ θὰ σταματήσῃ, παρ' ὅλον ὅτι ἐμεῖς (ἢ μία μηχανὴ) θὰ δύναται νὰ ἀνεβάσῃ καὶ νὰ κρατήσῃ τὸ ἔμβολον ὑψηλότερα ἀπὸ τὰ 760 mm προκαλοῦσα κενὸν ἐπάνω ἀπὸ τὸν Hg.



Σχ. 8 · 2 ε.



Σχ. 8 · 2 στ.

Συμπεραίνομεν λοιπὸν ὅτι ὁ ἀτμοσφαιρικὸς ἀὴρ δημιουργεῖ διὰ τοῦ βάρους του πίεσιν ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ ἐδάφους (ὀρθότερον, τῆς θαλάσσης) ἀντίστοιχον πρὸς τὴν τοῦ βάρους στήλης ὑδραργύρου 760 mm. Ἐπειδὴ στήλη ὑδραργύρου ὕψους 760 mm καὶ διατομῆς ἑνὸς cm^2 ζυγίζει 1,033 kp, ἕπεται ὅτι ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις H εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τῆς θαλάσσης καὶ ὑπὸ νηνεμίαν ἰσοῦται, διὰ τὴν Φυσικήν, πρὸς $H = 1{,}033\ kp/cm^2$ καὶ κατὰ προσέγγισιν, διὰ τὴν Βιομηχανίαν, $1\ kp/cm^2$ (τεχνικὴ μονάς).

Εἰς τὴν μετεωρολογίαν ἐπεκράτησεν μονὰς ἐκ τοῦ μετρικοῦ συστήματος, ἡ Millibar $= 100\ Newton/m^2$, ὁπότε:

1 φυσικὴ ἀτμόσφαιρα = 760 Torr = 1013 Millibar = 1,013 bar.

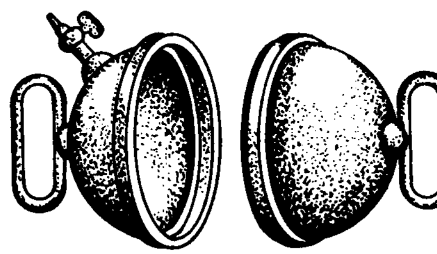
1 mm Hg = 1 Torr = 1,33 Millibar.

Ἡ κανονικὴ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις τῶν 760 Torr μεταβάλλεται ἀναλόγως τῶν καιρικῶν συνθηκῶν· ὅταν ἐλαττώνεται, ὁ καιρὸς εἰς τὴν Ἑλλάδα γίνεται συνήθως βροχερὸς ἢ θυελλώδης μὲ νοτίους ἀνέμους (κυκλών), ἐνῶ, ὅταν αὐξάνη πέραν τῶν 760 mm, ἡ καιρικὴ κατάστασις χαρακτηρίζεται μᾶλλον ἀπὸ καλοκαιρίαν ἢ βορείους ἀνέμους ψυχροὺς ἢ χιονοπτώσεις (ἀντικυκλών).

8 · 3 Τὰ ἡμισφαίρια τοῦ Magdeburg.

Τὸ πείραμα τοῦ Τορρικέλλι ἐπανέλαβεν κατ' ἄλλον τρόπον μετὰ 10 ἔτη (1654) ὁ δήμαρχος τῆς πόλεως τοῦ Μαγδεμβούργου Otto von Guericke.

Αὐτὸς ἔλαβε δύο ἡμισφαίρια (εὑρίσκονται σήμερον εἰς τὸ Γερμανικὸν Μουσεῖον τοῦ Μονάχου, τὸ περίφημον Deutsches Museum) ἀπολήγοντα εἰς πλατέα χείλη (σχ. 8 · 3 α). Ἐφήρμοσεν λοιπὸν καλῶς τὰ στόμιά των καὶ μὲ τὰς ἀτελεῖς ἀντλίας τῆς τότε ἐποχῆς ἀφήρεσεν, ὅσον τοῦτο ἦτο δυνατόν, τὸν ἐντὸς τῆς σχηματισθείσης σφαίρας ἀέρα. Τὰ ἡμισφαίρια συμπιεσθέντα ἀπὸ τὴν ἔξωθεν ἀσκουμένην δύναμιν ἦτο δύσκολον νὰ ἀποχωρισθοῦν. Τοῦτο δὲ ἀπεδείχθη ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι ἔσυρον τὰ δύο ἡμισφαίρια ἵπποι ὡς διελκυστίνδα.



Σχ. 8 · 3 α.

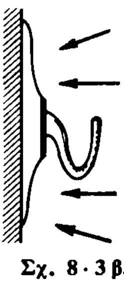
Ἕνας ἁπλοῦς ὑπολογισμὸς θὰ μᾶς δείξῃ πόσον δύσκολος πράγματι ἦτο ὁ ἀποχωρισμὸς αὐτός. Ἔστω ὅτι ἡ σχηματισθεῖσα σφαῖρα εἶχεν ἀκτῖνα $R = 30$ cm, ἄρα ἐπιφάνειαν $4\pi R^2 = 12{,}5 \times 900 = 11\,250$ cm^2. Ἂν δεχθῶμεν ὅτι κατώρθωσεν νὰ ἀφαιρέσῃ μὲ τὰς ἀντλίας του τὸν ἐσωτερικὸν ἀέρα καὶ νὰ ἀφήσῃ τὸ 1/4 αὐτοῦ, ἕπεται ὅτι ἡ ἐξωτερικὴ πίεσις ἦτο ἀνωτέρα κατὰ $3/4 \times 1{,}033 = 0{,}76$ kp/cm^2, ἄρα συνολικὴ δύναμις συνθλίψεως τῆς ὅλης σφαίρας :

$$F = 11\,250 \times 0{,}76 = \text{περίπου } 8{,}6 \text{ τόννοι.}$$

Τὰ ἄλογα ὅμως ἔσυραν δεξιὰ καὶ ἀριστερά, δηλαδὴ ἐφηρμόζοντο δύο δυνάμεις ἐπάνω εἰς τὴν τομὴν τῆς σφαίρας κατὰ τὴν ὁριζοντίαν κάθετον, ἡ δὲ τομὴ εἶχεν ἐμβαδὸν (κύκλου) $\pi R^2 = 3{,}14 \times 900 = 2826$ cm^2 καὶ ὡς πρὸς αὐτὴν τὴν ἐπιφάνειαν ἡ κατανικητέα δύναμις λόγω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως ἦτο:

$$2826 \times 0{,}76 = \text{περίπου } 2{,}15 \text{ τόννοι}$$

δηλαδὴ τὸ τέταρτον τῆς συνολικῆς δυνάμεως συνθλίψεως, ὅπως ἄλλωστε ἀναμένεται, διότι ἡ ὅλη σφαῖρα εἶχε ἐπιφάνειαν τέσσαρας φορὰς μεγαλυτέραν ἀπὸ τὴν τομήν της (κύκλος) κατὰ τὴν διάμετρον $S = 4\pi R^2$. Αὐτὴν λοιπὸν τὴν δύναμιν τῶν 2 καὶ πλέον τόννων ἦτο δύσκολον εἰς τὰ ἄλογα νὰ κατανικήσουν καὶ ἔτσι ἡ συγκόλλησις τῶν δύο ἡμισφαιρίων ἀπέδειξε τὴν ὕπαρξιν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως καὶ ἔδωσε στοιχεῖα διὰ τὸν ὑπολογισμὸν αὐτῆς.



Σχ. 8·3β.

Σήμερον χρησιμοποιοῦμεν τὴν ἰδιότητα αὐτὴν τῆς συγκολλήσεως μὲ τὰς διαφόρους βεντούζας, διὰ νὰ ἀναρτῶμεν τὰ προσόψια εἰς λουτρὸν ἢ σκεύη εἰς κουζίνας ἢ ἐνδύματα εἰς τὸ αὐτοκίνητον κ.λπ. (σχ. 8 · 3β). Ἡ *βεντούζα* εἶναι κατεσκευασμένη ἀπὸ ἰσχυρόν, ἀλλὰ μαλακὸν πλαστικὸν ὑλικὸν καὶ φέρει πλαστικὸν ἢ μεταλλικὸν ἄγκιστρον. Βρέχομεν ὀλίγον τὴν κοιλότητά της διὰ νὰ γίνῃ καλυτέρα ἡ ἐπαφὴ καὶ νὰ γλυστρᾷ καὶ τὴν συμπιέζομεν ἐπὶ μιᾶς λείας καὶ ὄχι πορώδους ἐπιφανείας (πλακάκια, ὑαλοπίνακας, μέταλλα). Τὴν μετακινοῦμεν σιγὰ - σιγὰ προσπαθοῦντες νὰ ἐκδιώξωμεν τὸν ἀέρα ἀπὸ τὴν κοιλότητά της. Ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις τότε δημιουργεῖ δυνάμεις ἐκ τῶν ἔξω καὶ ἡ *βεντούζα* προσφύεται εἰς τὸ τοίχωμα. Μόλις ὅμως εἰσέλθῃ διὰ τῶν πόρων τοῦ τοιχώματος ἢ τοῦ ὑλικοῦ τῆς βεντούζας ἢ τῶν χειλέων αὐτῆς ἀτμοσφαιρικὸς ἀήρ, τότε προφανῶς θὰ πέσῃ, ὅπως θὰ ἀπεκολλοῦντο καὶ τὰ ἡμισφαίρια, ἐὰν δὲν ἦσαν *ἀεροστεγῆ*.

8·4 Νόμος Μπόυλ - Μαριότ.

Ὁ Νόμος τῶν Boyle - Mariotte ἀφορᾶ εἰς τὴν σχέσιν τοῦ ὄγκου ἑνὸς ἀερίου πρὸς τὴν πίεσιν P, ποὺ ἔχει τὸ ἀέριον ἔγκλειστον εἰς ἕνα δοχεῖον, ὅταν ἡ θερμοκρασία T μένη σταθερά. Ὁ Νόμος λέγει:

Τὸ γινόμενον πιέσεως ἐπὶ τὸν ὄγκον ἀερίου δοθείσης ἐγκλείστου μάζης M μένει σταθερόν, ἐφ' ὅσον δὲν μεταβάλλωμεν τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀερίου. Ὅθεν:

$$PV = \text{σταθερὸν}$$

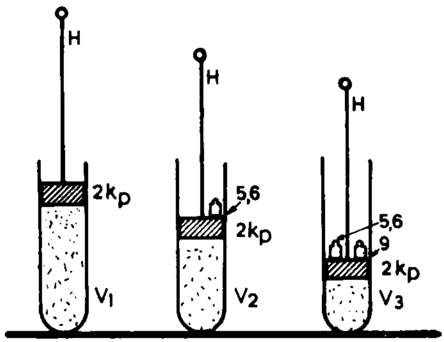
διὰ T καὶ m σταθερά.

Ἑπομένως, ἂν κλείσωμεν ἕνα ποσὸν ἀερίου ἐντὸς ἑνὸς σωλῆνος μὲ ἔμβολον καὶ ἀλλάζωμεν κάθε φορὰν τὸν ὄγκον του διὰ τῆς τοποθετήσεως διαφόρων βαρῶν ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου, θὰ ἔχωμεν:

διὰ πίεσιν P_1 ὄγκον V_1
» » P_2 » V_2
» » P_3 » V_3 κ.λπ.

ὁπότε $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 =$ σταθερόν.

Τοῦτο ἰσχύει, ἐφ' ὅσον τὸ ἀέριον οὔτε θερμαίνεται ἢ ψύχεται, οὔτε τὸ ἔμβολον χάνει οὔτε τὸ ἀέριον διαφεύγει (σχ. 8·4).



Σχ. 8·4.

Ἔστω π.χ. ἀέριον ὀξυγόνου εἰς θερμοκρασίαν δωματίου 20^0 C κατέχον ὄγκον $V_1 = 1000\,cm^3$ ἐντὸς σωλῆνος τομῆς 20 cm^2 κλεισμένου μὲ ἔμβολον βάρους 2 kp (πίεσις 0,1 kp/cm^2), ἐνῶ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις εἶναι H = 740 Torr = 1,00 kp/cm^2. Ἄρα τὸ ἀέριον ἀποτελεῖ στήλην τομῆς 20 cm^2 ὕψους 50 cm, ἔχει ὄγκον 1000 cm^3 καὶ πίεσιν 1,1 kp/cm^2. Προσθέτομεν ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου βάρη (σταθμὰ) τόσα, ὥστε ἡ στήλη τοῦ ἀερίου νὰ φθάση τὸ ὕψος τῶν 40 cm, δηλαδὴ νὰ ἀποκτήση ὄγκον 800 cm^3. Παρατηροῦμεν τότε ὅτι, ὅταν κάθε κίνησις τοῦ ἐμβόλου παύση, τὸ πρόσθετον βάρος εἶναι 5,6 kp. Ἐξακολουθοῦμεν νὰ προσθέτομεν βάρη, ὥστε ὁ νέος ὄγκος νὰ γίνῃ 600 cm³ .Καὶ τότε ἔχομεν νέον πρόσθετον βάρος ἐπὶ τοῦ ἐμβόλου 9 kp κ.ο.κ. Σχηματίζομεν τώρα τὸν κάτωθι πίνακα:

Μέτρησις	Ὄγκος cm³	Πίεσις kp/cm²	Γινόμενον PV	Μονάδες
1η	1000	H + πίεσις ἐμβόλου $1 + 0{,}1 = 1{,}1$	1100	cm³ · kp/cm² ἤτοι ἔργου*
2α	800	$1{,}1 + 5{,}6/20 = 1{,}38$	1104	kp · cm
3η	600	$1{,}38 + 9/20 = 1{,}83$	1098	»
....	....	....	$\simeq$ 1100	»

Συμπεραίνομεν λοιπὸν ὅτι, ὅταν ἡ θερμοκρασία διατηρῆται σταθερά, ὡρισμένη μᾶζα ἀερίου τινὸς δύναται νὰ καταλάβῃ ὄγκους τόσους, ὥστε πολλαπλασιαζόμενοι ἐπὶ τὴν ἀντίστοιχον πίεσιν νὰ δίδουν *κατὰ μεγάλην προσέγγισιν* γινόμενον σταθερόν. Ἄρα ἐπαληθεύομεν τὸν νόμον τῶν Μπόυλ καὶ Μαριόττ:

$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \dots\dots\dots = $ σταθερά,

διὰ T καὶ m σταθερόν.

Ὁ νόμος αὐτὸς ἰσχύει μὲ ἀπόλυτον ἀκρίβειαν διὰ τὰ καλούμενα *τέλεια ἀέρια*, ποὺ εἶναι φανταστικὰ ἀέρια, ἰδανικὰ ἀέρια, χωρὶς δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων των. Τὰ εἰς τὴν Φύσιν ἀέρια τὸν ἀκολουθοῦν κατὰ προσέγγισιν καὶ δὴ τόσον καλύτερον, ὅσον ἀραιότερα ἢ θερμότερα εἶναι. Εἰς τὴν τεχνικὴν ὅμως τὸν χρησιμοποιοῦμεν κατὰ προσέγγισιν θεωροῦντες τὰ φυσικὰ ἀέρια ὡς ἰδανικά.

Ἐπειδὴ ἡ ἀλλαγὴ τοῦ ὄγκου μεταβάλλει καὶ τὴν πυκνότητα τοῦ ἐγκλείστου ἀερίου, προκύπτει ἡ σχέσις (ὑπενθυμίζομεν $V = \frac{m}{\rho}$).

$$PV = P\,\frac{m}{\rho} = \text{σταθερόν, ἄρα } P_1/P_2 = \rho_1/\rho_2,$$

ὅθεν αἱ πυκνότητες τοῦ ἀερίου εἶναι ἀνάλογοι τῶν πιέσεών του ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν.

---

* *Σημείωσις* : Πρέπει νὰ δοθῇ ἰδιαιτέρα σημασία εἰς τὰς μονάδας τοῦ γινομένου P · V, αἱ ὁποῖαι, ὡς φαίνεται ἀπὸ τὸν πίνακα, παριστοῦν *ἔργον*. Συνεπῶς δυνάμεθα εἰς τὰς μονάδας τοῦ ἔργου : *Joule*, *χιλιογραμμόμετρον*, νὰ προσθέσωμεν καὶ τὴν *λιτροατμόσφαιραν* $\simeq$ 100 Joule.

Παράδειγμα : Ἔστω φιάλη ὀξυγόνου θερμοκρασίας 0° C χωρητικότητος 40 λίτρων πιέσεως 100 ἀτμοσφαιρῶν. Νὰ εὑρεθῇ ἡ μᾶζα τοῦ ὀξυγόνου, ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ πυκνότης του ὑπὸ κανονικὰς συνθήκα $\rho = 1{,}43$ g/l.
Λύσις : Ἐφ' ὅσον ἡ θερμοκρασία μένει σταθερά, ἰσχύει ἡ σχέσις:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad \text{ἤτοι} \quad \frac{1}{100} = \frac{1{,}43}{X} \quad \text{καὶ} \quad X = 143 \text{ g}/l.$$

Ἐφ' ὅσον ἔχομεν 40 λίτρα, ἄρα σύνολον μάζης 5,720 kp.

Τὴν ἐπίδρασιν τῆς θερμοκρασίας ἐπὶ τῆς σταθερότητος τοῦ γινομένου PV ἐμελέτησεν ὁ Γκέϋ-Λυσὰκ (Gay-Lussac) καὶ εὗρεν ὅτι τὸ γινόμενον αὐξάνει μὲ τὴν θερμοκρασίαν κατὰ τὸ κλάσμα $\frac{1}{273}$ τοῦ γινομένου P_0V_0, ποὺ ὑπῆρχεν εἰς τοὺς μηδὲν βαθμοὺς Κελσίου καὶ τοῦτο διὰ κάθε βαθμόν. Ἑπομένως διὰ θ βαθμοὺς ἄνω τοῦ μηδενὸς τὸ γινόμενον θὰ γίνῃ:

$$\boxed{PV = P_0V_0 + \theta \cdot \frac{1}{273} P_0V_0} \quad \text{ἢ} \quad \boxed{PV = P_0V_0 \left(1 + \frac{1}{273}\theta\right)}$$

Τὸν Νόμον Gay-Lussac καὶ τὰς συνεπείας του θὰ μελετήσωμεν λεπτομερέστερον εἰς τὸ Κεφάλαιον τῆς Θερμότητος.

8 · 5 Ἀερόστατα.

Ὀνομάζομεν ἀερόστατον κάθε σῶμα, τὸ ὁποῖον ὑφίσταται ἐντὸς τοῦ ἀέρος ἄνωσιν μεγαλυτέραν τοῦ βάρους του, $F > B$.

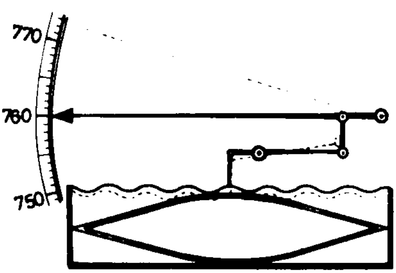
Ὡς ἐκ τούτου ἡ διαφορὰ $F - B$ παριστᾷ τὴν *ἀνυψωτικὴν δύναμιν* τοῦ ἀεροστάτου εἴτε τοῦτο εἶναι μπαλόνι παιδικὸν πλῆρες φωταερίου ἢ ἀερόστατον ἀπὸ ὕφασμα ἢ πλαστικὴν ὕλην πλῆρες ὑδρογόνου ἢ καλύτερα μὲ τὸ μὴ ἀναφλεγόμενον καὶ ἐκρηγνυόμενον ἀδρανὲς ἀέριον ἥλιον.

«Σαπουνόφουσκα» πλήρης ἀέρος προερχομένου ἐκ τῆς ἐκπνοῆς μας δὲν ἀνυψοῦται, διότι ἡ ἐκπνοή μας περιέχει CO_2, ποὺ εἶναι βαρύτερον ἀπὸ τὸν ἀέρα, ἄρα ἀνυψωτικὴ δύναμις δὲν ὑπάρχει ἐφ' ὅσον $B > F$.

Ἕνα ἀερόστατον ὅσον ἀνεβαίνει εὑρίσκεται εἰς περιβάλλον ἀραιότερον καὶ διὰ τοῦτο ἡ ἄνωσις ἐλαττώνεται καὶ τέλος, ὅταν $F = B$, ἡ κίνησις σταματᾷ καὶ τὸ ἀερόστατον μετεωρίζεται. Διὰ νὰ προχωρήσῃ πρὸς τὰ ἄνω, πρέπει ἢ νὰ χάσῃ βάρος ἢ νὰ αὐξήσῃ τὸν ὄγκον του, ὥστε νὰ μεγαλώσῃ ἡ ἄνωσίς του. Αὐταὶ αἱ δύο δυνατότητες ἐφαρμόζονται εἴτε ἀπὸ τοὺς ἐπιβάτας, ποὺ τυχὸν εὑρίσκονται εἰς τὸν προσηρτημένον εἰς τὸ ἀερόστατον θαλαμίσκον ἢ ἐκτελοῦνται ἀπὸ μηχανισμοὺς διευθυνομένους ἐκ τῆς Γῆς δι' ἀσυρμάτου τηλεπικοινωνίας. Ἑπομένως ἢ θὰ ἐκκενωθοῦν σάκκοι πλήρεις λεπτῆς ἄμμου ἢ θὰ αὐξηθῆ ὁ ὄγκος του διὰ νέου ἀερίου. Τοῦτο ὅμως προϋποθέτει ὅτι θὰ ἐκκινήση ἀπὸ τὸ ἔδαφος ὄχι τελείως φουσκωμένον, ὥστε ἀνυψούμενον ὄχι μόνον νὰ δύναται νὰ διογκωθῆ μόνον του λόγω τῆς ἐξωτερικῆς μικρᾶς πιέσεως, ἀλλὰ καὶ νὰ διαταχθῆ νὰ αὐξήση ἀκόμη περισσότερον τὸν ὄγκον του (δίδυμα μπαλόνια). Ἡ κάθοδος γίνεται δι' ἀνοίγματος βαλβῖδος ἐκροῆς τοῦ ἀερίου ἤ, προκειμένου περὶ ἀεροστάτων μὲ ὄργανα μετεωρολογικά, ἀφίνεται νὰ ὑψωθῆ τόσον, ὥστε νὰ φουσκώση καὶ νὰ ἐκραγῆ, ὁπότε ἡ πτῶσις τοῦ κιβωτίου τῶν ὀργάνων γίνεται βραδέως δι' ἀλεξιπτώτου, ποὺ ἀνοίγει ὅταν τὸ κιβώτιον μὲ τὰ ὄργανα πλησιάση τὸ ἔδαφος περίπου εἰς τὰ 1000 m. Σήμερον ἀερόστατα ἄνευ ἐπιβατῶν ἔχουν φθάση τὸ ὕψος τῶν 60 km καὶ μὲ ἐπιβάτας φέροντας καταλλήλους στολὰς καὶ προσωπίδας ἐπέτυχαν ὕψος ἀνώτερον τῶν 35 km. Ἀερόστατα μὲ θαλαμίσκους φέροντας καὶ κινητῆρας κατασκευάζονται πολὺ σπανίως (παλαιότερα ἦσαν γνωστὰ τὰ ἐπιβατηγὰ ἀερόστατα μὲ τὸ ὄνομα τοῦ κατασκευαστοῦ των Ζέππελιν).

8 · 6 Μικταὶ ἐφαρμογαὶ καὶ ὄργανα.

α) *Βαρόμετρα.* Εἶναι ὄργανα, ποὺ μετροῦν τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν καὶ τὰς μεταβολὰς αὐτῆς, φέρουν δὲ διαιρέσεις εἰς Torr ἢ Millibar. Διακρίνονται εἰς τὰ *μεταλλικὰ* βαρόμετρα καὶ εἰς τὰ *ὑδραργυρικὰ* (σχ. 8 · 6 α). Τὰ μεταλλικὰ ἀποτελοῦνται κατὰ βάσιν ἀπὸ κλειστὸν μετάλλινον κιβωτίδιον σχεδὸν κενὸν ἀέρος ἔχον τὴν ἄνω ἔδραν του κυματοειδῆ εὔκαμπτον καὶ κάτωθεν ἢ πλαγίως αὐτῆς ἔλασμα.



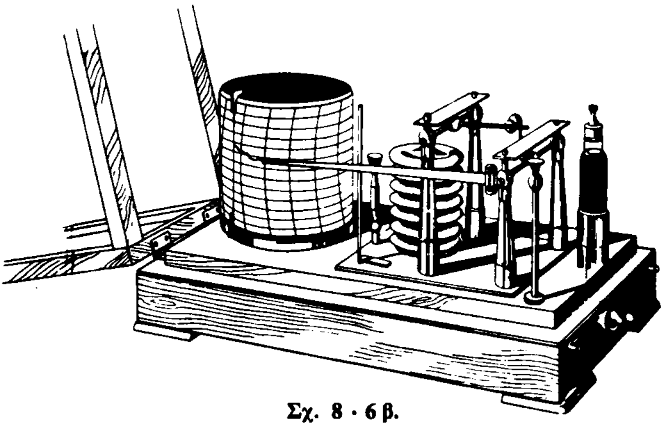
Σχ. 8 · 6 α.

Αἱ διαταραχαὶ τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως μεταβάλλουν τὸ ὕψος τῆς ἄνω ἔδρας ἀπὸ τοῦ πυθμένος καὶ ἡ κίνησις αὐτὴ διὰ καταλλήλου συστήματος μεταδίδεται εἰς δείκτην, ποὺ κινεῖται ἐμπρὸς εἰς βαθμολογημένην κλίμακα. Συνήθως παρὰ τὴν διαίρεσιν:

760 Torr, ἤτοι 1013 Millibar, φέρουν τὴν ἔνδειξιν *μεταβλητός*, πρὸς τὴν

πλευρὰν τῶν ηὐξημένων πιέσεων γράφουν *ξηρὸς καιρὸς* καὶ πρὸς τὰς ἠλαττωμένας πιέσεις ὑπάρχουν αἱ ἐνδείξεις *βροχερὸς καιρὸς - θύελλα.*

Σειρὰ πολλῶν κιβωτιδίων, τὸ ἕνα ἐπὶ τοῦ ἄλλου, αὐξάνει τὴν εὐαισθησίαν τοῦ βαρομέτρου, ὁ δὲ δείκτης εἶναι δυνατὸν νὰ φέρῃ εἰς τὸ ἄκρον του γραφίδα μὲ μελάνην, ἡ ὁποία γράφει γραμμὴν ἐπὶ στρεφομένου τυμπάνου μὲ χάρτην καταγραφῆς διῃρημένον εἰς ὥρας. Τὸ ὄργανον λέγεται τότε *βαρογράφος* καὶ χρησιμο-

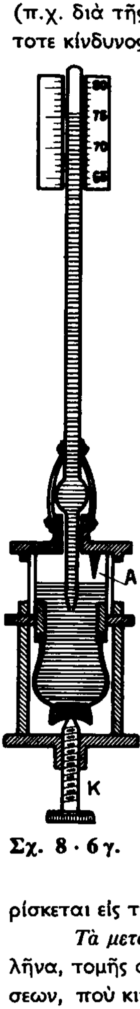


Σχ. 8 · 6 β.

ποιεῖται δι' ἑβδομαδιαίαν καταγραφὴν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως (σχ. 8 · 6 β). Ἐπειδὴ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις μεταβάλλεται μετὰ τοῦ ὕψους ἀπὸ τῆς ἐπιφανείας τῆς θαλάσσης εἶναι δυνατὴ ἡ χρῆσις τῶν βαρομέτρων καὶ βαρογράφων ὡς ὑψομετρικῶν ὀργάνων (ὑψόμετρα ἀεροπλάνων).

Γενικῶς τὰ μεταλλικὰ βαρόμετρα εἶναι ὄργανα εὐκόλως καὶ ἄνευ βλάβης μεταφερόμενα, σχετικῶς εὐθηνά. Πρέπει νὰ ἐλέγχωνται ἀπὸ καιροῦ εἰς καιρόν, δὲν θεωροῦνται δὲ ὄργανα μεγάλης ἀκριβείας, ὅπως τὰ πολυτιμότατα ***ὑδραργυρικὰ βαρόμετρα*** (σχ. 8 · 6 γ).

Πρῶτον ὑδραργυρικὸν βαρόμετρον ὑπῆρξε ὁ σωλὴν τοῦ Τορρικέλλι καὶ σήμερον πολλὰ ὑδραργυρικὰ βαρόμετρα ἀποτελοῦνται ἀπὸ σχετικῶς μεγάλην ὑαλίνην λεκάνην μὲ πυθμένα ἐκ δέρματος, κλειστὴν ἄνωθεν διὰ διαφράγματος μὲ λεπτοὺς πόρους διὰ μέσου τοῦ ὁποίου διέρχεται ὁ σωλὴν Τορρικέλλι. Παραπλεύρως ὑπάρχει μετακινητὴ κλῖμαξ μὲ διαιρέσεις εἰς mm, τῆς ὁποίας τὸ μηδὲν εἶναι μία ἀκὶς Α εἰς τὸ ἄκρον καταλλήλου στελέχους στερεωμένου κάτωθεν τῆς κλίμακος. Πρέπει λοιπόν, διὰ νὰ εἶναι ἀληθεῖς αἱ διαιρέσεις, νὰ φροντίζωμεν νὰ εὑρίσκεται ἡ ἀκὶς εἰς ἐπαφὴν μὲ τὴν κατοπτρικὴν στιλπνὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὑδραργύρου. Αὐτὸ ἐπιτυγχάνεται εἴτε μὲ τὴν προσεκτικὴν μετακίνησιν ὅλης τῆς κλίμακος ἢ μὲ τὸ βίδωμα τοῦ χονδροῦ κοχλίου Κ, ὁ ὁποῖος συμπιέζων τὸν πυθμένα τῆς λεκάνης ἀναγκάζει τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὑδραργύρου νὰ ὑψωθῇ καὶ νὰ φθάσῃ τὴν ἀκίδα (σχ. 8 · 6 γ). Τὸ ὑδραργυρικὸν βαρόμετρον πρέπει νὰ κρέμεται κατακορύφως, νὰ μὴ ταλαντεύεται καὶ νὰ μὴ μεταφέρεται ἀδικαιολογήτως. Διὰ τὴν μεταφοράν του λαμβάνεται φροντὶς νὰ πληρωθῇ τελείως τὸ βαρομετρικὸν κενόν του (π.χ. διὰ τῆς εἰσόδου ὅλου τοῦ κοχλίου Κ ἐντὸς τῆς λεκάνης). Ὑπάρχει ὅμως πάντοτε κίνδυνος θραύσεως καὶ εἰσόδου φυσαλλίδων ἀέρος, ὁπότε πρέπει νὰ ἐπισκευασθῇ εἰς εἰδικὸν ἐργαστήριον. Εἶναι ὄργανον ἀκριβείας καὶ ἀποτελεῖ πρότυπον βαθμολογίας τῶν εὐχρήστων μεταλλικῶν βαρομέτρων.



Σχ. 8 · 6 γ.

β) *Μανόμετρα.* Τὰ μανόμετρα εἶναι ὄργανα, ποὺ μετροῦν γενικῶς τὰς πιέσεις καὶ διακρίνονται ὅπως καὶ τὰ βαρόμετρα εἰς *μεταλλικὰ* καὶ *ὑδραργυρικά*. Προκειμένου περὶ μανομέτρων πρέπει νὰ προσέξωμεν τὸ ποῦ εὑρίσκεται ὁ δείκτης των, ὅταν εἶναι ἀνοικτά, δηλαδὴ ὅταν συγκοινωνοῦν μὲ τὸν ἀέρα. Ἂν ὁ δείκτης παραμένῃ εἰς τὸ μηδέν, σημαίνει ὅτι μετροῦν πιέσεις ἀνωτέρας τῆς ἀτμοσφαιρικῆς. Π.χ. ἔνδειξις 1,5 δηλοῖ πραγματικὴν ἀπόλυτον πίεσιν 2,5 kp/cm^2 ἢ ἄλλως 1,5 τεχνικὴν ἀτμόσφαιραν ὑπὲρ τὴν ἀτμοσφαιρικήν. Ἔνδειξις τοῦ εἴδους αὐτοῦ εἶναι ἐκείνη, ποὺ δίδεται ἀπὸ τὰ μεταλλικὰ μανόμετρα τῶν πρατηρίων πωλήσεως βενζίνης, ὅταν γίνεται ὁ ἔλεγχος πιέσεως τῶν ἐλαστικῶν τοῦ αὐτοκινήτου. Ὥστε, ὅταν τὸ ἐλαστικὸν τοῦ αὐτοκινήτου συνδεόμενον μὲ τὸ μανόμετρον δείξῃ 1,5 kp/cm^2, τότε πρόκειται δι' ὑπερπίεσιν ἄνω τῆς τότε ὑφισταμένης ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως. Συνήθως αἱ ἐνδείξεις τῶν μανομέτρων αὐτῶν ἀναφέρονται εἰς ἀγγλικὰς μονάδας πιέσεως, δηλαδὴ ὄχι εἰς kp/cm^2 (δηλ. ὄχι εἰς τεχνικὰς ἀτμοσφαίρας) ἀλλὰ εἰς λίμπρας ἀνὰ τετραγωνικὴν ἴντσαν. Ἐπειδὴ 1 kp εἶναι περίπου 2,2 λίμπρες βάρους καὶ μία τετραγωνικὴ ἴντσα ἰσοῦται πρὸς 6,45 cm^2, ἕπεται ὅτι ἡ πίεσις $1\ kp/cm^2 = 1$ τεχνικὴ ἀτμόσφαιρα ἰσοδυναμεῖ πρὸς 14,2 lb/in^2.

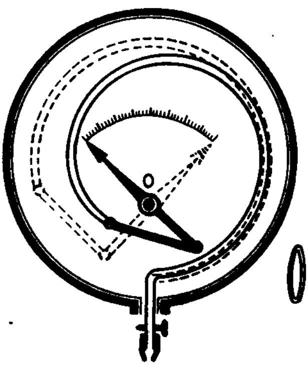
Δι' αὐτὸ ἀκοῦμε τοὺς ὁδηγοὺς νὰ λέγουν παραλείποντες τὴν τετραγωνικὴν ἴντσαν *δῶσε μου ἀέρα στὸ λάστιχο 28 λίμπρες*. Ἡ μονὰς αὐτὴ δὲν ἰσχύει διὰ τὴν Εὐρώπην, ὅπου χρησιμοποιεῖται ἡ kp/cm^2 καὶ εἶναι μέγα σφάλμα νὰ λέγεται ἡ λίμπρα, *λίτρον*, ἤτοι μία μονὰς βάρους νὰ συγχέεται μὲ μονάδα ὄγκου.

Κατόπιν τούτου εἰς ἕνα μανόμετρον, ποὺ μετρεῖ τὴν πίεσιν *ἀπολύτως*, θὰ ἀρχίζῃ ἡ κλῖμαξ τῆς βαθμολογίας του ἀπὸ τὸ μηδέν, ἀλλά, ὅταν συγκοινωνῇ ἐλευθέρως μὲ τὸν ἀέρα ὁ δείκτης του θὰ εὑρίσκεται εἰς τὴν διαίρεσιν 1 at (σχ. 8 · 6 δ).

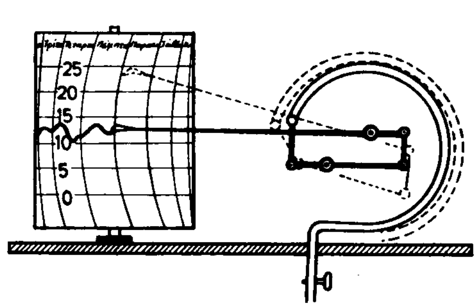
Τὰ μεταλλικὰ μανόμετρα (σχ. 8 · 6 δ), ἀποτελοῦνται ἀπὸ καμπυλωμένον σωλῆνα, τομῆς σχήματος ἐλλείψεως, συνδεόμενον πρὸς σύστημα μοχλῶν καὶ ἀρθρώσεων, ποὺ κινοῦν τὸν δείκτην. Ὅταν εἰσαχθῇ ἐντὸς τοῦ σωλῆνος ὑγρὸν ἢ ἀέριον ὑπὸ πίεσιν, ὁ σωλὴν ὀγκοῦται καὶ εὐθυγραμμίζεται, ὁπότε κινεῖται ὁ δείκτης πρὸ κλίμακος βαθμολογηθείσης συγκριτικῶς πρὸς ὑδραργυρικὸν πρότυπον μανόμετρον ἀκριβείας. Τὰ μανόμετρα αὐτὰ μετροῦν πιέσεις εἴτε ἀνωτέρας τῆς ἀτμοσφαιρικῆς εἴτε μικροτέρας αὐτῆς (μανόμετρα κενοῦ), ὁπότε, ὅπως ἀνεφέρθη, ἀρχίζει ὁ δείκτης των ἀπὸ τὴν διαίρεσιν 1 νὰ κινῆται πρὸς τὸ μηδέν, ἐφ' ὅσον τὸ κενὸν τοῦ δοχείου αὐξάνει. Τὸ μεταλλικὸν μανόμετρον εἶναι δυνατὸν νὰ καταγράφῃ τὰς ἐνδείξεις του ἐπὶ χάρτου καθ' ὅμοιον τρόπον πρὸς τὸν βαρογράφον (σχ. 8 · 6 ε).

Σήμερον ἔχουν κατωρθωθῆ πιέσεις ἀνώτεραι τῶν 100 000 at, ὁπότε ὁ χάλυψ γίνεται πλαστικὸς ὡς ἡ γομμολάστιχα καὶ τὸ ὕδωρ ὁμοιάζει ὡς διαφανὲς λίπος. Εἰς τὴν βιομηχανίαν χρησιμοποιοῦνται πιέσεις τὸ πολὺ μέχρι 1000 at, ἐνῶ εἰς τὰ ἐλαστικὰ τῶν αὐτοκινήτων δὲν ὑπερβαίνουν τὰς 5 at. Εἰς τοὺς ἠλεκτρικοὺς λαμπτῆρας φθορισμοῦ ἡ πίεσις εἶναι μικρά, κάτω τῶν 1/100 at, καὶ εἰς τὰς λυχνίας τοῦ ραδιοφώνου κάτω τοῦ δισεκατομμυριοστοῦ τῆς at, δηλαδὴ πρακτικῶς τέλειον κενόν.

Τὰ *ὑδραργυρικὰ μανόμετρα* εἶναι δύσχρηστα ὄργανα καὶ εὔθραυστα. Συνήθως χρησιμοποιοῦνται τὰ κλειστοῦ τύπου, διότι τὰ ἀνοικτοῦ εἶναι ἁπλῶς ἕνα εἶδος συγκοινωνούντων δοχείων (σωλὴν ὑοειδής, δηλαδὴ ὅπως τὸ γράμμα υ).



Σχ. 8 · 6 δ.



Σχ. 8 · 6 ε.

Ἐπειδὴ διὰ κάθε ἀτμόσφαιραν χρειαζόμεθα ὕψος 76 cm, ἕπεται ὅτι τὸ μέγεθος τοῦ ἀνοικτοῦ ὑδραγυρικοῦ μανομέτρου πρέπει νὰ εἶναι μέγα, ἄρα πολὺ δύσχρηστον (σχ. 8 · 6 στ).

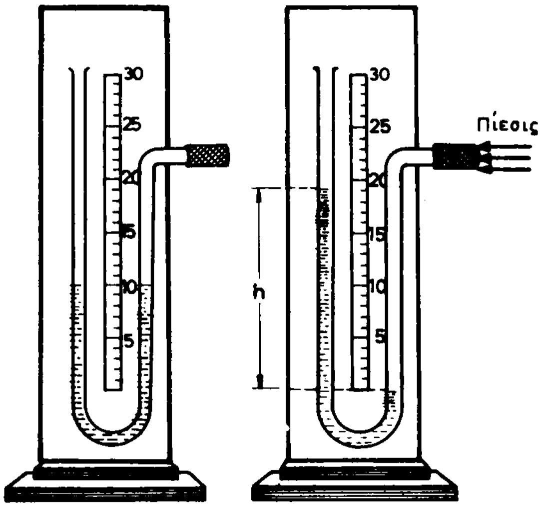
Ἐὰν ἀντὶ ὑδραργύρου χρησιμοποιηθῇ χρωματισμένον ὕδωρ ἢ ἄλλο ὑγρόν, δυνάμεθα νὰ μετρήσωμεν μὲ τὰ ἀνοικτὰ μανόμετρα μικρὰς ὑπερπιέσεις, ἤτοι μικρὰς μεταβολὰς ἄνω ἢ κάτω τῆς κατ' ἐκείνην τὴν στιγμὴν ἐπικρατούσης ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως.

Σημειωτέον ὅτι ὕδωρ 13,6 cm ὕψους ἰσοῦται μὲ 1 cm Hg ἢ 76 cm Hg = 10,33 m ὕδατος. Ὑπερπίεσις ὀλίγων ἑκατοστῶν (10 ἕως 15) ὑδραργύρου εἶναι καὶ ἡ μεγίστη ἀρτηριακὴ πίεσις μετρουμένη ὑπὸ τῶν ἰατρῶν διὰ μεταλλικοῦ μανομέτρου βαθμολογηθέντος ἀρχικῶς μὲ ἀνοικτὸν ὑδράργυρον μανόμετρον. Ἑπομένως ἀσθενὴς ὑψηλῆς πιέσεως π.χ. 20 cm Hg θὰ εἶναι δύσκολον νὰ χειρουργηθῇ, διότι τὸ αἷμα ἐνδεχομένως νὰ ἀναπηδήσῃ εἰς ὕψος 20 × 13,6 = 2,7 m, ἂν δεχθῶμεν ὅτι τὸ αἷμα θὰ συμπεριφερθῇ ὅπως τὸ ὕδωρ.

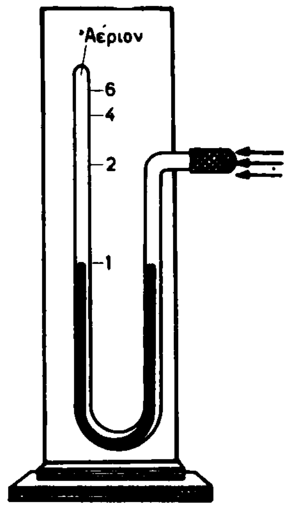
Τὰ κλειστὰ ὑδραργυρικὰ μανόμετρα στηρίζονται ἐπὶ τοῦ νόμου Boyle-Mariotte καὶ εἶναι ὑοειδεῖς σωλῆνες ἔχοντες τὸ ἕνα ἄκρον κλειστὸν μὲ ἔγκλειστον ἀέριον (σχ. 8 · 6 ζ).

Αἱ διαιρέσεις τοῦ μανομέτρου δὲν ἀπέχουν ἐξ ἴσου μεταξύ των, διότι τὰ γινόμενα PV προϋποθέτουν ὄγκους ἀντιστρόφως ἀναλόγους τῶν πιέσεων. Συνεπῶς διὰ πιέσεις 1, 2, 3, 4 . . . οἱ ὄγκοι τοῦ ἐγκλείστου ἀερίου γίνονται V, V/2, V/3, V/4, V/5 κ.ο.κ., χωρὶς τὴν διόρθωσιν τῆς μετακινουμένης, ὡς ἔμβολον, πρὸς τὰ ἄνω στήλης Hg. Ἡ βαθμολογία τῶν κλειστῶν μανομέτρων γίνεται ἐν συγκρίσει πρὸς τὰ ἀνοικτά, τὰ ὁποῖα εἶναι καὶ τὰ πρότυπα μανόμετρα μεγάλης ἀκριβείας.

Διὰ μικρὰς πιέσεις (μανόμετρα κενοῦ) ὑπάρχουν εἰδικῆς κατασκευῆς ὄργανα εἴτε ὑδραργυρικοῦ τύπου εἴτε ἠλεκτρονικὰ στηριζόμενα ἐπὶ τῆς ἀγωγιμότητος τῶν ἀερίων.



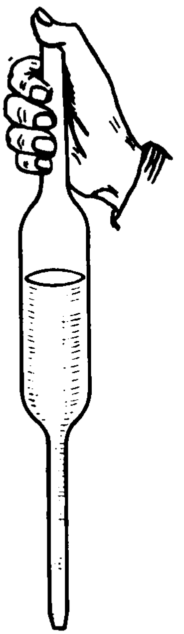
Σχ. 8 · 6 στ.



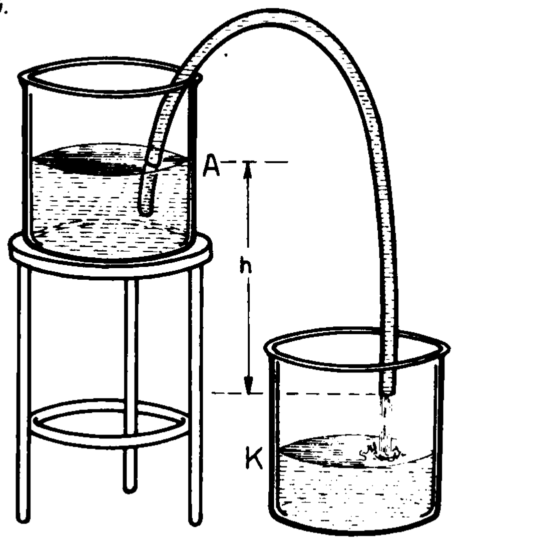
Σχ. 8 · 6 ζ.

γ) *Σιφώνιον, Σίφων.* Τὸ Σιφώνιον εἶναι σωλὴν συνήθως διαμέτρου < 1 cm ὄχι μεγαλύτερος τῶν 40 ἕως 60 cm, ποὺ χρησιμεύει διὰ τὴν λῆψιν καὶ μεταφορὰν δείγματος ὑγροῦ ἀπὸ ἕνα δοχεῖον ἢ εἰς τὰ χημικὰ ἐργαστήρια, διὰ τὴν παραλαβὴν καὶ ἀπόδοσιν ὡρισμένου ὄγκου ὑγροῦ, ὁπότε καὶ φέρει χαραγμένας δύο διαιρέσεις, μεταξὺ τῶν ὁποίων περιέχεται γνωστὸς ὄγκος ὑγροῦ. Τὸ σιφώνιον λειτουργεῖ ὡς ἑξῆς (σχ. 8 · 6 η) : Βυθίζομεν τὸ σιφώνιον ἢ ἀναρροφοῦμεν — ἐὰν τοῦτο ἀκινδύνως ἐπιτρέπεται — τὸ ὑγρὸν διὰ τοῦ στόματός μας καὶ ἔπειτα κλείνομεν τὸ ἐλεύθερον ἀνοικτὸν ἄκρον μὲ τὸν δάκτυλόν μας. Ὅταν τὸ σιφώνιον ἐξαχθῇ ἀπὸ τὸ ὑγρὸν τοῦ δοχείου, τότε θὰ ρεύσῃ ὀλίγον ὑγρὸν καὶ θὰ δημιουργηθῇ ἠλαττωμένη πίεσις ἀερίου (ἀτμοῦ) ἄνω τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς τοῦ σιφωνίου. Ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις, ποὺ θὰ ἀσκῆται ἐκ τῶν κάτω, θὰ ἰσορροπήσῃ τὰς ἐντὸς τοῦ σιφωνίου πιέσεις καὶ τὸ ὑγρὸν θὰ παύσῃ νὰ ρέῃ. Μεταφέρομεν τότε τὸ σιφώνιον εἰς ἄλλο δοχεῖον, σηκώνομεν τὸν δάκτυλόν μας, ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις δρᾷ τώρα καὶ ἐκ τῶν ἄνω, ὁπότε τὸ σιφώνιον ἐκκενοῦται.

Ὁ *Σίφων* (σχ. 8 · 6 θ) εἶναι ἕνας ἀνεστραμμένος ἀνίσων σκελῶν ὑοειδὴς σω λὴν συνδέων δύο δοχεῖα καὶ χρησιμοποιούμενος διὰ τὴν μεταφορὰν ὑγροῦ ἀπὸ δοχεῖον ὑψηλοτέρας στάθμης εἰς δοχεῖον χαμηλοτέρας στάθμης. *Ἀπαραίτητος* εἶναι ἡ πλήρης συνέχεια τῆς ὑγρᾶς στήλης, διότι ἄλλως ἡ στήλη διακόπτεται καὶ τὰ δύο τμήματα αὐτῆς κρημνίζονται ἐντὸς τῶν δοχείων διακοπτομένης τῆς λειτουργίας του. Ὁ σίφων ἐργάζεται καὶ εἰς τὸ κενόν, δηλαδὴ χωρὶς τὴν δρᾶσιν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως, ὁπότε ἡ κίνησις τῆς ὑγρᾶς στήλης ἀπὸ τὸ ἕνα δοχεῖον πρὸς τὸ κάτω συντηρεῖται ἀπὸ τὰς δυνάμεις συνοχῆς μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ ὑγροῦ.



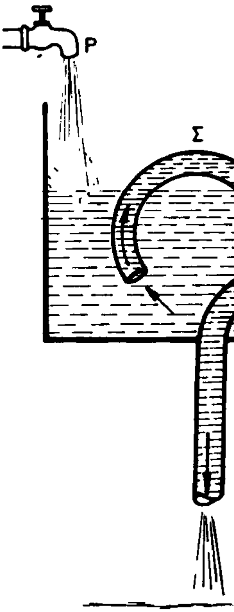
Σχ. 8 · 6 η.



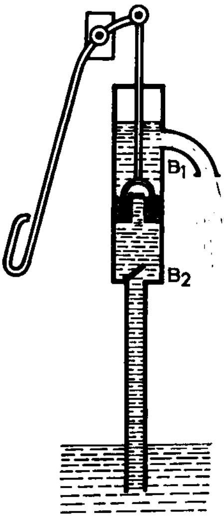
Σχ. 8 · 6 θ.

Ὅπως ἀπὸ τὸ σχῆμα 8 · 6 θ φαίνεται, ἡ μεταξὺ τῶν ἐπιφανειῶν τοῦ ὑγροῦ A καὶ K διαφορὰ πιέσεων εἶναι ἐκείνη, ποὺ ὀφείλεται εἰς τὴν στήλην h τοῦ ὑγροῦ καὶ ἡ πίεσις παρουσιάζεται μειωμένη πρὸς τὴν πλευρὰν τοῦ κάτω δοχείου, ὥστε δεχόμενοι τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, τὴν ἰδίαν διὰ τὰς δύο ἐπιφανείας A καὶ K, ἔχομεν διαφορὰν πιέσεων $\Delta p = h\rho g$, ἄρα τὸ ὑγρὸν θὰ κινηθῇ πρὸς ἐξίσωσιν τῶν πιέσεων, δηλαδὴ πρὸς ἰσοστάθμισιν τῶν δύο ἐπιφανειῶν. Ἐνδιαφέρων τύπος σίφωνος εἶναι ὁ *διαλείπων σίφων*, ποὺ ἐργάζεται κάθε ὡρισμένον χρονικὸν διάστημα T (σχ. 8 · 6 ι) καὶ μετατρέπει τὴν συνεχῆ βραδεῖαν ροὴν ἑνὸς ὑγροῦ εἰς διαλείπουσαν ἄφθονον ροὴν κατὰ περίοδον T.

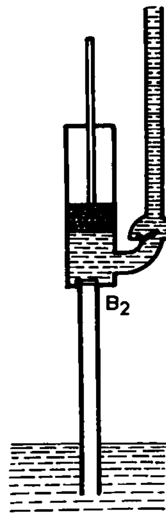
Ἡ λειτουργία του εἶναι καταφανὴς ἀπὸ τὸ σχῆμα 8 · 6 ι. Τὸ ὕδωρ ρέει εἰς τὸ καζανάκι καὶ σιγά-σιγὰ ἡ ἐπιφάνειά του ὑψοῦται. Ὅταν φθάσῃ εἰς τόσον ὕψος, ὥστε νὰ σκεπάσῃ τελείως τὸν σωλῆνα Σ, τότε ἀρχίζει νὰ ρέῃ μέσα εἰς τὸν σωλῆνα πρὸς τὴν πλευρὰν τοῦ μακροῦ σκέλους του. Αὐτὸ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα νὰ γίνῃ ὁ σωλὴν σίφων καὶ τὸ ὕδωρ παρασύρεται ταχύτατα. Μετὰ τὴν ἄφθονον αὐτὴν ροὴν ὁ σίφων παύει, διότι τὸ καζανάκι ἔχει ἀδειάση. Διὰ νὰ λειτουργήση ἐκ νέου πρέπει νὰ ἐπαναληφθῆ ἡ προηγουμένη διαδικασία, ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται ἐκ τῆς παροχῆς τοῦ ὕδατος ἀπὸ τὸν τροφοδοτικὸν σωλῆνα P. Ὁ σίφων αὐτὸς λέγεται καὶ *δοχεῖον τοῦ Ταντάλου*, ὁ ὁποῖος κατὰ τὴν μυθολογίαν ποτὲ δὲν κατώρθωνε νὰ ξεδιψάση τιμωρηθεὶς ἀπὸ τοὺς Θεούς, ποὺ ὥρισαν νὰ φεύγη τὸ ὕδωρ, μόλις ἡ στάθμη του ἀνέβαινε ἀρκετὰ κοντά του.



Σχ. 8 · 6 ι.



Σχ. 8 · 6 ια.
Ἀναρροφητική.



Σχ. 8 · 6 ιβ.
Καταθλιπτική.

δ) *Ἀντλίαι*. Αἱ ἀντλίαι εἶναι συσκευαί, διὰ τῶν ὁποίων μεταφέρομεν τὰ ρευστὰ (ὑγρὰ ἢ ἀέρια) ἀπὸ δεξαμενὴν εἰς δεξαμενὴν καὶ μεταβάλλομεν συγχρόνως τὴν πίεσιν ἢ στάθμην αὐτῶν. Ὑπενθυμίζομεν ὅτι *στάθμη* ὀνομάζεται ἡ ἐλευθέρα ἐπιφάνεια τοῦ ὑγροῦ ἢ γενικώτερον ὡρισμένη τιμὴ δυναμικῆς ἐνεργείας.

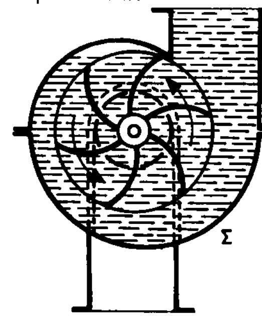
Εἴδη ὑδραντλιῶν παριστοῦν τὰ σχήματα 8 · 6 ια, 8 · 6 ιβ, 8 · 6 ιγ.

Εἰς τὰς ὑδραντλίας, ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος δὲν πρέπει νὰ ἀπέχη ἀπὸ αὐτὰς περισσότερον ἀπὸ 6 ἕως 8 μέτρα, διότι εἶναι μηχανικῶς ἀσύμφορον νὰ κατασκευασθοῦν ὑδραντλίαι παράγουσαι τόσον τέλειον κενόν, ὥστε τὸ ὕδωρ νὰ ἀνέλθη λόγω τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως εἰς τὸ θεωρητικὸν ὕψος τῶν 10,33 m, δηλαδὴ τὸ ἰσοδύναμον πρὸς 76 cm Hg. Ἡ λειτουργία αὐτῶν στηρίζεται συνήθως ἐπὶ τῆς καταλλήλου θέσεως καὶ κινήσεως βαλβίδων, δηλαδὴ φραγμάτων, ποὺ ἀνοίγουν κατὰ τὴν μίαν φορὰν καὶ κλείουν κατὰ τὴν ἀντίστροφον.

Οὕτως εἰς τὴν *ἀναρροφητικήν*, ὅταν κατέρχεται τὸ ἔμβολον, ἀνοίγει ἡ B_1 καὶ κλείει ἡ B_2, τὸ ὕδωρ περνᾶ διὰ τῆς B_1 πρὸς τὰ ἄνω. Ἀντιθέτως, ὅταν τὸ ἔμβολον ἀνεβαίνῃ, κλείει ἡ B_1, τὸ ὕδωρ χύνεται πρὸς τὰ ἔξω, ἀνοίγει ὅμως ἡ B_2 καὶ νέον ὕδωρ ἔρχεται ἀπὸ τὸ φρέαρ, περνᾷ τὴν B_2 καὶ γεμίζει τὴν ἀντλίαν.

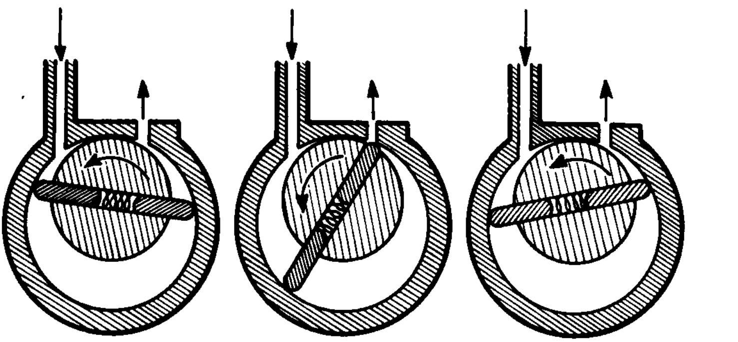
Εἰς τὴν *καταθλιπτικὴν* τὸ ἔμβολον δὲν φέρει βαλβῖδα, ἡ δὲ βαλβὶς B_2 εὑρίσκεται εἰς τὸ ἄκρον τοῦ σωλῆνος καταθλίψεως. Ἡ συμπίεσις προκαλεῖ τὸ ἄνοιγμα τῆς B_1 καὶ τὴν εἴσοδον πρὸς τὸν σωλῆνα, ποὺ ὁδηγεῖ πρὸς τὴν ὑψηλὰ εὑρισκομένην δεξαμενήν. Προφανῶς τὸ ἔργον, τὸ ὁποῖον καταβάλλομεν διὰ τὴν λειτουργίαν τῆς ἀντλίας αὐτῆς, εἶναι πολὺ μεγαλύτερον ἀπὸ τὸ μᾶλλον μικρὸν ἔργον τῆς ἀναρροφητικῆς.

Εἰς τὴν *φυγοκεντρικὴν* ἀντλίαν ἐκμεταλλευόμεθα τὴν φυγόκεντρον ἐκτίναξιν, ἡ ὁποία δημιουργεῖ κενὸν περὶ τὸν ἄξονα τῆς μηχανῆς καὶ συνεπῶς ἀναρρόφησιν καὶ συμπίεσιν ἐπὶ τοῦ τοιχώματος Σ, πρὸς τὸ ὁποῖον εἶναι προσηρμοσμένος ὁ σωλὴν τῆς ἐκροῆς.



Σχ. 8 · 6 ιγ.
Φυγοκεντρική.

ε) *Ἀεραντλίαι.* Ἡ ἁπλουστέρα καὶ ἀρχαιοτέρα ἔχει ὁμοίαν περίπου κατασκευὴν μὲ τὴν καταθλιπτικὴν ἀντλίαν καὶ εἰδικὴν βαλβῖδα ἐξόδου τοῦ ἀναρροφηθέντος καὶ συμπιεσθέντος ἀέρος πρὸς τὰ ἔξω. Αἱ νεώτεραι ἀντλίαι εἶναι *φυγοκεντρικαὶ* μετὰ συρταρίων (σχ. 8 · 6 ιδ), ποὺ ὠθοῦν τὸν ἀέρα πρὸς τὰ ἔξω μέσω βαλβῖδος.



Σχ. 8 · 6 ιδ.

Μὲ τὰς ἀντλίας αὐτὰς τὸ κενὸν φθάνει εἰς τὸ χιλιοστὸν τοῦ Torr. Ὑπάρχουν καὶ καλυτέρας ἀποδόσεως ἀεραντλίαι, στηριζόμεναι εἰς τὸ φαινόμενον τῆς διαχύσεως, τῆς διασπορᾶς τῶν μορίων τοῦ ἀερίου ἐντὸς στήλης θερμῶν ἀτμῶν ὑδραργύρου, ποὺ κατόπιν ψύχονται, ὁπότε ὁ μὲν ὑδράργυρος γίνεται ὑγρὸν καὶ πίπτει ἐντὸς τοῦ δοχείου, ὅπου βράζει, τὰ δὲ μόρια τοῦ ἀέρος ἀπάγονται ἀπὸ μίαν ἀντλίαν τοῦ προηγουμένως περιγραφέντος τύπου. Εὐνόητον ὅθεν εἶναι ὅτι ἡ ἀντλία διαχύσεως μόνη της δὲν λειτουργεῖ, διότι χρειάζεται ἀπαραιτήτως σύνδεσιν πρὸς ἄλλην ἀεραντλίαν λειτουργοῦσαν συγχρόνως. Τὸ κενόν, ποὺ ἐπιτυγχάνεται εἶναι περίπου τὸ ἑκατομμυριοστὸν τοῦ Torr.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 9

ΚΙΝΗΣΙΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

9·1 Ἐσωτερικὴ τριβή.

Ὅπως τὰ στερεὰ σώματα συρόμενα τὸ ἕνα ἐπάνω εἰς τὸ ἄλλο, παρουσιάζουν τὴν *τριβὴν* (παράγρ. 6·3) ἔτσι καὶ τὰ ὑγρά, ἀκόμη δὲ καὶ τὰ ἀέρια, ἐμφανίζουν ἀντίστασιν, ὅταν τὰ μόριά των ἀναγκασθοῦν νὰ κινηθοῦν ὡς *στρώματα* ὕλης, μετατοπιζόμενα σχετικῶς μεταξύ των. Π.χ. τριβαὶ τοῦ εἴδους αὐτοῦ ὑπάρχουν, ὅταν ρεῦμα ποταμοῦ χύνεται μέσα εἰς λίμνην ἢ νέφος μετακινῆται εἰς τὸν ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα ἢ μεταλλικὴ σφαῖρα βυθίζεται εἰς τὴν θάλασσαν, ὁπότε εἰς τὸ μέταλλον τῆς σφαίρας κολλᾶ τὸ ὕδωρ, καὶ τότε πραγματικὰ τρίβεται ὕδωρ πρὸς ὕδωρ καὶ ὄχι μέταλλον πρὸς ὕδωρ. Ἑπομένως κάθε φοράν, ποὺ γίνεται κάποια *ροή*, ὁπότε ὡρισμένα στρώματα μορίων ὑποχρεοῦνται νὰ μετατοπισθοῦν ἐν σχέσει πρὸς τὰ γειτονικά των, διαπιστώνονται ἀντιστάσεις ὀφειλόμεναι εἰς δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ ὑγροῦ (ἢ ἀερίου), ποὺ δυσχεραίνουν τὴν κίνησιν. Ὀνομάζομεν ὅθεν *ἐσωτερικὴν τριβὴν τὴν ἀντίστασιν (δύναμιν), ποὺ παρουσιάζεται, ὅταν στρώματα μορίων ἑνὸς ρευστοῦ μετατοπίζωνται μεταξύ των.* Ἡ ἐσωτερικὴ τριβὴ χαρακτηρίζει τὸ *ἰξῶδες* * τοῦ ρευστοῦ, κοινῶς τὸ *πηκτὸν* ἢ *ἀραιὸν* τοῦ ὑγροῦ.

Τὸ ἰξῶδες δὲν πρέπει νὰ συγχέεται μὲ τὴν πυκνότητα (βαρὺ ἢ ἐλαφρὸν ὑγρόν), διότι πάντοτε δὲν συμβαίνει τὰ παχύρρευστα ὑγρὰ νὰ εἶναι καὶ βαρύτερα. Οὕτω, τὰ ἔλαια εἶναι παχύρρευστα, ἀλλὰ ἐλαφρὰ ἐν συγκρίσει πρὸς τὸ ὕδωρ. Τὸ μέλι εἶναι παχύρρευστον καὶ βαρύ, τὸ οἰνόπνευμα εἶναι λεπτόρρευστον ὑγρόν, ἀραιὸν καὶ ἐλαφρόν. Συνεπῶς ὅ,τι ἔχει μεγάλο ἰξῶδες, δηλαδὴ εἶναι παχύρρευστον, δὲν εἶναι ἀναγκαστικῶς καὶ βαρύτερον τοῦ ὕδατος, δὲν βυθίζεται ἐντὸς αὐτοῦ.

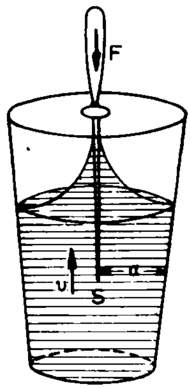
Διὰ νὰ ἔχωμεν ὅμως ἕνα μέτρον τῆς ἰδιότητος τοῦ ἰξώδους καὶ

---

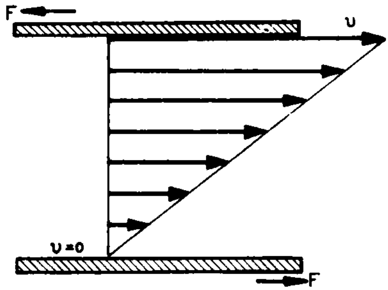
* Ἰξός, εἶναι ἕνα φυτόν, ποὺ ζῆ ἐπάνω εἰς τὴν βελανιδιὰν καὶ οἱ καρποί του ἔχουν παχύρρευστον κολλώδη (γλοιώδη) οὐσίαν.

διὰ νὰ δυνάμεθα νὰ ὑπολογίζωμεν τὴν ἐσωτερικὴν τριβήν, χρειαζόμεθα ἕνα φυσικὸν μέγεθος, τὸ ὁποῖον ὁρίζομεν κατὰ τὸν ἀκόλουθον τρόπον :

Ἂς θεωρήσωμεν ἕνα ποτήριον γεμᾶτο μέλι καὶ ἂς βυθίσωμεν τὴν λάμαν ἑνὸς μαχαιριοῦ (σχ. 9 · 1 α). Ὅταν θελήσωμε νὰ τὴν ἀνασύρωμεν ἰσοταχῶς, θὰ διαπιστώσωμεν ἀντίστασιν F καὶ συγχρόνως παραμόρφωσιν τῆς ὁριζοντίας ἐπιφα-



Σχ. 9 · 1 α.



Σχ. 9 · 1 β.

νείας τοῦ ὑγροῦ. Ἑπομένως, ἂν τὸ μέλι, ποὺ ἐκόλλησεν εἰς τὸ μαχαίρι, κινῆται μὲ ταχύτητα υ καὶ ἀπέχῃ ἀπὸ τὸ τοίχωμα ἀπόστασιν α, τότε ἐμφανίζεται ὡς πρὸς αὐτὸ δύναμις F, ἡ ὁποία εὑρίσκεται ὅτι εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴν ἐπιφάνειαν S τοῦ μαχαιριοῦ, ἀνάλογος τῆς ταχύτητος υ καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογος τῆς ἀποστάσεως α τῆς ἐπιφανείας, ποὺ τρέχει μὲ ταχύτητα υ, ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν (τοίχωμα) ταχύτητος μηδὲν (σχ. 9 · 1 β). Παρατηροῦμεν ἐπίσης ὅτι ἡ ταχύτης τοῦ πρώτου στρώματος ὀλιγοστεύει εἰς τὰ ἀκόλουθα στρώματα καὶ γίνεται μηδὲν εἰς τὸ θεωρούμενον ὡς ἀκίνητον τοίχωμα. Μαθηματικῶς γράφομεν:

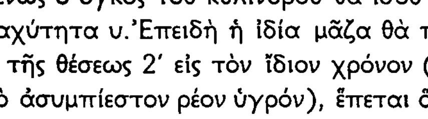
$$F = \eta \frac{S\upsilon}{\alpha},$$

ὅπου η ὁ συντελεστὴς ἐσωτερικῆς τριβῆς καὶ εἰς αὐτὸν ἀναφέρονται τὰ διάφορα εἴδη ἐλαίων λιπάνσεως π.χ. μηχανῆς αὐτοκινήτου No. 10 ἢ 20 ἢ 30. Οἱ μικρότεροι ἀριθμοὶ δηλοῦν λεπτόρρευστα ἔλαια κατάλληλα διὰ τὸν χειμῶνα, διότι τὰ πλέον παχύρρευστα γίνονται λόγω τῆς χαμηλῆς θερμοκρασίας πολὺ πηκτά, κολλώδη καὶ δὲν λιπαίνουν τὰ ἔμβολα κ.λπ. Γενικῶς, ὁ συντελεστὴς η ἐπηρεάζεται πάρα πολὺ ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν. Οὕτω, τὸ ὕδωρ κοντὰ εἰς τὸ μηδὲν Κελσίου εἶναι 5 φορὰς πηκτότερον παρὰ κοντὰ εἰς τοὺς 100° C. Διὰ τὰ λιπαντικὰ ἔλαια ἡ διαφορὰ αὐτὴ εἶναι ἀκόμη μεγαλυτέρα. Ὅλα τὰ ὑγρὰ καὶ τὰ ἀέρια εἰς τὴν φύσιν ἔχουν ἰσχυρὰς μοριακὰς δυνάμεις, αἱ ὁποῖαι προκαλοῦν τὴν ἐσωτερικὴν τριβὴν καὶ παρουσιάζουν ἀντίστασιν, ὅταν θελήσωμεν νὰ τὰ διασχίσωμεν ἢ νὰ τὰ μετακινήσωμεν (ροὴ φυσικῶν ρευστῶν). Διὰ θεωρητικοὺς ὅμως λόγους δεχόμεθα τὴν μελέτην φανταστικῶν ρευστῶν, τὰ ὁποῖα ὀνομάζομεν *ἰδανικὰ* ὑγρὰ ἢ ἀέρια καὶ τὰ χαρακτηρίζομεν ὡς ρευστὰ ἄνευ ἰξώδους, ἄνευ μοριακῶν ἀλληλοεπιδράσεων. Ἐπειδὴ ἡ μελέτη τῶν ἰδανικῶν ρευστῶν εἶναι περισσότερον εὔκολος, διὰ τοῦτο χρησιμοποιοῦμεν ὡς κατὰ *προσέγγισιν τύπους*, διὰ τὰ φυσικὰ ρευστά, ὅσους τύπους μᾶς ἔχουν δώσει οἱ ὑπολογισμοὶ ἀπὸ τὰ ἰδανικὰ ρευστά.

9 · 2 Πιέσεις εἰς ρέουσαν φλέβα Bernoulli.

Θὰ θεωρήσωμεν τώρα ἕνα ἰδανικὸν ὑγρόν, ποὺ δὲν συμπιέζεται καθόλου (δὲν ἐλαττώνεται ὁ ὄγκος του, ὅταν πανταχόθεν πιεσθῇ), τὸ ὁποῖον ρέει μέσα εἰς ἕνα σωλῆνα (σχ. 9 · 2 α) διαφόρου τομῆς.

Εἰς τὴν μεγάλην διάμετρον, ἔστω υ ἡ ταχύτης τῆς μάζης τοῦ ὑγροῦ, ποὺ περιλαμβάνεται εἰς τὸν ὄγκον τοῦ κυλίνδρου μὲ βάσιν S καὶ ὕψος h τὴν ἀπόστασιν ἀπὸ τὴν θέσιν 1 ἕως τὴν θέσιν 2. Ἡ μᾶζα αὐτὴ ρέουσα θὰ περάσῃ ἔστω εἰς 1 sec διὰ τῆς διατομῆς τῆς θέσεως 2, ἐπομένως ὁ ὄγκος τοῦ κυλίνδρου θὰ ἰσοῦται μὲ τὴν διατομὴν S ἐπὶ τὴν ταχύτητα υ. Ἐπειδὴ ἡ ἰδία μᾶζα θὰ περάσῃ καὶ ἀπὸ τὴν διατομὴν σ τῆς θέσεως 2′ εἰς τὸν ἴδιον χρόνον (διότι ἄλλως, ποῦ θὰ ἐπήγαινε τὸ ἀσυμπίεστον ρέον ὑγρόν), ἕπεται ὅτι ὁ ὄγκος μένει ὁ αὐτός, ἀλλὰ τὸ σχῆμα του γίνεται περισσότερον ἐπίμηκες (στενόμακρο), δηλαδὴ ἡ ταχύτης εἰς τὰς μικρὰς διατομὰς αὐξάνει $U > υ$.



Σχ. 9 · 2 α.

Ἄρα, δι' ὄγκον σταθερόν :

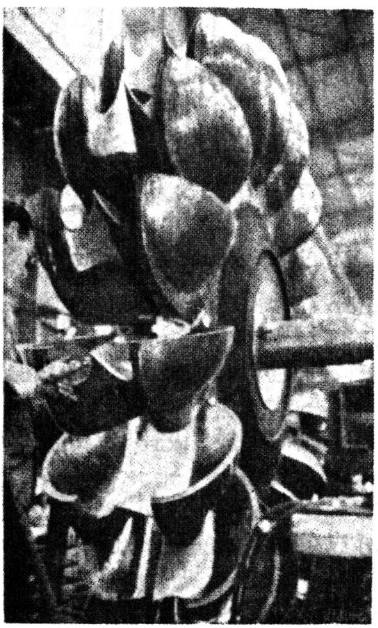
$$\boxed{S \cdot υ = σ \cdot U}$$ Νόμος συνεχείας

Ὅταν ὁ ὄγκος V τοῦ κινουμένου ὑγροῦ (ἢ τοῦ ἐκρέοντος ὑγροῦ) διαιρεθῇ διὰ τοῦ χρόνου, μᾶς δίδει τὴν *παροχὴν* $\Pi = V/t$ καὶ ἐπειδὴ $V = S \cdot h$, ἕπεται $\Pi = S \cdot \upsilon$, δηλαδὴ ἡ παροχὴ μένει σταθερά. Ἐὰν τώρα δεχθῶμεν ὅτι τὸ ὑγρὸν κτυπᾷ ἐπάνω εἰς πλάκα, καθέτως τοποθετημένην ὡς πρὸς *τὴν ταχύτητά του*, τότε ἡ ὁρμή του πρακτικῶς μηδενίζεται καὶ ἐμφανίζεται κατὰ τὰ ἀξιώματα τῆς Μηχανικῆς (παραγρ. 3·4) δύναμις $F = \dfrac{\Delta(m\upsilon)}{\Delta t}$, δηλαδὴ δύναμις ἴση πρὸς τὴν διαφορὰν (μεταβολὴν) τῆς ὁρμῆς διὰ τοῦ ἀντιστοίχου χρόνου. Κατὰ συνέπειαν διὰ πυκνότητα $\rho = \dfrac{m}{V}$.

$$F = \frac{m\upsilon}{t} = \rho \cdot V \cdot \upsilon/t \text{ καὶ ἐπειδὴ } V/t = \Pi$$

τελικῶς $\boxed{F = \rho \Pi \upsilon}$

δηλαδὴ ἡ ὠθοῦσα τὴν πλάκα δύναμις κατὰ τὴν ἀνακοπὴν τῆς ταχύτητος υ ὑγρᾶς στήλης εἶναι ἀνάλογος τῆς πυκνότητος τοῦ ὑγροῦ, τῆς ταχύτητος ἐκροῆς καὶ τῆς παροχῆς μέσω τοῦ σωλῆνος. Μᾶς συμφέρει λοιπὸν νὰ προσβάλωμεν τὴν πλάκα μὲ μεγάλας ταχύτητας, ποὺ ἀποκτῶνται μὲ στένωσιν τοῦ σωλῆνος, ἐφ' ὅσον βέβαια διαθέτωμεν μάζας ὑγροῦ καὶ πιέσεις ἱκανὰς

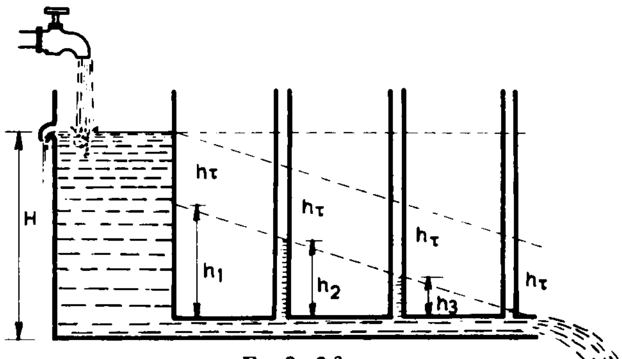


Σχ. 9·2β.
Ὑδροστρόβιλος Pelton.

Σχ. 9·2γ.

πρὸς δημιουργίαν μεγάλης παροχῆς. Ἐφαρμογὴν τῶν σχέσεων αὐτῶν ἔχομεν εἰς τὰ φράγματα τῶν ποταμῶν καὶ λιμνῶν καὶ τὴν ἐκ τούτων ἀπολαβὴν ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας κατὰ τὴν λειτουργίαν τῶν ὑδροστροβίλων (σχ. 9 · 2 β καὶ 9 · 2 γ).

Ἰδιαίτερον ἐνδιαφέρον παρουσιάζει καὶ ἡ μελέτη τῶν πιέσεων ὄχι ἐπὶ τῆς προσβαλλομένης πλακός, ἀλλὰ ἐντὸς τῆς ἰδίας τῆς μάζης τοῦ ρέοντος ὑγροῦ. Ὅταν ἕνα ὑγρὸν ρέῃ δι' ἑνὸς σωλῆνος, ὅπως π.χ. φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 9 · 2 δ, τότε παρατηρεῖται πτῶσις τῆς πιέσεως *ἀνάλογος πρὸς τὴν ἀπόστασιν ἀπὸ τῆς δεξαμενῆς*, πρᾶγμα

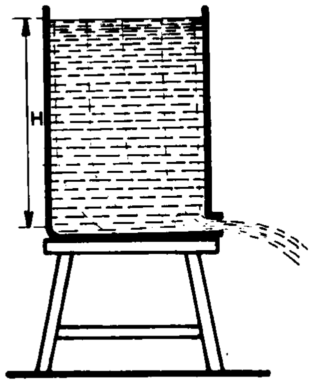


Σχ. 9 · 2 δ.

ποὺ εὔκολα βλέπομεν ἀπὸ τὰ ὕψη τοῦ ὑγροῦ ἐντὸς τῶν πλευρικῶν σωλήνων, ἐνῷ ἡ ταχύτης τοῦ ὑγροῦ μέσα εἰς τὸν ὁριζόντιον σωλῆνα παραμένει σταθερὰ (Νόμος συνεχείας). Ἑπομένως ἡ διαφορὰ $h_1 - h_2$, $h_2 - h_3$ κ.ο.κ. τῶν πιέσεων καὶ τῶν ἐξ αὐτῶν δυνάμεων κρατεῖται σταθερά, ἰσορροπουμένη ἀπὸ τὰς τριβάς, ποὺ ἐμφανίζονται κατὰ τὴν ροήν, διότι ἄλλως θὰ ἔπρεπε ἡ διαφορὰ αὐτὴ τῶν πιέσεων (πτῶσις τῶν πιέσεων) νὰ προκαλέσῃ τὴν ταχυτέραν ροήν, ὅσον περισσότερον θὰ ἐπλησιάζαμεν πρὸς τὴν ἔξοδον. Τοῦτο ὅμως δὲν συμβαίνει. Ἄρα, μόνον τὸ ὕψος h_τ εἶναι ἐκεῖνο, ποὺ προκαλεῖ τὴν σταθερὰν ταχύτητα. Συμφώνως δὲ πρὸς τὰ γνωστὰ ἐκ τῆς Κινηματικῆς θὰ ἔχωμεν $\upsilon = \sqrt{2gh_\tau}$ ὡς τελικὴν ταχύτητα ἐκροῆς. Ὅταν ἡ ὀπὴ ἐκροῆς εἶναι ἀπ' εὐθείας ἀνοικτὴ εἰς τὸ μέγα δοχεῖον, τότε προφανῶς (σχ. 9 · 2 ε) ἡ ὅλη δυναμικὴ ἐνέργεια μιᾶς ποσότητος μάζης m, ἡ ὀφειλομένη εἰς τὸ ὡς σταθερὸν θεωρούμενον ὕψος H, θὰ μετατρέπεται εἰς κινητικήν, δηλαδὴ (Torricelli):

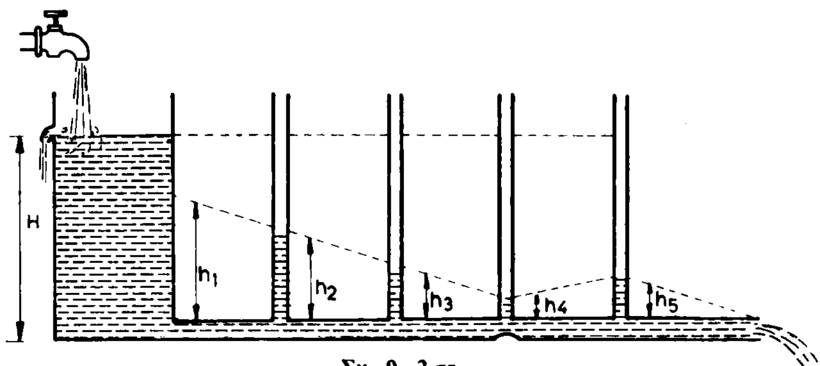
$$mgH = \frac{m}{2} \upsilon^2 \quad \text{ἄρα} \quad \upsilon = \sqrt{2gH}$$

ὅπου H τὸ ὕψος τῆς ἐλευθέρας ἐπιφανείας ἀπὸ τοῦ μέσου τῆς ὀπῆς. Ἐὰν ἐπαναλάβωμεν τὸ πείραμα τῆς μετρήσεως τῆς πτώσεως τῶν πλευρικῶν πιέσεων, ἀλλὰ μὲ ἀνίσου διαμέτρου σωλῆνα ἢ μὲ σωλῆνα φέροντα καμπήν, παρατηροῦμεν ἔντονον διαφορὰν πιέσεων ἑκατέρωθεν τῆς στενώσεως ἢ τῆς καμπῆς, δηλαδὴ αἱ ἀντιστάσεις ροῆς αὐξάνουν λόγω τῶν στενώσεων τῶν σωλήνων ἢ καμπυλώσεων αὐτῶν. Ἑπομένως πρέπει νὰ ὑπολογίζωνται, ὅπου ἔχομεν ροὴν ὑγρῶν, ὅπως π.χ. εἰς τὰς διαφόρου διαμέτρου κ.λπ. σωληνώσεις καὶ καμπυλώσεις αὐτῶν, εἰς ἐγκαταστάσεις κεντρικῆς θερμάνσεως διὰ θερμοῦ ὕδατος κ.λπ.



Σχ. 9 · 2 ε.

Χαρακτηριστικὸν πείραμα γίνεται μὲ τὸ δοχεῖον τοῦ σχήματος 9 · 2 στ, ὅπου παρατηρεῖται εἰς τὸ στένωμα ἡ ἀπότομος πτῶσις τῆς πλευρικῆς πιέσεως καὶ συνέπεια τῆς ὁποίας εἶναι ἡ μικρὰ ἀνύψωσις τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ κατακορύφου (μανο-



Σχ. 9 · 2 στ.

μετρικοῦ) σωλῆνος. Συγχρόνως ὅμως, ὅπως γνωρίζομεν ἀπὸ τὸν νόμον τῆς συνεχείας, ἔχομεν εἰς τὸ στένωμα μεγάλην ταχύτητα, ἐνῶ πρὸς τὰ ἀριστερὰ ἢ δεξιὰ τοῦ στενώματος ἡ ταχύτης εἶναι μικροτέρα, ἡ δὲ διατομὴ προφανῶς μεγαλυτέρα, εἶναι δέ :

$$h_1 > h_2 > h_3 \geqslant h_4 \text{ καὶ } h_4 < h_5$$

καὶ διὰ ταχύτητας $υ_{πρὸ}$ ἢ $υ_{μετὰ} < υ_{στεν}$.

Ἐπαναλαμβάνομεν λοιπὸν ὅτι εἰς περιοχὰς μεγαλυτέρας ταχύτητος, εἰς *ἀστρόβιλον φλέβα* ροῆς, δηλαδὴ εἰς ρευστόν, ποὺ κινεῖται μὲ τὰ μόριά του παραλλήλως μετατοπιζόμενα καὶ διαγράφοντα τροχιὰς ὡς νήματα, ποὺ δύνανται νὰ σφίγγωνται ἢ νὰ ἁπλώνουν, χωρὶς νὰ *περιπλέκωνται* (στροβιλώδης ροή), ἡ πίεσις πίπτει ἐντόνως. Μάλιστα δύναται νὰ πέσῃ τόσον πολύ, ὥστε ἀντὶ νὰ ὑψώνεται τὸ ὑγρόν, δηλαδὴ ἀντὶ νὰ ὑπάρχῃ ὕψος h_4, νὰ γίνῃ ἀναρρόφησις λόγῳ πιέσεως μικροτέρας καὶ ἀπὸ αὐτὴν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς.

Τὴν μελέτην τῶν φαινομένων αὐτῶν ἔκαμεν ὁ Bernoulli (Μπερνούλι), ὁ ὁποῖος καὶ διετύπωσεν τὸν νόμον τῶν μερικῶν πιέσεων εἰς φλέβα ρέοντος ὑγροῦ. Εἰς τὴν περίπτωσιν ὁριζοντίου σωλῆνος ὁ Νόμος γράφεται ὡς ἑξῆς:

$$\boxed{P_{τρ} + P_{π} + \frac{1}{2}\,ρυ^2 = \text{σταθερόν}}$$

Ἤτοι, *εἰς φλέβα ρέοντος ὑγροῦ τὸ ἄθροισμα α) τῆς πτώσεως πιέσεως* $P_{τρ}$ *λόγῳ τριβῶν, β) τῆς πλευρικῶς μετρουμένης στατικῆς πιέσεως* $P_{π}$ *καὶ τῆς δυναμικῆς πιέσεως* $P_{δ}$ *, ποὺ παρίσταται ἀπὸ τὸ γινόμενον* $P_{δ} = \frac{1}{2}\,ρυ^2$*, εἶναι σταθερὸν καὶ ἴσον μὲ τὴν ὁλικὴν διαθέσιμον στατικὴν πίεσιν* P_0 *τοῦ ἠρεμοῦντος ὑγροῦ* (ὅταν δηλαδὴ κλείσωμεν τὴν ὀπὴν ροῆς).

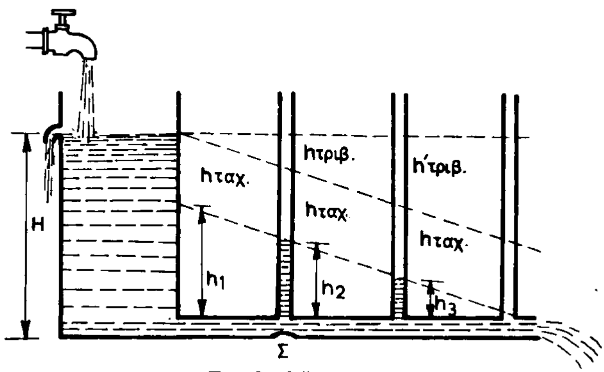
Μὲ ἄλλους λόγους, ἔστω ὅτι διαθέτομεν μεγάλην δεξαμενήν, ὅπου ὑπάρχει ὑγρὸν (ἢ καὶ ἀέριον, διὰ τὸ ὁποῖον ἐπίσης κατὰ προσέγγισιν - ἰσχύει ὁ νόμος) ὑδροστατικῆς πιέσεως $P_0 = Hρg$. Συγκοινωνοῦμεν αὐτὴν μὲ κλειστὸν ὁριζόντιον σωλῆνα φέροντα κατακορύφως σωλῆνας. Συνέπεια τούτου θὰ εἶναι ἡ ἀποκατάστασις παντοῦ σταθερᾶς πιέσεως P_0 καὶ ἡ ἀνύψωσις τοῦ ὕδατος εἰς ὅλους τοὺς μανομετρικοὺς σωλῆνας καὶ μάλιστα εἰς τὸ αὐτὸ ὕψος H, ὅπως τὸ τῆς δεξαμενῆς (σχ. 9 · 2 ζ). Ἀνοίγομεν τώρα τὸν ὁριζόντιον σωλῆνα, τὸ ὑγρὸν ρέει καὶ ἐμφανίζονται τότε αἱ διάφοροι πτώσεις τῆς πιέσεως. Οἱ κατακόρυφοι σωλῆνες δείχνουν διαφορετικὰς πιέσεις λόγῳ τριβῶν, ἐνῶ τὸ ὑγρὸν ρέει ἰσοταχῶς μὲ σταθερὰν παροχήν, τὴν ὁποίαν συντηροῦμεν μὲ ἀπογέμισιν τῆς δεξαμενῆς. Ἐφαρμόζοντες τὸν νόμον Μπερνούλι θὰ ἔχωμεν εἰς κάθε σημεῖον τῆς ροῆς τὸ ἄθροισμα:

$$h_{τρ} + h_τ + h_2 = h_{τρ}' + h_τ + h_3 = \text{σταθερὸν} = H$$

(ἀντὶ τῶν πιέσεων δυνάμεθα νὰ λάβωμεν τὰ ἰσοδύναμα ὕψη).

Ἂν τώρα κάτω ἀπὸ τὸν μανομετρικὸν σωλῆνα, ποὺ δείχνει τὸ ὕψος h_2 προκαλέσωμεν ἕνα στένωμα Σ, τότε ἡ εἰκὼν θὰ παραμορφωθῆ, τὸ ὕψος h_2 θὰ πέση ἀποτόμως, ἡ ταχύτης θὰ αὐξηθῆ, ἀλλὰ παρ' ὅλα αὐτὰ καὶ πάλιν ὁ νόμος Μπερνούλι θὰ ἰσχύη, δηλαδὴ τὸ ἄθροισμα τοῦ νέου ὕψους h_2 διὰ τὴν ταχύτητα καὶ τοῦ νέου ὕψους $h_τ$ διὰ τὰς τριβὰς (ἀπωλείας) θὰ εἶναι σταθερὸν καὶ ἴσον πρὸς τὸ ἀρχικὸν H. Εἰς ἁπλῆν διατύπωσιν ὁ νόμος τοῦ Μπερνούλι μᾶς λέγει : *ὅπου εἰς τὴν φλέβα ὑπάρχουν μεγάλαι ταχύτητες λόγῳ στενῶν διατομῶν, ἐκεῖ παρατηροῦνται μικραὶ πλευρικαὶ πιέσεις, ποὺ δύνανται νὰ γίνουν τόσον μικραί, ὥστε ἀντὶ πλευρικῆς ἐκροῆς νὰ προκληθῆ ἀναρρόφησις*. Χαρακτηριστικαὶ ἐφαρμογαὶ εἶναι:

α) *Ἡ ἀντλία ψεκασμοῦ ἐντομοκτόνων* (σχ. 9·2η). Πιέζοντες τὸ ἔμβολον ἀποτόμως ἔχομεν μεγάλας ταχύτητας εἰς τὴν ἀέριον φλέβα, ποὺ στενεύει εἰς τὸ κωνικὸν ἄκρον τῆς ἀντλίας. Ἐκεῖ δημιουργοῦνται χαμηλαὶ πλευρικαὶ πιέσεις, ἀπὸ τὸ σωληνάριον τοῦ δοχείου μὲ τὸ ἐντομοκτόνον ἀναρροφεῖται ὑγρὸν καὶ ἐξακοντίζεται σταγονοποιημένον πρὸς τὰ ἔξω τῆς αἰχμῆς τοῦ κώνου.

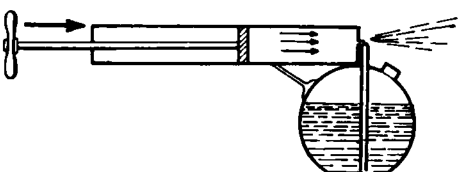


Σχ. 9·2ζ.

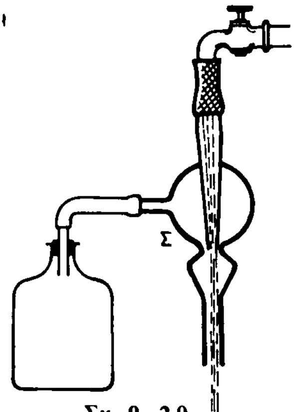
β) *Ἡ ὑδραντλία κενοῦ*. Εἰσάγοντες ὑπὸ πίεσιν ὕδωρ προκαλοῦμεν εἰς τὴν στένωσιν Σ ἀναρρόφησιν τοῦ ἀέρος, ὁ ὁποῖος μαζὶ μὲ τὸ ὕδωρ ἐξέρχεται ἀπὸ τὸ στόμιον τῆς ἀεραντλίας (σχ. 9·2θ). Τὸ κενὸν ποὺ δημιουργεῖται εἶναι περίπου τῆς τάξεως τοῦ ἑκατοστοῦ τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως. Ἂν χρησιμοποιήσωμεν ἀντὶ ὕδατος ὑδράργυρον, φθάνομεν εἰς χιλίας φορὰς μεγαλύτερον κενὸν (10^{-3} Torr).

γ) *Ἀνύψωσις στέγης ἀπὸ ἰσχυρὸν ἄνεμον.* Ὅπως εἰς τὸ σχῆμα φαίνεται, ἡ σύγκλισις τῶν ἀερίων στρωμάτων ἐπάνω ἀπὸ τὴν στέγην καὶ ὁ στροβιλισμὸς αὐτῶν προκαλεῖ στένωσιν τῆς φλεβός, ἄρα ταχύτητα μεγαλυτέραν, συνεπῶς ἀναρρόφησιν, ἡ ὁποία ἐξαρθρώνει ἐκ τῶν ἄνω (ὡς βεντούζα) τὴν στέγην τοῦ σπιτιοῦ (σχ. 9 · 2 ι).

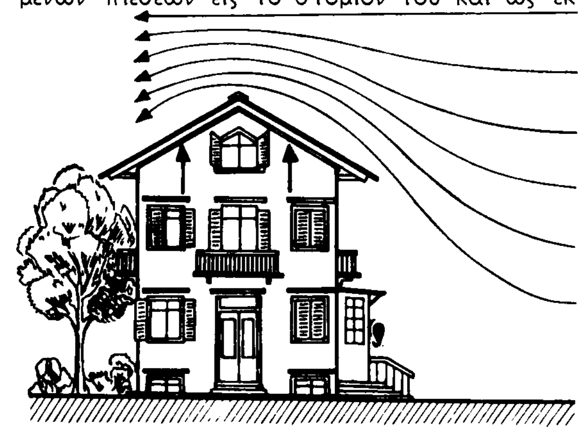
δ) *Ἐξαεριστὴρ κύτους πλοίων.* Ἡ ἐξήγησις εἶναι εὔκολος βάσει τοῦ σχεδίου (σχ. 9 · 2 ια). Ἡ σύγκλισις περὶ τὴν χοάνην, ἡ τομὴ καὶ ἡ κλίσις αὐτοῦ προκαλοῦν δημιουργίαν ἠλαττωμένων πιέσεων εἰς τὸ στόμιόν του καὶ ὡς ἐκ τούτου ἀναρρόφησιν τοῦ — κακῆς ὀσμῆς — ἀέρος τοῦ ἀμπαριοῦ (Προσοχὴ ποτὲ δὲν στρέφεται τὸ στόμιον ἔναντι τοῦ ἀνέμου).



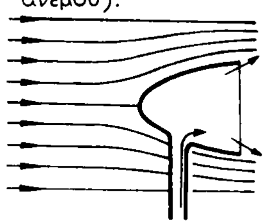
Σχ. 9 · 2 η.



Σχ. 9 · 2 θ.



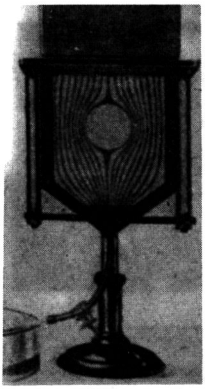
Σχ. 9 · 2 ι.



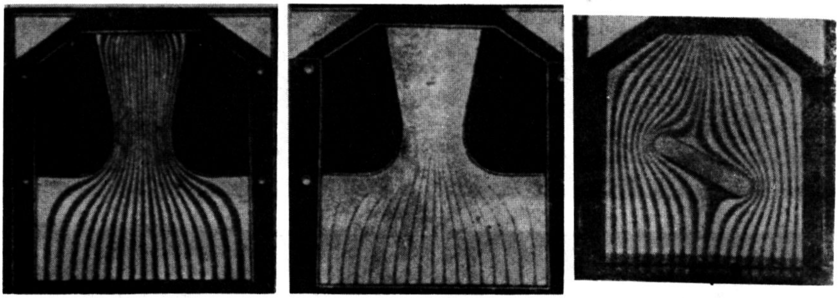
Σχ. 9 · 2 ια.

9 · 3 Στροβιλώδης ροή.

Δυνάμεθα νὰ παρακολουθήσωμεν τῇ βοηθείᾳ μικρῶν καὶ λεπτοτάτων φύλλων ἀλουμινίου, τὰ ὁποῖα ρίπτομεν ἐντὸς τοῦ ὕδατος, τὸ πῶς διαμορφώνονται αἱ διάφοροι τροχιαὶ τῶν μορίων τοῦ



ὑγροῦ, ὅταν τοῦτο ρέῃ ἐντὸς διαφανοῦς σωλῆνος μεταξὺ δύο πλακῶν, ὅπου εἶναι δυνατὸν νὰ θέσωμεν καὶ διαφόρου σχήματος σώματα (σχ. 9 · 3 α). Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον γίνονται ὁραταὶ αἱ *ρευματικαὶ γραμμαὶ* ροῆς, ποὺ εἰς βραδέως ρέοντα ὑγρὰ μὲ ὄχι πολὺ μικρὸν συντελεστὴν ἰξώδους (ὄχι πολὺ λεπτόρρευστα) εἶναι παράλληλοι ἢ συγκλίνουν ἢ ἀποκλίνουν, *χωρὶς* ὅμως νὰ τέμνωνται, νὰ περιπλέκωνται. Ἡ ροὴ τότε ὀνομάζεται *στρωτὴ* (ἀστρόβιλος) ἄλλως γίνεται *στροβιλὴ* (στροβιλώδης) (σχ. 9 · 3 β), ὁπότε ποσὸν ἐνεργείας δαπανᾶται διὰ τὸν

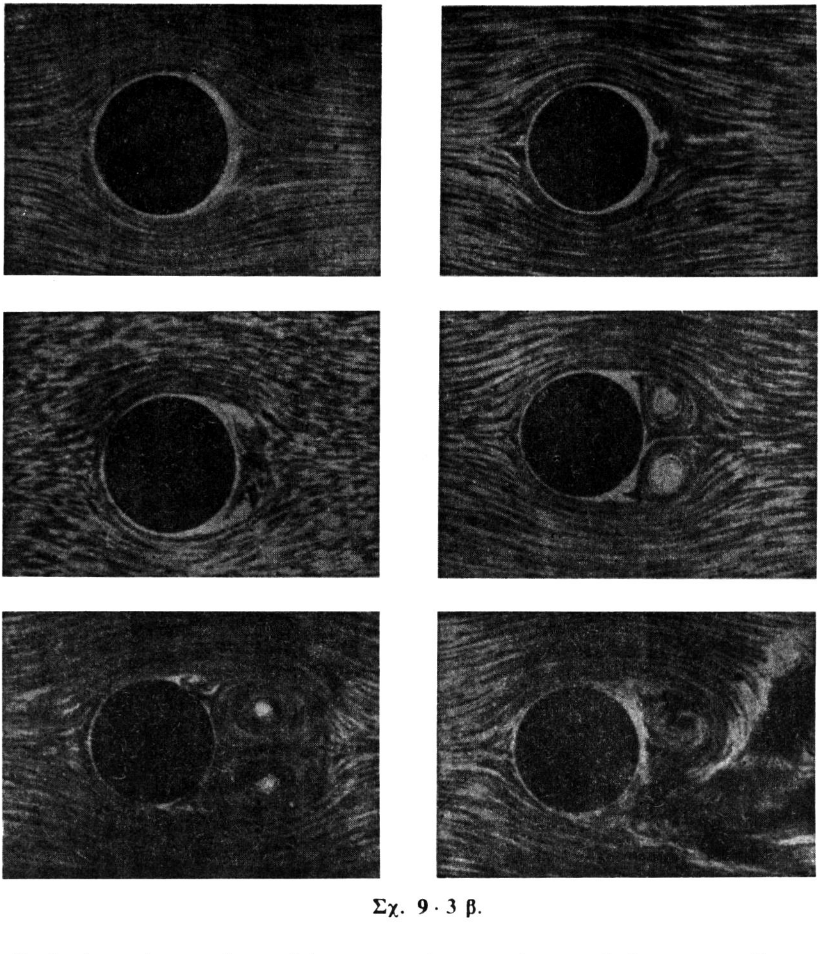


Σχ. 9 · 3 α.

στροβιλισμόν, πρᾶγμα ποὺ δὲν μᾶς ἐξυπηρετεῖ. Δια τοῦτο καταβάλλεται μεγάλη προσοχὴ εἰς τὴν διαμόρφωσιν τῶν ἀγωγῶν πετρελαίου, π.χ. τῆς πιέσεως ἐντὸς αὐτῶν, τῆς ταχύτητος ροῆς, τῆς διατομῆς αὐτῶν ἐν σχέσει πρὸς τὸ ἰξῶδες καὶ τὴν πυκνότητα τοῦ ὑγροῦ, ὥστε νὰ μὴ ἐμφανισθοῦν στροβιλισμοί, ποὺ ὀλιγοστεύουν τὴν παροχὴν καὶ δημιουργοῦν προσθέτους ἀναρροφήσεις καὶ ἀντιστάσεις.

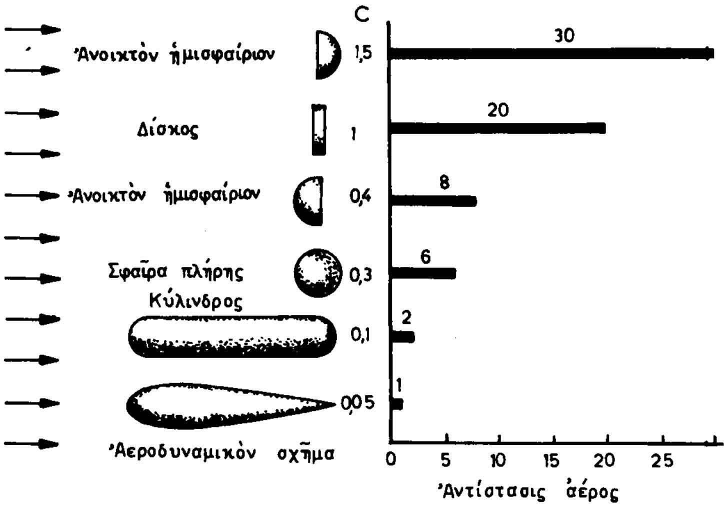
9 · 4 Ἀεροδυναμικαὶ μορφαί.

Ὅταν ἕνα στερεὸν σῶμα κινῆται μέσα εἰς φυσικὸν ὑγρὸν ἢ ἀέριον, εἶναι ἀδύνατον νὰ ἀποφύγῃ τὴν τριβὴν καὶ νὰ μὴ σχηματίσῃ γύρω του, ἰδίως πρὸς τὰ ὀπίσω, στροβίλους. Ὅλα αὐτὰ ἔχουν ὡς ἀποτέλεσμα ἀπωλείας ἐνεργείας καὶ παρουσίαν ἀντιστάσεων, ποὺ ἀνακόπτουν τὴν ταχύτητα τοῦ σώματος. Πρὸς τοῦτο μέσα εἰς σήραγγας εἰδικῶς κατεσκευασμένας τοποθετοῦνται τὰ διάφορα πρότυπα (μον-



Σχ. 9 · 3 β.

τέλα) ὀχημάτων, ἀεροπλάνων, τραίνων κ.λπ. καὶ δημιουργοῦνται μὲ καταλλήλους ἀνεμιστῆρας τεχνητοὶ ἄνεμοι, ὥστε νὰ μετρηθοῦν αἱ δυνάμεις, ποὺ ἀναπτύσσονται καὶ νὰ φωτογραφηθοῦν οἱ στρόβιλοι. Βάσει τῶν ἀποτελεσμάτων αὐτῶν τροποποιοῦνται τὰ πρότυπα καὶ τελικῶς δίδονται εἰς τὸ ἐργοστάσιον τὰ σχέδια τοῦ νέου π.χ. ἀεροπλάνου ἢ αὐτοκινήτου. Γενικῶς ἡ ἀντίστασις F ἑνὸς σώματος αὐξάνει, ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι: α) ἡ μετωπικὴ διατομή του, β) ἡ ταχύτης του εἰς τὸ τετράγωνον, γ) ἡ πυκνότης τοῦ ρευστοῦ, ποὺ διασχίζει. Τέλος ἐξαρτᾶται καὶ ἀπὸ ἕνα συντελεστήν, ποὺ μεταβάλλεται ἀναλόγως τοῦ σχήματος τοῦ σώματος, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 9·4.



Σχ. 9·4.

Γενικῶς $\boxed{F = \frac{C}{2} S \rho v^2}$

Συντελεστὴς C	Μορφαὶ σώματος τῆς αὐτῆς μετωπικῆς διατομῆς
1	Δίσκος
1,5	σφαῖρα κοίλη
0,4	σφαῖρα ὡς ἀνωτέρω ἀντιθέτως τεθεῖσα
0,3	πλήρης σφαῖρα
0,05	ἀεροδυναμικὴ μορφὴ
0,5	αὐτοκίνητον σύνηθες (ὄχι ἀεροδυναμικόν).

Ἀπὸ τὰ ἐκτεθέντα γίνεται καταφανὲς πόσην σημασίαν ἔχει τὸ ἀεροδυναμικὸν σχῆμα καὶ ἰδίως τὸ ὀπίσω μέρος, ὅπου παρουσιάζονται αἱ ἀνακόπτουσαι τὴν ταχύτητα στρόβιλοι. Διὰ τοῦτο ἡ κυριωτέρα σπουδὴ γίνεται διὰ τὴν οὐρὰν καὶ τὴν ὀπισθίαν κλίσιν τῶν πτερύγων τῶν ἀεροπλάνων. Τελευταίως ὅμως μὲ τὴν ὑπερηχητικὴν ταχύτητα τῶν πυραυλοκινήτων ἀεροπλάνων ἀπέκτησε βαρύνουσαν σημασίαν καὶ ἡ μελέτη τῆς προσθίας ὄψεως τοῦ ἀεροσκάφους, τῶν πτερύγων του, τῶν πηδαλίων του κ.λπ.

Ἕνα παράδειγμα θὰ μᾶς κατατοπίσῃ εἰς τὸ πόση ἰσχὺς ἀπὸ μίαν μηχανὴν αὐτοκινήτου ἀναλογεῖ εἰς τὴν κατανίκησιν τῆς ἀντιστάσεως, ὅταν ἕνα αὐτοκίνητον τρέχῃ μὲ 108 km/h, καὶ ἔχῃ μετωπικὴν διατομὴν διασχίζουσαν τὸν ἀέρα 2,5 m^2.

Ὁ τύπος τῆς ἰσχύος εἶναι: $F \cdot \upsilon = \frac{C}{2} S \rho \upsilon^3$

Ἄρα δι' ἀέρα $\rho = 1{,}3\ kg/m^3$ $S = 2{,}5\ m^2$

$\upsilon = \frac{108\,000}{3600} = 30\ m/sec$ καὶ $C = 0{,}5$ ἔχομεν

$N = \frac{0{,}5}{2} \times 2{,}5 \times 1{,}3 \times 27\,000 = 30$ ἀτμόιπποι (περίπου).

Ἐπομένως διὰ νὰ συντηρήσωμεν τὴν ταχύτητα τοῦ αὐτοκινήτου ἔναντι τῶν ἐκ τοῦ ἀέρος ἀντιστάσεων δαπανῶμεν 30 ἵππους. Εἶναι δὲ εὐνόητον, λόγω τοῦ κύβου τῆς ταχύτητος, πόσον ἀποτόμως αὐξάνει ἡ ἀπαίτησις ἰσχύος μὲ τὴν αὔξησιν τῆς ταχύτητος τοῦ κινητοῦ.

Πρέπει λοιπόν, ἐφ' ὅσον δὲν δυνάμεθα νὰ ἐλαττώσωμεν τὴν διατομὴν τοῦ αὐτοκινήτου, νὰ προσέξωμεν πολὺ τὸ ἀεροδυναμικὸν σχῆμα του, ὥστε νὰ μὴ γίνῃ τελείως ἀντιοικονομικὸν διὰ τὰς μεγάλας ταχύτητας.

Ἀντιθέτως εἰς τὴν ἀπογείωσιν τῶν ἀεροπλάνων, ὅπου χρειαζόμεθα μεγάλας ἀνυψωτικὰς δυνάμεις (ἀναρροφήσεις ἐκ τῶν ἄνω τῶν πτερύγων καὶ ὠθήσεις ἐκ τῶν κάτω) πρέπει νὰ παραμορφώσωμεν μὲ εἰδικὰ πρόσθετα πτερύγια καὶ μὲ ἀποτόμους κλίσεις αὐτῶν τὸ κανονικὸν ἀεροδυναμικὸν σχῆμα οὕτως, ὥστε νὰ ἀναπτυχθοῦν ἰσχυραὶ δυνάμεις ἀνυψώσεως, βεβαίως μὲ πολὺ μεγάλην δαπάνην ἰσχύος. Αὐτὸς εἶναι ὁ λόγος τῆς ἰσχυροτάτης δράσεως τῶν κινητήρων τοῦ ἀεροπλάνου κατὰ τὸ διάστημα τῆς τροχοδρομήσεως ἐπὶ τοῦ διαδρόμου ἀπογειώσεως. Ἀργότερα, ὅταν κερδίσῃ ὕψος καὶ ἀποσύρῃ τὰ πρόσθετα πτερύγια, τὸ ἀεροπλάνον γίνεται περισσότερον ἀεροδυναμικόν, ἀποκτᾷ εὔκολα ταχύτητα, ἐλαττώνει τὴν ἰσχὺν τῶν κινητήρων καὶ ἐξοικονομεῖ τὰ καύσιμά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 10

ΜΟΡΙΑΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

10 · 1 Κίνησις τῶν μορίων (Braun).

Ὅπως γνωρίζομεν, κάθε σῶμα ἀποτελεῖται ἀπὸ μόρια, ποὺ ἔχουν ἑλκτικὰς μεταξύ των δυνάμεις, ἂν καὶ εἰς πάρα πολὺ μικρὰν ἀπόστασιν ἔχει διαπιστωθῆ ὅτι ἀπωθοῦνται. Γενικῶς ὅμως ἡ ἕλξις ὑπερτερεῖ καὶ τὰ μόρια εὑρίσκονται πλησίον ἀλλήλων, δυνάμενα νὰ ἐκτελέσουν καὶ μικρὰς κινήσεις εἰς τὰ στερεά, ὀλισθήσεις εἰς τὰ ὑγρὰ καὶ ἀτάκτους ταχείας κινήσεις εἰς τὰ ἀέρια. Δυνάμεθα νὰ φαντασθῶμεν τὰ ὑγρὰ μόρια περίπου ὡς μικράς, πολὺ μικράς, σφαίρας ἐντὸς ποτηρίου καί, ὅπως αὐταὶ πίπτουν ἀπὸ τοῦ ἑνὸς ποτηρίου εἰς τὸ ἄλλο ὀλισθαίνουσαι ἡ μία ἐπὶ τῆς ἄλλης, ἔτσι καὶ τὰ μόρια τῶν ὑγρῶν ὀλισθαίνουν, πλὴν ὅμως ἔχουν καὶ μερικὰς μικρὰς ἰδικάς των κινήσεις, αἱ ὁποῖαι αὐξάνουν, ὅταν τὰ ὑγρὰ θερμανθοῦν.

Αἱ δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ αὐτοῦ σώματος ὀνομάζονται *δυνάμεις συνοχῆς*, ἐνῷ μοριακαὶ δυνάμεις ἑνὸς σώματος πρὸς ἄλλο καλοῦνται *δυνάμεις συναφείας*.

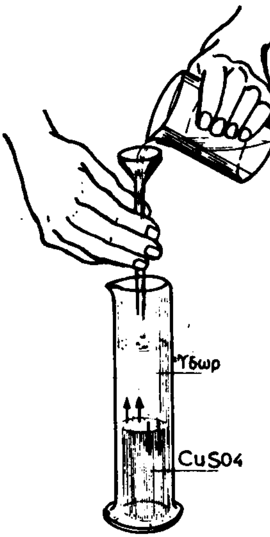
Προφανῶς τὰ ἀέρια λόγῳ τῶν μεγάλων ταχυτήτων τῶν μορίων ἐκ τῶν συγκρούσεών των καὶ τῶν ἐλευθέρων διαδρομῶν, ποὺ ἐκτελοῦν, στεροῦνται σχεδὸν τελείως τῶν δυνάμεων συνοχῆς. Μόνον ὑπὸ πίεσιν καὶ ψῦξιν, ὁπότε τὰ μόρια τῶν ἀερίων πλησιάζουν ἄλληλα καὶ κινοῦνται βραδύτερα, ἐμφανίζονται δυνάμεις συνοχῆς. Εἰς τὸν ἀέρα θερμοκρασίας 20^0 εὑρέθη ὅτι ἡ μέση ταχύτης τῶν μορίων του μεταξὺ δύο συγκρούσεων εἶναι περίπου ἥμισυ km/sec. Πολὺ βραδύτεραι εἶναι αἱ κινήσεις τῶν ὑγρῶν μορίων, αἱ ὁποῖαι δυνατὸν νὰ διαπιστωθοῦν ἀπὸ τὴν κίνησιν Μπράουν. Ὁ Braun (1827) παρετήρησεν ὅτι πολὺ μικροὶ σπόροι φυτῶν ἢ σταγονίδια λίπους, ποὺ αἰωροῦνται ἐντὸς τοῦ ὕδατος ἢ τοῦ γάλακτος ἢ σταγονίδια ὀμίχλης ἢ καπνὸς εἰς κατάλληλον περιβάλλον ἔχουν μίαν συνεχῆ ἄτακτον κίνησιν, ὅταν παρατηροῦνται ἐντὸς τοῦ πεδίου τοῦ μικροσκοπίου ὑπὸ ἀρκετὰ μεγάλην μεγέθυνσιν. Νομίζει κανεὶς ὅτι κάποιος τὰ κτυπᾶ ἀπὸ ἐδῶ καὶ ἀπὸ ἐκεῖ καὶ τὰ ἀναγκάζει, ὅπου καὶ ἂν εὑρίσκωνται, νὰ ἀλλάσσουν τὴν θέσιν των καὶ νὰ μὴ ἡσυχάζουν. Ἡ ἐξήγησις εἶναι ἁπλῆ. Τὰ ὑγρὰ (ἢ ἀέρια) μόρια μὲ τὰς ἰδικάς των κινήσεις προκαλοῦν μεταβολὰς συμπυκνώσεως κατὰ τυχαῖον τρόπον, ὁπότε τὰ σταγονίδια π.χ. τοῦ λίπους ὠθοῦνται ἀπὸ τὰ πυκνότερα εἰς τὰ ἀραιότερα μέρη. Οὕτως, ἐκτελοῦν τὰς ἀτάκτους κινήσεις, ποὺ βλέπομεν διὰ τοῦ μικροσκοπίου, ἐνῶ, φυσικά, τὰ μόρια τοῦ ὕδατος δὲν τὰ βλέπομεν λόγῳ τῆς μικρότητός των.

Κάτι ἀνάλογον θὰ ἔβλεπε κανεὶς ἀπὸ ἕνα ἀεροπλάνον, ὅταν εἰς μίαν μεγάλην πλατεῖαν ὑπῆρχε πλῆθος πυκνὸν περιπατητῶν καὶ μεταξύ των ὀλίγοι πωληταὶ μπαλονίων, ἐκ τῶν ὁποίων ὁ καθεὶς ἐκράτει φουσκωμένα πολλὰ χρωματιστὰ μπαλόνια ἀνυψωμένα. Μὲ τὰς κινήσεις τοῦ πλήθους οἱ πωληταὶ θὰ ἐξετέλουν καὶ αὐτοὶ τυχαίας κινήσεις ὠθούμενοι ἀπὸ τὰς ἑκάστοτε πυκνώσεις ἢ τὰς ἀραιώσεις τοῦ πλήθους. Ἀπὸ τὸ ἀεροπλάνον ὅμως δὲν θὰ διεκρίνοντο αἱ κινήσεις τοῦ πλήθους παρὰ μόνον ἕνα γκρίζον ἤρεμον στρῶμα καὶ ἐπάνω του χρωματιστὰ στίγματα, τὰ ὁποῖα θὰ ἐκινοῦντο τυχαίως καὶ τελείως ἀτάκτως.

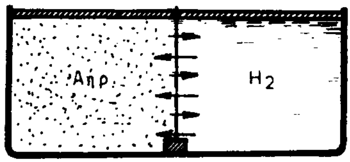
10 · 2 Διάχυσις. Διαπίδυσις. Προσρόφησις.

Ἡ προαναφερθεῖσα κίνησις τῶν μορίων ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν αὐθόρμητον, τὴν αὐτόματον διείσδυσιν, *διάχυσιν* τῶν μορίων ἐντὸς τοῦ ὑπολοίπου πλήθους αὐτῶν· συνεπῶς μόνα των τὰ μόρια ἀλληλομιγνύονται διὰ νὰ ἀποτελέσουν ὁμογενὲς σύνολον. Οὕτως, ἂν ἔχωμεν πυκνὸν διάλυμα βυσσινάδας ἢ θειικοῦ χαλκοῦ (γαλαζόπετρας) μέσα εἰς ἕνα στενόμακρον ποτήριον καὶ μὲ προσοχὴν προσθέσωμεν σιγά-σιγὰ ὑπεράνω τοῦ διαλύματος καθαρὸν ὕδωρ (σχ. 10 · 2 α), θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι ἐνῶ εἰς τὴν ἀρχὴν σαφῶς διαφορίζονται τὰ δύο ὑγρά, ἔπειτα προχωρεῖ τὸ ὕδωρ ἐντὸς τοῦ ἐγχρώμου διαλύματος καὶ ἀντιθέτως. Μετὰ ἀρκετὸν χρόνον (μῆνες, ἔτη) γίνεται ἕνα πλήρως ὁμοιογενὲς διάλυμα. *Καλοῦμεν διάχυσιν τὴν αὐθόρμητον διείσδυσιν τῶν μορίων ἐντὸς τοῦ ὑπολοίπου πλήθους αὐτῶν, διὰ νὰ ἀποτελεσθῇ ἕνα ὁμοιογενὲς σύνολον.* Ἡ διάχυσις γίνεται ταχυτέρα μὲ τὴν θερμοκρασίαν, ἡ ὁποία αὐξάνει τὴν κινητικότητα τῶν μορίων, γίνεται δὲ ὄχι μόνον μεταξὺ ὑγρῶν ἢ ἀερίων ἢ ὑγροῦ - ἀερίου, ἀλλὰ καὶ μεταξὺ στερεῶν (τεμάχιον μολύβδου ὑπὸ πίεσιν ἐπὶ τεμαχίου χρυσοῦ παρουσιάζει μετὰ χρόνον διάχυσιν). Ἐπίσης ἡ διάχυσις εἶναι ταχυτέρα ὅσον μικροτέρας μάζης εἶναι τὰ διαχεόμενα μόρια, ὁπότε καὶ κινοῦνται ταχύτερον ὑπὸ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν.

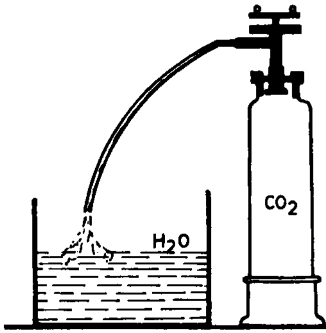
Ὅταν μεταξὺ τῶν δύο ὑγρῶν ἢ ἀερίων (σχ. 10·2 β) μεσολαβῇ τοίχωμα περισσότερον διαπερατὸν εἰς τὸ ἕνα ἐξ αὐτῶν παρὰ εἰς τὸ ἄλλο, τότε δυνάμεθα νὰ ἔχωμεν κατὰ κάποιον ποσοστὸν διάχυσιν κυρίως πρὸς τὴν μίαν κατεύθυνσιν ἄρα καὶ διαχωρισμὸν τῶν ὑγρῶν



Σχ. 10·2 α.

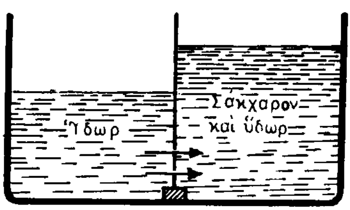


Σχ. 10·2 β.



Σχ. 10·2 γ.

ἢ ἀερίων. Τὸ φαινόμενον αὐτὸ τῆς διαχύσεως διὰ περατῶν μεμβρανῶν ἢ τοιχωμάτων (πήλινα, ὑάλινα, μετάλλινα) καλεῖται *διαπίδυσις* (διαπιδύω σημαίνει διηθῶ ἢ διαπερῶ ἀμοιβαίως καὶ ἑκατέρωθεν διὰ μέσου τῶν πόρων του τοίχωμα, ποὺ χωρίζει δύο οὐσίας). Ὅταν ἕνα ἀέριον εἰσδύῃ μέσα εἰς τὸ ὑγρὸν (σχ. 10·2 γ) ἢ τὸ στερεὸν καὶ μένῃ ἐντὸς αὐτοῦ, τότε λέγομεν ὅτι πρόκειται περὶ *ἀπορροφήσεως*. Ὅταν ὅμως ἡ διείσδυσις γίνεται μόνον εἰς τὴν ἐπιφάνειαν εἰς πολὺ λεπτὸν στρῶμα, τότε τὸ φαινόμενον αὐτὸ τῆς συναφείας λέγεται *προσρόφησις*. Τέλος, ὅταν διὰ

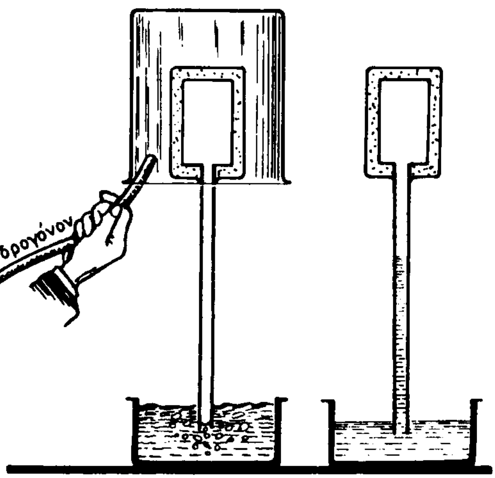


Σχ. 10·2 δ.

μεμβράνης ἢ τοιχώματος καλουμένου *ἡμιπερατοῦ* ἐπιτρέπεται ἡ ἀνταλλαγὴ τοῦ διαλυτικοῦ μέσου π.χ. τοῦ ὕδατος ὄχι ὅμως τῆς εἰς αὐτὸ διαλελυμένης οὐσίας π.χ. τῆς σακχάρεως (σχ. 10 · 2 δ), τότε ἔχομεν τὴν *ὤσμωσιν*, τὴν ὁποίαν καὶ θὰ μελετήσωμεν ἰδιαιτέρως εἰς τὴν ἑπομένην παράγραφον.

Παραδείγματα.

α) Ἐὰν ἕνα πορῶδες πήλινον δοχεῖον (καλύτερον ἐκ λευκοῦ χώματος, ἐκ τοῦ ὁποίου κατασκευάζουν τὰ πιάτα ἀλλὰ δίχως τὸ σμάλτον) τὸ συνδέσωμεν μὲ μανομετρικὸν σωλῆνα, τὸ ἄλλο ἄκρον τοῦ ὁποίου εἶναι ἐμβαπτισμένον ἐντὸς λεκάνης περιεχούσης ὑγρὸν καὶ τὸ ἐκθέσωμεν εἰς ἀτμόσφαιραν, ποὺ περιέχει ἀρκετὸν φωταέριον (σχ. 10 · 2 ε) (ἄρα καὶ ὑδρογόνον), τότε παρατηρεῖται ὅτι ἐπειδὴ τὸ ὑδρογόνον διεισδύει ἐντὸς τοῦ δοχείου, ἀναγκάζει τὸν ἀέρα νὰ φύγη ὑπὸ μορφὴν φυσαλλίδων διὰ τῆς λεκάνης. Ἐὰν ὅμως ἀπομακρυνθῇ τὸ ὑδρογόνον, ποὺ περιέβαλε τὸ δοχεῖον, τότε τὸ ἐντὸς τοῦ δοχείου ὑδρογόνον διαπερᾷ τὰ πορώδη τοιχώματα πρὸς τὰ ἔξω μὲ ἀποτέλεσμα τὴν δημιουργίαν ὑποπιέσεως ἐντὸς τοῦ δοχείου καὶ ἀνύψωσιν τῆς στάθμης τοῦ ὑγροῦ εἰς τὸ μανόμετρον. Φαινόμενα βασιζόμενα ἐπὶ τῆς ἀρχῆς αὐτῆς βοηθοῦν εἰς τὴν ἀνίχνευσιν παρουσίας φωταερίου, ὑδρογόνου κ.λπ.



Σχ. 10 · 2 ε.

β) Ἐπίσης δι' ὑαλίνου τοιχώματος θερμαινομένου δοχείου εἶναι δυνατὸν νὰ γίνῃ διαπίδυσις ἀερίου ἡλίου. Τὸ αὐτὸ δύναται νὰ συμβῇ καὶ εἰς μεταλλικὸν τοίχωμα ἀπὸ σπάνια μέταλλα ἢ χάλυβα μὲ τὸ εὐκόλως διαπιδῦον αὐτὰ ἀέριον ὑδρογόνον.

γ) Ἡ διαπίδυσις ἐφαρμόζεται εἰς τὰ ἀτομικὰ ἐργοστάσια, ὅπου ὑπὸ κατάλληλον πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν ἐντὸς καταλλήλων θαλάμων διαβιβάζεται μέσω πορωδῶν διαφραγμάτων ἀερία ἕνωσις τοῦ μετάλλου οὐρανίου μὲ σκοπὸν τὸν διαχωρισμὸν τοῦ ἐλαφροῦ οὐρανίου (οὐράνιον 235) χρησίμου διὰ τὰς ἀτομικὰς βόμβας καὶ ἀτομικοὺς ἀντιδραστῆρας.

δ) Διὰ τὴν προσρόφησιν χρησιμοποιεῖται κυρίως ὁ πορώδης ἐκ καύσεως φυτῶν προερχόμενος ἄνθραξ ἢ καὶ ὁ ζωικός, ποὺ εἶναι ἱκανὸς νὰ προσροφήσῃ μεγάλας ποσότητας ἀερίου, θερμαινόμενος δὲ νὰ τὸ ἀποβάλῃ ἐκ τῆς ἐπιφανείας του. Χρῆσις αὐτοῦ γίνεται εἰς τὴν Ἰατρικὴν διὰ τὴν δέσμευσιν π.χ. τῶν ἀερίων τῆς πέψεως, εἰς τὴν τεχνικὴν διὰ τὴν δημιουργίαν καλοῦ κενοῦ, εἰς τὴν βιομηχανίαν διὰ τὸν ἀποχρωματισμὸν ὑγρῶν, ὅπως π.χ. τὰ διαλύματα τῆς μὴ ἀκόμη καθαρᾶς σακχάρεως κ.λπ.

10 · 3 Ὤσμωσις.

Τὸ φαινόμενον τῆς ὠσμώσεως ὁμοιάζει μὲ τὴν διαπίδυσιν τῶν ἀερίων μέσω πορωδῶν διαφραγμάτων (τοιχώματα μεμβράναι), ἀλλὰ ὑπάρχει μία διαφορά, ἡ ὁποία ἀναφέρεται εἰς τὸ εἶδος τοῦ διαφράγματος καὶ τῶν ὑγρῶν. Οὕτω τὸ διάφραγμα πρέπει νὰ εἶναι ἡμιπερατὸν καὶ νὰ χωρίζῃ ὄχι δύο τυχόντα ὑγρά, ἀλλὰ διαλύματα, ἢ ἕνα διάλυμα ἀπὸ τὸ διαλυτικὸν μέσον. Μὲ ἄλλους λόγους *δὲν* παρατηρεῖται ὤσμωσις μεταξὺ ὕδατος καὶ οἰνοπνεύματος, ἀλλὰ μεταξὺ ὕδατος καὶ σιροπίου (διάλυμα σακχάρεως) ἢ μεταξὺ δύο διαλυμάτων γαλαζόπετρας διαφόρου περιεκτικότητος % κατ' ὄγκον.

(*Σημείωσις:* Ἡ περιεκτικότης % τοῦ διαλύματος κατ' ὄγκον προϋποθέτει πρῶτα νὰ τοποθετήσωμεν ἕνα ποσὸν γραμμαρίων μιᾶς οὐσίας μέσα εἰς ὀγκομετρικὸν σωλῆνα καὶ ἔπειτα νὰ τὸν ἀπογεμίσωμεν μὲ καθαρὸν ὕδωρ ἕως τὰ 100 cm^3. Εἶναι σφάλμα νὰ λάβωμεν πρῶτον 100 cm^3 ὕδατος καὶ εἰς αὐτὰ νὰ ρίψωμεν τὰ γραμμάρια τῆς οὐσίας, διότι τότε τὸ διάλυμα θὰ γίνεται κάθε φορὰν καὶ ἀναλόγως τοῦ ὄγκου καὶ εἴδους τῆς οὐσίας περισσότερον ἀπὸ 100 cm^3).

Ἡ ὤσμωσις εἶναι σπουδαία βιολογικὴ διεργασία, κατὰ τὴν ὁποίαν ἀναπτύσσεται ἰσχυρὰ πίεσις, ἡ καλουμένη *ὠσμωτικὴ πίεσις*. Ἡ ὠσμωτικὴ πίεσις προκαλεῖ ζωηρὰν κίνησιν τοῦ διαλυτικοῦ μέσου (π.χ. τοῦ ὕδατος) πρὸς τὴν πλευρὰν τοῦ μεγαλυτέρας περιεκτικότητος διαλύματος, ποὺ τείνει νὰ ἀραιώσῃ.

Ἔστω π.χ. ἕνα κεράσι ἢ μία σταφίδα μέσα εἰς δοχεῖον περιέχον καθαρὸν ὕδωρ.

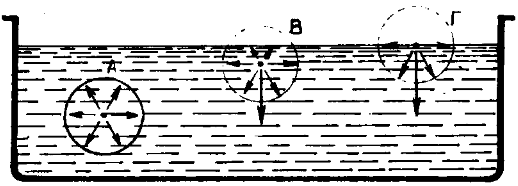
Ἐξωτερικῶς ὑπάρχει τὸ ὕδωρ, ἐσωτερικῶς (δηλαδὴ μέσα ἀπὸ τὴν μεμβράνην τοῦ κερασιοῦ ἢ τῆς σταφίδος) ὑπάρχει πυκνὸν σχετικῶς διάλυμα διαφόρων οὐσιῶν καὶ ἰδίως σακχάρων. Τὰ μόρια τοῦ ὕδατος δύνανται νὰ διέρχωνται εὐκόλως μέσῳ τῆς φυτικῆς μεμβράνης, ἐνῶ τὰ μόρια τῆς σακχάρεως εἶναι μεγάλα καὶ ὡς ἐκ τούτου δὲν τὴν διαπερνοῦν, καίτοι κινοῦνται καὶ κτυποῦν ἐπάνω εἰς τὴν μεμβράνην.

Συνεπείᾳ τῆς ἀνωμαλίας αὐτῆς δημιουργεῖται ἡ ὠσμωτικὴ πίεσις, ἡ ὁποία μετακινεῖ τὸ ὕδωρ πρὸς τὰ μέσα διὰ νὰ ἀραιώσῃ τὸ πυκνὸν διάλυμα· ἔτσι παρατηρεῖται τόσον τὸ κεράσι ὅσον καὶ ἡ σταφίδα νὰ φουσκώνουν, ἕως ὅτου διαρραγοῦν. Ἀντιθέτως, ἕνα κεράσι ἢ μία διογκωμένη σταφίδα ἢ ρῶγα σταφυλιοῦ θὰ ζαρώσῃ, θὰ ρικνωθῇ, ὅταν τὴν ρίξωμεν μέσα εἰς πυκνὸν σιρόπιον. Τὰ αὐτὰ φαινόμενα γίνονται εἰς τὸν ὀργανισμὸν τοῦ ἀνθρώπου κατὰ τὴν πέψιν καὶ τὴν δίοδον ὑγρῶν διὰ τῶν μεμβρανῶν τῶν ἐντέρων, κυττάρων κ.λπ. Διάλυμα 9‰ καθαροῦ μαγειρικοῦ ἅλατος παρουσιάζει ὠσμωτικὴν πίεσιν ὁμοίαν πρὸς τὸ αἷμα καὶ δι' αὐτὸ δύναται νὰ δοθῇ εἰς τὸν ἄνθρωπον ἐνδοφλεβίως χωρὶς κίνδυνον νὰ φουσκώσουν τὰ διάφορα αἱμοσφαίρια καὶ νὰ καταστραφοῦν, καλεῖται δὲ *φυσιολογικὸς ὀρός*. Ἡ ὠσμωτικὴ πίεσις καὶ αἱ δυνάμεις συνοχῆς καὶ συναφείας εἶναι ἐκεῖναι, ποὺ δημιουργοῦν τὴν κίνησιν τῶν χυμῶν ἀπὸ τὰς ρίζας ἕως τὰ ὑψηλὰ στρώματα ἑνὸς δένδρου, διότι πάντοτε αἱ ἄνω περιοχαὶ τοῦ φυτοῦ ἔχουν πυκνότερα διαλύματα παρὰ αἱ πλησιέστεραι πρὸς τὸ ποτιζόμενον ἔδαφος.

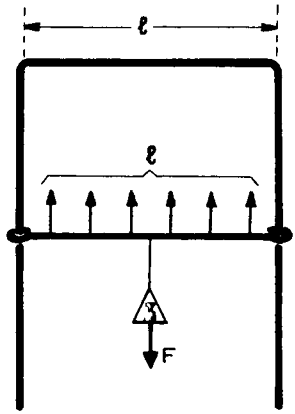
10·4 Ἐπιφανειακὴ τάσις. Τριχοειδές.

Τὰ μόρια Α μέσα εἰς τὴν μᾶζαν τοῦ ὑγροῦ περιβάλλονται ἀπὸ τὰ γειτονικά των καὶ ἀπὸ ὅλας τὰς πλευράς. Αὐτὸ ὅμως δὲν συμβαίνει εἰς τὰ μόρια Β πλησίον ἢ ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῶν ὑγρῶν. Ἐκεῖ τὰ μόρια Γ ἕλκονται ἀπὸ τὰ γειτονικά των τὰ ἐπίσης ἐπιφανειακὰ καθὼς καὶ ἀπὸ τὰ κάτωθεν αὐτῶν εὑρισκόμενα (σχ. 10·4α). Ἑπομένως, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα, τὰ μόρια τοῦ εἴδους Α ἔχουν συνισταμένην δύναμιν μηδέν. Τὰ μόρια Β ἔχουν μικρὰν συνισταμένην πρὸς τὰ κάτω, ἐνῶ τὰ ἐπιφανειακὰ μόρια Γ ἔχουν μεγαλυτέραν τὴν συνισταμένην πρὸς τὰ κάτω (ὀρθότερον, πρὸς τὸ ἐσωτερικὸν τῆς μάζης τοῦ ὑγροῦ). Συγχρόνως ὅμως, καὶ αὐτὸ νὰ προσέξωμεν ἰδιαιτέρως, παρουσιάζουν δυνάμεις, ποὺ κεῖνται ἐπάνω εἰς τὴν ἐπιφάνειαν καὶ νὰ ἑνώνουν μὲ τὰ γειτονικά των οὕτως, ὥστε νὰ σχηματίζεται ἕνα εἶδος *ὑμενίου*, ἕνα εἶδος δηλαδὴ λεπτοῦ ἐλαστικοῦ ὑμένος ἀρκετὰ ἀνθεκτικοῦ διὰ νὰ σχισθῇ. Τὴν ὕπαρξιν αὐτοῦ τοῦ ὑμενίου τὴν φανερώνουν πολλὰ πειράματα, ὅπως π.χ. ἡ ἐπίπλευσις ἐπάνω εἰς τὸ ὕδωρ μιᾶς ξυριστικῆς λεπίδος ἢ ἑνὸς ἐλαφροῦ ἐξ ἀλουμινίου νομίσματος δηλαδὴ ἀντικειμένων βαρυτέρων ἴσου ὄγκου ὕδατος. Βεβαίως δὲν θὰ τεθῇ ἡ ξυριστικὴ λεπὶς μὲ τὴν κόψιν ἐπάνω εἰς τὸ ὕδωρ, διότι τότε θὰ κόψῃ τὸ ὑμένιον καὶ θὰ βυθισθῇ. Ἐπίσης πολλὰ ἔντομα βαδίζουν ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὕδατος ἀκόμη δὲ καὶ αἱ φυσαλλίδες (ἢ σαπουνόφουσκες) εἶναι χαρακτηριστικὰ παραδείγματα τῆς ὑπάρξεως τοῦ ὑμενίου.

Διὰ νὰ ἔχωμεν ἕνα μέτρον τῆς στερεότητος τοῦ ὑμενίου, φανταζόμεθα ἐπάνω εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὑγροῦ δύο γραμμὰς (δύο στελέχη) μήκους ἔστω $l = 1$ cm καὶ ὁρίζομεν ὅτι ὅσον μεγαλυτέρα δύναμις F ἀνὰ μονάδα μήκους ἀπαιτηθῇ διὰ τὴν ἀπομάκρυνσίν των (ξεκόλλημά των), τόσον τὸ ὑμένιον εἶναι στερεότερον.



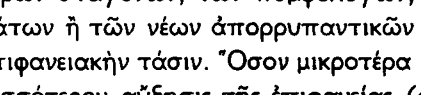
Σχ. 10·4α.



Σχ. 10·4β.

Μαθηματικῶς γράφομεν: $\boxed{\alpha = \frac{F}{l}}$

Ὁ συντελεστὴς α ὀνομάζεται συντελεστὴς *ἐπιφανειακῆς τάσεως*. Τὸ ὅτι ὑπάρχει *ἡ τάσις αὐτή, τάσις προκαλοῦσα σμίκρυνσιν τῆς ἐπιφανείας*, δηλαδὴ τὸ ὅτι τείνουν τὰ ὑγρὰ νὰ ἀποκτήσουν τὴν μικροτέραν δυνατὴν ἐπιφάνειαν, φαίνεται ἀπὸ τὸ πείραμα τοῦ σχήματος 10·4β. Λαμβάνομεν ἕνα λεπτὸν σύρμα εἰς σχῆμα Π καὶ εἰς τὰ δύο σκέλη προσαρμόζομεν ἕνα ἄλλο σύρμα, ποὺ νὰ μετακινῆται εὐκόλως μὲ κρίκους. Βυθίζομεν τὸ σύστημα εἰς σαπωνοδιάλυμα, ὁπότε σχηματίζονται δύο ὑμένια (ἕνα ἐμπρὸς ἕνα ὀπίσω). Ἂν ἀφήσωμεν ἐλεύθερον τὸ κινητὸν σύρμα, αὐτὸ σύρεται καὶ κολλᾶ εἰς τὴν ἄνω πλευρὰν τοῦ Π. Τείνει δηλαδὴ ἡ ἐπιφάνεια τῶν ὑμενίων νὰ γίνη ἡ μικροτέρα καὶ δι᾽ αὐτὸ δυνάμεθα νὰ κρεμάσωμεν ἕνα μικρὸν βάρος F, ὁπότε βλέπομεν ὅτι τὰ ὑμένια ἀντέχουν εἰς τὴν σύρουσαν δύναμιν. Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτὴν $F = 2\alpha l$ καὶ ἐξ αὐτῆς προκύπτει καὶ ἡ μέτρησις τοῦ συντελεστοῦ α. Ἐὰν ἔχωμεν ὑμένια διαφόρων ὑγρῶν τὸ ἕνα ἐπὶ τοῦ ἄλλου, τότε δυσχεραίνεται ἀκόμη περισσότερον ἡ αὔξησις τῆς ἐπιφανείας καὶ δι᾽ αὐτὸ ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ ρύπανσις ἀπὸ ἔλαια κ.λπ. εἰς τὰ ὕδατα τῶν λιμένων, τόσον πιὸ ἠρεμοῦντα εἰς τοὺς κυματισμοὺς ἐμφανίζονται. Πολλὰ φαινόμενα, ὅπως τὸ σφαιρικὸν σχῆμα τῶν ἐλευθέρων σταγόνων, τῶν πομφολύγων, ὁ ἀφρισμὸς τῶν σαπωνοδιαλυμάτων ἢ τῶν νέων ἀπορρυπαντικῶν κόνεων κ.λπ. ὀφείλονται εἰς τὴν ἐπιφανειακὴν τάσιν. Ὅσον μικροτέρα εἶναι ἡ τάσις αὐτή, τόσον περισσότερον αὔξησις τῆς ἐπιφανείας (ἀφρὸς) ἐπιτρέπεται. Οὕτως ἕνα σαπωνοδιάλυμα ἔχει τὴν ἡμίσειαν τιμὴν τοῦ συντελεστοῦ α ἐν σχέσει μὲ τὸ καθαρὸν ὕδωρ, τὸ ὁποῖον ἔχει 7 φορὰς μικροτέραν τάσιν ἀπὸ τὸν ὑδράργυρον. Ἄρα ὁ ὑδράργυρος σχηματίζει σφαιρικὰ σταγονίδια ἀλλὰ ὄχι πομφόλυγας, διότι διὰ τὴν αὐτὴν μᾶζαν αἱ πομφόλυγες εἶναι πολὺ μεγάλης ἐπιφανείας ἐν σχέσει πρὸς τὰ σταγονίδια. Σήμερον ὑπάρχουν καὶ οὐσίαι, ποὺ δημιουργοῦν τὰ ἀντίθετα ἀποτελέσματα, δηλαδὴ τὸ ὕδωρ ἀντὶ νὰ χαλαρωθῇ, ἀντὶ νὰ σχηματίση μεγαλυτέραν ἐπιφάνειαν, ἀντὶ νὰ ἐξαπλωθῇ καὶ νὰ *διαβρέξη* ἕνα σῶμα π.χ. τὴν ὕαλον, συσπειροῦται καὶ σφαιροποιεῖται, ὡς ἐὰν ἦτο ὑδράργυρος, μὴ προσκολώμενον εἰς τὴν ὕαλον (σχ. 10 · 4 γ). Αἱ οὐσίαι αὐταὶ ὀνομάζονται *σιλικόναι* καὶ εἶναι ἄχροα προϊόντα τοῦ πυριτίου (Silicium), χρήσιμα διὰ τὴν ἐπάλειψιν διαφόρων ἐπιφανειῶν ἢ τῶν χειρῶν μας διὰ τὴν προστασία των ἔναντι τοῦ ὕδατος ἢ ἄλλων ὑγρῶν.

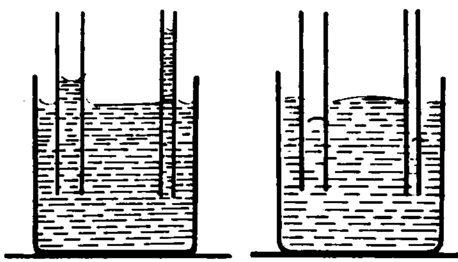


Σχ. 10 · 4 γ.
Ὑαλοπίναξ ἀλειφθεὶς μὲ σιλικόνας καὶ σταγόνας ὕδατος ἐπ᾽ αὐτοῦ.

Χρησιμοποιοῦνται συνεπῶς πολὺ εἰς τὴν Τεχνικήν, διότι προκαλοῦν ἀδιαβροχοποίησιν τῶν ὑλικῶν, τῶν ὑφασμάτων κ.λπ., τὸ δὲ ὕδωρ ἀντὶ νὰ ἐξαπλωθῇ ἐπάνω εἰς τὰ ἀλειφθέντα μὲ σιλικόνας π.χ. ροῦχα, σφαιροποιεῖται καὶ κατρακυλᾷ, ὡς ἐὰν εἴχαμε ποτίσει τὸ ὕφασμα μὲ ἔλαιον. Ἡ παρουσία τῆς σιλικόνης δὲν ἀλλοιώνει καθόλου τὴν ἐμφάνισιν τοῦ ὑφάσματος. Ἀνάλογα ὑλικὰ εἶναι καὶ αἱ νέαι βαφαὶ τοῦ ἐσωτερικοῦ τῶν μαγειρικῶν σκευῶν (κατσαρόλες, τηγάνια), ὅπου μετὰ τὸ μαγείρευμα τίποτε δὲν μένει προσκεκολλημένον εἰς τὸ σκεῦος καὶ ἐπομένως ἁπλοῦν πλύσιμον μὲ ἄφθονον ὕδωρ ἀρκεῖ διὰ τὴν ἀπορρύπανσίν των.

Τέλος τὸ τριχοειδικὸν φαινόμενον, ποὺ συνίστατα: εἰς τὴν ἐμφάνισιν τῆς στάθμης τοῦ ὑγροῦ ἄνω ἢ κάτω τῆς κανονικῆς, ἐφ' ὅσον ὁ σωλὴν εἶναι πολὺ μικρᾶς διαμέτρου, ὀφείλεται εἰς δυνάμεις συναφείας καὶ ἐπιφανειακῆς τάσεως.

Πράγματι, ἂν ἔχωμεν ἕνα δοχεῖον μὲ ὕδωρ καὶ τὸ συνδέσωμεν μὲ τριχοειδεῖς σωλῆνας, παρατηροῦμεν ὅτι ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ διαβρέχει τὴν ὕαλον, ἡ ἀνύψωσις εἶναι μεγαλυτέρα εἰς τὸν στενότερον σωλῆνα. Ἂν ἀντὶ ὕδατος χρησιμοποιηθῇ ὑδράργυρος ἢ ἂν ἀλειφθοῦν οἱ σωληνίσκοι ἐσωτερικῶς μὲ σιλικόνην, τότε εἰς τὸν στενώτερον σωλῆνα θὰ παρατηρηθῇ ἡ μεγαλυτέρα κατάπτωσις (σχ. 10 · 4 δ).



H_2O εἰς ὕαλον

Hg εἰς ὕαλον ἢ H_2O εἰς ὕαλον μὲ ἐπάλειψιν σιλικόνης.

Σχ. 10 · 4 δ.

Ἡ ἀνύψωσις ἢ κατάπτωσις εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὸν συντελεστὴν τῆς ἐπιφανειακῆς τάσεως καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογος τῆς ἀκτῖνος τοῦ σωληνίσκου καὶ τῆς πυκνότητος τοῦ ὑγροῦ.

Τὸ τριχοειδικὸν φαινόμενον ἔχει ἐξαιρετικὴν βιολογικὴν σημασίαν (τριχοειδῆ ἀγγεῖα τοῦ σώματός μας) καὶ εἶναι ἡ αἰτία τῆς διαποτίσεως τοίχων, πλίνθων, ὑφασμάτων κ.λπ., ὅταν τὸ ἕνα ἄκρον αὐτῶν ἐφάπτεται τοῦ ὕδατος ἢ ἄλλου ὑγροῦ (ἀνύψωσις ἐλαίου μὲ τὸ φυτίλι εἰς λύχνους ἢ ἀναπτῆρας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 11

ΘΕΡΜΟΤΗΣ

11 · 1 Διαφορὰ θερμότητος καὶ θερμοκρασίας.

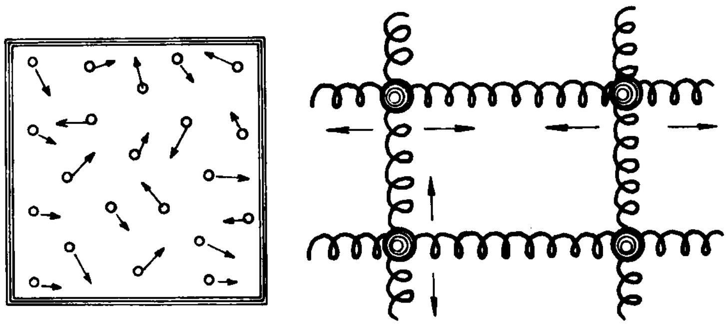
Εἰς ὅλον τὸ σῶμα μας καὶ εἰδικώτερον εἰς τὸ δέρμα καταλήγουν αἰσθητήρια νεῦρα, ποὺ εἰδοποιοῦν τὸν ἐγκέφαλον περὶ τῶν κινδύνων τοῦ περιβάλλοντος. Ἑπομένως, ὅταν ἐγγίσωμεν μὲ τὴν χεῖρα μας ἕνα ἀναμμένον κάρβουνον, τότε αἰσθανόμεθα ὀξὺ πόνον καὶ τὸ ἀποσύρομεν.

Οὕτως ἔχομεν τὴν πεῖραν τοῦ σώματος ποὺ *καίει* ἢ τοῦ *θερμοῦ*. Ὅμοιον περίπου αἴσθημα μᾶς προκαλεῖ ἡ ἐπαφὴ μὲ πάγον. Ἂν ἐγγίσωμε κάποιον κρυφὰ μὲ ξηρὸν πάγον (στερεὸν CO_2), ἔχει τὴν ἐντύπωσιν ὅτι τὸν ἐκάψαμεν. Εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ πάγου λέγομεν ὅτι εἶναι ἕνα σῶμα *κρύον* ἢ *ψυχρόν*. Μὲ τὰς λέξεις αὐτάς, δηλαδὴ μὲ τὰς ἐννοίας *θερμόν*, *θερμότερον*, *ψυχρὸν* κ.λπ., ποὺ ἔχομεν μάθει ἀπὸ πολὺ μικρὰν ἡλικίαν, δυνάμεθα νὰ συνεννοηθῶμεν μεταξύ μας σχετικὰ μὲ ἕνα φυσικὸν μέγεθος, ποὺ ὀνομάζεται *θερμοκρασία* καὶ ὄχι *θερμότης*. Τὸ αὐτὸ συμβαίνει καὶ μὲ τὰς πρώτας ἐννοίας τῆς Μηχανικῆς π.χ. τοῦ διαστήματος καὶ τῆς ταχύτητος (κοντά, μακρυά, γρήγορα, ἀργὰ κ.ο.κ.).

Ἑπομένως ἡ ἔννοια τοῦ θερμοῦ καὶ τοῦ ψυχροῦ ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ μέγεθος τῆς θερμοκρασίας τοῦ σώματος, εἶναι δὲ ἡ *θερμοκρασία* ἕνα μέτρον, μία ἔκφρασις τῆς κινητικῆς καταστάσεως τῶν μορίων τοῦ σώματος, προερχομένη ἀπὸ μίαν προσφορὰν ἐνεργείας, ἡ ὁποία μοιράζεται εἰς ὅλα τὰ μόρια τοῦ σώματος καὶ τὰ κάνει νὰ κινοῦνται, ἄτακτα, γρήγορα ἢ νὰ ταλαντεύωνται ἐντονώτερα κ.λπ. Κάθε σῶμα ἔχει κάποιαν *ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν*, ποὺ ὀφείλεται εἰς πολλὰς μορφὰς (κινητικῆς ἢ δυναμικῆς ἢ ἠλεκτρικῆς κ.τλ.) ἐνεργείας τῶν μορίων του ἢ γενικώτερον τῶν ἐλαχίστων συστατικῶν του. Δυνάμεθα εἰδικώτερον νὰ ἀφαιρέσωμεν ἢ νὰ προσθέσωμεν ἐνέργειαν οὕτως, ὥστε νὰ ἐλαττώσωμεν ἢ νὰ αὐξήσωμεν τὴν *κινητικὴν κατάστασιν* τῶν συστατικῶν τοῦ σώματος. Αὐτὴν τὴν ποσότητα τῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία μεταφερομένη ἀπὸ ἕνα σῶμα εἰς ἄλλο μεταβάλλει τὴν κινητικὴν κατάστασιν τῶν μορίων τῶν σωμάτων, καλοῦμεν *θερμότητα*.

Ἑπομένως σήμερον *δὲν* ὀνομάζομεν πλέον θερμότητα τὸ ποσὸν τῆς ἐνεργείας ποὺ περιέχεται εἰς ἕνα σῶμα, ἀλλὰ αὐτὸ ποὺ εἶναι δυνατὸν νὰ μεταφερθῇ μεταβάλλον τὴν κινητικὴν κατάστασιν τῶν μορίων.

Ἄρα ἡ θερμότης εἶναι μορφὴ ἐνεργείας, ποὺ δὲν ἔχει νόημα, ὅταν ἔχωμεν ἕνα μόνον μόριον, διότι τότε ὑπάρχει ἁπλῶς ἡ ποσότης $mu^2/2$ (κινητικὴ ἐνέργεια μορίου), ἐνῶ ἡ θερμότης πάντοτε ἀναφέρεται εἰς πάρα πολλὰ μόρια, τὰ ὁποῖα μὲ τὰς μετακινήσεις των, τὰς ταλαντώσεις των (σχ. 11 · 1 α) δίδουν καὶ τὸ μέγεθος τῆς θερμοκρασίας τοῦ σώματος.



Σχ. 11 · 1 α.

Ὅταν λοιπὸν θερμαίνωμεν ἕνα σῶμα, δηλαδὴ *προσφέρωμεν θερμότητα* εἰς ἕνα σῶμα, ἢ τρίψωμεν ἕνα στερεὸν καὶ διὰ τῆς τριβῆς μετατρέψωμεν τὸ *μηχανικὸν ἔργον* εἰς θερμότητα, ἡ ἐνέργεια αὐτὴ μοιράζεται εἰς τὰ μόριά του καὶ αὐτὰ ἀρχίζουν νὰ ταλαντεύωνται περισσότερον δεξιά - ἀριστερὰ τῆς μέσης θέσεώς των, ὁπότε τὸ σῶμα φουσκώνει, διογκοῦται, *διαστέλλεται.*

Ἐὰν ἔχωμεν ὑγρὸν ἢ καλύτερα — ὡς παράδειγμα — ἀέριον, τότε τὰ μόριά του μετακινοῦνται ταχύτερα, ἄρρυθμα, ἄτακτα, συγκρουόμενα καὶ μεταξύ των καὶ μὲ τὰ τοιχώματα τοῦ δοχείου, ὅπου εὑρίσκεται τὸ ἀέριον. Συνεπείᾳ τούτου αὐξάνει ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ δοχείου καί, ἂν εἶναι ἀνοικτόν, τὸ ὑγρὸν ἢ ἀέριον διαστέλλεται καὶ διαφεύγει. Ἡ διαστολὴ αὐτὴ εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπερβῇ τὰ ὅρια, δηλαδὴ νὰ κοποῦν οἱ μοριακοὶ σύνδεσμοι ἢ νὰ γίνουν ἄλλου εἴδους σύνδεσμοι, ὁπότε ἀπὸ στερεὸν μεταβάλλεται εἰς ὑγρὸν (τῆξις) καὶ ἀπὸ ὑγρὸν εἰς ἀέριον (ἐξαέρωσις). Γενικῶς χρειάζεται *μεγάλη προσοχή*, ὅταν ὁμιλῶμεν διὰ θερμότητα καὶ θερμοκρασίαν ἰδίως εἰς τὰ ἑλληνικά, διότι εἰς τὰς ξένας γλώσσας ἡ *θερμότης* λέγεται τελείως διαφορετικὰ ἀπὸ τὴν *θερμοκρασίαν* *, ἐκτὸς τούτου τὸ ὄργανον, διὰ τοῦ ὁποίου μετρεῖται ἡ θερμοκρασία τὸ ὀνομάζομεν *θερμόμετρον* (ἀντὶ τοῦ ὀρθοῦ, θερμοκρασιόμετρον) καὶ παρασυρόμεθα εἰς τὴν ἐσφαλμένην ἀντίληψιν ὅτι αὐτὸ μετρεῖ τὴν θερμότητα.

Ἐπαναλαμβάνομεν λοιπόν:

α) *Θερμότης* = μία τῶν μορφῶν μεταφερομένης ἀπὸ σώματος εἰς σῶμα ἐνεργείας. Ἀναφέρεται εἰδικῶς εἰς πολὺ μεγάλο πλῆθος μορίων, ποὺ κινοῦνται ἄτακτα μὲ διαφόρους ταχύτητας ἢ ταλαντεύονται κατὰ διαφόρους τρόπους. Θερμότης εἰς ἕνα μόνον μόριον δὲν νοεῖται, διότι τότε πρόκειται διὰ τὴν κινητικὴν ἐνέργειάν του.

β) *Θερμοκρασία* = φυσικὸν μέγεθος, ποὺ χαρακτηρίζει τὴν θερμικὴν (μοριακὴν) κίνησιν τῶν σωμάτων. Ὅσον μεγαλύτεραι εἶναι αἱ κατὰ μέσον ὅρον κινητικαὶ ἐνέργειαι καὶ πλατύτεραι αἱ ταλαντώσεις τῶν μορίων του, τόσον θερμότερον (ὀρθότερα, θερμοκρασιώτερον) εἶναι τὸ σῶμα. Θερμοκρασία δὲν νοεῖται οὔτε δι' ἕνα μόριον οὔτε διὰ πολλὰ μόρια εὐθυγράμμως ἢ μὲ τὴν αὐτὴν ταχύτητα κινούμενα.

γ) *Θερμαίνω* = προσφέρω ἐνέργειαν κάποιας μορφῆς καὶ προκαλῶ αὔξησιν τῶν διαφόρων κινητικῶν ἐνεργειῶν τῶν μορίων τοῦ σώματος, χαλάρωσιν τῶν συνδέσμων των ἢ καί, τέλος, μετατροπὴν τῆς καταστάσεώς του (τῆξις, ἐξαέρωσις καὶ τὸ ἀντίθετον, ὑγροποίησις, πῆξις).

δ) *Θερμόμετρον* = θερμοκρασιόμετρον, ὄργανον βαθμολογημένον εἰς μονάδας θερμοκρασίας μὴ δυνάμενον νὰ μετρήσῃ θερμότητα, τὴν ὁποίαν μετρεῖ τὸ *θερμιδόμετρον* (παράγρ. 13 · 2).

Ὡς κάτι ἀνάλογον μὲ τὰ ἀνωτέρω θὰ ἐλέγαμεν παραστατικώτερον: Ἔχομεν μία δεξαμενὴν μὲ πολλὰ ψαράκια (μόρια) ἄτακτα, ἄρρυθμα κινούμενα εἰς ὅλον τὸν ὄγκον τοῦ ὕδατος. Ρίπτομεν ποσότητα τροφῆς (ἐνέργεια) σκορπίζοντες αὐτὴν εἰς ὅλον τὸ ὕδωρ. Παρατηροῦμεν τότε, κατὰ μέσον ὅρον, αὔξησιν τῆς ταχύτητός των, μεγαλυτέραν ἀταξίαν, περισσοτέρας συγκρούσεις κ.λπ. (αὔξησις θερμοκρασίας).

---

* Ἀγγλιστὶ Heat - Temperature, Γαλλιστὶ Chaleur - Température, Γερμανιστὶ Waerme - Temperatur.

Ἡ αὐτὴ ὅμως ποσότης ἐνεργείας προσφερομένη ὡς θερμότης εἰς διάφορα σώματα, δὲν σημαίνει ὅτι θὰ αὐξήση τὴν θερμοκρασίαν ἐξ ἴσου. Δηλαδὴ ἡ αὐτὴ ποσότης τροφῆς δὲν σημαίνει ὅτι εἰς διαφόρους δεξαμενὰς θὰ προκαλέση τὴν αὐτὴν ἀναταραχήν, διότι ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν ἀριθμὸν τῶν ψαριῶν ποὺ ἔχομεν, ἂν εἶναι μεγάλα ἢ μικρὰ κ.λπ. Ἀντιστρόφως, δύο *τυχόντα* σώματα τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας δὲν πρέπει ἀπαραιτήτως νὰ θεωρῶνται ὅτι περικλείουν τὴν αὐτὴν ποσότητα ἐσωτερικῆς ἐνεργείας καὶ ὅτι δυνάμεθα νὰ πάρωμεν ἀπὸ αὐτὰ τὴν αὐτὴν ποσότητα θερμότητος. Π.χ. ἕνα μεταλλικὸν δίδραχμον καὶ ἕνα ὅμοιόν του ἀπὸ πλαστικόν, ὅταν τὰ ἐκθέσωμεν εἰς τὸν Ἥλιον ἐπὶ ἀρκετὸν χρόνον, ἀποκτοῦν τὴν ἰδίαν θερμοκρασίαν, χωρὶς νὰ ἔχουν ἀναγκαστικῶς ἀπορροφήσει τὴν ἰδίαν θερμότητα, ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται κάθε φορὰν ἀπὸ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ σώματος (Κεφαλ. 13). Τὸ αὐτὸ συμβαίνει, ὅταν ἔχωμεν δύο τυχόντα δοχεῖα μὲ ἀέριον τῆς αὐτῆς πιέσεως· προφανῶς δὲν πρέπει νὰ λέγωμεν ὅτι ἔχουν καὶ τὴν ἰδίαν ποσότητα ἀερίου.

Πάντως, ἐὰν δὲν ὑπάρχη διαφορὰ πιέσεως, ροὴ ἀερίου ἀπὸ δοχείου εἰς δοχεῖον δὲν γίνεται. Καθ' ὅμοιον τρόπον, ὅταν δὲν ὑφίσταται διαφορὰ θερμοκρασίας μεταξὺ σωμάτων, ποὺ εὑρίσκονται εἰς καλὴν (θερμικὴν) ἐπαφήν, μετάδοσις θερμότητος δὲν γίνεται. Διὰ νὰ συμβῆ ἐξίσωσις θερμοκρασιῶν, δηλαδὴ θερμικὴ *ἰσορροπία*, χρειαζόμεθα στενὴν μοριακὴν ἐπαφήν, ὥστε νὰ μοιρασθῆ ἡ ἐνέργεια ἐξ ἴσου εἰς ὅλα τὰ μόρια καὶ τῶν δύο σωμάτων.

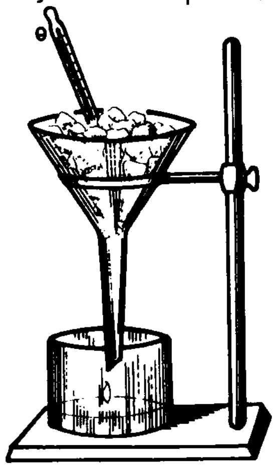
Προσοχή : Εἰς πολλὰς περιπτώσεις νομίζομεν ὅτι ἕνα σῶμα ἔχει μεγαλυτέραν θερμοκρασίαν ἀπὸ ἕνα ἄλλο, ἐνῶ καὶ τὰ δύο ἔχουν τὴν αὐτήν, διότι μᾶς ἀπατᾶ ἡ ταχεῖα μετάδοσις τῆς θερμότητος εἰς τὸ σῶμα μας καὶ ὁ ἐξ αὐτῆς κίνδυνος. Π.χ. ὅταν βαδίσωμεν ξυπόλυτοι τὸ καλοκαίρι εἰς τὸ ὕπαιθρον ἐπάνω εἰς λαμαρίναν ἢ εἰς σανίδα ἐκτεθειμένην εἰς τὸν ἥλιον, ἔχομεν τὴν ἐντύπωσιν ὅτι ἡ λαμαρίνα εἶναι πολὺ θερμοτέρα καὶ ὅμως τὰ δύο αὐτὰ σώματα εὑρίσκονται εἰς θερμικὴν ἰσορροπίαν μὲ τὸ περιβάλλον των, ἀλλὰ τὸ μέταλλον παρέχει εἰς τοὺς πόδας μας ($\theta = 37^0$ C) εὐκολώτερα τὴν θερμότητά του. Τουναντίον τὴν νύκτα, ποὺ σχετικῶς ψύχεται ἡ λαμαρίνα, φαίνεται ψυχροτέρα ἀπὸ τὴν σανίδα, διότι ἀφαιρεῖ ταχύτερα θερμότητα ἀπὸ τοὺς πόδας μας.

Συμπέρασμα: Δὲν πρέπει νὰ ἔχωμεν ἐμπιστοσύνην εἰς τὴν ὑποκειμενικὴν ἐκτίμησιν τοῦ θερμοῦ ἢ ψυχροῦ, ἀλλὰ νὰ χρησιμοποιῶμεν ὄργανα μετρήσεως τῆς θερμοκρασίας.

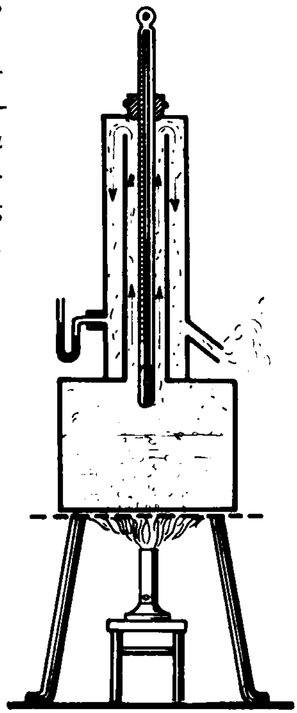
11 · 2 Μέτρησις θερμοκρασίας. Μετρηταὶ καὶ ρυθμισταὶ αὐτῆς.

Ἡ αὔξησις τῆς θερμοκρασίας ἑνὸς σώματος προκαλεῖ γενικῶς διαστολὴν δηλαδὴ αὔξησιν τῶν διαστάσεων του, ἐκτὸς μερικῶν περιπτώσεων σωμάτων πολυπλόκου μοριακῆς κατασκευῆς. Οὕτω, τὸ ὕδωρ κάτω μιᾶς ὡρισμένης θερμοκρασίας (4^0 C) διαστέλλεται ὄχι θερμαινόμενον ἀλλὰ ψυχόμενον, ἢ τὸ ἐλαστικὸν (καουτσοὺκ) θερμαινόμενον (100^0) συστέλλεται ἀντὶ νὰ διασταλῇ. Ἐκτὸς τούτου ἡ θερμοκρασία μεταβάλλει τὰς ἠλεκτρικὰς ἢ τὰς ὀπτικὰς ἰδιότητας τῶν σωμάτων.

Δυνάμεθα λοιπὸν κατὰ διαφόρους τρόπους νὰ μετρήσωμεν τὴν θερμοκρασίαν κατασκευάζοντες ὄργανα καλούμενα *θερμόμετρα* (ἐπαναλαμβάνομεν θὰ ἔπρεπε νὰ ὀνομάζωνται *θερμοκρασιόμετρα*) στηριζόμενα εἰς τὰς μεταβολὰς τῶν ἰδιοτήτων τῶν σωμάτων.



Σχ. 11 · 2 α.


Σχ. 11 · 2 β.

Πρὸ πάσης ὅμως κατασκευῆς πρέπει νὰ ὁρίσωμεν τί θὰ ἐννοοῦμεν ὡς ἀρχὴν τῆς κλίμακος τῶν μετρήσεών μας.

Κατὰ καιροὺς ἔχουν προταθῆ διάφοροι κλίμακες, ἐκ τῶν ὁποίων χρησιμοποιοῦνται σήμερον αἱ ἑξῆς τρεῖς:

α) *Κλῖμαξ Κελσίου.* Μηδὲν βαθμῶν ὁρίζεται ἡ θερμοκρασία τριμμάτων καθαροῦ πάγου, ποὺ τήκονται, ὅταν ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις εἶναι 760 Torr (σχ. 11 · 2α). Ἑκατὸν βαθμῶν θερμοκρασία ἔχουν οἱ ἀτμοὶ ζέοντος καθαροῦ ὕδατος, ὅταν ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις εἶναι 760 Torr (σχ. 11 · 2β), τὴν ἀπόστασιν μεταξὺ τῶν δύο ἐνδείξεων διαιροῦμεν αὐθαιρέτως εἰς 100 ἴσα μέρη, ποὺ καλοῦμεν βαθμοὺς Κελσίου.

β) *Κλῖμαξ Φαρενάιτ.* Παλαιὰ ἀγγλικὴ κλῖμαξ, ποὺ ἀχρηστεύεται μὲ τὴν πάροδον τῶν ἐτῶν. Τὸ μηδὲν Κελσίου, δηλαδὴ ἡ τῆξις τοῦ πάγου ἀντιστοιχεῖ σὲ 32^0 F καὶ οἱ 100^0 C εἰς 212^0 F.

γ) *Ἀπόλυτος Κλῖμαξ ἢ Κέλβιν.* Ἡ κλῖμαξ Κελσίου μὲ τὴν προσθήκην 273^0 μετατοπίζει τὸ μηδέν της εἰς τὸ –273^0, ποὺ καλεῖται ἀπόλυτον 0^0 K.

Ἑπομένως ἔχομεν:	^{0}C	^{0}F	^{0}K
βρασμὸς ὕδατος	100	212	373
τῆξις πάγου	0	32	273
ψυκτικὸν μῖγμα πάγος - ἁλάτι (3:1)	–21	–6	252
ἀπόλυτον μηδὲν	–273	–459,5	0

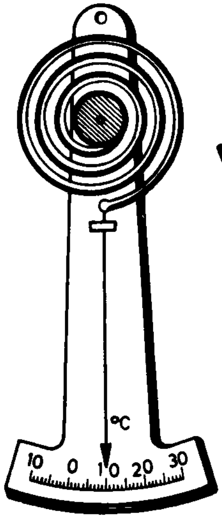
Μετατροπαί: $K = C + 273 \quad F = \frac{9C}{5} + 32.$

Οὕτως, ἡ κανονικὴ θερμοκρασία τοῦ ἀνθρώπου εἶναι 37^0 C ἢ 98,6^0 F. Ἀπαραίτητος προϋπόθεσις διὰ τὴν μέτρησιν τῆς θερμοκρασίας εἶναι ἡ καλὴ θερμικὴ ἐπαφὴ τοῦ θερμομέτρου πρὸς τὸ σῶμα καὶ ὁ ἐπαρκὴς χρόνος διὰ νὰ ἀποκατασταθῇ θερμικὴ ἰσορροπία.

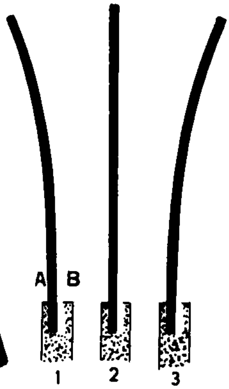
Ἐκ τῶν θερμομέτρων τὰ εὐθηνότερα καὶ εὐχρηστότερα εἶναι τὰ *διμεταλλικὰ* (σχ. 11 · 2γ) στερούμενα μεγάλης ἀκριβείας. Ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἔλασμα ὅμοιον μὲ ἐλατήριον ἐκ δύο μετάλλων, ποὺ διαστέλλονται ἀνίσως. Ἐὰν π.χ. τὸ μέταλλον Α (σχ. 11 · 2δ) διαστέλλεται περισσότερον ἀπὸ τὸ Β, τότε τὸ καμπύλον ἔλασμα θερμαινόμενον ἀνοίγει, τανύεται, εὐθυγραμμίζεται καὶ καμπυλοῦται ἀντιστρόφως (1, 2, 3).

Ὅταν τὸ Β διαστέλλεται περισσότερον ἀπὸ τὸ Α, τότε τὸ τόξον (1) καμπυλώνεται περισσότερον. Αὐτὰ τὰ διμεταλλικὰ θερμόμετρα δύνανται νὰ κάνουν διακοπὰς καὶ ἐπαφὰς ἠλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ νὰ μᾶς χρησιμεύσουν ὡς *ρυθμισταὶ* θερμοκρασίας εἰς ψυγεῖα, καλοριφέρ, σίδηρα σιδηρώματος κ.λπ.

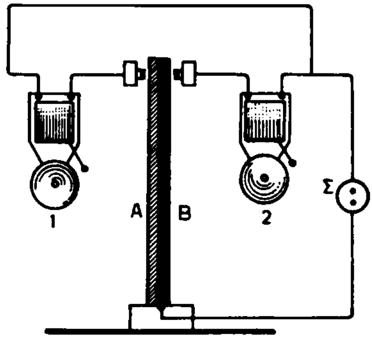
Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 11 · 2 ε, συνδέομεν πηγὴν ἠλεκτρικῆς τάσεως Σ διὰ κώδωνος ἢ μηχανῆς πρὸς τὸ διμεταλλικὸν ἔλασμα. Μόλις τὸ ἔλασμα θερμανθῇ, καμπυλώνεται (διαστολὴ Β ⟩ τῆς Α), γίνεται ἡ ἠλεκτρικὴ ἐπαφὴ καὶ τὸ ψυγεῖον ἐργάζεται ἢ κτυπᾷ τὸν κώδωνα 1



Σχ. 11 · 2 γ.



Σχ. 11 · 2 δ.



Σχ. 11 · 2 ε.

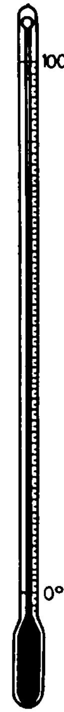
διὰ νὰ μᾶς εἰδοποιήσῃ σχετικὰ μὲ τὴν ἀνυψωθεῖσαν θερμοκρασίαν εἰς μίαν ἀποθήκην. Ἐὰν τὸ ψυγεῖον ψυχθῇ, διακόπτεται πάλιν ἡ ἐπαφὴ ἢ ἂν ἡ ἀποθήκη ψυχθῇ ἐπικινδύνως διὰ τὴν ποιότητα τῶν τροφῶν κτυπᾷ ὁ κώδων 2 κ.λπ.

Σχ. 11 · 2 στ.

Ἄλλο μεταλλικὸν θερμόμετρον εἶναι τὸ θερμόμετρον *ἠλεκτρικῆς ἀντιστάσεως*. Ἀποτελεῖται ἀπὸ λεπτὸν σύρμα πλατίνης (λευκοχρύσου) ἢ ἄλλου ὑλικοῦ (ἄνθραξ), τοῦ ὁποίου ἡ ἀντίστασις εἰς τὸ ἠλεκτρικὸν ρεῦμα ἀλλάσσει μὲ τὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας. Εἶναι ὄργανον μεγάλων περιοχῶν καὶ χρειάζεται μετρητὴν ἀντιστάσεως καλῆς ἀκριβείας.

Χρήσιμον διμεταλλικὸν θερμόμετρον εἶναι καὶ τὸ *θερμοηλεκτρι-*

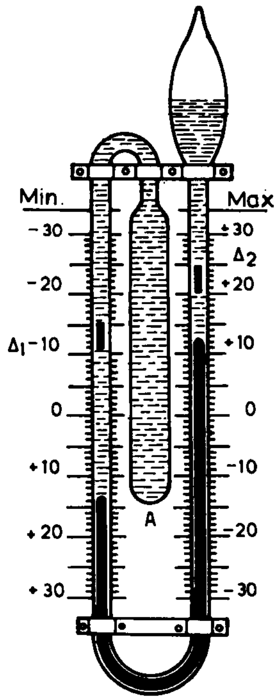
κόν: Εἶναι γνωστὸν ὅτι δύο λεπτὰ διαφορετικὰ μέταλλα ἡνωμένα εἰς ἕνα σημεῖον παράγουν τάσιν, γίνονται δηλαδὴ ὅπως μία μικρὰ ἠλεκτρικὴ στήλη, ὅταν ἡ ἐπαφή των θερμανθῇ καὶ τὸ ὑπόλοιπον μέρος των ψύχεται. Ἑπομένως μὲ ἕνα καλὸν ἠλεκτρικὸν ὄργανον μετροῦμεν τὴν τάσιν καὶ ὑπολογίζομεν τὴν θερμοκρασίαν, ἢ ἀντὶ βὸλτ γράφομεν εἰς τὸ ὄργανον τοὺς βαθμοὺς Κελσίου (σχ. 11 · 2 στ). Εἶναι ὄργανον μεγάλης ἀκριβείας, ἰδίως ὅταν ληφθοῦν ὡρισμέναι προφυλάξεις. Εἰς τὴν βιομηχανίαν τελευταίως εἰσήχθησαν τὰ *θερμοχρώματα*. Εἶναι ὡς τὰ κοινὰ μολύβια καὶ χαράσσομεν δι' αὐτῶν χρωματιστὰς γραμμὰς ἐπὶ τοῦ πρὸς θέρμανσιν σώματος, ὁπότε τὸ χρῶμα των ἀλλάσσει, ὅταν ἡ θερμοκρασία φθάσῃ εἰς ὡρισμένους βαθμούς. Π.χ. ἅλας ἐρυθρὸν ὑδραργύρου - ἀργύρου - χαλκοῦ γίνεται βαθέως καφὲ εἰς τοὺς 70^0.



Σχ. 11 · 2 ζ.

Πολὺ ὀλιγώτερον χρησιμοποιοῦνται σήμερον εἰς τὴν τεχνικὴν τὰ ὑγρὰ θερμόμετρα, ὅπως τὰ ὑάλινα ὑδραργυρικὰ ἢ οἰνοπνευματικὰ ἢ ἄλλου εἰδικοῦ ὑγροῦ. Εἶναι συνήθως κλειστοὶ λεπτοὶ ὑάλινοι σωλῆνες καταλήγοντες εἰς μικρὰν ἀποθήκην ὑγροῦ πρὸς τὰ κάτω καὶ διεύρυνσιν ἀσφαλείας ἔναντι τῆς διαστολῆς πρὸς τὰ ἄνω (σχ. 11 · 2 ζ).

Πληρώνονται ὑπὸ θέρμανσιν μὲ τὸ ὑγρὸν καὶ κατόπιν κλείονται διὰ τήξεως τῆς ὑάλου. Ἡ βαθμολογία γίνεται ἐντὸς τριμμάτων πάγου (0^0 C) καὶ ἐντὸς ἀτμοῦ βράζοντος ὕδατος (100^0 C). Ἡ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν δύο χαραγῶν, αἱ ὁποῖαι δεικνύουν τὸ ποῦ ἔφθασε κάθε φορὰν ὁ ὑδράργυρος διαιρεῖται εἰς 100 ἴσας διαιρέσεις (βαθμοὺς Κελσίου). Παραλλαγὴ τοῦ θερμομέτρου αὐτοῦ εἶναι τὸ *ἰατρικὸν θερμόμετρον*, ποὺ φέρει μίαν τεθλασμένην στένωσιν πλησίον τῆς ἀποθήκης τοῦ Hg. Ὅταν τὸ θερμόμετρον θερμαίνεται, ὁ ὑδράργυρος διαστελλόμενος ὑπερβαίνει τὴν στένωσιν καὶ ἀνέρχεται. Ὅταν ψυχθῇ, τότε ὁ Hg τῆς ἀποθήκης του συστέλλεται καὶ διακόπτεται ἡ στήλη εἰς τὴν στένωσιν, ὁπότε μένει ἄνω τῆς στενώσεως τὸ ὕψος τῆς στήλης ἀμετάβλητον. Διὰ τὴν ἐκ νέου χρησιμοποίησιν τοῦ θερμομέτρου πρέπει ἡ στήλη νὰ ἐξαναγκασθῇ νὰ κατέλθῃ καὶ νὰ ἑνωθῇ μὲ τὸν ὑδράργυρον τῆς ἀποθήκης. Πρὸς τοῦτο τὸ τινάσσομεν ἀποτόμως ἢ ἐκτελοῦμεν κυκλικὴν κίνησιν, ὥστε νὰ ἀναπτυχθοῦν ἰσχυραὶ δυνάμεις ἀδρανείας, αἱ ὁποῖαι νὰ ὠθήσουν τὸν ὑδράργυρον τῆς στήλης εἰς τὸ νὰ διέλθῃ διὰ τοῦ στενώματος καὶ νὰ ἑνωθῇ μὲ τὸν ὑδράργυρον τῆς ἀποθήκης τοῦ θερμομέτρου. Εἶναι συνεπῶς τὸ θερμόμετρον τοῦτο ὄργανον *μεγίστου* (μεγιστοβάθμιον), διότι δεικνύει ποία ἦτο ἡ μεγίστη θερμοκρασία εἰς χρόνον προηγούμενον ἐκείνου, ποὺ ἦτο κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς ἀναγνώσεως τοῦ ὀργάνου. Δηλαδὴ δεικνύει ποία ἦτο ἡ μεγίστη θερμοκρασία τοῦ ἀσθενοῦς, πρὶν τοῦ ἀφαιρέσωμεν τὸ θερμόμετρον. Τὸ θερμόμετρον δὲν εἶναι ἀπαραίτητον νὰ μείνῃ πολλὴν ὥραν ἐπὶ τοῦ ἀσθενοῦς· ἀρκοῦν 3 ἕως 4 λεπτὰ καλῆς ἐπαφῆς μὲ τὸ σῶμα του. Ἀνάλογα ὄργανα ὑπάρχουν καὶ διὰ τὴν ἐλαχίστην θερμοκρασίαν, ποὺ ἐπαρουσιάσθη π.χ. εἰς ἕνα ψυγεῖον κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς νυκτός, ὅπως καὶ τὰ συνηθέστερα εἰς τὸ ἐμπόριον μικρὰ μεγιστο-ἐλαχιστοβάθμια θερμόμετρα μὲ δύο δείκτας ἀπὸ ἐσμαλτωμένον σιδηροῦν σύρμα ἐντὸς τοῦ σωλῆνος των (σχ. 11 · 2 η). Ἔχουν σχῆμα ὑοειδὲς μὲ δύο ἀποθήκας οἰνοπνεύματος, ἐκ τῶν ὁποίων ἡ μία εἶναι ἐντελῶς πλήρης. Πρὸς τὸ κάτω μέρος περιέχουν ὑδράργυρον, ποὺ διακόπτει τὸ οἰνόπνευμα καὶ φέρει ἐπάνω εἰς τὴν ἐπιφάνειάν του τοὺς σιδηροῦς δείκτας.



Σχ. 11 · 2 η.

Ὅταν τὸ οἰνόπνευμα θερμανθῇ, διαστέλλεται εἰς τὴν ἀποθήκην Α, ὀλισθαίνει γύρω ἀπὸ τὸν δείκτην Δ_1 καὶ ὠθεῖ τὸν ὑδράργυρον, ὁ ὁποῖος ἀνέρχεται εἰς τὸ ἄλλο σκέλος, ὠθεῖ τὸν δείκτη Δ_2 καὶ οὕτω πως σημειοῦται ἡ μεγίστη θερμοκρασία.

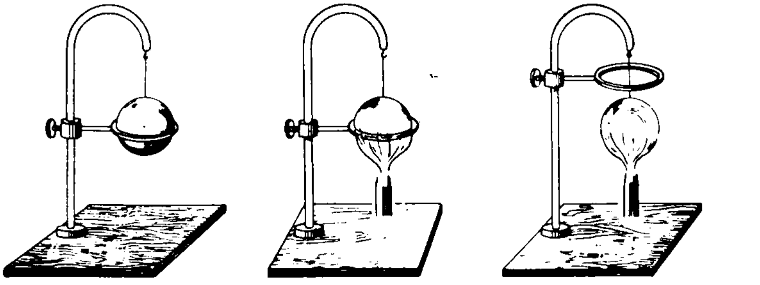
Ὅταν ἐπέλθῃ ψῦξις, τὸ οἰνόπνευμα τῆς ἀποθήκης Α συστέλλεται, ὁ ὑδράργυρος τὸ ἀκολουθεῖ καὶ μένει ὁ δείκτης Δ_2 εἰς τὴν θέσιν τῆς μεγίστης θερμοκρασίας, ἐνῷ κινεῖται τώρα ὁ δείκτης Δ_1 τῆς ἐλαχίστης θερμοκρασίας. Ἑπομένως εἰς οἱανδήποτε στιγμὴν καὶ ἂν παρατηρήσωμεν τὸ θερμόμετρον, ἀφ' ἑνὸς μὲν θὰ ἀναγνώσωμεν τὴν θερμοκρασίαν ἐκείνης τῆς στιγμῆς, ἀφ' ἑτέρου ἀπὸ τὴν θέσιν τῶν δεικτῶν θὰ ἀναγνώσωμεν τὴν ἐλαχίστην καὶ μεγίστην θερμοκρασίαν, ποὺ συνέβη κατὰ τὴν ἀπουσίαν μας. Τοὺς δείκτας ἐπαναφέρωμεν εἰς ἐπαφὴν μὲ τὸν Hg δι' ἑνὸς μικροῦ μαγνήτου μετακινοῦντες αὐτὸν ἐπάνω εἰς τὸν σωλῆνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 12

ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

12 · 1 Διαστολὴ τῶν στερεῶν.

Σχεδὸν ὅλων τῶν στερεῶν σωμάτων αὐξάνονται αἱ διαστάσεις των, ὅταν αὐξηθῇ ἡ θερμοκρασία των. Ἕνα ἀπὸ τὰ γνωστότερα πειράματα γίνεται μὲ μίαν μεταλλικὴν σφαῖραν, ἡ ὁποία μόλις διέρχεται δι' ἑνὸς δακτυλίου ἐξ ὁμοίου ὑλικοῦ. Ἐὰν θερμάνωμεν τὴν σφαῖραν — χωρὶς νὰ θερμάνωμεν καὶ τὸν δακτύλιον — τότε αὐτὴ διαστέλλεται, δὲν περνᾷ καὶ κάθεται ἐπάνω εἰς τὸν δακτύλιον [σχ. 12 · 1 α (α)]. Ὅταν ὅμως θερμανθῇ καὶ ὁ *δακτύλιος* [σχ. 12 · 1 α (β)], τότε διαστέλλεται καὶ αὐτὸς ἡ δὲ σφαῖρα διέρχεται διὰ μέσου αὐτοῦ, ὅπως ἀκριβῶς καὶ προηγουμένως, ὅταν ἐν ἀρχῇ τὸ σύστημα σφαῖρα - δακτύλιος ἦτο ψυχρὸν [σχ. 12 · 1 α (γ)].



α β γ

Σχ. 12 · 1 α.

Μὲ κατάλληλα ὄργανα (παχύμετρα ἀκριβείας) δυνάμεθα νὰ μετρήσωμεν τὸ κατὰ πόσον ηὐξήθη — διὰ 100° C — ἡ διάμετρος L τῆς σφαίρας, τὴν ὁποίαν ἀρχικῶς εἴχομεν ψύξει μὲ τρίμματα πάγου (0° C) καὶ ἔπειτα τὴν ἐξεθέσαμεν εἰς ἀτμοὺς ζέοντος ὕδατος (100° C). Ἂν θεωρήσωμεν ὅτι εἰς τὴν ἀρχὴν ἡ διάμετρος ἢ γενικῶς τὸ μῆκος ἑνὸς σώματος ἦτο L_0 καὶ κατόπιν εἰς θ βαθμοὺς ηὐξήθη καὶ ἔγινε L_θ, τότε προφανῶς θὰ ἔχωμεν : νέον μῆκος = ἀρχικὸν μῆκος + ἡ αὔξησις αὐτοῦ ἢ $L_\theta = L_0 + \Delta L_0$ (τὸ σύμβολον Δ δηλοῖ διαφοράν, μεταβολήν).

Ἡ αὔξησις ΔL_0 εἶναι βεβαίως τόσον μεγαλυτέρα, ὅσον περισσότερον τὸ ἐθερμάναμεν. Ἐξαρτᾶται ἐπίσης ἐκ τοῦ ἀρχικοῦ μήκους (δηλαδὴ εἶναι μεγάλη ἡ αὔξησις, ὅταν τὸ ἀρχικὸν μῆκος ἦτο μεγάλο) καὶ τέλος ἀπὸ τὴν οὐσίαν, ἐκ τῆς ὁποίας εἶναι κατεσκευασμένον τὸ σῶμα. Δηλαδὴ ἔχομεν ἕνα *συντελεστὴν γραμμικῆς θερμικῆς διαστολῆς* ἢ ἄλλως συντελεστὴν διαστολῆς μήκους (α) χαρακτηριστικὸν διὰ κάθε ποιότητα σώματος. Συνεπῶς γράφομεν: $\Delta L_0 = \alpha L_0 \theta$ καὶ βάσει τούτου

$$L_\theta = L_0 + \alpha L_0 \theta \quad ἢ \quad L_\theta = L_0\,(1 + \alpha\theta).$$

Ὁ συντελεστὴς α θὰ ἰσοῦται:

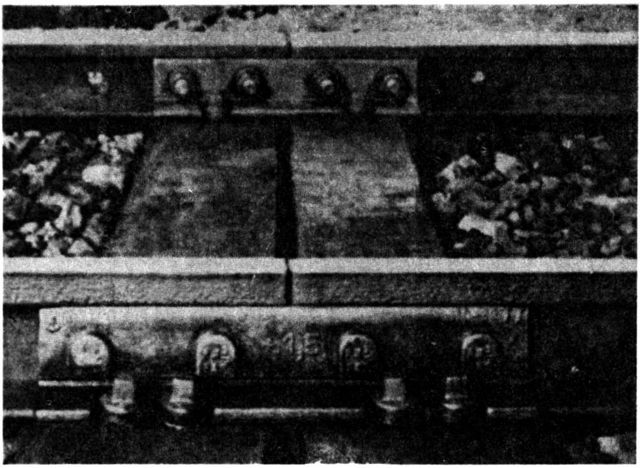
$$\alpha = \frac{L_\theta - L_0}{L_0 \theta} = \frac{\Delta L_0}{L_0 \theta}$$

καὶ ἐπειδὴ ἡ διαφορὰ L_θ — L_0 παριστᾶ αὔξησιν τοῦ μήκους, δηλαδὴ ἕνα τμῆμα μήκους καὶ εἰς τὸν παρονομαστὴν πάλιν ἔχομεν μῆκος, τότε αἱ μονάδες μήκους ἀλληλοεξαλείφονται καὶ μένει μόνον ἡ μονὰς τῆς θερμοκρασίας, δηλαδὴ ὁ βαθμὸς (βλ. Εἰσαγωγήν). Ἑπομένως ὁ συντελεστὴς α ἐκφράζεται μὲ ἕνα ἀριθμὸν ἀνὰ βαθμὸν (Πίναξ 12 · 1) ἡ δὲ σχέσις (1 + αθ) ὀνομάζεται *διώνυμον διαστολῆς*.

Π Ι Ν Α Ξ 12 · 1.

Ἀλουμίνιον	23	10^{-6}/Grad	
Χαλκὸς	17	»	»
Σίδηρος	12	»	»
Ὕαλος	8	»	»
Ὕαλος πυρὲξ	3	»	»
Χαλαζίας (Quartz)	0,6	»	»
Εἰδικὸν κρᾶμα ἰνβὰρ (Invar)	0,3	»	»

Ἀπὸ τὸν πίνακα αὐτὸν φαίνεται ὅτι οἱ συντελεσταὶ γραμμικῆς διαστολῆς εἶναι γενικῶς μικροί, ὄχι ὅμως καὶ ἀπολύτως ἀμελητέοι. Ὅταν τὰ διαστελλόμενα μήκη εἶναι μεγάλα, ὅπως εἰς τὴν σιδηροδρομικὴ γραμμὴν ἢ τὰς ράβδους μέσα εἰς τὸ σκυρόδεμα (μπετὸν) κ.λπ., τότε ἀναπτύσσονται λόγῳ διαστολῶν μεγάλαι δυνάμεις καὶ ἔχομεν ζημίας εἰς τὰς ἐγκαταστάσεις. Ἑπομένως αὐτὸς εἶναι ὁ λόγος ποὺ ἀφίνεται κάποια μικρὰ ἀπόστασις μεταξὺ τῶν σιδηροδρομικῶν ραγῶν (σχ. 12 · 1 β). Ὅπου ὅμως εἶναι δυνατὸν νὰ τοποθετηθοῦν αἱ γραμμαὶ μέσα εἰς τὸ σκυρόδεμα, τότε δυνάμεθα νὰ τὰς κολλήσωμεν, διότι ὁ σίδηρος καὶ τὸ καλῆς κατασκευῆς καὶ ἀναμίξεως σκυρόδεμα διαστέλλονται ἐξ ἴσου. Ἄρα δὲν θὰ σπάσουν ἀπὸ ἀνομοιομόρφους διαστολὰς οἱ στῦλοι τοῦ μπετόν, διότι ὅλος ὁ στῦλος (τσιμέντο, χαλίκια, σίδηρος) διαστέλλεται, ὡς ἐὰν ἀπετελεῖτο ἀπὸ ἕνα μόνον ὑλικόν. Ὁμοίας περιπτώσεις ἔχομεν καὶ εἰς τοὺς ἠλεκτρικοὺς λαμπτῆρας, ὅπου πρέπει τὰ σύρματα νὰ περάσουν μέσα ἀπὸ τὴν ὕαλον. Ἂν τὸ μέταλλον τῶν συρμάτων διαστέλλεται διαφορετικὰ ἀπὸ τὴν ὕαλον, τότε ἡ ὕαλος ἢ θὰ θραυσθῇ ἢ θὰ ἀποκολληθῇ ἐκ τοῦ σύρματος καὶ γενικῶς θὰ εἰσέλθη ἀὴρ ἐντὸς τῆς λυχνίας, ὁπότε θὰ καῇ τὸ πυρακτωμένον νῆμα της.



Σχ. 12 · 1 β.

Εὐκόλως γίνεται πλέον κατανοητόν, καὶ ἐξηγήσατε μόνοι σας, διατί τὰ μεταλλικὰ στεφάνια πυρώνονται, πρὶν ἐφαρμοσθοῦν εἰς τοὺς τροχοὺς τῶν ἁμαξῶν (κάρων) ἢ διατί πυρώνομεν τὰ μπουλόνια, ποὺ χρησιμοποιοῦμεν διὰ τὴν σύνδεσιν δύο φύλλων λαμαρίνας ἢ διατί εἰς σωλῆνας μεταφορᾶς ἀτμοῦ παρατηροῦμεν εἰς ὡρισμένας θέσεις τὸ σχῆμα ὠμέγα (Ω) κ.ο.κ.

Τὰ καλύτερα ὑλικά, ποὺ σχεδὸν δὲν διαστέλλονται ἢ ὀρθότερον διαστέλλονται τόσον ὀλίγον, ὥστε νὰ μὴ ὑφίστανται ἐντόνους μεταβολάς, εἶναι ὁ χαλαζίας (καθαρὸν SiO_2) καὶ τὸ κρᾶμα σιδηρονικελίου

Invar νέου τύπου. Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸν πίνακα τῶν συντελεστῶν, ἔχουν συγκριτικῶς 5 ἕως 10 φορὰς μικροτέραν διαστολὴν ἀπὸ τὴν ὕαλον πυρὲξ (μαγειρικὰ ὑάλινα σκεύη, ποὺ δὲν θραύονται εὐκόλως, τοποθετούμενα ἐντὸς τῶν φούρνων) καὶ 50 περίπου φορὰς μικροτέραν ἀπὸ τὰ συνήθη μέταλλα, ὅπως ὁ σίδηρος ἢ ὁ χαλκός. Αὐτὸς εἶναι ὁ λόγος, ποὺ εἰς διάφορα ὄργανα μετρήσεως (καλὰ ὡρολόγια, πρότυπα μέτρα, παχύμετρα ἢ νήματα ἐξαρτήσεως κ.λπ.) χρησιμοποιοῦνται τὰ ὑλικὰ Invar καὶ Quartz (χαλαζίας) μὲ μεγάλην ἐπιτυχίαν.

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα.

Ἕνα μέτρον ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀλουμίνιον, ποὺ φέρει δύο χαραγὰς ἀπεχούσας εἰς τὸ 0° C 100 cm. Πόση διαφορὰ θὰ δημιουργηθῇ λόγω διαστολῆς κατὰ τὸ θέρος εἰς τοὺς 30° C.

Λύσις :

Ἔχομεν τὸν τύπον : $L_\theta = L_0\,(1 + \alpha\theta)$ ἢ $L_\theta - L_0 = L_0\alpha\theta$ ὅθεν

διαφορὰ $= 100 \times \frac{23}{10^6} \times 30 = 69 \times 10^{-3}$ τοῦ cm ἢ περίπου 0,7 τοῦ mm

αὔξησις τοῦ μέτρου, ἤτοι διαφορὰ πολὺ μικρὰ διὰ τὸ ἐμπόριον, ἀλλὰ μεγάλη διὰ μετρήσεις ἀκριβείας, ὅπως εἶναι π.χ. αἱ μετρήσεις τῶν τοπογράφων μηχανικῶν.

Ὅταν πρόκειται νὰ ὑπολογισθῇ ἀντὶ τοῦ μήκους κάποια ἐπιφάνεια S ἢ κάποιος ὄγκος στερεοῦ σώματος V, τότε ἔχομεν νὰ πολλαπλασιάσωμεν δύο μήκη διὰ τὴν ἐπιφάνειαν (μῆκος ἐπὶ πλάτος) καὶ τρία διὰ τὸν κυβισμὸν (μῆκος ἐπὶ πλάτος ἐπὶ ὕψος). Θὰ πρέπει λοιπὸν νὰ ἔχωμεν ὡς νέους συντελεστὰς τὸν ἐπιφανειακὸν ε καὶ τὸν κυβικὸν κ. Ἀποδεικνύεται ὅμως εὐκόλως ὅτι — κατὰ μεγάλην προσέγγισιν — ὁ ὑπολογισμὸς εἶναι δυνατὸν νὰ γίνῃ ὅπως καὶ διὰ τὴν γραμμικὴν διαστολὴν μὲ τὴν ἑξῆς παραδοχήν:

$\varepsilon = 2\alpha$ καὶ $\kappa = 3\alpha$ ἤτοι

$S_\theta = S_0\,(1 + \varepsilon\theta)$ καὶ $V_\theta = V_0\,(1 + \kappa\theta)$

[Ὀρθότερον $(1 + \kappa\theta) = (1 + \alpha\theta)^3 = 1 + 3\alpha\theta + 3\alpha^2\theta^2 + \alpha^3\theta^3$, ἐπειδὴ τὸ α μικρὸν παραλείπομεν τοὺς προσθετέους μὲ α^2 ἢ α^3].

Λόγω τῆς διαστολῆς λαμαρίναι μὲ ἠλώσεις γύρω - γύρω ἐξογκοῦνται (φουσκώνουν) τὸ θέρος ἢ σιδηραῖ κατασκευαὶ ὑποστέγων μὲ στηρίξεις ξυλίνας ἢ ἀπὸ τοῦβλα παθαίνουν παραμορφώσεις, ἂν δὲν ὑπολογισθοῦν καὶ ἀντιμετωπισθοῦν καταλλήλως αἱ διαστολαί των.

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα.

Δοχεῖον σιδηροῦν χωρητικότητος ἑνὸς λίτρου εἰς τοὺς 0° C ποιᾶς χωρητικότητος εἶναι εἰς 100° C ;

Λύσις :

Ἕνα λίτρον εἶναι ὄγκος 1000 cm³, ἡ δὲ κοιλότης τοῦ δοχείου θεωρεῖται ὡς ἐὰν ἦτο πλήρης ἀπὸ σίδηρον, ἐφ' ὅσον τὰ τοιχώματα τοῦ δοχείου διαστέλλονται κατὰ τρόπον, ποὺ νὰ αὐξάνῃ ὁ ὄγκος V τῆς κοιλότητος.

Ἄρα $V_\theta = V_0 (1 + 3\alpha\theta)$ ἢ

$V_\theta - V_0 = 3\alpha\theta V_0$ ἀντικαθιστῶντες

ἔχομεν $V_\theta - V_0 = 3 \times \frac{12}{10^6} \times 100 \times 1000$ ἤτοι αὔξησις 3,6 cm³.

12 · 2 Διαστολὴ τῶν ὑγρῶν.

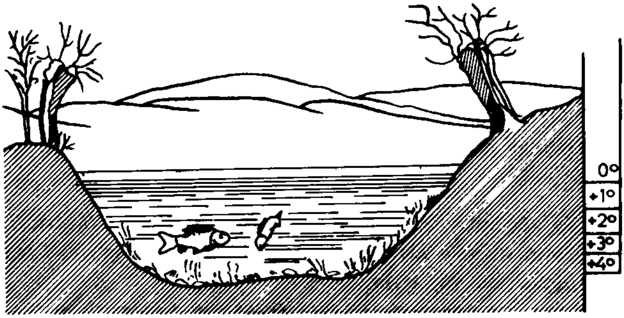
Τὰ ὑγρὰ ἐφ' ὅσον δὲν χαρακτηρίζονται ἀπὸ σχῆμα (παράγρ. 0 · 3), διαστέλλονται μόνον κατ' ὄγκον καὶ μάλιστα περισσότερον ἀπὸ τὰ στερεὰ (περίπου 10 ἕως 50 φορὰς περισσότερον). Οὕτω τὸ οἰνόπνευμα διαστέλλεται 36 φορὰς περισσότερον ἀπὸ τὸν σίδηρον, ὁ ὑδράργυρος 7 φορὰς ἐν σχέσει πρὸς τὴν κοινὴν ὕαλον, τὸ δὲ ὕδωρ 5 φορὰς περισσότερον ἀπὸ τὴν ὕαλον.

Τὸ ὕδωρ ὅμως (ὅπως καὶ μερικὰ ἄλλα σώματα, π.χ. τὸ καουτσοὺκ) δὲν παρουσιάζει πάντοτε διαστολήν, ἀλλὰ ἐντὸς ὡρισμένων ὁρίων θερμοκρασίας συμπεριφέρεται ἀνωμάλως, τὰ δὲ μόριά του συμπλέκονται διαφορετικά, ὁπότε ἀντὶ διαστολῆς τοῦ ὄγκου του ἐμφανίζεται συστολὴ καὶ συνεπῶς ἐλάττωσις τοῦ ὄγκου ἢ ἀντιστοίχως αὔξησις τῆς πυκνότητός του. Ἡ περιοχὴ αὐτὴ τῶν θερμοκρασιῶν εἶναι ἀπὸ 0° ἕως 4° C, ὅπου τὸ ὕδωρ ἔχει τὴν μεγαλυτέραν πυκνότητα, καὶ αὐτὴ λαμβάνεται ὡς μονάς. Δηλαδὴ αὐθαιρέτως ὁρίζομεν τὴν πυκνότητα, ποὺ ἔχει τὸ ὕδωρ, εἰς τοὺς 4° C ὡς ἴσην πρὸς 1 g/cm³ ἢ ἀναλόγως 1 kg ἀνὰ λίτρον ἢ 1 ton ἀνὰ m³.

Ἡ ἀπόδειξις τῆς ἀνωμαλίας αὐτῆς, τῆς ὁποίας εἶναι πολὺ μεγάλη ἡ σημασία διὰ τὴν ζωὴν π.χ. τῶν ὑδροβίων ζώων (σχ. 12 · 2 α) ἐντὸς τῶν λιμνῶν * (παράγρ. 1 · 4, τῆξις - πῆξις), γίνεται μὲ ἕνα ὑάλινον δοχεῖον, ποὺ φέρει στενὸν λαιμὸν μὲ διαιρέσεις (χαραγὰς) ἀκριβοῦς μετρήσεως τοῦ ὄγκου καὶ ὀνομάζεται *διαστολόμετρον* (σχ. 12 · 2 β).

* Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα τὰ ψάρια δὲν παγώνουν, διότι εἰς τὰ κάτω τοῦ πάγου (0° C) στρώματα ὑπάρχει ὕδωρ 4° C.

Τὸ *διαστολόμετρον* τοῦτο πληροῦται μέχρις ἑνὸς σημείου μὲ ὕδωρ μικρᾶς θερμοκρασίας π.χ. 1° C καὶ παρακολουθεῖται ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος, ὅταν τὸ ὄργανον βραδέως



Σχ. 12 · 2 α.


Σχ. 12 · 2 β.

θερμαίνεται. Λέγομεν βραδέως, διότι κάθε δοχεῖον μὲ οἱονδήποτε ὑγρόν, ὅταν τὸ θερμάνωμεν ἀποτόμως, διαστέλλεται, προτοῦ νὰ διασταλῇ τὸ ὑγρὸν καὶ ἐπειδὴ ὁ ὄγκος τοῦ δοχείου μεγαλώνει ἀποτόμως, βλέπομεν τὴν στάθμην νὰ κατέρχεται. Δι' αὐτὸ ἡ θέρμανσις πρέπει νὰ γίνεται ἤρεμα καὶ σταθερά, ὁπότε θὰ διαπιστωθῇ ἡ ἐλάττωσις τοῦ ὄγκου μόνον διὰ τὸ ὕδωρ καὶ δὴ μέχρι τῶν 4° C. Πέραν τοῦ ὁρίου αὐτοῦ τὸ ὕδωρ θερμαινόμενον διαστέλλεται κανονικῶς. Πράγματι λαμβάνοντες αὐθαιρέτως ὡς βάσιν τῶν θερμοκρασιακῶν μεταβολῶν τὴν θερμοκρασίαν τοῦ 0° C, τότε ὕδωρ ὄγκου ἑνὸς λίτρου εἰς τοὺς 0° C θερμαινόμενον μέχρι τῶν 20° C ὑφίσταται τὰς κάτωθι μεταβολάς:

0° C	1 000,00	βάσις	τῶν	μετρήσεών μας	
2° »	999,90	χάνει	0,10	cm³	
4° »	999,87	»	0,13	»	(μεγίστη ἀπώλεια)
6° »	999,90	»	0,10	»	
8° »	999,99	»	0,01	»	
10° »	1 000,14	κερδίζει	0,14	»	
12° »	1 000,32	»	0,32	»	
20° »	1 001,64	»	1,64	»	

ἤτοι ἀπὸ 0° μέχρι 4° C ἐλαττοῦται ὁ ὄγκος του καὶ ἐν συνεχείᾳ ἀρχίζει νὰ τὸν ἀνακτᾶ καὶ τελικῶς νὰ ὑπερβαίνῃ τὸν ὄγκον, ποὺ εἶχε εἰς τοὺς 0° C.

Εἰς ὅλα τὰ πειράματα διαστολῆς τῶν ὑγρῶν εἶναι φανερὸν ὅτι ἐπεμβαίνει ἡ αὔξησις τοῦ ὄγκου τοῦ δοχείου καὶ συνεπῶς πρέπει νὰ τὴν ὑπολογίζωμεν, διότι ἄλλως θὰ μετρήσωμεν συντελεστὴν διαστολῆς μικρότερον τοῦ κανονικοῦ. Τὸν συντελεστὴν αὐτόν, τὸν ὁποῖον προσδιορίζομεν χωρὶς τὴν διόρθωσιν λόγω διαστολῆς τοῦ δοχείου, ἐντὸς τοῦ ὁποίου εὑρίσκεται τὸ ὑγρόν, τὸν ὀνομάζομεν *φαινομενικὸν συντελεστήν*, τὸν δὲ κανονικόν, τὸν ὀρθὸν συντελεστὴν τοῦ ὑγροῦ, καλοῦμεν *ἀπόλυτον συντελεστὴν*.

Παράδειγμα.

Ἕνα παράδειγμα θὰ μᾶς δείξῃ τὴν διαφορὰν μεταξὺ τῶν δύο συντελεστῶν, διαφοράν, ἡ ὁποία ὀφείλεται εἰς τὸν συντελεστὴν διαστολῆς τοῦ δοχείου. Κατὰ προσέγγισιν μάλιστα λαμβάνομεν τὴν σχέσιν:

Συντελεστὴς ἀπόλυτος = ὁ φαινομενικὸς + ὁ κυβικὸς τοῦ δοχείου.

Ἔστω ὅτι τὸ διαστολόμετρον μὲ οἰνόπνευμα ἔδειχνε εἰς τοὺς 0^0 C ὄγκον $20{,}0\ cm^3$ καὶ θερμανθὲν εἰς 40^0 C ἔδειξε ὄγκον $20{,}8\ cm^3$. Ποία ἡ πραγματικὴ αὔξησις τοῦ ὄγκου τοῦ ὑγροῦ ;

α) Ἔχομεν φαινομενικὴν αὔξησιν $20{,}8 - 20{,}0 = 0{,}8\ cm^3$.

β) Γνωρίζομεν ὅτι ὁ κυβικὸς συντελεστὴς τῆς ὑάλου θὰ εἶναι ὁ 3α καὶ ἐπειδὴ $\alpha = 8 \cdot 10^{-6}/\mathrm{grad}$, προκύπτει ὁ κυβικὸς τῆς ὑάλου $= 24 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{grad}$.

Ἄρα ὄγκος τοῦ δοχείου εἰς 40^0 θὰ εἶναι:

$$V_{40} = 20{,}0\left(1 + \frac{24}{10^6} \times 40\right) = 20{,}02.$$

Ἔχομεν λοιπόν: ἀρχικὸν ὄγκον δοχείου 20 cm^3 εἰς 0^0 C

» » ὑγροῦ 20 cm^3 εἰς 0^0 C

τελικὸν ὄγκον δοχείου 20,02 cm^3 εἰς 40^0 C

φαινομενικὸν ὄγκον ὑγροῦ 20,80 cm^3 εἰς 40^0 C ἄρα

ἀπόλυτον ὄγκον ὑγροῦ 20,82 cm^3 εἰς 40^0 C

Μὲ ἄλλους λόγους τὸ ὑγρὸν διωγκώθη κατὰ 0,82 cm^3· ἐπειδὴ ὅμως ἡ κοιλότης τοῦ δοχείου ηὐξήθη κατὰ 0,02, δι' αὐτὸ ἔδειξε διόγκωσιν 0,80 cm^3. Ὥστε πραγματικὰ ἰσχύει ἡ σχέσις:

ἀπόλυτος διαστολὴ = φαινομενικὴ + διαστολὴ τοῦ δοχείου.

12 · 3 Διαστολὴ τῶν ἀερίων.

Εἰς τὴν Ἀεροστατικὴν (παράγρ. 8 · 4) εἴδομεν τὸν νόμον Boyle - Mariotte, ποὺ ἐφαρμόζεται πλήρως εἰς τὰ τέλεια ἀέρια, δηλαδὴ εἰς ἀέρια φανταστικὰ μὴ ὑπάρχοντα εἰς τὴν φύσιν. Παρὰ ταῦτα ὅμως τὰ ἀέρια αὐτὰ εἶναι χρήσιμα διὰ τὴν μελέτην τῶν φαινομένων, διότι θεωροῦμεν τὰ μόριά των ὡς μὴ ἔχοντα καμμίαν σχέσιν τὸ ἕνα πρὸς τὸ ἄλλο (δὲν ὑπάρχουν ἀλληλοεπιδράσεις τῶν μορίων οὔτε δυνάμεις πρὸς τὰ τοιχώματα τοῦ δοχείου), πρᾶγμα ποὺ ἁπλοποιεῖ τοὺς ὑπολογισμούς μας. Τὰ γνωστά μας φυσικὰ ἀέρια, ὅπως τὸ ὀξυγόνον O_2, ἄζωτον N_2, ἥλιον He κ.τλ. πλησιάζουν τόσον περισσότερον εἰς τὰ τέλεια ἀέρια, ὅσον *ἀραιώνονται* ἢ *θερμαίνονται πολύ*, ὁπότε κάθε μόριον εἴτε σπανιώτερον συναντᾶται μὲ ἄλλο εἴτε συγκρουόμενον μὲ ἄλλο δὲν ἐπηρεάζεται πολύ, διότι λόγω τῆς μεγάλης θερμοκρασίας τρέχει γρήγορα.

Ἐπαναλαμβάνομεν ὅθεν τὸν Νόμον Β-Μ, ποὺ μᾶς λέγει ὅτι: *εἰς τὰ τέλεια ἀέρια αἱ πιέσεις των εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογοι τῶν ὄγκων των, ἐφ' ὅσον ἔχομεν πάντοτε τὴν αὐτὴν ποσότητα ἀερίου καὶ τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν.*

Μαθηματικῶς γράφομεν:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ διὰ μᾶζαν καὶ θ σταθεράν,}$$

ἢ γενικώτερον διὰ δοθεῖσαν μᾶζαν καὶ σταθερὰν θερμοκρασίαν:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3 = \ldots\ldots\ldots\ldots \text{σταθερόν.}$$

Μὲ ἄλλους λόγους:

Τὸ γινόμενον πιέσεως ἐπὶ τὸν ὄγκον μένει σταθερόν, ὅταν διὰ δοθεῖσαν μᾶζαν καὶ σταθερὰν θερμοκρασίαν μεταβάλωμεν τὸν ὄγκον ἢ τὴν πίεσιν ἑνὸς τελείου ἀερίου.

Τί συμβαίνει ὅμως, ὅταν μεταβληθῇ ἡ θερμοκρασία τοῦ τελείου ἀερίου; Πῶς ἀλλάσσει τὸ γινόμενον $P \cdot V$;

Τοῦτο μᾶς τὸ λέγει ὁ Νόμος Γκαίυ - Λυσσάκ (Gay - Lussac). Ὁ νόμος αὐτὸς δὲν εἶναι παρὰ ἡ ἐφαρμογὴ τῶν γνωστῶν μας σχέσεων, ποὺ καθορίζουν τὴν διαστολὴν τῶν μηκῶν. Μὲ τὴν διαφορὰν ὅτι τὴν θέσιν τοῦ μήκους εἰς αὐτὰς τὴν ἔχει τὸ γινόμενον $P \cdot V$ (πίεσις × ὄγκον). Ἑπομένως τὸ γινόμενον $P \cdot V$ εἰς τοὺς θ^0 ἰσοῦται μὲ τὸ γινόμενον $P \cdot V$ εἰς τοὺς 0^0, ἐπὶ τὸ διώνυμον τῆς διαστολῆς, ὅπου ὁ συντελεστὴς διαστολῆς εἶναι $\alpha = \frac{1}{273}$ ἀνὰ βαθμόν, εὑρεθεὶς πειραματικῶς ἀπὸ τὰ συνήθη φυσικὰ ἀέρια, τὰ ὁποῖα ἠραιωμένα πλησιάζουν κατὰ τὴν συμπεριφοράν των τὰ «τέλεια».

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα.

Ἔχομεν ἀέριον ὑδρογόνον H_2 ἐντὸς δοχείου ὄγκου 10 λίτρων καὶ πιέσεως 100 ἀτμοσφαιρῶν θερμοκρασίας 30^0 C καὶ μεταφέρομεν αὐτὸ εἰς ἕνα μπαλόνι ἀπὸ πλαστικὸν ὑλικὸν θερμοκρασίας 10^0 C καὶ μὲ τελικὴν πίεσιν 1 ἀτμοσφαίρας. Πόσος θὰ εἶναι ὁ ὄγκος τοῦ μπαλονιοῦ, δεχόμενοι ὅτι τὸ H_2 συμπεριφέρεται ὡς ἰδανικὸν ἀέριον ;

Λύσις :

Ἔχομεν ἀρχικῶς μέν : α) $(P \cdot V)_{30} = (P \cdot V)_0 \, (1 + \alpha \cdot 30)$, τελικῶς δέ :
β) $(P \cdot V)_{10} = (P \cdot V)_0 \, (1 + \alpha \cdot 10)$ ἄρα

$$\frac{(P \cdot V)_{30}}{(P \cdot V)_{10}} = \frac{(1 + \alpha \cdot 30)}{(1 + \alpha \cdot 10)} \quad \text{καὶ}$$

ἀντικαθιστῶντες εὑρίσκομεν τὸ V_{10}, διότι γνωρίζομεν τὰ P_{30}, V_{30} καὶ P_{10}. Ὥστε:

$$\frac{100 \times 10}{1 \times V_{10}} = \frac{\left(1 + \frac{30}{273}\right)}{\left(1 + \frac{10}{273}\right)} \quad \text{καὶ } V_{10} = 935 \text{ λίτρα.}$$

Ὁ Νόμος G - L ἰσχύων διὰ τὸ γινόμενον $P \cdot V$ ἐφαρμόζεται καὶ χωριστὰ διὰ τὴν πίεσιν ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον ($V_0 = V_0$) ἢ τὸν ὄγκον διὰ σταθερὰν πίεσιν ($P_0 = P_0$). Ἤτοι :

$P_0 = P_0 \; (1 + \alpha\theta)$ διὰ V σταθερὸν καὶ

$V_0 = V_0 \; (1 + \alpha\theta)$ διὰ P σταθερόν.

Ὁ συντελεστὴς α εἶναι ἴσος πρὸς τὸ $\frac{1}{273}$ τοῦ P_0 ἢ τοῦ V_0 ἢ τοῦ γινομένου $P_0 \cdot V_0$. Δηλαδὴ διὰ νὰ ἔχωμεν ὀρθὰ ἀποτελέσματα, πρέπει ἐκτὸς ἀπὸ τὸ διώνυμον τῆς διαστολῆς νὰ εὑρίσκεται κάτι, ποὺ νὰ ἀναφέρεται εἰς θερμοκρασίαν μηδὲν Κελσίου, δηλαδὴ τὸ P_0 ἢ τὸ V_0 ἢ τὸ $P_0 \cdot V_0$).

12 · 4 Ἡ ἀπόλυτος θερμοκρασία. Τὸ ἀπόλυτον μηδέν.

Οἱ Νόμοι B - M καὶ G - L δύνανται νὰ συνδυασθοῦν εἰς ἕνα, ἂν ληφθῇ ὑπ' ὄψιν νέα κλῖμαξ θερμοκρασίας, ποὺ νὰ ἀρχίζῃ ἀπὸ τὸ −273 Κελσίου, δηλαδὴ 273 βαθμοὺς κάτω τοῦ μηδενὸς τοῦ πάγου. Τὸ νέον μηδὲν ὀνομάζεται *ἀπόλυτον μηδὲν* καὶ ἡ νέα κλῖμαξ *ἀπόλυτος κλῖμαξ θερμοκρασίας* (σύμβολον T ὄχι θ). Ἑπομένως καλοῦμεν *ἀπόλυτον μηδὲν τὴν θερμοκρασίαν — 273° C, ἡ ὁποία προῆλθεν ἀπὸ τὸν συντελεστὴν τῶν τελείων ἀερίων ἴσον πρὸς τὸ 1/273 ἀνὰ βαθμόν.* Ἂν ὁ συντελεστὴς αὐτός, ὁ ὁποῖος εὑρίσκεται πειραματικῶς βάσει τοῦ νόμου G - L δι' ἠραιωμένα ἀέρια, ἦτο π.χ. 1/383, τότε τὸ ἀπόλυτον μηδὲν θὰ ἦτο −383° κ.ο.κ. Πράγματι ἐκ τοῦ νόμου G - L προκύπτει ὅτι, ἂν ψύξωμεν (ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν) ἕνα ὄγκον V_0 κάτω τοῦ 0° C κατὰ 1°, θὰ ἐλαττωθῇ κατὰ τὸ 1/273 καὶ θὰ γίνῃ : $V_{-1} = V_0 - \frac{V_0}{273}$. Ὅταν ψύξωμεν κατὰ δύο βαθμούς, ὁ ὄγκος θὰ ἐλαττωθῇ πάλιν κατὰ τὸ 1/273, ὄχι ὅμως τοῦ ὄγκου V_{-1} ἀλλὰ τοῦ ὄγκου V_0, διότι, ὅπως εἴπαμεν, τὸ κλάσμα 1/273 ἀναφέρεται πάντοτε εἰς κάτι, ποὺ ἦτο εἰς τοὺς 0^0 C. Ἄρα:

$$V_{-1} = V_0 - \frac{V_0}{273}$$

$$V_{-2} = V_0 - 2 \text{ φορὰς} \left(\frac{V_0}{273}\right)$$

$$V_{-273} = V_0 - 273 \text{ φορὰς} \left(\frac{V_0}{273}\right) = 0.$$

Ἑπομένως εἰς τὴν θερμοκρασίαν –273, δηλαδὴ εἰς τὸ ἀπόλυτον μηδέν, ὁ ὄγκος μηδενίζεται. Βεβαίως τοῦτο δὲν συμβαίνει, διότι ἐν τῷ μεταξὺ παύει νὰ ἰσχύῃ ὁ Νόμος G - L, διότι τὸ ἀέριον παύει νὰ εἶναι περίπου τέλειον καὶ ὄχι μόνον τοῦτο, ἀλλὰ ὑπὸ ὡρισμένας συνθήκας γίνεται ὑγρόν.

Ἐξ ἄλλου διὰ διαφόρους λόγους εἶναι πολὺ δύσκολον νὰ φθάσωμεν τὸ ἀπόλυτον μηδὲν (ἀκριβὴς τιμὴ $-273{,}16^0$ C) ἔστω καὶ ἂν σήμερον ἔχωμεν πλησιάσει αὐτὸ μὲ προσέγγισιν ἑκατοστοῦ τοῦ βαθμοῦ.

Ἡ νέα κλῖμαξ ὀνομάζεται καὶ *κλῖμαξ Κέλβιν* (^{0}K), ὁπότε τὸ μηδὲν τοῦ Κελσίου γίνεται 273^0 K ἢ γενικῶς $T = 273 + \theta$, ἤτοι βαθμοὶ K = 273 + βαθμοὶ C.

Ἑπομένως, ἐφ' ὅσον $\theta = T - 273$, γράφομεν διὰ τυχὸν γινόμενον $P \cdot V$ ἀερίου θερμοκρασίας T ἀντὶ τῆς σχέσεως:

$$P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \ (1 + \alpha\theta) \text{ τὴν ἀκόλουθον:}$$

$$P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \ [1 + \frac{1}{273} \ (T - 273)], \text{ ὁπότε}$$

ἔχομεν μίαν πολὺ σύντομον γραφὴν τοῦ Νόμου G - L, ἐκ τοῦ ὁποίου προκύπτει καὶ ὁ Νόμος τῶν B - M (διὰ T = σταθερόν), ἤτοι:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 \cdot V_0}{273}$$

$$\text{ἢ γενικῶς } \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \ldots . = \frac{P_0 \cdot V_0}{273} = \text{σταθερὸν}$$

ἢ εἰδικώτερον

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ διὰ σταθερὸν ὄγκον } V_1 = V_2 = \ldots . V_0 = \text{σταθ.}$$

καὶ $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ διὰ σταθερὰν πίεσιν } P_1 = P_2 = \ldots . P_0 = \text{σταθ.}$$

ἢ ἀκόμη διὰ $m = \rho \cdot V$, ὅπου ρ ἡ πυκνότης καὶ m ἡ μᾶζα:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1 \cdot T_2}{P_2 \cdot T_1}$$

Αἱ πυκνότητες ὅθεν τοῦ ἀερίου εἶναι ἀνάλογοι τῶν πιέσεων καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογοι τῶν ἀπολύτων θερμοκρασιῶν.

Ἡ συνδυασμένη γενικὴ γραφὴ $\frac{P \cdot V}{T}$ = σταθερὸν ἔχει καὶ ἕνα ἄλλο μέγα προσόν, τὸ ἀκόλουθον:

Εὑρέθη πειραματικῶς ὅτι, ἂν λαμβάνωμεν κάθε φορὰν μᾶζαν ἀερίου εἰς γραμμάρια ὅση εἶναι ὁ ἀριθμὸς τοῦ μοριακοῦ βάρους τοῦ ἀερίου, δηλαδὴ ὅταν λαμβάνωμεν ἕνα γραμμομόριον ἀερίου,* τότε τὸ γινόμενον $P_0 \cdot V_0$ διαιρούμενον διὰ τοῦ 273, δηλαδὴ τὸ $\frac{P_0 \cdot V_0}{273}$, ἰσοῦται πρὸς μίαν σπουδαιοτάτην σταθερὰν τοῦ Κόσμου, τὴν καλουμένην *παγκοσμίαν σταθερὰν τῶν ἀερίων* (σύμβολον R) ἴσην πρὸς 8,3 Joule ἀνὰ βαθμὸν καὶ γραμμομόριον.

Γράφομεν ὅθεν δι' ἕνα γραμμομόριον (διεθνῶς Mol):

$$P \cdot V = R \cdot T$$

καὶ δι' οἱανδήποτε μᾶζαν, δηλαδὴ ὄχι ἀπαραιτήτως ἑνὸς γραμμομορίου M:

$$\boxed{P \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T}$$ Νόμος Avogadro - Ampère

Ἐφιστῶμεν ἰδιαιτέρως τὴν προσοχὴν ἐπὶ τοῦ γενικωτάτου αὐτοῦ Νόμου τῶν ἀερίων, ποὺ περιλαμβάνει ὅλας τὰς περιπτώσεις ὑπολογισμοῦ πιέσεων, ὄγκων, μαζῶν, πυκνοτήτων, θερμοκρασιῶν, μοριακῶν βαρῶν, μοριακῶν ὄγκων κ.τλ., ἀρκεῖ νὰ ληφθῇ ἡ σταθερὰ R εἰς καταλλήλους μονάδας.

* *Σημείωσις*: 2,016 g ὑδρογόνου, 32 g ὀξυγόνου, 28 g ἀζώτου, 4 g ἠλίου. Διὰ τὸ τελευταῖον τοῦτο ἀέριον λαμβάνεται τὸ γραμμοάτομον, διότι μόριον ἠλίου δὲν ὑπάρχει, δὲν συνδέονται δηλ. τὰ ἄτομά του ἀνὰ δύο ὅπως εἰς τὸ H, O, N κ.λπ.

Ἀριθμητικὰ παραδείγματα.

Θὰ χρησιμοποιήσωμεν γενικῶς ὡς τιμὴν τῆς R τὴν $R = \frac{82}{1000}$, διὰ P εἰς ἀτμοσφαίρας, V εἰς λίτρα, m εἰς γραμμάρια καὶ T εἰς βαθμοὺς Κέλβιν.

Λύσις: Ἂν ὁ ὄγκος μετρηθῇ εἰς cm^3, τότε $R = 82 \frac{atm \cdot cm^3}{Mol \cdot grad}$.

1) Εἰς τὸ παράδειγμα τῆς παραγράφου 12 · 3 ἀντὶ νὰ μεταχειρισθῶμεν τοὺς τύπους Γκαίυ - Λυσσάκ, ἐφαρμόζομεν τὸν τύπον Ἀβογκάντρο - Ἀμπέρ, ὁπότε ἔχομεν διὰ $\theta = 30^0$ C, $T = 303^0$ K
καὶ $\theta = 10^0$ C, $T = 383^0$ K, ὁπότε

$$\text{ἀρχικῶς}: 100 \times 10 = \frac{m}{M} \times \frac{82}{1000} \times 303$$

$$\text{τελικῶς}: 1\ V = \frac{m}{M} \times \frac{82}{100} \times 283 \text{ ἄρα}$$

διὰ διαιρέσεως κατὰ μέλη $\frac{1000}{V} = \frac{303}{283}$ καὶ $V = 935$ λίτρα.

Ἤτοι, λύσις πολὺ εὔκολος καὶ σύντομος.

2) Ὁ ἀὴρ ἔχει πυκνότητα εἰς τοὺς μηδὲν βαθμοὺς Κελσίου καὶ πίεσιν μιᾶς ἀτμοσφαίρας, δηλαδή, ὅπως συνήθως λέγομεν ἀὴρ ὑπὸ *κανονικὰς συνθήκας* $\rho \simeq 1{,}3$ g/lt ἢ $1{,}3$ kg/m^3. Ποία ἡ πυκνότης τοῦ ἀέρος ὑπὸ θερμοκρασίαν 20^0 Κελσίου καὶ πίεσιν 30 ἀτμοσφαιρῶν;

Λύσις:

Χρησιμοποιοῦμεν τὸν τύπον: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$ καὶ ἔχομεν

$$\frac{1{,}3}{\rho} = \frac{1}{30} \times \frac{293}{273} \quad \text{καὶ } \rho = 36 \text{ kg/m}^3.$$

Τὸ αὐτὸ πρόβλημα λύεται καὶ ὡς ἑξῆς:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \text{ καὶ ἐπειδὴ } \frac{m}{V} = \rho \quad P = \frac{\rho}{M} \cdot R \cdot T.$$

Διὰ τὸν ἀέρα, διὰ τὸν ὁποῖον θεωροῦμεν ὅτι ἀποτελεῖται ἐκ μίγματος ἀερίου O_2 καὶ N_2 λαμβάνεται ἐν τῇ Χημείᾳ μέσον μοριακὸν βάρος $\simeq 29$. Πάντως διὰ τὴν λύσιν μας δὲν χρειαζόμεθα νὰ τὸ γνωρίζωμεν.

$$\text{ἄρα } 1 = \frac{1{,}3}{M} R\ 273 \qquad 30 = \frac{\rho}{M} R\ 293$$

ἐκ τῶν ὁποίων, διὰ διαιρέσεως κατὰ μέλη, προκύπτει εὐκολώτατα ἡ τιμὴ τῆς πυκνότητος:

$$\frac{1}{30} = \frac{1{,}3}{\rho} \cdot \frac{273}{293} \qquad \rho = 36 \text{ kg/m}^3.$$

3) Πόσον ὄγκον καταλαμβάνει 1 γραμμομόριον ἀερίου π.χ. ὀξυγόνου ἢ ἀζώτου κ.ο.κ. ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας;

$$P \cdot V \quad \frac{m}{M} \; R \cdot T \text{ ὅπου } m \quad M \quad 1 \text{ Mol}$$

$$1 \cdot V \quad \frac{82}{1000} \; 273 \text{ καὶ } V \quad 22{,}4 \text{ lt}$$

4) Πόση ἡ μᾶζα τοῦ ὀξυγόνου εἰς φιάλην ἀερίου, πιέσεως 100 ἀτμοσφαιρῶν, ὄγκου 50 λίτρων καὶ θερμοκρασίας 27° C ;

$$P \cdot V \quad \frac{m}{M} \; R \cdot T$$

$$100 \times 50 \quad \frac{m}{32} \; \frac{82}{1000} \; 300 \text{ καὶ } m \quad 6{,}4 \text{ kg.}$$

Τὸ αὐτὸ πρόβλημα θὰ ἐλύετο πολὺ δυσκολώτερον ὡς ἑξῆς:

Ἐκ τῶν σχέσεων $\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} \quad \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$ λαμβάνομεν τὸν ὄγκον τοῦ ὀξυγόνου ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας, ἤτοι:

$$\frac{1 \cdot V_0}{273} \quad \frac{100 \times 50}{300} .$$

διὰ τὸν εὑρεθέντα ὄγκον V_0 σκεπτόμεθα ὡς ἑξῆς:

Τὰ 22,4 λίτρα περιέχουν μᾶζαν 32 gr O_2

V_0 λίτρα περιέχουν μᾶζαν x

ὁπότε τελικῶς ἔχομεν x ....

Εἰς τὰ ἀέρια ἔχει σημασίαν ἡ *σχετικὴ πυκνότης*, ἡ ὁποία εἶναι ἀριθμός, δηλαδὴ μέγεθος δίχως μονάδας (ἀδιάστατον) καὶ ἰσοῦται μὲ τὸν λόγον τῆς πυκνότητος τοῦ ἀερίου πρὸς τὴν πυκνότητα τοῦ ἀέρος ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν, $\delta = \frac{\rho}{\rho_{\text{ἀέρος}}}$. Ἡ σχετικὴ πυκνότης *δὲν* μεταβάλλεται μὲ τὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἀερίου, εἶναι λόγος δύο μεγεθῶν, ποὺ μεταβάλλονται ἐξ ἴσου μὲ τὴν θερμοκρασίαν. Ἔστω π.χ. ὅτι τὸ διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος (τὸ ἀέριον μέσα εἰς τὸν ζῦθον) εἶναι 1,5 φορὰς πυκνότερον τοῦ ἀέρος ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας. Ἐὰν τὸ θερμάνωμεν εἰς 20° C, πάλιν 1,5 φορὰς πυκνότερον θὰ παραμείνῃ ὡς πρὸς τὸν ἀέρα τῶν 20° C, διότι δι' ὅλα τὰ ἀέρια δεχόμεθα τὸν ἴδιον συντελεστὴν διαστολῆς. Προφανῶς ὅμως τὸ CO_2 τῶν 20° C εἶναι ἀραιότερον ἀπὸ ὅ,τι ἦτο εἰς τοὺς 0° C καὶ μάλιστα δυνάμεθα νὰ τὸ ὑπολογίσωμεν, διότι διὰ σταθερὰν πίεσιν ἡ σχέσις:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \text{ γίνεται } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{293}{273}, \text{ ἄρα: } \rho_2 = \rho_1 \frac{273}{293},$$

ὅπου ρ_1 ἡ πυκνότης τοῦ CO_2 (μορ. βάρος 44) ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας, γνωστὴ ἐκ τῆς σχέσεως, κατὰ τὴν ὁποίαν τὰ 22,4 λίτρα περιέχουν 44 g CO_2. Ὅθεν, ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας:

$$\rho_{CO_2} = \frac{44}{22,4} = 1,95 \text{ g/lt}$$

διὰ τὸν ἀέρα $\rho_{\text{ἀέρος}} = \dfrac{29}{22,4} = 1,3$ g/lt.

Ἐκ τῶν σχέσεων αὐτῶν προκύπτει καὶ ἡ ἀκόλουθος:

$$\delta = \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_{\text{ἀέρος}}} = \frac{\text{Μοριακὸν βάρος}}{29} \quad \text{(Πρακτικὸς κανών).}$$

Ἤτοι, *ἡ σχετικὴ πυκνότης ἑνὸς ἀερίου εὑρίσκεται διὰ διαιρέσεως τοῦ μοριακοῦ βάρους του διὰ τοῦ ἀριθμοῦ 29.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 13

ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

13·1 Ποσὰ καὶ μονάδες θερμότητος. Εἰδικὴ θερμότης.

Ὅταν θερμαίνωμεν ἕνα οἱονδήποτε σῶμα, παρατηροῦμεν ὅτι προσφέροντες π.χ. τὴν θερμότητα, ποὺ παράγει ἡ καῦσις ἑνὸς πυρείου, δὲν λαμβάνομεν τὴν αὐτὴν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας κάθε σώματος. Ἐὰν δεχθῶμεν ὅτι ἡ καῦσις τοῦ πυρείου, δηλαδὴ ἡ ἕνωσις τοῦ ἄνθρακος καὶ τῶν λοιπῶν συστατικῶν του μετὰ τοῦ ὀξυγόνου ἀποδίδει ἕνα ὡρισμένον *ποσὸν θερμότητος* (ἕνα ὡρισμένον ποσὸν θερμικῆς ἐνεργείας), τότε τὸ ποσὸν αὐτὸ προσλαμβανόμενον ἀπὸ τὸ σῶμα μοιράζεται εἰς τὰ μόριά του καὶ δημιουργεῖται διὰ *κάθε σῶμα διαφορετικὴ κινητικὴ κατάστασις* τῶν μορίων του, ἄρα διάφορος αὔξησις τῆς θερμοκρασίας του. Ἕνα ἀνάλογον φαινόμενον θὰ ἦτο τὸ ἀκόλουθον: Ρίπτομεν τὴν αὐτὴν ποσότητα τροφῆς εἰς κλωβούς, ὅπου εὑρίσκονται πολλὰ μικρὰ πτηνά· κάθε κλωβὸς περιέχει ἕνα μόνον εἶδος πτηνῶν. Εἶναι προφανὲς ὅτι τὸ αὐτὸ ποσὸν τροφῆς δὲν θὰ προκαλέσῃ εἰς ὅλους τοὺς κλωβοὺς τὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα, διότι θὰ ἐξαρτηθῇ : α) ἀπὸ τὸ πλῆθος (ἀριθμὸν) τῶν πτηνῶν καὶ β) ἀπὸ τὸ εἶδος αὐτῶν, δηλαδὴ ἂν εἶναι μικρά, μεγάλα, λαίμαργα, κ.τλ. Ἑπομένως: α) Αὐξάνοντες τὸ ποσὸν θερμότητος Q, θὰ προκαλέσωμεν ἀνάλογον αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας μόνον, ὅταν ἔχωμεν πάντοτε τὸ αὐτὸ σῶμα πρὸς θέρμανσιν. Ἤτοι ἕνα πυρεῖον καιόμενον θὰ θερμάνῃ μίαν δακτυλήθραν ὕδατος κατὰ θ ἔστω βαθμούς, δύο πυρεῖα θὰ τὴν θερμάνουν κατὰ 2θ βαθμοὺς κ.ο.κ. β) Τὸ αὐτὸ ποσὸν θερμότητος Q προσφερόμενον εἰς διαφορετικὰ σώματα τῆς αὐτῆς ὅμως μάζης m θὰ προκαλέσῃ διάφορον αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας. Ἤτοι, ἕνα πυρεῖον καιόμενον θὰ θερμάνῃ τὴν δακτυλήθραν μὲ ὕδωρ m g κατὰ θ ἔστω βαθμούς. Ἐὰν εἰς τὴν δακτυλήθραν βάλωμεν γλυκερίνην πάλιν m g, θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι μὲ ἕνα πυρεῖον θερμαίνεται σχεδὸν 2 φορὰς περισσότερον. Ὅλα τὰ ἀνωτέρω καὶ γενικῶς κάθε τι, ποὺ ἀναφέρεται εἰς μετρήσεις ποσῶν θερμότητος, ἀποτελεῖ θέμα τῆς θερμιδομετρίας (ὄχι θερμομετρίας), τῆς ὁποίας βασικὴ ἀρχὴ εἶναι ἡ ἀκόλουθος:

Τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος Q, ποὺ προσφέρεται εἰς ἕνα σῶμα, προκαλεῖ αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας του ἀνάλογον μὲν πρὸς τὸ Q, ἀντιστρόφως δὲ ἀνάλογον πρὸς τὴν μᾶζαν m τοῦ σώματος καὶ πρὸς ἕνα συντελεστὴν εἰδικὸν διὰ κάθε σῶμα. Ὁ συντελεστὴς αὐτὸς καλεῖται *εἰδικὴ θερμότης αὐτοῦ (σύμβολον c).*

Γράφομεν λοιπόν:

αὔξησις θερμοκρασίας $= \theta_2 - \theta_1 = \dfrac{Q}{mc}$ ἢ $Q = mc\,(\theta_2 - \theta_1)$ καὶ διὰ $\theta_1 = 0^0$, ὁπότε $\theta_2 =$ γενικῶς θ, ἔχομεν:

$$\boxed{Q = mc\theta}$$

Ἡ σχέσις αὐτή, ἡ ὁποία ὀνομάζεται *βασικὴ ἐξίσωσις τῆς θερμιδομετρίας*, μᾶς λέγει ὅτι ἕνα σῶμα μάζης m, θερμοκρασίας θ_1 βαθμῶν Κελσίου ἐχρειάσθη διὰ νὰ ἀποκτήσῃ θερμοκρασίαν θ_2 ποσὸν θερμότητος Q ἴσον πρὸς m ἐπὶ c ἐπὶ $\theta_2 - \theta_1$, ὅπου c ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ σώματος. Ἢ ἄλλως τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος Q, ποὺ πρέπει νὰ λάβωμεν ἀπὸ ἕνα σῶμα μάζης m, εἰδικῆς θερμότητος c, θερμοκρασίας θ^0 ἄνω τοῦ μηδενὸς διὰ νὰ τὸ ψύξωμεν εἰς τὸ μηδὲν εἶναι ἴσον πρὸς τὸ γινόμενον mcθ. Ἀπὸ τὴν σχέσιν αὐτὴν ἐξάγομεν τοὺς κάτωθι ὁρισμούς:

α) Θέτοντες m = 1 g καὶ $\theta = 1^0$ C ὁρίζομεν τὴν εἰδικὴν θερμότητα c ἑνὸς σώματος ὡς τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται μᾶζα 1 g διὰ νὰ θερμανθῇ κατὰ 1^0 Κελσίου.

β) Ὁρίζοντες αὐθαιρέτως τὴν εἰδικὴν θερμότητα τοῦ καθαροῦ ἀπεσταγμένου ὕδατος ἴσην πρὸς τὴν μονάδα, ἀποκτῶμεν τὴν μονάδα ποσοῦ θερμότητος ὀνομαζομένην *θερμίδα* (calorie).

γ) Τὸ γινόμενον mc ἑνὸς σώματος ὁρίζεται ὡς μέτρον τῆς *θερμοχωρητικότητος* αὐτοῦ ἢ ἄλλως τὸ *ἰσοδύναμον πρὸς τὸ σῶμα ὕδωρ.*

Ἐπαναλαμβάνοντες ὅσα προηγουμένως ἀνεφέραμεν, ἔχομεν ὡς συνέπειαν:

α) Τὴν *θερμίδα* καὶ πολλαπλάσιον αὐτῆς τὴν *χιλιοθερμίδα* (kcal) ὡς τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται 1 g (διὰ τὴν kcal ἕνα kg) ὕδατος διὰ νὰ θερμανθῇ κατὰ 1^0 Κελσίου (ἀκριβέστερον ὁ βαθμὸς Κελσίου καθορίζεται ἀπὸ $14{,}5^0$ ἕως $15{,}5^0$ C).

β) Ἐπειδὴ ἡ χιλιοθερμὶς σχετίζεται μὲ μᾶζαν ὕδατος 1 kg καὶ μεταβολὴν τῆς θερμοκρασίας 1^0 C, εἶναι δὲ ἕνα kg περίπου 2 λίμπραι καὶ 1^0 Κελσίου περίπου 2^0 Φαρενάιτ, ἕπεται ὅτι ἡ Βρεταννικὴ θερμὶς (B.T.U.), ἡ ὁποία ἀφορᾷ εἰς θέρμανσιν μιᾶς λίμπρας ὕδατος κατὰ 1^0 Φαρενάιτ, ἰσοῦται περίπου πρὸς τὸ 1/4 τῆς kcal (ἀκριβέστερον 1 B.T.U. = 0,252 kcal ἢ 252 θερμίδες).

γ) Ἡ εἰδικὴ θερμότης ἑνὸς σώματος ἐκφράζεται εἰς θερμίδας ἀνὰ γραμμάριον καὶ βαθμόν, δηλαδὴ cal/g grad ἢ χιλιοθερμίδας ἀνὰ χιλιόγραμμον καὶ βαθμὸν ἤτοι kcal/kg grad.

δ) Ἡ θερμοχωρητικότης τοῦ σώματος ἐκφράζεται εἰς θερμίδας ἀνὰ βαθμὸν (λείπει ἡ μᾶζα) ἢ ἀντιστοίχως εἰς kcal/grad.

Ἐφ' ὅσον ἡ εἰδικὴ θερμότης τοῦ ὕδατος ἐτέθη ὡς μονὰς ($c = 1$), ἕπεται ὅτι ἡ θερμοχωρητικότης τοῦ ὕδατος (mc) ἰσοῦται ἀριθμητικῶς πρὸς τὴν μᾶζαν του m. Ἄρα, ἐὰν ἔχωμεν δύο σώματα τῆς αὐτῆς θερμοχωρητικότητος καὶ τὸ ἕνα ἐξ αὐτῶν εἶναι ὕδωρ m γραμμαρίων, τότε $m_1c_1 = (m)_{\text{ὑδ}}$.

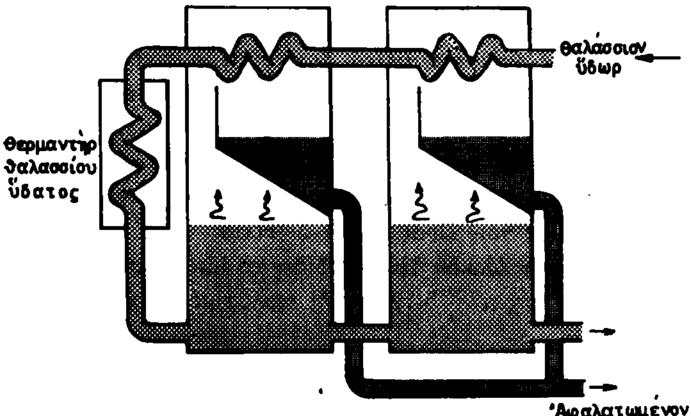
Ἑπομένως ἡ θερμοχωρητικότης ἑνὸς σώματος (m_1c_1) ἰσοῦται *ἀριθμητικῶς* πρὸς m_1c_1 γραμμάρια (ἢ kg) ἰσοδυνάμου θερμικῶς ὕδατος. Π.χ. 3 g γλυκερίνης εἰδικῆς θερμότητος 0,6 ἰσοδυναμοῦν πρὸς $3 \times 0{,}6 = 1{,}8$ g ὕδατος.

Τονίζεται ἰδιαιτέρως ὅτι ἡ ἰσότης αὐτὴ εἶναι ἀριθμητικὴ καὶ ὄχι ὅτι μετετράπη τὸ g εἰς μονάδα τῆς θερμοχωρητικότητος.

13·2 Πηγαὶ θερμότητος. Θερμότης καύσεως.

Ἡ θερμότης εἶναι μορφὴ ἐνεργείας, ποὺ δύναται πολὺ εὔκολα νὰ μεταφερθῇ, ἀλλὰ μετατρέπεται δυστυχῶς πολὺ δύσκολα εἰς ἄλλην μορφήν. Μὲ ἄλλους λόγους εὔκολα λαμβάνομεν θερμότητα ἀπὸ τὸν Ἥλιον, τοὺς ἀστέρας, τὸ ἐσωτερικὸν τῆς Γῆς, τὰς διαφόρους χημικὰς ἀντιδράσεις, ἰδίως τὴν μετὰ τοῦ ὀξυγόνου (ὀξείδωσις, καῦσις) κ.λπ., ἀλλὰ διαθέσιμον θερμότητα πολὺ δύσκολα τὴν μετατρέπομεν εἰς ἔργον μηχανικόν, ἠλεκτρικόν, μαγνητικόν, χημικόν, κ.ο.κ.

Πάντως κυρία πηγὴ θερμότητος διὰ τὸν ἄνθρωπον καὶ γενικῶς τὴν ἐπὶ τῆς Γῆς ζωὴν εἶναι ὁ Ἥλιος, ὁ ὁποῖος στέλλει καθέτως ἐπὶ τῶν ἄνω στρωμάτων τῆς γηίνης ἀτμοσφαίρας θερμικὴν ἐνέργειαν ὑπὸ μορφὴν ἀκτινοβολίας περίπου 2 θερμίδων ἀνὰ cm^2 καὶ πρῶτον λεπτόν. Βεβαίως ἕνα μέρος αὐτῆς ἀπορροφεῖται ἐντὸς τῆς ἀτμοσφαίρας καὶ τὸ ποσόν, ποὺ φθάνει εἰς τὸ ἔδαφος, ποικίλλει ἀναλόγως τῶν ἐποχῶν καὶ τῶν νεφώσεων. Ἡ θερμότης τοῦ Ἡλίου δὲν χρησιμοποιεῖται ἀκόμη εἰς εὐρεῖαν κλίμακα, τελευταίως ὅμως ἤρχισεν ἡ συστηματικὴ μελέτη πρὸς ἐκμετάλλευσιν τῆς *ἡλιακῆς ἐνεργείας* τόσον διὰ τὴν λειτουργίαν ψυγείων εἰδικῆς κατασκευῆς, ὅσον καὶ διὰ τὴν θέρμανσιν λεβήτων ἢ μαγειρείων, τὴν παραγωγὴν ἀτμοῦ ἢ ποσίμου ὕδατος ἐκ τῆς θαλάσσης (σχ. 13 · 2).



Σχ. 13 · 2.

Ἄλλη πηγὴ θερμότητος πάρα πολὺ ἀσθενὴς ὅμως διὰ τὴν Γῆν εἶναι αἱ ἐκ τῶν ἀστέρων ἀκτινοβολίαι, αἱ ὁποῖαι δὲν ἔχουν ἐφαρμογήν. Καὶ τὸ ἐσωτερικὸν τῆς Γῆς εἶναι θερμόν. Ἐὰν προχωρήσωμεν ἐντὸς αὐτῆς, διαπιστώνομεν αὔξησιν τῆς θερμοκρασίας (περίπου 1° C κάθε 25 ἕως 35 m), ἡ ὁποία εἶναι δυνατὸν κάποτε νὰ χρησιμοποιηθῇ. Ἤδη γίνεται ἐκμετάλλευσις τῶν θερμῶν ὑδάτων ἢ ἀερίων, ποὺ ἀναβλύζουν εἰς πολλὰς περιοχὰς τῆς Γῆς καὶ ἐξυπηρετοῦν τοὺς κατοίκους των. Πρὸ ὀλίγων ἐτῶν ἐδοκιμάσθη καὶ ἡ ἐντὸς τῆς Γῆς ἀποταμίευσις θερμότητος ἀπὸ πυρηνικὴν βόμβαν, ποὺ ἐξερράγη εἰς βάθος, ἐκεῖ ἔλειωσε τὰ διάφορα ὀρυκτὰ καὶ πετρώματα. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον ἔχομεν ἕνα θερμότατον τῆγμα εἰς ὡρισμένον βάθος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους, τὸ ὁποῖον σιγὰ - σιγὰ θὰ ψυχθῇ καὶ θὰ στερεοποιηθῇ. Ἐν τῷ μεταξὺ δυνάμεθα νὰ χρησιμοποιήσωμεν τὴν θερμότητα αὐτὴν μὲ καταλλήλους ἀγωγοὺς ὑγρῶν. Οὕτω τὰ ὑγρὰ αὐτὰ κυκλοφοροῦντα θὰ θερμαίνωνται κάτω καὶ θὰ μεταφέρουν ἐπάνω τὴν θερμότητα. Κατόπιν, ἀφοῦ ψυχθοῦν, θὰ ἐπανέρχωνται πρὸς τὰ κάτω, ὅπου ἡ ἀποθήκη τῆς θερμότητος κ.ο.κ.

Τέλος, βασικὴ εὐθηνὴ πηγὴ θερμότητος, κατάλληλος δι' εὔκολον ἐκμετάλλευσιν, εἶναι ἡ *καῦσις*. Χημικῶς ἡ καῦσις ὁρίζεται ὡς ἡ μοριακὴ διεργασία, ποὺ γίνεται κατὰ τὴν ταχεῖαν ἕνωσιν ἐπαρκοῦς ποσότητος ὀξυγόνου μὲ ποσότητα ἑνὸς στοιχείου ἢ μιᾶς χημικῆς ἑνώσεως, συνοδευομένη μὲ παραγωγὴν θερμότητος. Π.χ. ὁμιλοῦμεν περὶ καύσεως τοῦ θείου ἢ τοῦ πετρελαίου. Εἰς τὴν πρᾶξιν χρησιμοποιοῦμεν συνήθως καύσιμα ὑλικὰ ζωικῆς ἢ φυτικῆς προελεύσεως, ὅπως πετρέλαια, γαιάνθρακας, ξύλα ἢ προϊόντα αὐτῶν, π.χ. ἀέριον βουτάνιον, φωταέριον, κώκ, ξυλάνθρακας κ.τλ. Ἐπειδὴ ὅλα τὰ φυσικὰ σώματα ἀνεπτύχθησαν κάποτε μέσα εἰς τὸ φῶς καὶ γενικῶς ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν τῶν ἀκτινοβολιῶν τοῦ Ἡλίου, ἕπεται ὅτι ἀρχικὴ πηγὴ τῆς ἐνεργείας των εἶναι πάλιν ὁ Ἥλιος.

Κάθε καύσιμον ὑλικὸν δὲν ἀποδίδει τὸ ἴδιον ποσὸν θερμότητος ἀνὰ g. Καὶ τοῦτο ἀποτελεῖ δεῖγμα τῆς πολυτιμότητος τοῦ κάθε καυσίμου.

Ὁρίζομεν λοιπὸν ὡς *θερμότητα καύσεως* τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ παράγεται ἀπὸ καύσιμον ὑλικὸν μάζης ἑνὸς kg, ὅταν τοῦτο καίεται παρουσίᾳ ἐπαρκοῦς ποσότητος ὀξυγόνου.

Ἡ μέτρησις τῆς παραγομένης θερμότητος γίνεται μέσα εἰς εἰδικὰς συσκευάς, ποὺ ὠνομάσθησαν *θερμιδόμετρα* (ὄχι θερμόμετρα).

Ἐκ τῶν κυριωτέρων καυσίμων οἱ γαιάνθρακες ἔχουν θερμότητα καύσεως περίπου 7 ἕως 8500 kcal/kg, οἱ λιγνῖται 2500 ἕως 3500, τὰ πετρέλαια καὶ βενζίναι 10000 ἕως 11000 kcal/kg, τὸ φωταέριον περίπου 4000 kcal/m^3 ἀερίου κανονικῶν συνθηκῶν.

Ὁ ἄνθρωπος καλῶς διαιτώμενος χρειάζεται ἡμερησίως διάφορα θρεπτικὰ ὑλικά, τὰ ὁποῖα καιόμενα διὰ τοῦ ὀξυγόνου τῆς ἀναπνοῆς παράγουν θερμότητα περὶ τὰς 3000 kcal. Οὕτω τὸ ἐλαιόλαδον μᾶς δίδει 9000 kcal/kg, τὸ καθαρὸν κρέας περίπου 2500, τὸ ψωμὶ 2300 ἕως 3000, τὰ γεώμηλα 1000, οἱ ἰχθύες 700 ἕως 1500 kcal/kg, τὰ λαχανικὰ ἔχουν γενικῶς μικρὰν θερμότητα καύσεως ἐντὸς τοῦ ὀργανισμοῦ μας, ἀλλὰ μᾶς εἶναι ἀπαραίτητα διὰ τὴν παροχὴν βιταμινῶν, ἀλάτων καὶ ἄλλων οὐσιῶν.

13·3 Ἐφαρμογαὶ τῆς θερμιδομετρικῆς ἐξισώσεως $Q = mc\theta$.

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς τελικῆς θερμοκρασίας διαφόρων σωμάτων, ποὺ ἀρχικῶς ἔχουν διαφορετικὰς θερμοκρασίας καὶ μάζας καὶ ἔπειτα συναποτελοῦν ἕνα συγκρότημα εἰς στενὴν θερμικὴν ἐπαφὴν μεταξύ των, χρησιμοποιοῦμεν τὴν θεμελιώδη σχέσιν τῆς θερμιδομετρίας, δηλαδὴ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ προσλαμβάνεται ἀπὸ ἕνα σῶμα θερμοκρασίας θ (αὐθαίρετος βασικὴ στάθμη θερμοκρασίας τὸ μηδέν, ὁπότε θέτομεν ἄνω τοῦ μηδενὸς τὸ σημεῖον +, κάτω τοῦ μηδενὸς τὸ σημεῖον —), ἰσοῦται πρὸς τὸ γινόμενον τῆς μάζης ἐπὶ τὴν εἰδικὴν θερμότητα ἐπὶ τὴν θερμοκρασίαν. Ἐκτὸς τῆς βασικῆς αὐτῆς ἐξισώσεως θεωροῦμεν ὅτι τὸ προσφερόμενον ἀπὸ ἕνα σῶμα ποσὸν θερμότητος ἰσοῦται πρὸς τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἔλαβε τὸ γειτονικὸν σῶμα ἢ τὰ γειτονικὰ σώματα, πρὸς τὰ ὁποῖα εὑρίσκεται τὸ σῶμα εἰς θερμικὴν ἐπαφὴν *ἄνευ ἀπωλειῶν*, δηλαδὴ διαφυγῶν θερμότητος μακρὰν τοῦ συγκροτήματος τῶν σωμάτων, ποὺ μελετῶμεν.

Ἑπομένως θεωροῦντες ὡς βασικὴν στάθμην τὴν θερμοκρασίαν μηδὲν γράφομεν π.χ. διὰ δύο σώματα:

$$\text{ἀρχικῶς διαθέσιμα ποσὰ} \begin{cases} Q_1 = m_1 c_1 \theta_1 \\ Q_2 = m_2 c_2 \theta_2 \end{cases}$$

καὶ μετὰ τὴν ἐξίσωσιν τῶν θερμοκρασιῶν:

$$\text{τελικῶς διαθέσιμα ποσὰ} \begin{cases} Q_1' = m_1 c_1 \theta \\ Q_2' = m_2 c_2 \theta \end{cases} \quad \text{ἢ} \quad [(m_1 c_1) + m_2 c_2)]\theta$$

ὅπου θ ἡ τελικὴ κοινὴ θερμοκρασία. Ἄρα, θὰ πρέπει νὰ ἰσχύη καὶ ἡ $Q_1 + Q_2 = Q_1' + Q_2'$, ὁπότε ἔχομεν τὴν ἐξίσωσιν τοῦ ἀποδιδομένου ἀπὸ τὸ ἕνα σῶμα ποσοῦ θερμότητος πρὸς τὸ προσλαμβανόμενον ὑπὸ τοῦ ἄλλου:

$$Q_1 - Q_1' = Q_2' - Q_2 \quad \text{ἤτοι}$$

$$m_1 c_1 (\theta_1 - \theta) = m_2 c_2 (\theta - \theta_2)$$

(ἐξίσωσις τῶν μιγμάτων).

Ἀριθμητικαὶ ἐφαρμογαί.

1) Ἀναμιγνύομεν $m_1 = 80$ kg ὕδωρ θερμοκρασίας $\theta_1 = 75^0$ μὲ $m_2 = 83$ kg ὕδατος θερμοκρασίας $\theta_2 = 16^0$. Ποία ἡ τελικὴ θερμοκρασία θ (c ὕδατος = 1 kcal/kg · grad);

Λύσις:

Ἔχομεν $80 \cdot 1\,(75 - \theta) = 83 \cdot 1\,(\theta - 16)$ καὶ $\theta \simeq 45^0$ C.

Προσοχή: Νὰ ἀδιαφορήσετε διὰ τὸ πῶς θὰ σᾶς φανῆ ἡ θ, ὑψηλοτέρα ἢ χαμηλοτέρα τῶν θ_1 καὶ θ_2. Θὰ προκύψη μόνη της ἀπὸ τὰς πράξεις, ἀρκεῖ νὰ προσέξετε ὅτι ἡ τελικὴ θερμοκρασία θ εἰς τὸ πρῶτον μέλος τῆς ἐξισώσεως εἶναι τὸ *ἀφαιρετέον* μέγεθος καὶ εἰς τὸ δεύτερον μέλος εἶναι τὸ *μειωτέον*.

2) Ἐντὸς ὕδατος $m_1 = 8$ kg θερμοκρασίας $\theta_1 = 15^0$ θέτομεν ἕνα τεμάχιον

χαλκοῦ $m_2 = 20$ kg εἰδ. θερμ. 0,01 θερμοκρασίας 50°. Ποία ἡ τελικὴ θ τοῦ μίγματος;

Λύσις :

Ἔχομεν $8 \times 1 \times (15 - \theta) = 20 \times 0{,}01 \times (\theta - 50)$, ἄρα $\theta = \dfrac{130}{8{,}2} \simeq 15{,}8$°C.

3) Ἀναμιγνύομεν $m_1 = 10$ kg γλυκερίνης θερμοκρασίας $\theta_1 = 20°$ εἰδικῆς θερμότητοςς $c_1 = 0{,}6$ μὲ ὕδωρ θερμοκρασίας $\theta_2 = 40°$ διὰ νὰ ἔχωμεν ἀραιωμένην γλυκερίνην $\theta = 30°$ C. Πόσα kg ὕδατος χρειαζόμεθα;

Λύσις :

Ἔχομεν γενικῶς: $m_1 c_1 (\theta_1 - \theta) = m_2 c_2 (\theta - \theta_2)$

$$10 \times 0{,}6 \times (20 - 30) = m_2 \times 1 \times (30 - 40)$$

καὶ τελικῶς $m_2 = 6$ kg ὕδατος.

Ὡς γνωστόν, τὸ γινόμενον $m_1 c_1 = 10 \times 0{,}6 = 6$ παριστᾶ τὴν θερμοχωρητικότητα τῆς γλυκερίνης, δηλαδὴ τὸ ἰσοδύναμον ὕδωρ. Συνεπῶς ἡ γλυκερίνη 10 kg θερμοκρασίας 20° εἰδικῆς θερμότητος 0,6 ἠδύνατο νὰ ἀντικατασταθῇ μὲ 6 kg ὕδατος 20°. Ὁπότε 6 kg ὕδατος θερμοκρασίας 20° χρειάζονται προφανῶς 6 kg ὕδατος θερμοκρασίας 40° διὰ νὰ γίνῃ τὸ μῖγμα 30°. Εἶναι λοιπὸν σκόπιμον εἰς πολλὰ προβλήματα νὰ χρησιμοποιῶμεν τὰ ἰσοδύναμα εἰς ὕδωρ ὡς ἴδιον μέγεθος.

4) Θέτομεν εἰς στενὴν θερμικὴν ἐπαφὴν τὰ κάτωθι ὑγρὰ καὶ στερεὰ μὴ ἀντιδρῶντα χημικῶς μεταξύ των:

α) Ὕδωρ	$m_1 = 25$ kg	εἰδ. θερμ.	1	$\theta_1 = 30°$
β) Γλυκερίνη	$m_2 = 10$ »	» »	0,6	$\theta_2 = 20°$
γ) Ἐλαιόλαδον	$m_3 = 8$ »	» »	0,5	$\theta_3 = 15°$
δ) Ἀλουμίνιον	$m_4 = 10$ »	» »	0,22	$\theta_4 = 200°$.

Ζητεῖται ἡ τελικὴ θερμοκρασία.

Λύσις :

Ὑποθέτομεν ὅτι τὰ β), γ) καὶ δ) ρίπτονται ἐντὸς ὕδατος, ὁπότε ἔχομεν :

$$m_1 c_1 (30 - \theta) = m_2 c_2 (\theta - 20) + m_3 c_3 (\theta - 15) + m_4 c_4 (\theta - 200)$$

καὶ χρησιμοποιοῦντες τὰ ἰσοδύναμα ἔχομεν δι' ἀντικαταστάσεως μὲ τὰς τιμάς των:

$$(m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4)\,\theta = (25 + 6 + 4 + 2{,}2)\,\theta =$$

$25 \times 30 + 6 \times 20 + 4 \times 15 + 2{,}2 \times 200$, ἄρα τελικῶς.

$$\theta = \frac{1370}{37{,}2} \simeq 36{,}8\ °\text{C}.$$

Ὑπενθυμίζομεν ὅτι αἱ εἰδικαὶ θερμότητες τῶν μὴ ἀερίων στοιχείων εὑρίσκονται κατὰ προσέγγισιν διὰ διαιρέσεως τοῦ ἀριθμοῦ 6,4 μὲ τὸ ἀτομικὸν βάρος των (Νόμος Ντυλόγκ καὶ Πετί):

Π.χ. ἀλουμίνιον	ἀτ. βάρος	$\simeq 27$	εἰδ. θερμ.	6,4/27
ὑδράργυρος	» »	$\simeq 200$	» »	6,4/200
χαλκός	» »	$\simeq 64$	» »	6,4/64

5) Ἐντὸς κενοῦ σιδηροῦ δοχείου $m = 1$ kg, $c = 0{,}11$ kcal/kg · grad, $\theta =$ 5° C ρίπτομεν ὕδωρ $m = 5$ kg θερμοκρασίας 25° C καὶ τεμάχιον χαλκοῦ $m = 2$ kg

θερμοκρασίας 15° C καὶ c = 0,094. Ζητεῖται ἡ τελικὴ θερμοκρασία ἰσορροπίας καὶ πόση θερμότης Q πρέπει νὰ προσφερθῇ διὰ νὰ θερμανθῇ ὅλον τὸ συγκρότημα εἰς τοὺς 100° C.

Λύσις:

Διαθέτομεν: $Q_1 = 1 \times 0,11 \times 5 \quad = \quad 0,55$ kcal

$Q_2 = 5 \times 1 \times 25 \quad = 125$ »

$Q_3 = 2 \times 0,094 \times 15 = \quad 2,8$ » διὰ τελικὴν κοινὴν θερμοκρασίαν θ θὰ ἔχωμεν:

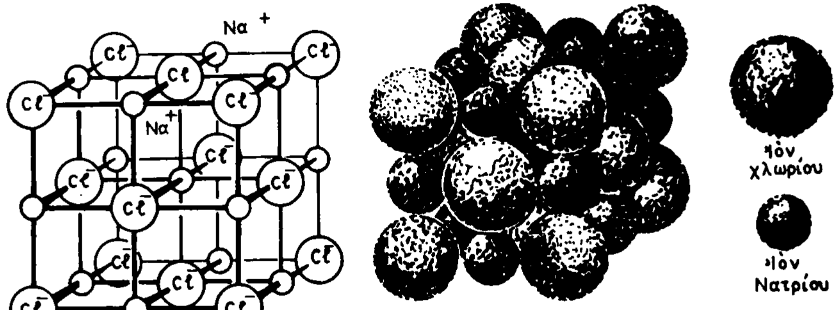
$Q_1 + Q_2 + Q_3 = [(1 \times 0,11) + (5 \times 1) + (2 \times 0,094)]\,\theta \quad 128,35 = 5,2988\,\theta$ καὶ $\theta = 24,3$ °C. Ἐξ ἄλλου χρειαζόμεθα Q διὰ νὰ μεταβῆ τὸ σύστημα ἀπὸ $\theta = 24,3°$ C εἰς 100, ἄρα Q = (ὡς ἀνωτέρω) $(100 - \theta)$ καὶ Q = 401 kcal.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 14

ΜΕΤΑΤΡΟΠΑΙ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

14 · 1 Τῆξις - πῆξις.

Τὰ στερεὰ σώματα τὰ διακρίνομεν, ὅπως ἄλλοτε ἀνεφέραμεν (παράγρ. 0 · 3), εἰς *κρυσταλλικὰ* καὶ *ἄμορφα*. Τὰ πρῶτα ἔχουν τὰ στοιχειώδη συστατικά των (ἄτομα, μόρια, ἰόντα) τακτοποιημένα κατὰ διαφόρους τρόπους καὶ ἠνωμένα μεταξύ των μὲ ὡρισμένας δυνάμεις εἰς ὡρισμένας ἀποστάσεις, ὥστε τελικῶς νὰ ἀποτελοῦν ἕνα κανονικὸν οἰκοδόμημα, ποὺ ὀνομάζεται *κρυσταλλικὸν πλέγμα* (σχ. 14 · 1 α). Τὰ δεύτερα στεροῦνται κατὰ τὸ πλεῖστον ἢ τελείως οἱασδήποτε κανονικότητος, ὁπότε δὲν δυνάμεθα νὰ θεωρήσωμεν οὔτε ὡρισμένας δυνάμεις μεταξὺ τῶν συστατικῶν των, οὔτε νὰ διαπιστώσωμεν πειραματικῶς σταθερὰς ἀποστάσεις, οὔτε φυσικὰ νὰ ἀναζητήσωμεν ὡρισμένας ταλαντώσεις τῶν μορίων των, ὅπως συμβαίνει εἰς τοὺς κρυστάλλους.



Σχ. 14 · 1 α.
Διάταξις τῶν ἰόντων νατρίου (Na^+) καὶ (Cl^-) εἰς κρύσταλλον χλωριούχου νατρίου. Ἕκαστον ἰὸν νατρίου περιβάλλεται ὑπὸ 6 ἰόντων χλωρίου καὶ ἀντιστρόφως.

Κρυσταλλικὰ σώματα εἶναι τὸ χλωριοῦχον νάτριον ($NaCl$), ἡ ναφθαλίνη ($C_{10}H_8$), ὁ θειικὸς χαλκὸς ἢ γαλαζόπετρα ($CuSO_4$), ὁ πάγος (H_2O), διάφορα καθαρὰ μέταλλα κ.λπ. *Ἄμορφα* εἶναι ἡ ὕαλος, ἡ πίσσα, τὰ διάφορα κεραμεικὰ καὶ πλαστικὰ κ.ἄ. Ὑπάρχουν ἐπίσης σώματα, ποὺ ἀποτελοῦνται ἀπὸ πάρα πολλὰ μικρὰ κρυσταλλίδια, ὅπως π.χ. πολλὰ μέταλλα καὶ τὸ μάρμαρον.

Ἐπειδὴ ἡ προσφορὰ τῆς θερμότητος ἀνυψώνει τὴν θερμοκρασίαν καὶ χαλαρώνει τοὺς μεταξὺ τῶν συστατικῶν τῶν στερεῶν σωμάτων συνδέσμους, ἕπεται ὅτι κάποτε θὰ ἔλθη στιγμή, ποὺ τὰ συστατικὰ θὰ κινηθοῦν ἐλευθέρως καὶ μᾶλλον ἀτάκτως, δηλαδὴ θὰ μετατραπῆ τὸ στερεὸν εἰς ὑγρόν. Καλοῦμεν ὅθεν *τῆξιν τῶν στερεῶν σωμάτων τὴν διὰ θερμικῆς ἐνεργείας μετατροπὴν τῆς στερεᾶς μορφῆς των εἰς ὑγράν, χωρὶς νὰ ὑποστοῦν χημικὴν ἀλλοίωσιν, τὴν δὲ ἀντίστροφον διεργασίαν, δηλαδὴ τὴν στερεοποίησιν ἑνὸς ὑγροῦ ὀνομάζομεν πῆξιν.* Προφανῶς, ἡ πῆξις θὰ γίνη, ὅταν τὰ μόρια παύσουν νὰ κινοῦνται ἐλευθέρως καὶ ἀρχίσουν νὰ ταλαντεύωνται ὡς πρὸς ἄλληλα. Τοῦτο ὅμως θὰ ἐπέλθη, ὅταν ἐξαχθῆ ἀπὸ τὸ ὑγρὸν σῶμα ἱκανὴ θερμικὴ ἐνέργεια, δηλαδὴ ὅταν ψυχθῆ τὸ ὑγρὸν σῶμα. Ἑπομένως, *ὅταν ἕνα ὑγρὸν πήγνυται, ἀποδίδει θερμότητα καὶ ὅταν ἕνα στερεὸν τήκεται, ἀπορροφεῖ θερμότητα.*

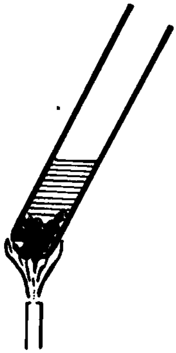
Ἐκ τῶν ὅσων ἐλέχθησαν εὐκόλως προκύπτει τὸ συμπέρασμα ὅτι εἰς τὰ κρυσταλλικὰ σώματα μὲ τὸ σαφῶς καθωρισμένον οἰκοδόμημά των πρέπει : α) Νὰ φθάσωμεν εἰς ὡρισμένην θερμοκρασίαν, ὥστε νὰ σπάσουν — τρόπον τινά — οἱ σύνδεσμοι τῶν μορίων των καὶ β) νὰ προσφέρωμεν ἐν συνεχείᾳ θερμότητα, ἡ ὁποία θὰ δαπανηθῆ διὰ τὴν μετατροπὴν ὅλου τοῦ στερεοῦ εἰς ὑγρόν.

Τοῦτο εἶναι περίπου τὸ ἴδιον μὲ τὴν ἐνέργειαν, ποὺ χρειαζόμεθα διὰ νὰ ἀνυψωθῆ ἕνα ἀεροπλάνον π.χ. εἰς 3000 m καὶ τὴν ἐν συνεχείᾳ ἐνέργειαν διὰ νὰ συνεχίση τὴν πτῆσιν ὁριζοντίως, μέχρις ὅτου φθάση ἐπάνω ἀπὸ τὸ τέρμα τῆς διαδρομῆς του.

Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς τήξεως ἡ προσφερομένη θερμότης *δὲν* πρέπει νὰ ἀνυψώνη τὴν θερμοκρασίαν, εἰς τὴν ὁποίαν τήκεται τὸ σῶμα, ἀλλὰ θὰ χρησιμεύη διὰ τὴν τῆξιν τοῦ ὑπολοίπου μὴ ἀκόμη τακέντος *στερεοῦ.*

Τὰ φαινόμενα ταῦτα δὲν παρατηροῦνται τόσον καλὰ εἰς τὰ ἄμορφα σώματα, τὰ ὁποῖα ἀρχίζουν σιγά - σιγὰ νὰ μαλακώνουν καὶ τέλος νὰ γίνωνται ὑγρά, χωρὶς δηλαδὴ νὰ ἔχουν ἀπότομον μετατροπὴν ἀπὸ τῆς στερεᾶς εἰς τὴν ὑγρὰν κατάστασιν, ὅπως τὰ κρυσταλλικά. Ἐδῶ πρέπει νὰ σημειωθῆ ὅτι εἰς τὴν κοινὴν γλῶσσαν ὀνομάζομεν κακῶς *κρυστάλλινα* διάφορα ὑάλινα ἀντικείμενα ἀπὸ εἰδικὴν ὕαλον, ποὺ περιέχει ὀξείδια τοῦ βαρίου καὶ τοῦ μολύβδου καὶ εἶναι πολὺ στιλπνὴ καὶ θλαστική.

Πειραματικῶς πράγματι βλέπομεν ὅτι, ἂν ρίψωμεν ὀλίγην ναφθαλίνην εἰς δοκιμαστικὸν σωλῆνα καὶ τὸν θερμάνομεν δι' ἑνὸς λύχνου ἢ διὰ ζεστοῦ ὕδατος (σχ. 14·1β), μόλις φθάσωμεν εἰς τοὺς 80^0 Κελσίου, ἡ ναφθαλίνη τήκεται καὶ καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς τήξεώς της ἡ θερμοκρασία της μένει σταθερά. Τυχὸν πολὺ ὑψηλοτέρα ἐξωτερικὴ θερμότης ἁπλῶς θὰ προκαλέση τὴν ταχυτέραν τῆξιν της, δηλαδὴ θὰ τακῆ γρηγορώτερον ὅλη ἡ ναφθαλίνη, ἀλλὰ πάλιν εἰς τοὺς 80^0 C. Προϋπόθεσις ὅμως αὐτοῦ εἶναι ἡ καθαρότης τῆς ναφθαλίνης καὶ ἡ σταθερὰ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις, δηλαδὴ τὸ πείραμα νὰ μὴ γίνη ἐπάνω εἰς ὄρος, διότι τότε θὰ συμβῆ μὲν τὸ ἴδιον φαινόμενον, ἀλλὰ ὄχι εἰς τοὺς 80^0 C. Ἡ χαρακτηριστικὴ αὐτὴ θερμοκρασία θὰ ἐλαττωθῆ, διότι ἡ προερχομένη ἀπὸ τὴν θέρμανσιν διαστολὴ καὶ αἱ κινητικότητες τῶν μορίων τοῦ σώματος διευκολύνονται τώρα περισσότερον, διότι δὲν ὑπάρχει μεγάλη πίεσις, ἡ ὁποία εὐνόητον εἶναι ὅτι ἀνθίσταται εἰς τὴν διόγκωσιν τοῦ σώματος λόγω τῆς τήξεως.



Σχ. 14·1β.

Ἐλάχιστα στερεὰ σώματα, μεταξὺ τῶν ὁποίων ὁ πάγος, τηκόμενα συστέλλονται. Π.χ. τὸ ὕδωρ, τὸ ὁποῖον ἀποδίδει ἕνα λίτρον πάγου 0^0 C (ὑπενθυμίζομεν, τὸ λίτρον εἶναι μονὰς ὄγκου ἴση πρὸς 1000 cm^3), εἶναι ὄγκου περίπου 920 cm^3, δηλαδὴ ὁ πάγος τηκόμενος συστέλλεται κατὰ 8 % τοῦ ὄγκου του ἢ ἀντιστρόφως ὄγκος ὕδατος, ὅταν παγώση, αὐξάνει κατὰ 9 % καὶ ὅλα αὐτὰ χωρὶς *καμμίαν* μεταβολὴν τῆς θερμοκρασίας. Τόσον ὁ πάγος δηλαδή, ὅσον καὶ τὸ ὕδωρ παραμένουν εἰς τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν καὶ ἡ διαστολὴ *δὲν εἶναι θερμική*, ἀλλὰ συμβαίνει λόγω ἀλλαγῆς τῆς καταστάσεως ἀπὸ ὑγρᾶς εἰς στερεάν. Κατόπιν τῆς ἐξαιρέσεως αὐτῆς ἡ πίεσις αὐξανομένη θὰ διευκολύνη τὴν τῆξιν, ἄρα ὁ πάγος πιεζόμενος τήκεται εὐκολώτερον, ἐνῶ τὰ ἄλλα σώματα, ὅπως ἡ ναφθαλίνη, ἡ παραφίνη κ.λπ., τήκονται δυσκολώτερον, ὅταν συγχρόνως πιέζωνται.

Δυνάμεθα λοιπὸν νὰ συνοψίσωμεν τὰ ἀνωτέρω εἰς τὰ κάτωθι συμπεράσματα καὶ ὁρισμούς:

α) Κάθε σῶμα ἀρχίζει νὰ τήκεται εἰς ὡρισμένην θερμοκρασίαν ὑπὸ ὡρισμένην πίεσιν. Ἡ θερμοκρασία αὐτὴ διὰ πίεσιν μιᾶς ἀτμοσφαίρας καλεῖται *σημεῖον τήξεως*.

β) Καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τῆς τήξεως ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερά, ἡ δὲ θερμότης δαπανᾶται διὰ τὴν μετατροπὴν τῆς καταστάσεως τοῦ σώματος ἀπὸ στερεᾶς εἰς ὑγράν.

γ) Ὁρίζομεν ὡς *εἰδικὴν θερμότητα τήξεως* τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ ἀπαιτεῖται διὰ νὰ τακῇ μᾶζα 1 g (ἢ kg) τοῦ σώματος καὶ νὰ μεταβληθῇ εἰς ὑγρὸν τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας. Εἰδικὴ θερμότης π.χ. τήξεως τοῦ πάγου εἰς 0^0 C, 80 cal/g.

Τὸ ποσὸν τοῦτο πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ ἀπὸ 1 g ὕδατος 0^0 C διὰ νὰ γίνῃ πάγος 0^0 C. Ἡ εἰδικὴ θερμότης τήξεως εἶναι ἐπίσης γνωστὴ ὡς *λανθάνουσα θερμότης τήξεως*.

δ) Τὸ σημεῖον τήξεως τῶν σωμάτων *αὐξάνει*, ὅταν αὐξηθῇ ἡ πίεσις.

Ἐξαίρεσιν ἀποτελεῖ ὁ πάγος καὶ μερικὰ ἄλλα σώματα, διὰ τὰ ὁποῖα ἡ αὔξησις τῆς πιέσεως *ἐλαττώνει* ἔστω καὶ κατ' ἐλάχιστον τὸ σημεῖον τήξεως (ὀλίγα χιλιοστὰ τοῦ βαθμοῦ ἀνὰ at).

Ἡ πῆξις τῶν σωμάτων εἶναι δυνατὸν πολλὰς φορὰς νὰ μὴ γίνῃ εἰς τὸ αὐτὸ σημεῖον, ποὺ τήκεται· τὸ φαινόμενον τῆς καθυστερημένης αὐτῆς πήξεως ὀνομάζεται *ὑπέρτηξις* ἢ *ὑστέρησις πήξεως*. Οὕτω τὸ ἤρεμον ὕδωρ ψυχόμενον σιγά - σιγὰ δύναται νὰ κατέλθῃ κάτω τοῦ μηδενός, χωρὶς νὰ πήξῃ. Μόλις ὅμως τὸ ταράξωμεν ἢ προσθέσωμεν ἕνα τεμάχιον πάγου, ποὺ δρᾶ ὡς κέντρον κρυσταλλώσεως, ἀρχίζει ἡ πῆξις καὶ ἡ *ἄνοδος* τῆς θερμοκρασίας εἰς τὸ μηδέν.

Ἐπίσης ἡ πῆξις διαλυμάτων, π.χ. ἁλάτων ἐντὸς ὕδατος, παρουσιάζει ἰδιαίτερα χαρακτηριστικά, γενικῶς ὅμως τὰ διαλύματα ἔχουν χαμηλότερον σημεῖον πήξεως καὶ κατ' ἀρχὰς πήγνυται τὸ καθαρὸν ὕδωρ.

Διὰ τοῦτο ἡ πρώτη κρούστα πάγου εἰς τὴν θάλασσαν εἶναι γλυκὺ ὕδωρ καὶ εἰς τὰς ἁλυκὰς τῶν Βορείων Χωρῶν ἀφαιρεῖται κάθε φορὰν συστηματικά, ὁπότε τὸ ἐναπομέναν θαλάσσιον ὕδωρ πήγνυται ἐπίσης ἔστω καὶ δυσκολώτερον. Οὕτως, ἐπιτυγχάνεται ἡ συγκέντρωσις ἅλατος διὰ ψύξεως τοῦ θαλασσίου ὕδατος καὶ ὄχι, ὅπως εἰς τὴν Ἑλλάδα, δι' ἐξατμίσεως.

Ἡ θάλασσα πήγνυται εἰς τοὺς -25^0 C, ἐνῶ μῖγμα ὕδατος καὶ γλυκερίνης 1 : 1 ἔχει σημεῖον πήξεως -23^0 C. Παρόμοιον μῖγμα εἶναι τὸ ἀντιπηκτικὸν ὑγρὸν (μῖγμα γλυκόλης), ποὺ χρησιμοποιεῖται κατὰ τὸν χειμῶνα εἰς τὰ ψυγεῖα τῶν αὐτοκινήτων. Ἐφ' ὅσον τὸ αὐτοκίνητον εἶναι ἐκτεθειμένον καὶ ἀκίνητον εἰς τὴν χαμηλὴν θερμοκρασίαν τῆς νυκτός, τὸ ὕδωρ τοῦ ψυγείου του ὄχι μόνον θὰ παγώση, ἀλλὰ ὡς πάγος θὰ διασταλῇ μὲ κίνδυνον νὰ θραυσθῇ τὸ ψυγεῖον ἢ καὶ ἡ μηχανή. Αὐτὸ ἄλλωστε συμβαίνει μέσα εἰς τὰς σχισμὰς καὶ κοιλότητας τῶν βράχων ἢ τῶν κτηρίων ἢ εἰς τοὺς ἀγωγοὺς τοῦ ὕδατος, ὁπότε τὸν χειμῶνα παρουσιάζονται πολλαὶ θραύσεις καὶ ζημίαι ἀπὸ τὸν παγετόν. (Ποτὲ νὰ μὴ ἀφίνετε κλειστὴν πλήρη φιάλην μέσα εἰς ψυκτικὸν θάλαμον, διότι πιθανώτατα θὰ σπάση).

Τὰ διάφορα ἅλατα ἀπορροφοῦν θερμότητα διὰ νὰ διαλυθοῦν (ἐκτὸς μερικῶν ἐξαιρέσεων, ὅπως ἡ ξηρὰ σόδα) καὶ ἑπομένως τὸ μῖγμα χιόνος ἢ τριμμάτων πάγου καὶ ἅλατος, π.χ. μαγειρικοῦ ἅλατος, ψύχεται καὶ μάλιστα εἰς ἀναλογίαν 1 kg πάγου μὲ 330 g ἅλατος κατεβάζει τὴν θερμοκρασίαν εἰς -21^0 C.

Ἀναλόγως δυνάμεθα διὰ μεταλλικῶν κραμάτων νὰ ἐπιτύχωμεν σχετικῶς χαμηλὰς θερμοκρασίας τήξεως, αἱ ὁποῖαι μᾶς ἐξυπηρετοῦν διὰ διαφόρους σκοπούς. Οὕτως ὑπάρχουν κράματα (Βισμουθίου, Μολύβδου καὶ Κασσιτέρου), ἀπὸ τὰ ὁποῖα κατασκευάζομεν ἀσφαλιστικὰ στηρίγματα πωμάτων (βουλώματα), ποὺ φράσσουν ὀπὰς εἰς σωλῆνας ὕδατος διὰ κατάσβεσιν πυρκαϊῶν ἐντὸς ἀποθηκῶν. Μόλις ἡ θερμοκρασία αὐξηθῇ λόγῳ πυρκαϊᾶς εἰς τοὺς 60^0 ἕως 70^0 C, τὸ μέταλλον τήκεται, τὸ πῶμα φεύγει καὶ ἐκχύνεται τὸ ὕδωρ διὰ τὴν πυρόσβεσιν. Εὔτηκτον κρᾶμα τοῦ εἴδους αὐτοῦ εἶναι καὶ ἡ *κόλλησις* (κασσίτερος καὶ μόλυβδος), ποὺ τήκεται εἰς τοὺς 190^0, ἐνῷ ὁ μὲν καθαρὸς κασσίτερος τήκεται εἰς τοὺς 232^0, ὁ δὲ μόλυβδος εἰς τοὺς 326^0.

Πρὶν τελειώσωμεν τὰ περὶ τήξεως καὶ πήξεως, ἀναφέρομεν ὡρισμένα φαινόμενα, τῶν ὁποίων ἡ ἐξήγησις μὲ ὀλίγην σκέψιν καὶ ἐπὶ τῇ βάσει τῶν προηγουμένων εἶναι τώρα κατορθωτή:

α) Διατί ὁ πάγος ἐπιπλέει τοῦ ὕδατος;

β) Διατί ὁ πάγος, ὅταν σχηματίζεται ἐπάνω εἰς τὴν λίμνην, δυσχεραίνει τὴν παγοποίησιν τοῦ ὑπ' αὐτὸν ὕδατος καὶ θερμαίνει τὸν ἄνω αὐτοῦ ψυχρὸν ἀέρα;

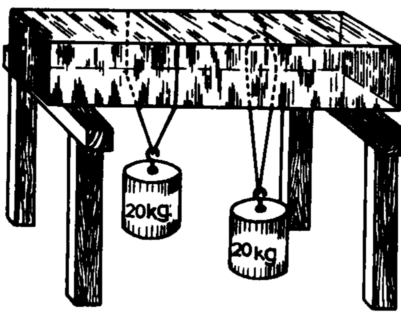
γ) Διατί, ὅταν ἀρχίση νὰ χιονίζη, μαλακώνει τὸ πολὺ κρύο;

δ) Διατί εἰς βορείας χώρας ρίπτουν τὸν χειμῶνα ἅλας ἐπάνω εἰς τὰς διαβάσεις τῶν πεζῶν;

ε) Διατί οἱ παγοδρόμοι φοροῦν πέδιλα, ποὺ ἔχουν ἀπὸ κάτω σιδηρᾶ ἐλάσματα (παγοπέδιλα);

στ) Διατί οἱ παγετῶνες τῶν βουνῶν προχωροῦν σιγά - σιγὰ πρὸς τὰ κάτω;

ζ) Διατί ἕνα σύρμα μὲ βαρίδια ἢ ἕνα βαρὺ γενικῶς σῶμα ἐξαφανίζεται σιγά - σιγὰ μέσα εἰς στρῶμα πάγου· π.χ. δύναται νὰ περάσῃ μέσα ἀπὸ κολώνα πάγου χωρὶς νὰ ἀφήσῃ ὀπὴν (σχ. 14 · 1 γ);



Σχ. 14 · 1 γ.

η) Διατί εἰς πυκνὰ διαλύματα ζακχάρεως, ὅταν ψυχθοῦν, πρέπει νὰ προστεθῇ ὀλίγη στερεὰ σάκχαρις διὰ νὰ ἀρχίσουν ταχέως νὰ κρυσταλλώνουν;

14 · 2 Ἐξαέρωσις (Ἐξάχνωσις. Ἐξάτμισις. Βρασμός).

Ὀνομάζομεν γενικῶς ἐξαέρωσιν τὴν μετάβασιν ἑνὸς σώματος ἀπὸ τῆς ὑγρᾶς ἢ στερεᾶς καταστάσεως εἰς τὴν ἀερίαν.

Διακρίνομεν τρεῖς κυρίως περιπτώσεις:

α) Τὴν μετάβασιν ἀπὸ τῆς στερεᾶς εἰς τὴν ἀερίαν κατάστασιν, ἄνευ μεσολαβήσεως τῆς ὑγρᾶς καταστάσεως. Τὴν ἐξαέρωσιν αὐτὴν καλοῦμεν *ἐξάχνωσιν*.

β) Τὴν βραδεῖαν καὶ μέσω τῆς ἐπιφανείας του μετάβασιν ἑνὸς ὑγροῦ εἰς τὴν ἀερίαν κατάστασιν, τὴν ὁποίαν χαρακτηρίζομεν ὡς *ἐξάτμισιν*.

γ) Τὴν ταχεῖαν μετὰ φυσαλλίδων καὶ καθ' ὅλην τὴν μᾶζαν τοῦ ὑγροῦ γενομένην μετατροπὴν τοῦ ὑγροῦ εἰς ἀέριον, τὴν ὁποίαν ὀνομάζομεν *βρασμὸν* ἢ *ζέσιν*.

Καὶ ἐν πρώτοις τὸ φαινόμενον τῆς ἐξαχνώσεως συμβαίνει συνήθως πολὺ βραδέως καὶ διὰ τοῦτο μόνον δι' ὀλίγα σώματα ἔχει κάποιαν πρακτικὴν σημασίαν. Οὕτως, ἐξαχνοῦται ἡ ναφθαλίνη, οἱ κρύσταλλοι τοῦ ἰωδίου, ἡ καμφορὰ καὶ μερικὰ ἄλλα στερεὰ σώματα, ποὺ τὰ χρησιμοποιοῦμεν ὡς ἐντομοκτόνα ἢ δι' ἀπομάκρυνσιν κακῶν ὀσμῶν, ἀρωματισμὸν αἰθουσῶν κ.λπ. Ἐπίσης ἐξαχνοῦται, χωρὶς νὰ τακῇ, τὸ στερεὸν CO_2 καὶ δι' αὐτὸ ὀνομάζεται *ξηρὸς πάγος* (θερμοκρασία —78° C). Προσοχὴ ὅμως, διότι τὸ ψυγεῖον γεμίζει μὲ τὸ CO_2, ποὺ βεβαίως δὲν εἶναι ἀναπνεύσιμον ἀέριον ἀλλὰ ἀσφυκτικὸν καὶ ὄχι δηλητηριῶδες, ὅπως τὸ μονοξείδιον τοῦ ἄνθρακος (CO).

Ἀνεφέρθη ἤδη ὅτι διὰ τὴν τῆξιν ἑνὸς στερεοῦ σώματος χρειάζεται θερμότης. Ὁμοίως καὶ διὰ τὴν ἐξαέρωσιν χρειάζεται προσφορὰ θερμότητος. Ἡ θερμότης αὐτὴ εἶναι ἀπαραίτητος διὰ νὰ κατορθώσουν τὰ μόρια τοῦ σώματος νὰ ἀπομακρυνθοῦν μεταξύ των τόσον, ὥστε νὰ παρουσιασθοῦν ὑπὸ μορφὴν ἀερίου.

Ὀνομάζομεν λοιπὸν *εἰδικὴν θερμότητα ἐξαερώσεως ὑπὸ ὡρισμένην σταθερὰν θερμοκρασίαν τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, ποὺ χρειάζεται μᾶζα 1 g (ἢ 1 kg) τοῦ σώματος διὰ νὰ μετατραπῇ εἰς ἀέριον.*

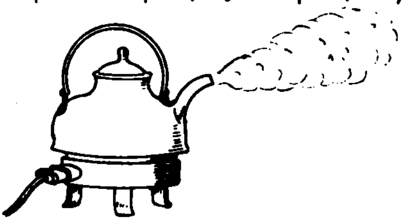
Οὕτω τὸ ὕδωρ εἰς τοὺς 30° C ἔχει εἰδικὴν θερμότητα ἐξαερώσεως 580 cal/g καὶ εἰς τοὺς 100° C 540 cal/g.

Ἐπειδὴ ἡ ἐξάτμισις εἶναι φαινόμενον, ποὺ λαμβάνει χώραν εἰς τὴν ἐπιφάνειαν μόνον τῶν σωμάτων, ἐπιταχύνεται, ὅταν ὑπάρχῃ μικρὰ πίεσις ἄνωθεν τοῦ ὑγροῦ καὶ ρεῦμα ἀέρος. Τὸ ρεῦμα αὐτὸ παρασύρει τοὺς σχηματιζομένους *ἀτμοὺς* τοῦ ὑγροῦ, ποὺ παραμένουν ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειάν του, ὁπότε εὔκολα νέα μόρια τοῦ ὑγροῦ μεταβαίνουν εἰς τὴν ἀερίαν κατάστασιν. Ἡ ἐξάτμισις, ὅταν γίνεται ταχέως καὶ εἰς ὑγρόν, ποὺ ἀναδίδει εὐκόλως ἀτμοὺς (πτητικόν), προκαλεῖ ψῦξιν, διότι ἐξαέρωσις δὲν γίνεται ἄνευ ἀπορροφήσεως τῆς θερμότητος. Ὡς ἐκ τούτου χρησιμοποιοῦνται εἰδικὰ πτητικὰ ὑγρά, ὡς τοπικὰ ἀναισθητικα, ποὺ ψύχουν πολύ, μέχρις ἀναισθησίας ἕνα μέρος τοῦ σώματος (π.χ. ἕνα δάκτυλον), πρὶν ἀπὸ μίαν μικρὰν ἐγχείρισιν.

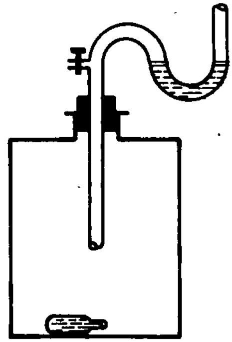
Ἐπίσης συνήθης εἶναι ἡ ψῦξις τοῦ ποσίμου ὕδατος μέσα εἰς πορώδη (πήλινα) δοχεῖα, ποὺ διαβρέχονται (δακρύζουν) καὶ ἐξατμίζουν εὐκόλως τὸ ὕδωρ ἰδίως εἰς ρεῦμα ἀέρος. Ἀνάλογος λειτουργία ψύξεως γίνεται ἀπὸ τὸν ἱδρῶτα τῶν ἀνθρώπων, τὴν γλῶσσαν τῶν σκύλων, τὴν κατάβρεξιν τῶν πλατειῶν διὰ νὰ δροσίσῃ ὁ τόπος περιπάτου κατὰ τὸ θέρος, κ.ο.κ.

Αἱ ὀνομασίαι *ἐξάτμισις* καὶ *ἀτμὸς* πρέπει νὰ ἀναφέρωνται εἰς περιπτώσεις, ὅπου ἡ ἀερία μορφὴ *εὑρίσκεται εἰς κάποιαν στενὴν σχέσιν μὲ τὴν ὑγράν.* Οὕτω τὰ μόρια ὕδατος, ποὺ κυκλοφοροῦν ὑψηλὰ εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν, ἀποτελοῦν ἕνα ἀέριον, ἐνῷ κοντὰ εἰς τὴν Γῆν θεωροῦνται ὡς *ὑδρατμοί,* διότι εὐκόλως δύνανται νὰ συμπυκνωθοῦν, νὰ *ὑγροποιηθοῦν*, ὁπότε καὶ γίνονται *ὁρατοὶ* (νέφος, ὁμίχλη, βροχή). Αὐτὸ λοιπὸν ποὺ βλέπομεν νὰ ἀχνίζῃ ἀπὸ τὰ μαγειρικὰ σκεύη *δὲν εἶναι ὁ ὑδρατμός*, ἀλλὰ ἡ προελθοῦσα ὁμίχλη ἀπὸ τὴν συμπύκνωσίν του, δηλαδὴ πλῆθος αἰωρουμένων μικροτάτων σταγονιδίων ὕδατος (σχ. 14 · 2α).

Εἰς τὴν Τεχνικὴν ἔχομεν πολλὰς εἰδικὰς ὀνομασίας διὰ τοὺς ὑδρατμούς, εἰς τὴν Φυσικὴν ὅμως διακρίνομεν γενικῶς δύο κατηγορίας *ἀτμῶν* καὶ προκειμένου διὰ τὸ H_2O *ὑδρατμῶν*. Τὸ ἀκόλουθον πείραμα θὰ μᾶς ἐπιτρέψῃ νὰ καταλάβωμεν εἰς τί συνίσταται ἡ διαφορά των:



Σχ. 14 · 2α.
Χύτρα.



Σχ. 14 · 2β.

Μέσα εἰς μίαν μεγάλην ὑαλίνην φιάλην (σχ. 14 · 2β) θέτομεν μὲ προσοχὴν ἕνα φιαλίδιον ἀπὸ λεπτὴν ὕαλον κλειστὸν καὶ πλῆρες μὲ πτητικὸν ὑγρόν, π.χ. ἐλαφρὰν βενζίνην. Τὴν φιάλην κλείομεν μὲ πῶμα, ποὺ φέρει ἕνα ἀνοικτὸν μανόμετρον. Κανονικῶς ἡ στήλη τοῦ ὑδραργύρου εὑρίσκεται ἰσορροπημένη, πρᾶγμα ποὺ σημαίνει ὅτι μέσα εἰς τὴν φιάλην ἔχομεν ἀέρα ὑπὸ τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν. Μὲ προσεκτικὰς ἀλλὰ ἀποτόμους κινήσεις ἐπιτυγχάνομεν, ὥστε ἢ νὰ σπάσῃ τὸ φιαλίδιον ἢ νὰ φύγῃ τὸ πῶμα του, ὁπότε ξεχύνεται ἡ βενζίνη μέσα εἰς τὴν φιάλην. Ἔχομε τότε δύο πιθανὰς περιπτώσεις:

α) *Τὸ ὑγρὸν ἐξατμίζεται τελείως καὶ δὲν μένει καθόλου ὑπόλοιπον.* Λέγομεν τότε ὅτι οἱ ἀτμοί του εἶναι *ἀκόρεστοι*, δηλαδὴ ὁ χῶρος τῆς φιάλης εἰς τὴν θερμοκρασίαν ποὺ εὑρίσκεται, δύναται νὰ περιλάβῃ καὶ ἄλλους ἀτμοὺς τοῦ ὑγροῦ. Προφανῶς τὸ μανόμετρον θὰ δείξῃ ηὐξημένην πίεσιν μέσα εἰς τὴν φιάλην καὶ αὐτὴ εἶναι ἡ πίεσις ἢ *τάσις* τῶν ἀτμῶν, ποὺ συμπεριφέρονται ὡς φυσικὸν ἀέριον, ἄρα ὑπακούουν μὲ προσέγγισιν εἰς τοὺς νόμους τῶν τελείων ἀερίων.

Πράγματι, σήμερον ἡ ὀνομασία ἀκόρεστος ἀτμὸς τείνει νὰ ἐκλείψῃ, διότι οὐσιαστικῶς πρόκειται περὶ φυσικοῦ ἀερίου καὶ ὁ ἀκόρεστος ἀτμὸς δὲν εἶναι κάτι τὸ ἰδιόμορφον, ποὺ νὰ δικαιολογῇ ἰδίαν ὀνομασίαν, ὅπως συμβαίνει μὲ τὸν κεκορεσμένον.

β) *Μέσα εἰς τὴν κλειστὴν φιάλην μένει ὀλίγον ὑγρόν.* Πρέπει τότε νὰ δεχθῶμεν ὅτι ὁ χῶρος εἶναι *κεκορεσμένος* ἀτμῶν καὶ δὲν δύναται ἄλλο ὑγρὸν νὰ ἐξατμισθῇ ἢ ἐξατμίζεται μὲν συνεχῶς ποσὸν ὑγροῦ, ἀλλὰ συγχρόνως ὑγροποιεῖται ἴσον ποσόν, ὥστε νὰ μένῃ σταθερὰ ἡ ποσότης καὶ τῶν ἀτμῶν καὶ τοῦ ὑπολειπομένου ὑγροῦ. Ἡ πίεσις, ποὺ δείχνει τώρα τὸ μανόμετρον, εἶναι ἡ *τάσις τῶν κεκορεσμένων ἀτμῶν*, ἡ ὁποία ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ εἶδος τοῦ ὑγροῦ καὶ τὴν θερμοκρασίαν *ὄχι ὅμως καὶ ἀπὸ τὸν ὄγκον.* Τοῦτο ἀποτελεῖ καὶ τὴν χαρακτηριστικὴν διαφορὰν ἀπὸ τὰ ἀέρια καὶ συνεπῶς ἀπὸ τοὺς ἀκορέστους ἀτμούς. Μὲ ἄλλους λόγους, εἴτε τὸ πείραμα γίνῃ μὲ μικρᾶς χωρητικότητος φιάλην, εἴτε μὲ μεγάλης, ἀρκεῖ νὰ συμβῇ ἡ κεκορεσμένη κατάστασις *τοῦ αὐτοῦ ὑγροῦ εἰς τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν* καὶ ἡ τάσις τῶν κεκορεσμένων ἀτμῶν θὰ εἶναι ἡ ἰδία καὶ μεγαλυτέρα ἀπὸ τὴν τάσιν τῶν ἀκορέστων.

Ἡ ἐξήγησις τοῦ φαινομένου εἶναι εὔκολος. Ἐφ' ὅσον εὑρίσκεται εἰς ἀλληλοσύνδεσιν ἡ ἀερία καὶ ὑγρὰ κατάστασις τοῦ ὑγροῦ, ὅταν αὐξηθῇ ὁ ὄγκος, ἀραιώνουν οἱ ἀτμοί, ἐξατμίζεται νέον ὑγρόν, ἐπέρχεται ὁ *κόρος* καὶ ἐμφανίζεται πάλιν ἡ αὐτὴ πίεσις. Ἀντιθέτως, ὅταν ἐλαττωθῇ ὁ ὄγκος, συμπυκνοῦνται οἱ ἀτμοί, γίνονται *ὑπέρκοροι*, ὑγροποιεῖται μέρος αὐτῶν καὶ ἡ πίεσις διατηρεῖται σταθερά.

Εἰς ἕνα κλειστὸν χῶρον μὲ κεκορεσμένους ἀτμοὺς ἡ θέρμανσίς των θὰ τοὺς καταστήσῃ *ἀκορέστους*, ἡ δὲ ψῦξις των *ὑπερκόρους*. Εἰς μὲν τὴν πρώτην περίπτωσιν ἐξατμίζεται ὅλον τὸ ὑγρὸν καὶ ἔχομεν συμπεριφορὰν ἀερίου (δηλαδὴ ἡ πίεσις ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν καὶ τὸν ὄγκον), ἐνῶ εἰς τὴν δευτέραν παρουσιάζεται ὑγροποίησις καὶ ὁ χῶρος μένει πάλιν κεκορεσμένος ἀλλὰ μὲ μικροτέραν τάσιν ἀτμῶν, διότι ὀλιγώτερον ὑγρὸν δύναται νὰ παραμένῃ εἰς τὴν κατάστασιν τοῦ ἀτμοῦ λόγῳ τῆς χαμηλοτέρας θερμοκρασίας.

Ἡ ὑγροποίησις (σταγονοποίησις) διευκολύνεται πολύ, ἂν ὑπάρχουν *κέντρα συμπυκνώσεως*, ὅπως κρυσταλλίδια ἢ ἠλεκτρισμένα σωματίδια (ἰόντα ἢ κονιορτός). Δι' αὐτὸ εἰς ψυχρὰ κλίματα μὲ ὑπέρκορον κατάστασιν ὑδρατμῶν σχηματίζεται εὐκόλως ἡ ὁμίχλη εἰς βιομηχανικὰς περιοχὰς ἢ ὑψηλὰ εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν παρατηροῦνται γραμμαὶ λευκῆς νεφώσεως ἀπὸ τὰ καυσαέρια ἑνὸς πυραυλοκινήτου ἀεροπλάνου, ποὺ δροῦν ὡς κέντρα σταγονοποιήσεως τῶν ὑδρατμῶν τῶν προερχομένων ἀπὸ τὰ καύσιμα τοῦ τζὲτ (ἕνα kg βενζίνης καιόμενον παρέχει 1,4 kg ὑδρατμῶν).

Ὅπως ὡρίσαμεν προηγουμένως, ὁ βρασμὸς συμβαίνει εἰς ὅλην τὴν μᾶζαν τοῦ ὑγροῦ καὶ συνοδεύεται ἀπὸ σχηματισμὸν φυσαλλίδων ἰδίως εἰς τὰ θερμότερα μέρη τοῦ δοχείου ἢ ὅπου ὑπάρχουν αἰχμαί, σχισμαὶ ἢ κοιλότητες μὲ ἀέρα· διὰ τοῦτο τὸ ὑγρὸν βράζει πολὺ ὁμαλώτερον μὲ πλῆθος φυσαλλίδων, ὅταν ἀπὸ τὴν ἀρχὴν ρίψωμεν ἐντὸς τοῦ δοχείου ὑαλίνους σβώλους ἢ μικροὺς πορώδεις λίθους.

Ὁ βρασμὸς ἀκολουθεῖ τοὺς ἑξῆς νόμους:

α) Κάθε χημικῶς καθαρὸν ὑγρὸν βράζει ὑπὸ ὡρισμένην πίεσιν εἰς μίαν ὡρισμένην θερμοκρασίαν, ἡ ὁποία διατηρεῖται σταθερὰ καθ' ὅλην τὴν διάρκειαν τοῦ βρασμοῦ.

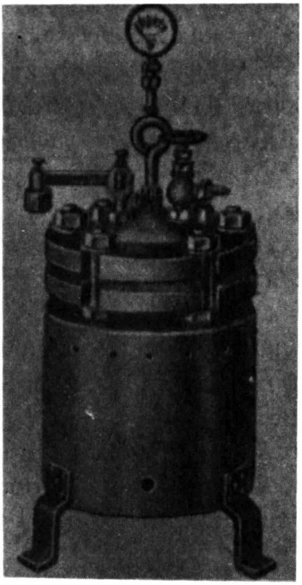
β) Διὰ πίεσιν μιᾶς ἀτμοσφαίρας ἡ θερμοκρασία ζέσεως τοῦ ὑγροῦ ὀνομάζεται *σημεῖον ζέσεως*. Π.χ. διὰ τὸ ὕδωρ ἐτέθη αὐθαιρέτως 100^{0} C. Διὰ τὸ οἰνόπνευμα εἶναι 78,5 βαθμοί.

γ) Ἡ ἐλάττωσις ἢ ἡ αὔξησις τῆς πιέσεως μεταβάλλουν ἀντιστοίχως τὸ σημεῖον τῆς ζέσεως. Οὕτω τὸ ὕδωρ ὑπὸ πίεσιν ἡμισείας ἀτμοσφαίρας βράζει εἰς τοὺς 82^{0} καὶ ὑπὸ πίεσιν δύο ἀτμοσφαιρῶν εἰς τοὺς 121^{0} C.

δ) Ἡ διάλυσις οὐσιῶν ἐντὸς τοῦ ὑγροῦ, π.χ. μαγειρικοῦ ἅλατος ἐντὸς ὕδατος, ἀναβιβάζει τὸ σημεῖον ζέσεως. Οὕτω 10 % διάλυμα ἅλατος βράζει εἰς τοὺς 101,5 βαθμοὺς ὑπὸ πίεσιν 1 at.

ε) Κατὰ τὴν διάρκειαν τοῦ βρασμοῦ οἱ κεκορεσμένοι ἀτμοὶ τοῦ ὑγροῦ ἔχουν τάσιν ἴσην μὲ τὴν ἐπὶ τοῦ ὑγροῦ ἐξασκουμένην ἐξωτερικὴν πίεσιν. Συνεπῶς εἰς τοὺς 100^{0} C ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν τοῦ ὕδατος εἶναι 760 torr. Εἰς τοὺς 90^{0} C γίνεται μικροτέρα καὶ εὑρέθη ὅτι ἰσοῦται πρὸς 526 torr, δηλαδὴ κατὰ μέσον ὅρον ἀναλογοῦν περίπου 24 torr ἀνὰ βαθμόν. Ἐπειδὴ διὰ τὰ πρῶτα ὑψόμετρα ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις πίπτει κατὰ 10 torr ἀνὰ 110 m, ἕπεται ὅτι τὸ ὕδωρ βράζει εἰς ἕνα βαθμὸν ὀλιγώτερον ἀνὰ 265 m ὕψος, ἤτοι ἐπάνω εἰς τὸν Ὑμηττὸν βράζει εἰς τοὺς $\simeq 96^{0}$ C.

Κατὰ τὴν βραδεῖαν θέρμανσιν βρασθέντος ἤδη ὕδατος, ἐκ τοῦ ὁποίου ἔχει φύγει ὁ ἐντὸς αὐτοῦ διαλελυμένος ἀήρ, τὸ σημεῖον ζέσεως εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπερβῇ τοὺς 100^0 C (ὑστέρησις ζέσεως). Τὸ ὕδωρ αὐτὸ εἶναι εἰς πολλὰς περιπτώσεις ἐπικίνδυνον, διότι, μόλις ταραχθῇ, ἀναπτύσσει ταχύτατα ζωηρὰ φαινόμενα βρασμοῦ, ἂν τύχῃ δὲ νὰ εἶναι ὕδωρ ἐντὸς λέβητος, δύναται νὰ προκληθῇ ἔκρηξις. Πρὸς τοῦτο, ὅταν βράζῃ ἐκ νέου τὸ ὕδωρ ἐντὸς κλειστοῦ λέβητος, πρέπει νὰ προστίθεται καὶ νέον ἀερισμένον ὕδωρ ἢ νὰ ὑπάρχουν αἱ διευκολύνουσαι τὸν βρασμὸν εἰδικαὶ διατάξεις ἢ πρόσθετα σώματα.

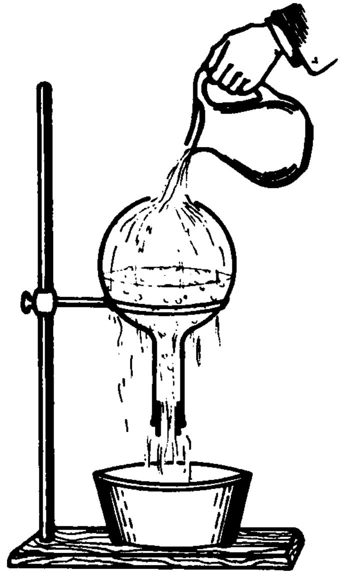


Σχ. 14 · 2 γ.

Τὴν ἀνύψωσιν τοῦ σημείου ζέσεως, διὰ νὰ ἐπιτύχωμεν ταχύτερον μαγείρευμα ἢ τὴν ἀπολύμανσιν ἰατρικῶν ἐργαλείων κ.λπ., πραγματοποιοῦμεν μὲ τὴν χύτραν τοῦ Παπὲν (Papin) ἢ ἄλλως τὸ *αὐτόκλειστον* (σχ. 14 · 2 γ). Ἡ χύτρα τοῦ μαγειρείου ἀποτελεῖται ἀπὸ δοχεῖον, ὅπου τίθενται τὰ ὑλικὰ καὶ τὸ ὕδωρ, κλείεται δὲ καλῶς μὲ κάλυμμα στερεούμενον μὲ κοχλίας. Τὸ κάλυμμα αὐτὸ φέρει καὶ ἀσφαλιστικὴν *βαλβῖδα ἐξαγωγῆς ἀτμοῦ*. Θερμαίνοντες τὴν χύτραν προκαλοῦμεν διὰ τῶν ἐγκλείστων ἀτμῶν ηὐξημένην πίεσιν, ἄρα θερμοκρασίαν ἀνωτέραν τῶν 100^0 C, πρᾶγμα ποὺ συντελεῖ εἰς τὸν ταχὺν βρασμὸν τῶν ὠμῶν τροφῶν. Ὅταν ἡ βαλβὶς «σφυρίξῃ», σημαίνει ὅτι ἡ ἐντὸς αὐτῆς πίεσις τῶν ὑδρατμῶν ἔφθασε τὸ ὅριον τῆς ἀσφαλοῦς ἀντοχῆς της καὶ πρέπει νὰ ἐλαττώσωμεν τὴν θέρμανσιν ἢ ἂν νομίζωμεν ὅτι τὸ φαγητὸν ἤδη ἔβρασε, νὰ σταματήσωμεν τὴν θέρμανσιν, νὰ ἀναμείνωμεν νὰ ψυχθῇ καὶ ἔπειτα νὰ ξεβιδώσωμεν τοὺς κοχλίας της. Καὶ τοῦτο διότι, ἂν γίνῃ τὸ ἄνοιγμα εἰς τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν μὲ ὑπέρθερμον τὸ ὕδωρ, θὰ προκαλέσῃ ἀπότομον βρασμὸν καὶ θὰ ξεχειλίσῃ τὸ ὕδωρ μὲ κίνδυνον νὰ μᾶς κάψῃ.

Ἀντιστρόφως, ὅταν ἐκ κλειστῆς χύτρας ἀφαιρέσωμεν τὸν ἀέρα καὶ τοὺς ἀτμούς, ποὺ θὰ παράγωνται, δυνάμεθα νὰ βράσωμεν τὸ ὕδωρ εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν, π.χ. 50^0 C. Αὐτὸν τὸν βρασμὸν ὑπὸ κενὸν τὸν χρησιμοποιεῖ ἡ Βιομηχανία διὰ τὸ βράσιμον σωμάτων, ποὺ ἀλλοιώνονται εἰς τοὺς 100° C.

Τὴν δυνατότητα τοῦ βρασμοῦ εἰς χαμηλὴν πίεσιν καὶ θερμοκρασίαν δεικνύει τὸ ἀκόλουθον πείραμα: Θερμαίνομεν ὕδωρ ἐντὸς φιάλης, ἕως ὅτου ἀρχίση νὰ βράζη καλά. Κλείομεν τὴν φιάλην, τὴν ἀναστρέφομεν καὶ τὴν ψύχομεν δι' ὕδατος (σχ. 14 · 2 δ). Διὰ τῆς ψύξεως ἐλαττώνεται ἡ πίεσις, διότι συμπυκνοῦνται οἱ ἄνω τοῦ ὕδατος ὑδρατμοί, ὁπότε παρατηροῦμεν ὅτι τὸ ὕδωρ βράζει ἐκ νέου ζωηρὰ καὶ εἰς χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν.



Σχ. 14 · 2 δ.

14 · 3 Ὑγροποίησις, ψῦξις, ἀπόσταξις.

Ὑγροποίησις: Ἀπὸ τὴν μελέτην τῶν ἰδιοτήτων τῶν κεκορεσμένων ἀτμῶν προκύπτει ὅτι ἕνα ἀέριον (ἢ ἀκόρεστος ἀτμὸς) πρέπει νὰ διέλθη ἀπὸ τὴν κεκορεσμένην μορφήν, διὰ νὰ ἀρχίση νὰ ὑγροποιῆται. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται, ὅταν εἰς κλειστὸν χῶρον διαθέτωμεν ἀρκετὸν ἀέριον, δηλαδὴ ἔχωμεν αὐξήσει τὴν πυκνότητά του (πίεσιν) καὶ προκαλέσωμεν ἱκανὴν ψῦξιν. Τὰ δύο αὐτὰ μεγέθη, ἤτοι ἡ ηὐξημένη πίεσις καὶ ἰδίως ἡ ἐλάττωσις τῆς θερμοκρασίας, ἀναγκάζουν τὰ μόρια νὰ βραδύνουν τὰς κινήσεις των, νὰ ἀλληλεπιδροῦν ἐντονώτερον, ἕως ὅτου διερχόμενα ἀπὸ τὸν κόρον ἀρχίζουν νὰ σχηματίζουν — συμπυκνούμενα — σταγονίδια ὑγροῦ.

Κάθε ἀέριον χρειάζεται μίαν ὡρισμένην θερμοκρασίαν, κάτω τῆς ὁποίας δύναται νὰ ὑγροποιηθῆ, ἐνῶ συγχρόνως πρέπει νὰ ὑφίσταται πίεσις ἀνωτέρα μιᾶς ὡρισμένης.

Τὰ ὡρισμένα αὐτὰ χαρακτηριστικὰ μεγέθη ὀνομάζονται *κρίσιμος πίεσις* καὶ *κρίσιμος θερμοκρασία*. Οὕτω διὰ τὸ ὕδωρ εἶναι:

$$P_{\kappa\rho} = 220 \text{ at} \quad \text{καὶ} \quad \theta_{\kappa\rho} = 374^0 \text{ C}.$$

Συνεπῶς ὕδωρ *δὲν εἶναι δυνατὸν* νὰ ὑπάρξη παρὰ μόνον κάτω τῶν 374° C. Ὕδωρ 374° C διὰ νὰ διατηρηθῆ ὡς ὑγρὸν χρειάζεται τουλάχιστον πίεσιν 220 at.

Ὕδωρ 400° C δὲν ὑπάρχει ὡς ὑγρὸν παρὰ μόνον ὡς ἀέριον, ὁσηνδήποτε πίεσιν καὶ ἂν ἐξασκήσωμεν ἐπ' αὐτοῦ διὰ νὰ τὸ ὑγροποιήσωμεν.

Ὅσον χαμηλότερον διατηρεῖται ἡ θερμοκρασία ἀπὸ τὴν κρίσιμον, τόσον μικροτέρα πίεσις ἀπαιτεῖται διὰ τὴν ὑγροποίησιν. Παρὰ ταῦτα πρέπει νὰ διευκολύνωμεν τὴν ὑγροποίησιν αὐξάνοντες τὴν πίεσιν ἄνω τῆς κρισίμου, ὅσον τοῦτο οἰκονομικῶς εἶναι συμφέρον.

Τὰ φυσικὰ ἀέρια (καὶ ἀκόρεστοι ἀτμοὶ) παρουσιάζουν ἐλάττωσιν τῆς θερμοκρασίας των, ὅταν ἀποτόμως ἀπὸ μεγάλας πιέσεις μέσω στομίου μεταπίπτουν εἰς μικρὰς πιέσεις, ὅπως π.χ. ὅταν ἀνοίξωμεν ἀποτόμως τὴν στρόφιγγα εἰς ὀβίδα πλήρη CO_2, ὡς αὐτὴ ποὺ χρησιμεύει διὰ τὴν πίεσιν τοῦ ζύθου.

Αὐτὸ ἐξηγεῖται ἐκ τοῦ ὅτι τὸ CO_2 δὲν εἶναι ἰδανικὸν ἀέριον, ἄρα ὑπάρχουν δυνάμεις μεταξὺ τῶν μορίων του, αἱ ὁποῖαι πρέπει νὰ κατανικηθοῦν διὰ νὰ διογκωθῇ τὸ ἀέριον. Ἑπομένως κάποιος πρέπει διὰ τὴν ἐργασίαν αὐτὴν νὰ πληρώσῃ καὶ ἐπειδὴ ἡ διόγκωσις τοῦ ἀερίου δὲν γίνεται τόσον βραδέως, ὥστε νὰ προλαμβάνῃ νὰ εἰσέρχεται θερμότης ἀπ' ἔξω (ἰσοθερμοκρασιακὴ ἢ ἰσόθερμος ἐκτόνωσις), διὰ τοῦτο ἀφαιρεῖται θερμότης ἀπὸ τὸ ἴδιον τὸ ἀέριον, δηλαδὴ αὐτοψύχεται.

Ἡ ἀπότομος αὐτὴ αὔξησις τοῦ ὄγκου τοῦ ἀερίου μὲ πτῶσιν τῆς πιέσεως καὶ ἀποκλεισμὸν (μὴ διάβασιν) κάθε ποσοῦ θερμότητος ἀπὸ τὸ περιβάλλον ὀνομάζεται *ἀδιαβατικὴ ἐκτόνωσις* συνεπαγομένη διὰ τὰ πλεῖστα τῶν ἀερίων εἰς συνήθεις θερμοκρασίας *ψῦξιν τοῦ ἐκτονουμένου ἀερίου.* Τὸ ἀντίθετον συμβαίνει κατὰ τὴν ἀπότομον συμπίεσιν, ὁπότε ἔχομεν θέρμανσιν αὐτοῦ.

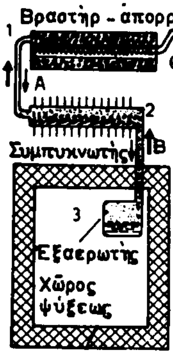
Χαρακτηριστικὸν παράδειγμα ἔχομεν τὸν ἀεροθάλαμον τοῦ ποδηλάτου. Κατὰ τὴν πλήρωσιν μὲ ἀέρα παρατηρεῖται θέρμανσις τοῦ ἀέρος καὶ τῆς ἀντλίας (τρόμπας), ἐνῶ κατὰ τὴν ἀφαίρεσιν τοῦ ἀέρος ψῦξις τοῦ ἀέρος καὶ τῆς βαλβῖδος.

Ψῦξις: Τὰ ἀδιαβατικὰ φαινόμενα καὶ τὴν ψῦξιν, ἡ ὁποία δημιουργεῖται κατὰ τὴν ἐξάτμισιν πτητικῶν, τὰ χρησιμοποιοῦμεν διὰ νὰ προκαλέσωμεν ὑγροποιήσεις καὶ ψύξεις εἰς τὰ ψυκτικὰ συγκροτήματα, εἰς τὰ ὁποῖα δὲν χρησιμοποιοῦνται κολῶναι πάγου, ὅπως τὰ ἑξῆς:

α) *Ψυγεῖον μὲ ἀμμωνίαν ἐντὸς ὕδατος.*

Τὸ ψυγεῖον αὐτὸ ἐργάζεται *θερμαινόμενον* μὲ γκάζι ἢ λάμπαν πετρελαίου ἢ μὲ ἠλεκτρικὴν θερμάστραν (τελευταίως ἐπιδιώκεται νὰ θερμανθῇ μὲ ἡλιακὸν συγκεντρωμένον φῶς) καὶ εἶναι γενικῶς μικρᾶς ἀποδόσεως, χρήσιμον ὅμως δι' ὡρισμένους τόπους καὶ σκοπούς.

Τὸ ἀέριον ἀμμωνία διαλύεται πολὺ εὔκολα εἰς ὕδωρ καὶ γίνεται ἡ γνωστὴ βάσις τῆς ἀμμωνίας τῶν φαρμακείων. Μὲ αὐτὸ τὸ διάλυμα πληροῦται τὸ ἔξω τοῦ ψυγείου δοχεῖον 1 (σχ. 14·3α), ἄνωθεν τοῦ ὁποίου ὑπάρχει καὶ ὁ θερμαινόμενος θάλαμος Θ. Τὸ διάλυμα, ποὺ ἀκόμη καὶ εἰς τὴν συνήθη θερμοκρασίαν μυρίζει ἐντόνως ἀμμωνίαν, ἐκλύει θερμαινόμενον τὸ ἀέριον, ποὺ κινεῖται κατὰ τὴν φορὰν τοῦ βέλους Α καὶ συμπιεζόμενον μόνον του ὑγροποιεῖται εἰς τὸ δοχεῖον 2, τὸ ὁποῖον ψύχεται δι' ἀερισμοῦ ἢ μὲ ρέον ὕδωρ. Ἀπὸ ἐκεῖ ρέει εἰς τὸ δοχεῖον 3, δηλαδὴ μέσα εἰς τὸ δοχεῖον τοῦ ψυκτικοῦ θαλάμου. Μετὰ ὡρισμένον χρονικὸν διάστημα ἡ θέρμανσις τοῦ δοχείου 1 διακόπτεται. Τὸ ὕδωρ ψύχεται, δημιουργεῖται πτῶσις τῆς πιέσεως καὶ ἡ ὑγροποιηθεῖσα ἀμμωνία ἐξατμίζεται διὰ νὰ διαλυθῇ ἐκ νέου εἰς τὸ ὕδωρ τοῦ δοχείου 1 ἀκολουθοῦσα τὸ βέλος Β.



Σχ. 14 · 3 α.
Ψυκτικὸς θάλαμος.

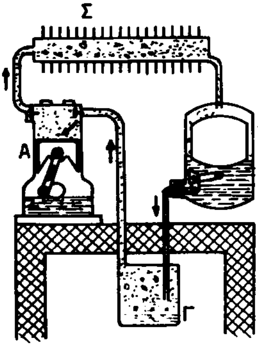
Ἡ ἐξάτμισις ὅμως τῆς ὑγροποιημένης ἀμμωνίας μέσα εἰς τὸ δοχεῖον 3 ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν ταχεῖαν ψῦξιν τοῦ χώρου. Ὅταν τελειώσῃ ἡ ἐξάτμισις, ἐπαναλειτουργεῖ ἡ θέρμανσις τοῦ δοχείου 1 καὶ ἐπαναλαμβάνεται ὁ κύκλος αὐτομάτως τῇ βοηθείᾳ διμεταλλικῶν θερμομετρικῶν διακοπτῶν.

β) *Ψυγεῖον ἠλεκτρικὸν μὲ συμπιεστήν.*

Τὸ σύνηθες ἠλεκτρικὸν ψυγεῖον ἐργάζεται μὲ ἕνα πτητικὸν ὑγρὸν παράγωγον τοῦ μεθανίου, τὸ Freon. Εἰς γενικὰς γραμμὰς ἡ λειτουργία του ἔχει ὡς ἑξῆς: Τὸ ὑγρὸν εὑρίσκεται εἰς τὴν ἀποθήκην Β, ὅταν ἀρχίζῃ τὴν ἀναρρόφησιν ἡ ἀντλία Α (συμπιεστής).

Ἀνοίγει τότε μία βαλβὶς καὶ τὸ φρέον ὁρμᾶ μέσα εἰς τὸ δοχεῖον Γ τοῦ ψυκτικοῦ θαλάμου. Ἡ ταχεῖα ἐξάτμισις εἰς ἠλαττωμένην πίεσιν προκαλεῖ ψῦξιν· ἐν συνεχείᾳ τὸ ἀέριον διὰ τῆς ἀντλίας Α συμπιέζεται πρὸς δοχεῖον Σ (συμπυκνωτής), ὑγροποιεῖται καὶ ἐπανέρχεται εἰς τὴν ἀποθήκην Β (σχ. 14·3β).

Ἐπειδὴ κατὰ τὴν συμπίεσιν τῶν ἀερίων παρουσιάζεται, ὡς γνωστόν, θέρμανσις αὐτῶν, κατὰ δὲ τὴν ὑγροποίησίν των πρέπει νὰ ἀφαιρεθῇ θερμότης, τόσον ἡ ἀντλία συμπιέσεως Α ὅσον καὶ ὁ συμπυκνωτὴς Σ πρέπει νὰ ἀερίζωνται καλῶς, διότι ἄλλως ἡ ἀπόδοσις τῆς μηχανῆς ἐλαττοῦται.

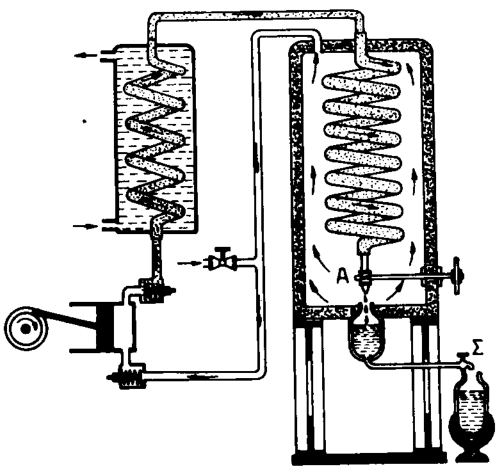


Σχ. 14·3β.

Εἰς τὰ ψυκτικὰ μηχανήματα τῶν γραφείων, ποὺ μέρος αὐτῶν εὑρίσκεται ἔξω ἀπὸ τὸ παράθυρον, καὶ εἰς τὰ ψυγεῖα τῶν οἰκιῶν ἔξω ἀπὸ τὸ καλῶς μονωμένον κιβώτιον τοῦ ψυγείου, ἡ ἀπαγωγὴ τῆς θερμότητος ἀπὸ τὸν συμπυκνωτὴν βοηθεῖται ἐνίοτε μὲ ἕνα ἀνεμιστῆρα, τὰ δὲ δοχεῖα καὶ τὰ πτερύγια (μεγάλη ἐπιφάνεια) εἶναι κεχρωσμένα μαῦρα θαμπά, διὰ νὰ ἀκτινοβολῆται εὐκολώτερον ἡ θερμότης.

γ) *Μηχανὴ ὑγροποιήσεως ἀέρος.*

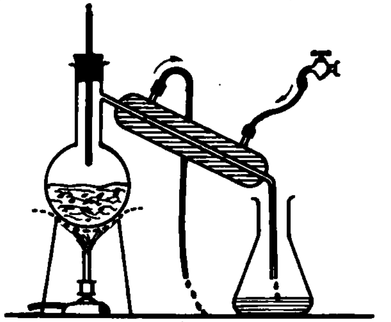
Ἡ μηχανή, ἡ ὁποία καλεῖται Linde, ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα ἰσχυρὸν συμπιεστήν, ὁ ὁποῖος ἀναρροφεῖ τὸν ἀέρα, τὸν καθαρίζει ἀπὸ κονιορτὸν καὶ ὑγρασίαν διὰ μέσου εἰδικῶν φίλτρων καὶ τὸν συμπιέζει εἰς πολλὰς ἀτμοσφαίρας (150 ἕως 250). Κατὰ τὴν ἐργασίαν αὐτὴν ἔχομεν ὑψηλὴν θέρμανσιν καὶ χρειαζόμεθα ἄφθονον ὕδωρ διὰ νὰ ἀφαιρῶμεν τὴν θερμότητα τόσον ἀπὸ τὸν συμπιεστὴν ὅσον καὶ ἀπὸ τὸ δοχεῖον ἀποθηκεύσεως τοῦ ἀέρος. Ὅταν ἡ πίεσις γίνῃ ἀρκετὰ μεγάλη, διαβιβάζεται ὁ ἀὴρ εἰς τὸν εἰδικὸν θάλαμον ἐκτονώσεως (σχ. 14·3γ) τῆς μηχανῆς. Ἐκεῖ ἐκτονοῦται διὰ τοῦ στομίου Α καὶ ψυχόμενος ἀνέρχεται ψύχων ταυτοχρόνως τὸν κατερχόμενον ἀέρα. Τώρα ὁ ἀὴρ



Σχ. 14·3γ.

εὑρίσκεται ὑπὸ χαμηλὴν πίεσιν (π.χ. 20 at) καὶ διὰ τοῦ συμπιεστοῦ ἐπανέρχεται μαζὶ μὲ νέον ἀέρα ἐκ τῶν φίλτρων εἰς τὴν ὑψηλὴν πίεσιν. Ὅταν ἡ ψῦξις τοῦ κατερχομένου ἀέρος φθάσῃ τοὺς -140^0 C καὶ κάτω (κρίσιμος θερμοκρασία), ἀρχίζουν νὰ ρέουν ἀπὸ τὸ Α σταγόνες ὑγροῦ ἀέρος. Μετὰ ὡρισμένον χρόνον λειτουργίας ἐμποδίζομεν τὴν κάθοδον καὶ ἄνοδον τοῦ ἀέρος, ἀνοίγομεν τὴν στρόφιγγα Σ καὶ πληροῦμεν μὲ ὑγρὸν ἀέρα δοχεῖα θερμικῶς μονωμένα (φιάλαι Θερμὸς) τύπου Dewar (Ντιοῦαρ), τὰ ὁποῖα ἄνωθεν εἶναι ἀνοικτὰ διὰ τὸν φόβον ἐκρήξεως. Ἀπὸ τὸν ὑγρὸν ἀέρα εἶναι δυνατὸν δι' ἀποστάξεως νὰ ληφθῇ ἄζωτον καὶ ὑγρὸν ὀξυγόνον καὶ τέλος νὰ στερεοποιηθῇ τὸ ὀξυγόνον.

Ἀπόσταξις: Ὅπως γνωρίζομεν ἤδη, οἱ κεκορεσμένοι ἀτμοὶ ἔχουν τάσιν μικροτέραν ἀπὸ τοὺς κεκορεσμένους ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας. Γνωρίζομεν ἐπίσης ὅτι ψύχοντες τοὺς ἀκορέστους ἀτμοὺς τοὺς μετατρέπομεν εἰς κεκορεσμένους, τοὺς δὲ κεκορεσμένους εἰς ὑγρόν. Αὐτὰς τὰς ἰδιότητας χρησιμοποιοῦμεν διὰ νὰ διαχωρίσωμεν π.χ. δύο ὑγρὰ ἀπὸ τὸ μῖγμα των ἢ ἕνα ὑγρὸν ἀπὸ τὰς διαλυτὰς προσμίξεις, ὅπως τὸ ὕδωρ ἀπὸ τὰ διαλελυμένα εἰς αὐτὸ ἅλατα.



Σχ. 14 · 3 δ.

Ἡ διάταξις διὰ τὴν παρασκευὴν *ἀπεσταγμένου ὕδατος* ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν βραστῆρα (ὑάλινον ἢ μεταλλικόν), ὅπου θερμαίνεται τὸ πρὸς ἀπόσταξιν ὕδωρ καὶ τὸν ἐν συνεχείᾳ *ψυκτῆρα*. Ὁ ψυκτὴρ (ὑάλινος ἢ μεταλλικὸς) εἶναι σωλὴν εὐθύγραμμος ἢ ὀφιοειδὴς (σερπαντίνα) ἢ μετὰ διογκώσεων ἀναλόγως τῶν χρήσεών του. Περιβάλλεται ἀπὸ ἄλλον κλειστὸν σωλῆνα ἢ δοχεῖον, ἐντὸς τοῦ ὁποίου κατ' ἀντίθετον ροὴν πρὸς τὸ ἀπόσταγμα (σχ. 14 · 3 δ) ρέει ὕδωρ συνήθους ἢ χαμηλῆς θερμοκρασίας. Ὡς ἐκ τούτου δημιουργεῖται εἰς τὰς παρειὰς τοῦ κεντρικοῦ σωλῆνος τοῦ ψυκτῆρος (ψυχραὶ παρειαὶ) συγκέντρωσις τῶν κεκορεσμένων ἀτμῶν, διότι ἐκεῖ ἡ πίεσις πίπτει, ἐφ' ὅσον οἱ ἀτμοὶ χάνουν τρόπον τινὰ τὴν ὀντότητά των καὶ μεταβάλλονται εἰς ὑγρόν, δηλαδὴ κενοῦται ἐκεῖ ὁ τόπος καὶ οἱ νέοι ἀτμοὶ ἀπὸ τὸν βραστῆρα σπεύδουν νὰ τὸν καταλάβουν.

Εὐνόητον λοιπὸν εἶναι ὅτι εἰς τὰς ψυχρὰς παρειὰς θὰ δημιουργοῦνται σταγόνες, ποὺ κατέρχονται πρὸς τὸ δοχεῖον τῆς συλλογῆς. Εἶναι δὲ αἱ παρειαὶ ψυχρότεραι πρὸς τὴν ἔξοδον τοῦ ψυκτῆρος.

Προκειμένου περὶ ἀποστάξεως μίγματος δύο ὑγρῶν, ὅπως ὁ οἶνος, ὁ διαχωρισμὸς εἶναι δύσκολος, διότι θερμαίνοντες τὸν οἶνον ἐξατμίζεται μὲν τὸ οἰνόπνευμα ὡς περισσότερον πτητικὸν ἀλλὰ καὶ τὸ ὕδωρ. Ἄρα ἡ ἀπόσταξις δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ δώση εἰς τὴν ἀρχὴν μόνον οἰνόπνευμα καὶ ἔπειτα μόνον ὕδωρ. Ἑπομένως λαμβάνομεν πάλιν μῖγμα *ἀλκοόλης καὶ ὕδατος*, πλουσιώτερον βέβαια εἰς οἰνόπνευμα. Μᾶς συμφέρει δὲ νὰ μὴ θερμαίνωμεν πολύ, διότι εἰς τὴν χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν κερδίζομεν περισσότερον. Ἔχομεν τότε μεγαλυτέραν διαφορὰν τῶν ἀκορέστων ἀτμῶν τῆς ἀλκοόλης ἐν σχέσει πρὸς τοὺς ἀτμοὺς τοῦ ὕδατος. Μὲ ἀλλεπαλλήλους ἀποστάξεις καὶ παρουσία ὑλικῶν, τὰ ὁποῖα συγκρατοῦν τὸ ὕδωρ εἶναι δυνατὸν νὰ λάβωμεν πολὺ καθαρὸν οἰνόπνευμα $\simeq 100\%$.

Ἡ ἀπόσταξις πολλῶν ὑγρῶν καὶ μάλιστα ὑγρῶν, ποὺ ἔχουν καὶ κάποιαν ἀλληλοεπίδρασιν (περίπτωσις ἀλκοόλης καὶ ὕδατος), εἶναι πολύπλοκον φαινόμενον καὶ τὰ διυλιστήρια πετρελαίου ἔχουν εἰδικὰ συστήματα διαχωρισμοῦ τῶν *κλασμάτων* τοῦ ἀκαθάρτου πετρελαίου. Τὴν ἀπόσταξιν εἰς χαμηλὰς θερμοκρασίας ἐπιτυγχάνομεν, ὅταν συνδέσωμεν τὸ δοχεῖον συλλογῆς μὲ τὸ ἄκρον τοῦ ψυκτῆρος καὶ μὲ ἀντλίαν μετρίου κενοῦ. Οὕτω δημιουργεῖται χαμηλὴ πίεσις καὶ κατὰ συνέπειαν κατέρχεται ἡ θερμοκρασία ζέσεως τοῦ πρὸς ἀπόσταξιν ὑγροῦ μίγματος.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὡς ὁρισμὸς τῆς ἀποστάξεως ὁ ἑξῆς: *ἀπόσταξις εἶναι μεταφορὰ ὑγροῦ σώματος ἀπὸ δοχείου εἰς δοχεῖον δι' ἐνδιαμέσου ἐξαερώσεως καὶ ὑγροποιήσεως αὐτοῦ.*

14 · 4 Ὑγρασία - ὑγρόμετρα.

Εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν περιέχονται ὑδρατμοὶ ἀόρατοι βεβαίως, τὸ δὲ ποσὸν αὐτῶν ἀνὰ κυβικὸν μέτρον ἔχει μεγάλην σημασίαν διὰ τὴν Βιομηχανίαν καὶ διὰ τὴν ὑγείαν μας. Οὕτως, ἐὰν ἔχωμεν τὸ θέρος πολλοὺς ὑδρατμούς, μέχρι *σημείου δρόσου*, δηλαδὴ νὰ ρέουν εἰς τοὺς τοίχους τοῦ δωματίου σταγόνες, ἐργαζόμενοι αἰσθανόμεθα δυσφορίαν, λιποθυμίαν, διότι, λόγω τοῦ κεκορεσμένου τοῦ χώρου, δὲν γίνεται ἐξάτμισις τοῦ ἱδρῶτος καὶ γενικώτερον δυσχεραίνεται ἡ ἄδηλος (δερματική) ἀναπνοή, ἐνῶ τὸν χειμῶνα καὶ νὰ ἔχωμεν κόρον δὲν θὰ μᾶς βλάψῃ πολύ, διότι οἱ κεκορεσμένοι ἀτμοὶ εἰς χαμηλὴν θερμοκρασίαν εἶναι ὀλίγοι ἀνὰ m³.

ΠΙΝΑΞ 14 · 4.

Θερμοκρασία	0^0	παγετὸς	κόρος μὲ	5	g/m³
»	10^0	χειμὼν	»	9,5	»
»	20^0		»	17,5	»
»	30^0	θέρος	»	30	»
»	40^0		»	50	»

Ἑπομένως τὸν χειμῶνα μὲ κόρον εὑρισκόμεθα εἰς περιβάλλον μόνον 9,5 γραμμαρίων ὑδρατμῶν ἀνὰ κυβικὸν μέτρον ἀέρος, ἐνῶ κατὰ τὸ θέρος μὲ κόρον θὰ ἔχωμεν τριπλασίαν ποσότητα γύρω μας.

Ὀνομάζομεν ἀπόλυτον ὑγρασίαν ἑνὸς χώρου τὸ ποσὸν τῶν ὑδρατμῶν ἀνὰ κυβικὸν μέτρον ἀέρος, ἤτοι:

$$\text{Ἀπόλυτος ὑγρασία} = \frac{\text{μᾶζα ὑδρατμῶν}}{\text{ὄγκος ἀέρος}}.$$

Τὴν ὑγρασίαν αὐτὴν μετροῦμεν, ὅταν διαβιβάσωμεν γνωστὸν ὄγκον ἀέρος διὰ μέσου φίλτρων, ποὺ ἀπορροφοῦν τοὺς ὑδρατμοὺς καὶ μὲ τὴν ζύγισιν αὐτῶν γνωρίσωμεν πόσα g ὑδρατμῶν συνεκράτησαν.

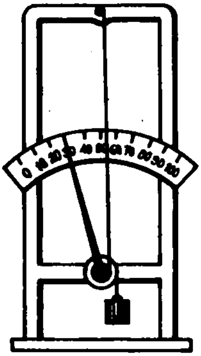
Ἐπειδὴ συνήθως δὲν μᾶς ἐνδιαφέρει ἁπλῶς ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία, ἀλλὰ ἡ ἀναλογία τῶν ὑδρατμῶν τοῦ ἀέρος, πρὸς ἐκείνους ποὺ θὰ ἔκαναν τὸν χῶρον κεκορεσμένον, ὁρίζομεν τὴν σχετικὴν ὑγρασίαν ὡς ἀκολούθως:

$$\text{Σχετικὴ ὑγρασία} = \frac{\text{ἀπόλυτος ὑγρασία} \times 100}{\text{ἀπόλυτος ὑγρασία κόρου}}.$$

Ἔστω π.χ. ὅτι ἔχομεν ἀπόλυτον ὑγρασίαν κάποιαν ἡμέραν 8 g/m³ ὑπὸ θερμοκρασίαν 20^0 C. Ἐὰν τὴν ἡμέραν ἐκείνην εἴχαμεν κόρον, τότε ἡ ἀπόλυτος ὑγρασία κατὰ τὸν Πίνακα 14 · 4 θὰ ἦτο 17,5,

$$\text{ἄρα ἡ σχετικὴ ὑγρασία εἶναι:} \ \frac{8 \times 100}{17{,}5} = \text{περίπου } 46\,\%.$$

Σχετικὴ ὑγρασία 100% σημαίνει σημεῖον δρόσου, δηλαδὴ κόρον, σταγόνας ὕδατος εἰς τοὺς τοίχους κ.λπ. Σχετικὴ ὑγρασία 100% τὸν χειμῶνα εἶναι ὑποφερτή, ἐνῶ τὸ θέρος ἀνυπόφορος. Καλὴ ὑγρασία διὰ τὸν ἄνθρωπον εἶναι 55 ἕως 75 %. Κάτω τοῦ 50 % ὁ ἀὴρ χαρακτηρίζεται *ξηρὸς* καὶ ἄνω τῶν 80 % *ὑγρός*. Πολλὰ βιομηχανικὰ προϊόντα ἢ τρόφιμα χρειάζονται ὡρισμένην ὑγρασίαν διὰ νὰ διατηρηθοῦν καὶ πρέπει αἱ ἀποθῆκαι νὰ ἔχουν ὄργανα μετρήσεως αὐτῆς καλούμενα *ὑγρόμετρα*.


Σχ. 14·4.

Τὰ βιομηχανικὰ ὑγρόμετρα ἀποτελοῦνται ἀπὸ σώματα εὐαίσθητα, ποὺ ἐπιμηκύνονται μὲ τὴν ὑγρασίαν, ὅπως π.χ. εἶναι αἱ ἄνευ λίπους τρίχες, εἰδικὸς χάρτης, χορδαὶ ἐντέρων καὶ χρώματα κοβαλτίου κυανᾶ, τὰ ὁποῖα μεταβάλλονται εἰς ἐρυθρὰ μὲ τὴν ὑγρασίαν.

Συνήθως ἐξαρτᾶται ἀπὸ τρίχας ἢ λεπτὸν ἔντερον κύλινδρος συνδεόμενος καταλλήλως μὲ ἐλατήριον καὶ δείκτην. Ἡ ὑγρασία προκαλεῖ ἐπιμήκυνσιν (τὰ μαλλιά μας χάνουν τὶς μποῦκλες των) καὶ κίνησιν τοῦ δείκτου πρὸ βαθμολογημένης κλίμακος (σχ. 14·4).

Τὰ ἀκριβέστερα ὑγρόμετρα στηρίζονται εἰς τὴν διαφοράν, ποὺ ὑπάρχει μεταξὺ τῶν ἐνδείξεων ἑνὸς θερμομέτρου καὶ ἑνὸς ἄλλου ὁμοίου θερμομέτρου, ποὺ ἔχει περὶ τὸ δοχεῖον τοῦ ὑδραργύρου ἕνα λεπτὸν διαβραχὲν μαλακὸν ὕφασμα. Ἂν κινήσωμεν δεξιά - ἀριστερὰ τὰ δύο θερμόμετρα ἐντὸς τοῦ ἀέρος, τὸ δεύτερον λόγω τῆς ἐξατμίσεως τοῦ ὕδατος θὰ δείξῃ χαμηλοτέραν θερμοκρασίαν ἀπὸ τὸ πρῶτον. Ὅταν ὅμως ὁ χῶρος εἶναι εἰς κόρον, ἡ ἐξάτμισις δὲν θὰ γίνῃ καὶ τὰ δύο θερμόμετρα θὰ δεικνύουν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν. Δυνάμεθα λοιπὸν ἀπὸ τὴν διαφορὰν τῶν θερμοκρασιῶν, ὅταν ἡ κίνησίς των γίνῃ συμφώνως πρὸς ὡρισμένας ὁδηγίας τοῦ κατασκευαστοῦ, νὰ ὑπολογίσωμεν βάσει πίνακος τὴν σχετικὴν ὑγρασίαν τοῦ χώρου.

Ὅπως ὑπάρχουν αὐτογραφικὰ ὄργανα διὰ τὴν μέτρησιν τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως (βαρογράφοι) καὶ τῆς θερμοκρασίας (θερμογράφοι), οὕτω κατασκευάζονται καὶ καταγραφεῖς τῆς ὑγρασίας μὲ γραφίδα κινουμένην πρὸ στρεφομένου τυμπάνου, ὁπότε δίδονται ὅλαι αἱ διακυμάνσεις τῆς ὑγρασίας ἀνὰ 24ωρον ἢ ἀνὰ ἑβδομάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 15

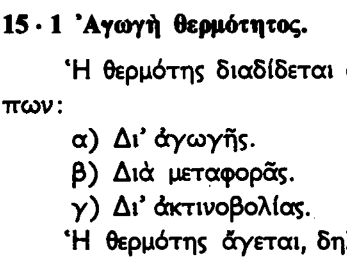
ΔΙΑΔΟΣΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΟΣ

15 · 1 Ἀγωγὴ θερμότητος.

Ἡ θερμότης διαδίδεται ἀπὸ σώματος εἰς σῶμα διὰ τριῶν τρόπων:

α) Δι' ἀγωγῆς.
β) Διὰ μεταφορᾶς.
γ) Δι' ἀκτινοβολίας.

Ἡ θερμότης ἄγεται, δηλαδὴ μεταδίδεται διὰ μέσου τῶν ὑλικῶν σωμάτων, ἀρκεῖ νὰ ὑπάρχη διαφορὰ θερμοκρασίας εἰς τὰ ἄκρα αὐτῶν. Πράγματι, ἐφ' ὅσον ἡ θερμοκρασία εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴν μέσην κινητικὴν ἐνέργειαν τῶν μορίων, ἕπεται ὅτι, ἂν τὸ ἕνα ἄκρον ἑνὸς σώματος π.χ. μιᾶς ράβδου τεθῆ εἰς πυράν, τότε βραδέως ἢ ταχύτερον ἡ ηὐξημένη κινητικότης τῶν μορίων τοῦ ἄκρου αὐτοῦ θὰ διαδοθῆ διὰμέσου τῆς ράβδου καὶ θὰ φθάση εἰς τὸ ἄλλο ἄκρον ἔστω καὶ μειωμένη.



Σχ. 15 · 1 α.

Μὲ ἄλλους λόγους ἡ ράβδος κατὰ μῆκος αὐτῆς θὰ ἔχη κατανομὴν θερμοκρασίας (σχ. 15 · 1 α), ἡ ὁποία θὰ ἀρχίζη ἀπὸ τὴν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν τοῦ ἄκρου Α, ποὺ εὑρίσκεται εἰς τὴν πυρὰν καὶ θὰ πίπτη μέχρι τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἄκρου Β, τὸ ὁποῖον κρατοῦμεν ἔστω διὰ τῆς χειρός μας. Τὸ ἂν θὰ θερμανθῆ ἡ χείρ μας ἢ ὄχι, ἐξαρτᾶται ἀπὸ πολλὰ φυσικὰ μεγέθη καὶ εἰδικώτερον: α) Ἀπὸ τὸ μῆκος τῆς ράβδου. β) Ἀπὸ τὴν τομὴν αὐτῆς. γ) Ἀπὸ τὸ ποιὸν τοῦ ὑλικοῦ κατασκευῆς της (μέταλλον, ὕαλος, ξύλον κ.λπ.). δ) Ἀπὸ τὸ πόσον ὑψηλὴ εἶναι ἡ θερμοκρασία τῆς πυρᾶς καὶ τέλος, ε) ἀπὸ τὸν χρόνον καὶ τὰς ἀπωλείας τῆς θερμότητος κατὰ μῆκος τῆς ράβδου.

Ὅπως φαίνεται, τὸ πρόβλημα τῆς ἀγωγῆς τῆς θερμότητος δὲν ἔχει πάντοτε εὔκολον λύσιν καὶ διὰ τοῦτο ὁ τεχνικὸς χρησιμοποιεῖ διαφόρους ἐμπειρικοὺς τύπους, ἀναλόγως πρὸς τὴν περίπτωσιν, ποὺ τοῦ παρουσιάζεται.

Ἐὰν διὰ τὴν ἁπλότητα θεωρήσωμεν ὅτι ἡ ράβδος (ἢ ἕνα τοίχωμα) ἔχει σταθερὰς θερμοκρασίας εἰς τὰ ἄκρα της, ὅπως π.χ. τὸ ἕνα ἄκρον της εἰς θερμὸν ὕδωρ 100^0 C καὶ τὸ ἄλλο εἰς πάγον 0^0 C ἢ τὴν περίπτωσιν τοιχώματος ἑνὸς δωματίου, ὅπου ἔχομεν *μονίμως* 20^0 C· καὶ ἐκτὸς αὐτοῦ σταθερῶς 5^0 C, τότε ἡ ἀγωγὴ τῆς θερμότητος ἀκολουθεῖ τὴν σχέσιν:

$$\frac{Q}{t} = Q' = \frac{\lambda S\, \Delta\Theta}{l}.$$

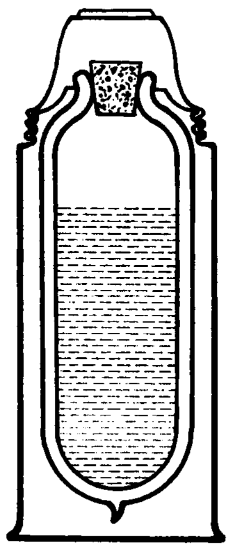
Τοῦτο σημαίνει ὅτι ἡ ἀνὰ μονάδα χρόνου μεταδιδομένη ποσότης θερμότητος Q′ εἶναι:

α) Ἀνάλογος τῆς διατομῆς S. β) Ἀνάλογος τῆς διαφορᾶς θερμοκρασίας ΔΘ, τὴν ὁποίαν θεωροῦμεν σταθερῶς ὑφισταμένην. γ) Ἀντιστρόφως ἀνάλογος τοῦ μήκους τῆς ράβδου l ἤ, διὰ τὴν περίπτωσιν τοιχώματος, τοῦ πάχους αὐτοῦ καὶ δ) ἀνάλογος ἑνὸς συντελεστοῦ λ, ὀνομαζομένου *συντελεστοῦ θερμικῆς ἀγωγιμότητος* τοῦ ὑλικοῦ τῆς ράβδου, τὸν ὁποῖον θεωροῦμεν κατὰ προσέγγισιν σταθερὸν καὶ συνήθως ἐκφράζεται εἰς kcal ἀνὰ μέτρον, ὥραν καὶ βαθμὸν Κελσίου.

Ὑπὸ τὰς συνθήκας αὐτὰς τὸ καλύτερον ἀγώγιμον ὑλικὸν εἶναι ὁ ἄργυρος, ὁ ὁποῖος εἶναι καὶ ὁ καλυτερος ἀγωγὸς τοῦ ἠλεκτρισμοῦ. Γενικῶς ὅλα τὰ μέταλλα, τὰ ὁποῖα εἶναι καλοὶ ἀγωγοὶ τῆς θερμότητος εἶναι καὶ *καλοὶ ἀγωγοὶ* τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος. Μετὰ τὸν ἄργυρον ἀκολουθεῖ ὁ χαλκός, ἔπειτα δὲ τὰ ἄλλα μέταλλα. Τὸ μπετόν, ἡ ὕαλος, τὸ ὕδωρ, τὰ τοῦβλα κ.ἄ. εἶναι μέτριοι ἀγωγοὶ θερμότητος· τέλος κακοὶ ἀγωγοὶ εἶναι ὁ ἀμίαντος, τὰ ξύλα, ὁ φελλός, ὁ ἀὴρ καὶ ἄλλα εἰδικὰ ὑλικὰ θερμικῆς μονώσεως, ποὺ κυκλοφοροῦν εἰς τὸ ἐμπόριον.

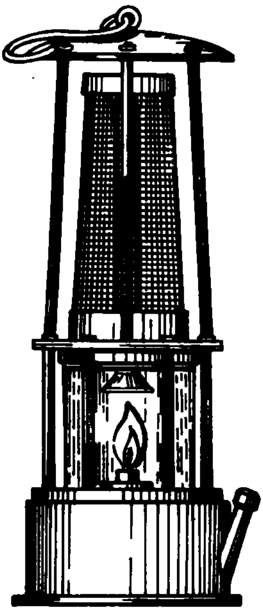
Ἐὰν ὅμως ὑποθέσωμεν ὅτι ἡ θερμοκρασία τοῦ ἄλλου ἄκρου τῆς ράβδου ἢ τοῦ τοιχώματος δὲν μένει σταθερά, ἀλλὰ ἀνέρχεται, τότε ἡ σχέσις, ποὺ ἐγνωρίσαμεν, *δὲν ἰσχύει* καὶ πρέπει νὰ ἀναζητήσωμεν εἰς εἰδικὰ βιβλία ἄλλους τύπους. Ἐπίσης ἡ σχέσις δὲν ἰσχύει, ὅταν περὶ τὴν ράβδον ἢ ἐπάνω εἰς τὸ τοίχωμα κινῆται ὑγρὸν ἢ ἀὴρ θερμὸς (ἢ ψυχρός), ὁπότε ἐξαρτᾶται ἡ διάδοσις τῆς θερμότητος καὶ ἀπὸ ἄλλους παράγοντας. Ἑπομένως, εἰς τὴν πλέον συνήθη διὰ τὸν τεχνικὸν περίπτωσιν τοῦ ὑπολογισμοῦ ροῆς θερμότητος διὰ μέσου τοιχώματος, ὅπως π.χ. ὁ ὑπολογισμὸς τῆς μονώσεως ἑνὸς ψυγείου ἢ τῶν ἀπωλειῶν ἑνὸς δωματίου, ὥστε νὰ τεθῇ ἐντὸς αὐτοῦ τὸ καταλλήλου μεγέθους ψυκτικὸν ἢ θερμαντικὸν σῶμα μιᾶς κεντρικῆς ἐγκαταστάσεως, χρησιμοποιοῦνται ἐμπειρικοὶ τύποι μὲ συντελεστὰς πειραματικῶς προσδιοριζομένους. Π.χ. διὰ τοῖχον πάχους 20 cm ὁ ἐμπειρικὸς συντελεστὴς εἶναι περίπου 2 kcal/m^2 ἐπιφανείας ἀνὰ ὥραν καὶ ἀνὰ βαθμὸν θερμοκρασίας ἑκατέρωθεν τοῦ τοιχώματος. Ἡ αὐτὴ περίπου τιμὴ ἀντιστοιχεῖ καὶ εἰς παράθυρον μὲ διπλοῦς ὑαλοπίνακας, ἐνῶ διπλασιάζεται ἡ ἀπώλεια εἰς κοινὸν παράθυρον.

Ἰδιαιτέρως πρέπει νὰ ληφθῇ ὑπ' ὄψιν ὅτι ὁ ἀὴρ εἶναι πολὺ κακὸς ἀγωγός, ἰδίως ὅταν δὲν τὸν ἀφίνωμεν νὰ κυκλοφορήσῃ καὶ τὸν ἔχωμεν τρόπον τινὰ φυλακισμένον κατὰ μικρά - μικρὰ ποσά, ὅπως π.χ. μέσα εἰς σάκκον πλήρη μὲ πούπουλα ἢ μὲ ἔριον ἢ μὲ ἀφρῶδες πλαστικὸν κ.ο.κ. Ἀντιθέτως, ὅταν κατασκευάσωμεν διπλοῦν τοῖχον καὶ εἰς τὸ μεταξὺ διάστημα ὑπάρχῃ χῶρος μὲ ἀέρα χωρὶς παραγέμισμα, τότε ἡ μόνωσις δὲν εἶναι καλή. Βεβαίως ἀρίστη θὰ ἦτο ἐὰν εἶχεν ἀφαιρεθῇ ὁ μεταξὺ τῶν τοιχωμάτων ἀήρ, ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν δοχείων *Θερμὸς* (σχ. 15 · 1 β), ὅπου ἐπιπροσθέτως τὰ τοιχώματα ἐπαργυροῦνται, διὰ νὰ μὴ ἔχωμεν καὶ ἀπωλείας ἀπὸ ἀκτινοβολίαν. Τὰ δοχεῖα αὐτὰ (δοχεῖα Dewar), εἶναι ὑάλινα μὲ διπλᾶ τοιχώματα καὶ κενὸν τὸν ἐνδιάμεσον χῶρον, καλῶς ἐπαργυρωμένα καὶ κλεισμένα εἰς μετάλλινα ἢ πλαστικὰ περιβλήματα, ἐπὶ τῶν ὁποίων βιδώνουν τὰ καλύμματα τῶν δοχείων. Ὡς πῶμα (βούλωμα) χρησιμοποιεῖται φελλὸς ἢ μαλακὸν πλαστικόν. Εἰς τὰ δοχεῖα αὐτά, ὅταν θέσωμεν θερμὸν ἢ ψυχρὸν ὑγρὸν (π.χ. γάλα ζεστὸν ἢ παγωμένον), μένει εἰς τὴν θερμοκρασίαν του ἀρκετὰς ὥρας. Εἰς παρόμοια δοχεῖα φυλάσσεται ὁ ὑγροποιημένος ἀήρ, τοῦ ὁποίου ἡ θερμοκρασία εἶναι περίπου -190^0 C.

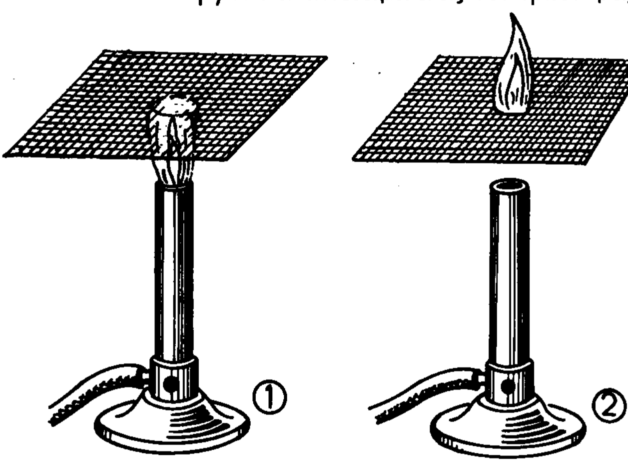


Σχ. 15 · 1 β.

Εἰς τὸ φαινόμενον τῆς ἀγωγῆς καὶ μάλιστα τῆς καλῆς ἀγωγῆς μετάλλου ὀφείλεται ἡ κατασκευὴ τοῦ λύχνου Νταίηβυ (σχ. 15 · 1 γ) τῶν ἀνθρακωρύχων. Ἡ φλὸξ τοῦ λύχνου περιβάλλεται πρὸς τὸ κάτω μέρος ἀπὸ ὕαλον καὶ πρὸς τὸ ἄνω ἀπὸ λεπτὸν πλέγμα χάλκινον. Ὅταν λόγω παρουσίας μεθανίου ἢ ἄλλων ἀερίων τύχῃ νὰ γίνῃ ἀνάφλεξις αὐτῶν, τότε ἡ ἐξ αὐτῆς παραγομένη θερμότης ταχύτατα προσλαμβάνεται ἀπὸ τὸ χάλκινον πλέγμα καὶ δὲν διαδίδεται ἔξω ἀπὸ τὸν λύχνον, ὁ ὁποῖος μὲ τὴν ἔλλειψιν ὀξυγόνου καὶ τὴν διαταραχὴν τῆς ἐντὸς αὐτοῦ ἀναφλέξεως σβήνει. Ἔτσι εἰδοποιοῦνται οἱ ἐργάται περὶ τοῦ κινδύνου τῆς ἐκρήξεως (μεθάνιον καὶ ἀὴρ σχηματίζουν ἐκρηκτικὸν μῖγμα). Ἡ αὐτὴ διακοπὴ τῆς ἀναφλέξεως παρουσιάζεται καὶ εἰς λύχνον φωταερίου, ὅταν τεθῇ χάλκινον πλέγμα *ἐπάνω* εἰς τὴν φλόγα (σχ. 15 · 1 δ) ἢ ἀνάψωμε τὸ ἀέριον ὑπεράνω τοῦ πλέγματος, ὁπότε παρατηροῦμεν ὅτι *δὲν ἀνάπτει* ἀπὸ τὸ κάτω μέρος. Τοῦτο ὀφείλεται εἰς ψῦξιν τοῦ ἀερίου ἀπὸ τὴν καλὴν ἀγωγὴν τοῦ πλέγματος, διὰ τοῦ ὁποίου διαδίδεται καὶ διαρρέει ἡ θερμότης τῆς φλογός. Διὰ τὸν αὐτὸν ἐπίσης λόγον, μετάλλινα ἐργαλεῖα ἐκτεθειμένα εἰς τὸν ἥλιον μᾶς φαίνον-



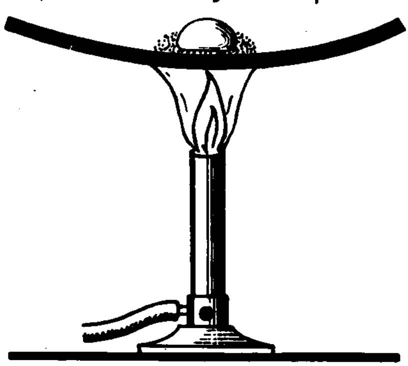
Σχ. 15 · 1 γ.



Σχ. 15 · 1 δ.
1) Ἡ φλὸξ δὲν διαπερᾷ τὸ πλέγμα. 2) Ἡ φλὸξ συντηρεῖται ἄνωθεν τοῦ πλέγματος.

ται ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας ἀπὸ ὅ,τι εἶναι αἱ ἐκ ξύλου λαβαί των, ἐνῶ τοῦτο *πραγματικῶς δὲν συμβαίνει*.

Ἀντιθέτως εἰς τὴν κακὴν ἀγωγὴν τοῦ ὑδρατμοῦ ὀφείλεται τὸ φαινόμενον τῆς *σφαιροποιήσεως* καὶ περιδινήσεως σταγόνων ὕδατος, αἱ ὁποῖαι ἔπεσαν ἐπάνω εἰς πολὺ θερμὴν πλάκα μαγειρείου (σχ. 15 · 1 ε). Ὁ ἀμέσως σχηματιζόμενος ἀτμὸς δὲν ἀφίνει τὴν σταγόνα νὰ κάνῃ καλὴν ἐπαφὴν μὲ τὴν πλάκα καὶ δι' αὐτὸ ἡ σταγὼν δὲν ἐξατμίζεται τόσον ταχέως, ὅπως συμβαίνει, ὅταν πέσῃ αὐτὴ ἐπάνω εἰς ὀλιγώτερον θερμὴν πλάκα.



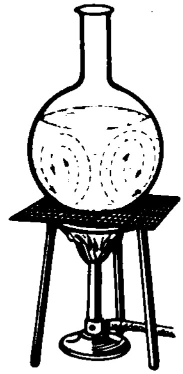
Σχ. 15 · 1 ε.

15 · 2 Μεταφορὰ τῆς θερμότητος.

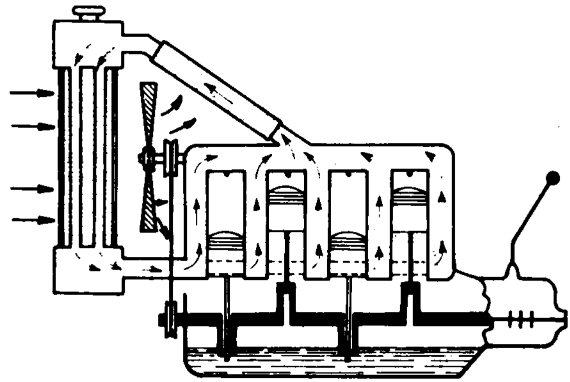
Ἡ διάδοσις τῆς θερμότητος διὰ μεταφορᾶς προϋποθέτει μετακίνησιν μάζης τοῦ θερμοῦ σώματος πρὸς τὸ ψυχρὸν ἢ καὶ ἀντιστρόφως. Ἑπομένως, δὲν δύναται νὰ γίνῃ εἰς τὰ στερεὰ καὶ ἀποτελεῖ τὸν πλέον συνήθη τρόπον μεταδόσεως τῆς θερμότητος ἐντὸς τῶν ὑγρῶν καὶ ἀερίων.

Ἐπειδὴ ἡ αὔξησις τῆς θερμοκρασίας συνδέεται μὲ τὴν αὔξησιν τοῦ ὄγκου (διαστολὴ ὑγρῶν, ἀερίων) καὶ τὴν ἐλάττωσιν τῆς πυκνότητος, ἐκτὸς ὀλίγων ἐξαιρέσεων, ἕπεται ὅτι τὰ θερμὰ στρώματα τοῦ ρευστοῦ (ὑγροῦ ἢ ἀερίου) θὰ ὑποστοῦν ἐντὸς τῶν πυκνοτέρων ψυχρῶν στρωμάτων ἄνωσιν ἢ καὶ αὔξησιν τῆς πιέσεώς των, διότι τείνουν νὰ διασταλοῦν. Ἐφ' ὅσον εἶναι δυνατὴ κάποια μετακίνησίς των, ἀρχίζει ἡ μετατόπισίς των πρὸς τὰ ἄνω καὶ ἡ κατάληψις τῆς θέσεώς των ἀπὸ τὰ ψυχρότερα στρώματα. Οὕτω δημιουργεῖται μία *κυκλοφορία* ἐντὸς τῆς μάζης τοῦ ρευστοῦ (σχ. 15 · 2 α). Αὐτὸ τὸ βλέπομεν, ὅταν ρίψωμεν μικρὰ φύλλα εἰς μίαν χύτραν μὲ ὕδωρ καὶ τὴν θερμάνωμεν ἐπάνω εἰς τὴν πυρὰν (π.χ. ἠλεκτρικὴν κουζίνα).

Ἀνάλογος κυκλοφορία γίνεται εἰς τὴν μηχανὴν τοῦ αὐτοκινήτου (σχ. 15 · 2 β), ὅπου τὸ ὕδωρ γύρω ἀπὸ τὴν μηχανὴν θερμαινόμενον ἀνέρχεται πρὸς τὸν ψυκτῆρα τοῦ αὐτοκινήτου, ἐνῶ ψυχρότερον ὕδωρ ἀπὸ τὸν ψυκτῆρα κινεῖται πρὸς τὴν μηχανὴν καὶ τὴν διατηρεῖ εἰς κανονικὴν θερμοκρασίαν (70° ἕως 80° C). Ἡ θερμότης διαρρέει ἀπὸ τὸν ψυκτῆρα εἰς τὸν πέριξ ἀέρα μὲ τὴν βοήθειαν τοῦ ἀνεμιστῆρος τοῦ ψυκτῆρος καὶ τοῦ καταλλήλου σχήματος αὐτοῦ (μεγάλη ἐπιφάνεια λόγω πολλῶν ὀπῶν καὶ πτερυγίων, ἄρα μεγάλη ἐπαφὴ μὲ ἀέρα μετακινούμενον καὶ ἀπάγοντα θερμότητα). Εἰς τὰ νεώτερα αὐτοκίνητα ἡ κυκλοφορία γίνεται εἰς ἐσφραγισμένον ψυκτῆρα, ὁ ὁποῖος συγκοινωνεῖ μὲ ἕνα κιβώτιον διαστολῆς ἡμιπλῆρες ὕδατος μὲ ἀσφαλιστικὸν κλεῖστρον, ὁπότε δὲν χρειάζεται ἡ κάθε τόσον ἀναπλήρωσις τοῦ ὕδατος λόγω ἐξατμίσεως.



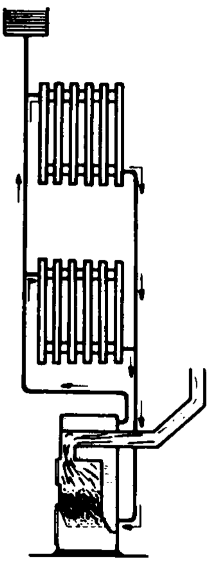
Σχ. 15 · 2 α.



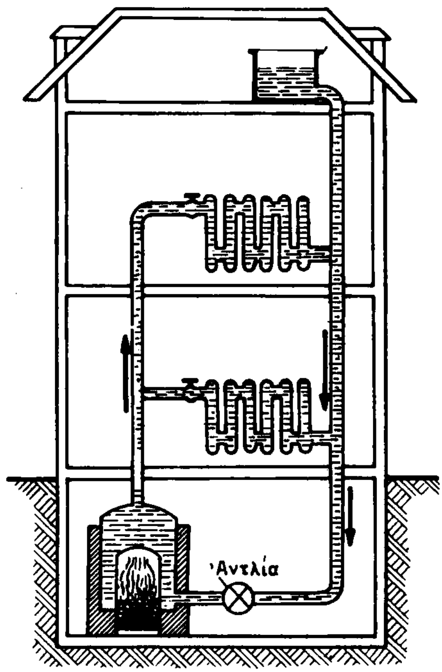
Σχ. 15 · 2 β.

Παρομοία κυκλοφορία μὲ κιβώτιον διαστολῆς γίνεται καὶ εἰς τὴν κεντρικὴν θέρμανσιν (σχ. 15 · 2 γ). Τὸ ὕδωρ θερμαινόμενον εἰς τὸν λέβητα ἀνέρχεται καὶ κινεῖται πρὸς τὰ σώματα τοῦ καλοριφέρ, ὅπου ψύχεται, καὶ ἐν συνεχείᾳ κατέρχεται πρὸς τὸν λέβητα. Διὰ τὴν ὑποβοήθησιν τῆς ἀνέτου διαστολῆς καὶ ἀποφυγῆς ἐκρήξεως ἀπὸ βρασμόν, ὑπάρχει εἰς τὴν ὀροφὴν τῆς οἰκίας δοχεῖον διαστολῆς ἡμιπλῆρες ἀνοικτὸν ἢ κλειστὸν μὲ βαλβῖδα ἀσφαλείας καὶ συμπληρώσεως μὲ νέον ὕδωρ.

Εἰς τὴν πρακτικὴν ἐφαρμογὴν ἡ κυκλοφορία τόσον εἰς τὴν μηχανὴν τοῦ αὐτοκινήτου, ὅσον καὶ εἰς τὸ καλοριφὲρ ἔπαυσε διὰ λόγους οἰκονομίας νὰ ὑπολογίζεται ὅτι θὰ συμβῆ μόνη της αὐτομάτως, διότι τοῦτο χρειάζεται, ὡς εἶναι εὐνόητον, σωλῆνα χωρὶς ἀντιστάσεις εἰς τὴν ροὴν τοῦ ὕδατος, δηλαδὴ σωλῆνας μεγάλης διαμέτρου καὶ δίχως πολλὰς καμπυλώσεις, γωνίας κ.λπ. Διὰ τοῦτο χρησιμοποιοῦμεν μίαν μικρὰν περιστροφικὴν ἀντλίαν (σχ. 15 · 2 δ), ποὺ ὀνομάζεται *κυκλοφορητής*, καὶ οὕτως ὑποβοηθεῖται ἡ κυκλοφορία, ὥστε νὰ γίνῃ γρήγορα παρὰ τὰς ἀντιστάσεις ροῆς. Ἐπίσης εἰς τὴν ἔξοδον τοῦ θερμοῦ ὕδατος τοποθετοῦμεν θερμοστάτας ἢ θερμοστατικὰς βαλβῖδας, αἱ ὁποῖαι ρυθμίζουν εἴτε τὴν αὐτόματον ἀφὴν καὶ σβέσιν τῆς φλόγας τοῦ καυστῆρος τοῦ λέβητος, ὥστε νὰ μὴ θερμανθῇ ἐπικινδύνως τὸ ὕδωρ (90° C) εἴτε ρυθμίζουν τὴν ταχύτητα κυκλοφορίας τοῦ ὕδατος πρὸς τὸν ψυκτῆρα τοῦ αὐτοκινήτου, ὥστε νὰ μὴ ἀναμένωμεν πολὺ διὰ νὰ θερμανθῇ ἡ μηχανή του κατὰ τὸν χειμῶνα.



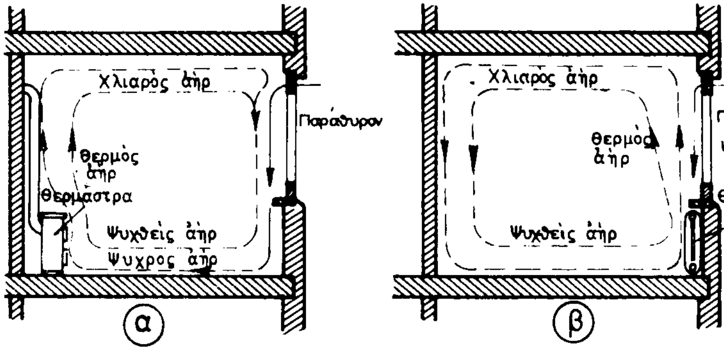
Σχ. 15 · 2 γ.



Σχ. 15 · 2 δ.

Εἰς τὴν ἀπαγωγὴν τῆς θερμότητος διὰ μεταφορᾶς ὀφείλεται ἡ ἄνοδος τῶν θερμῶν καυσαερίων εἰς τὰς καπνοδόχους, ὁπότε δημιουργεῖται τὸ χρήσιμον διὰ τὴν πυρὰν ρεῦμα καθαροῦ ἀέρος (ὀξυγόνου) πρὸς τὸν καυστῆρα. Ἄρα οἱ καυστῆρες τοῦ καλοριφὲρ δὲν θὰ ἐργάζωνται καλά, ὅταν τὸ ὑπόγειον, ὅπου εὑρίσκονται, δὲν ἔχῃ καλὸν ἀερισμόν, καὶ δὲν ἀπάγει (τραβᾶ) ἡ καμινάδα τὰ θερμὰ καυσαέρια λόγω διαφόρων ἀντιστάσεων ἔναντι τῆς φυσικῆς ροῆς των πρὸς τὰ ἄνω.

Μεγάλη προσοχὴ πρέπει νὰ δίδεται καὶ εἰς τὴν τοποθέτησιν θερμαστρῶν ἢ θερμαντικῶν σωμάτων ἐντὸς δωματίου, διότι εἰς πολλὰς περιπτώσεις προκαλεῖται κυκλοφορία ὄχι εὐνοϊκὴ διὰ τοὺς ἐνοίκους (σχ. 15 · 2 ε). Τέλος πρέπει νὰ μὴ λησμονῆται ἡ βασικὴ σημασία τῶν



Σχ. 15 · 2 ε.
α) Κακὴ τοποθέτησις θερμικῆς πηγῆς, ὁ ψυχρὸς ἀὴρ φθάνει τὸ πάτωμα. β) Καλὴ θέσις θερμαντικοῦ σώματος, ὁ ψυχρὸς ἀὴρ παρασύρεται πρὸς τὰ ἄνω.

θερμῶν ρευμάτων εἰς τὴν Γῆν, ὅπως τὸ θερμὸν ρεῦμα τοῦ Κόλπου τοῦ Μεξικοῦ (Γκολφστρήμ) καὶ οἱ θερμοὶ ἄνεμοι ἐκ τῆς Ἀφρικῆς πρὸς τὰ ἀνώτερα στρώματα τῆς ἀτμοσφαίρας καὶ πρὸς Βορρᾶν, καὶ ἀντιστοίχως ἡ κάθοδος ἐκ Βορρᾶ ψυχρῶν ἀνέμων πρὸς τὸ Σουδὰν καὶ τὴν Σαχάραν (π.χ. οἱ γνωστοὶ καὶ εἰς τοὺς ἀρχαίους Ἕλληνας ἄνεμοι *ἐτησίαι*, κοινῶς μελτέμια).

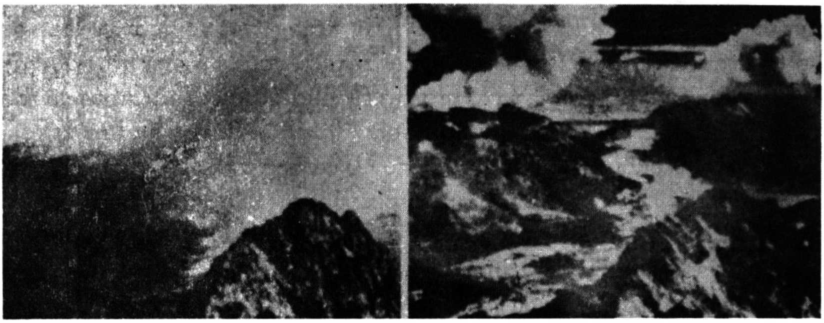
15 · 3 Διάδοσις δι' ἀκτινοβολίας.

Ὅταν εὑρεθῶμεν ἀπέναντι μιᾶς ἐν λειτουργίᾳ θερμάστρας ἢ πλησίον ἑνὸς τοιχώματος φούρνου, αἰσθανόμεθα ἰδίως εἰς τὸ πρόσωπόν μας θέρμανσιν καὶ τοῦτο, χωρὶς νὰ πίπτῃ ἐπὶ τοῦ προσώπου μας ρεῦμα θερμοῦ ἀέρος, οὔτε χρειάζεται νὰ μείνωμεν ἀρκετὴν ὥραν διὰ νὰ ἀντιληφθῶμεν ὅτι ὁ φοῦρνος εἶναι θερμός. Ἑπομένως ἀποκλείεται νὰ μετεδόθῃ πρὸς ἡμᾶς ἡ θερμότης διὰ μεταφορᾶς ἢ δι' ἀγωγῆς. Ὁ νέος τρόπος μεταδόσεως εἶναι ἡ δι' *ἀκτινοβολίας* καὶ *δὲν χρειάζεται* ὕλην διὰ νὰ πραγματοποιηθῇ. Συνεπῶς καὶ κενὸν νὰ ὑπῆρχε μεταξύ μας καὶ τοῦ θερμοῦ τοιχώματος τοῦ φούρνου, πάλιν ἡ θέρμανσίς μας θὰ συνέβαινε.

Μὲ τὴν ἀκτινοβολίαν τῶν θερμῶν σωμάτων, *ἀκτινοβολίαν* τῆς αὐτῆς φύσεως *μὲ τὸ φῶς*, προκαλεῖται ἡ θέρμανσις τῆς γῆς ἀπὸ τὸν ἥλιον, ὡς καὶ ἡ θέρμανσις τῶν οἰκιῶν ἀπὸ λαμπτῆρας, προβολεῖς, θερμάστρας, σώματα καλοριφέρ, κ.λπ. Βεβαίως εἰς πολλὰς περιπτώσεις ἡ θερμότης φθάνει εἰς ἡμᾶς συγχρόνως καὶ διὰ τῶν δύο ἄλλων τρόπων, δηλαδὴ δι' ἀγωγῆς καὶ διὰ μεταφορᾶς. Τὸ ὅτι τὰ ἀκτινοβολοῦντα σώματα δὲν εἶναι πάντοτε καὶ φωτεινά, δηλαδὴ δὲν λάμπουν (ὅπως οἱ λαμπτῆρες), δὲν εἶναι λόγος νὰ νομίσωμεν ὅτι δὲν ἐκπέμπουν καὶ θερμότητα· μάλιστα τότε λέγομεν ὅτι ἐκπέμπουν *ἀόρατον φῶς*. Π.χ. πιθανώτατα πολλὰ ἔντομα ὁδηγοῦνται πρὸς τὰ θερμὰ ζῶα ἀπὸ τὴν θερμικὴν ἀκτινοβολίαν των, ἤτοι διὰ τὰ ἔντομα αὐτὰ ἕνα θερμὸν ζῶον εἶναι τρόπον τινὰ ὁρατόν, ἀντιληπτόν. Ἐπίσης κατὰ τὸν τελευταῖον πόλεμον ἐρρίφθησαν βόμβαι ἐξ ἀεροπλάνου, αἱ ὁποῖαι ἔφερον εἰδικὸν φωτοευαίσθητον ὄργανον, ὥστε νὰ κατευθύνωνται μόναι των εἰς τὴν πλέον θερμὴν περιοχὴν (περισσότερον *φωτεινὴν* διὰ τὸ ὄργανον) τοῦ ἐργοστασίου, ποὺ ἐβομβαρδίζετο.

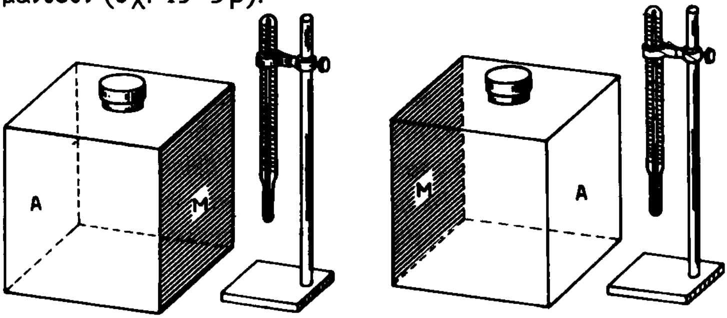
Πρέπει λοιπὸν νὰ δεχθῶμεν ὅτι ἀνεξαρτήτως τῶν δυνατοτήτων τῶν ὀφθαλμῶν μας, κάθε θερμὸν σῶμα ἀκτινοβολεῖ, σκορπίζει ἐνέργειαν ὑπὸ μορφὴν κυμάτων, ὅπως καὶ τὸ φῶς (ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα), εἶναι δὲ ἱκανὸν νὰ μᾶς θερμάνη εἴτε τὸ βλέπομεν νὰ λάμπη, νὰ φωτοβολῆ, εἴτε ὄχι. Ἐὰν εἶναι πολὺ θερμὸν σῶμα, θὰ φωτοβολῆ (ἐρυθροπυρωμένον ἢ λευκοπυρωμένον νῆμα ἠλεκτρικῆς θερμάστρας), ὅταν ὅμως εἶναι μικροτέρας θερμοκρασίας, δὲν θὰ ἐκπέμπη *ὁρατὸν φῶς*, ἀλλὰ ἀόρατον, τὸ ὁποῖον ὀνομάζομεν *ὑπέρυθρον*, δηλαδὴ ὑπὸ τὸ ἐρυθρόν, πρὶν ἀπὸ τὸ ἐρυθρόν. Πράγματι, μόλις ὑψωθῆ ἡ θερμοκρασία τοῦ ἀκτινοβολοῦντος σώματος, ἀρχίζει ἡ πρώτη ἐμφάνισις ὁρατοῦ φωτός, δηλαδὴ ἀρχίζομεν νὰ βλέπωμεν τὸ σῶμα νὰ ἐκπέμπη βαθέως ἐρυθρὸν φῶς μέσα εἰς σκοτεινὸν δωμάτιον, ἄρα προηγουμένως ἐξέπεμπε ἀόρατον δι' ἡμᾶς ὑπέρυθρον φῶς, ποὺ τὸ ἀντιλαμβανόμεθα ἀπὸ τὸ ἀποτέλεσμά του ἐπάνω εἰς τὸ δέρμα μας ὡς θέρμανσιν.

Ὑπάρχουν εἰς πολλὰ ἐργοστάσια ἰσχυροὶ λαμπτῆρες κυρίως ὑπερύθρου φωτὸς (φέγγουν πολὺ λίγο), ποὺ χρησιμοποιοῦνται διὰ νὰ προκαλοῦν εἰς ἕνα χῶρον πρὸς ὅλα τὰ σημεῖα ὁμοιογενῆ θέρμανσιν, κατάλληλον διὰ τὴν ξήρανσιν βερνικωμάτων ἢ ἐκπλυθέντων ἀντικειμένων κ.λπ. Πρέπει νὰ σημειωθῆ ὅτι τὸ ὑπέρυθρον φῶς φωτογραφεῖται μὲ εἰδικὰ φίλμς καὶ ἑπομένως θερμὰ ἀντικείμενα φωτογραφοῦνται καὶ γίνονται ὁρατὰ εἰς τὸ φίλμ ἀκόμη καὶ εἰς βαθύτατον σκότος ἢ διὰ μέσου ὁμίχλης, τὴν ὁποίαν διαπεροῦν αἱ ὑπέρυθροι ἀκτῖνες. Αὐτὸς εἶναι καὶ ὁ λόγος, ποὺ χρησιμοποιεῖται τὸ ἐρυθρὸν φῶς — ὡς πλησιέστερον πρὸς ὑπέρυθρον — διὰ σήματα κινδύνου ἢ φανοὺς λιμένων καὶ γενικῶς, ὅπου τυχὸν ὁμίχλη δύναται νὰ ἐλαττώση τὴν ὁρατότητα (σχ. 15·3α).



Σχ. 15·3 α.
Δύο φωτογραφίαι τοῦ αὐτοῦ τοπίου. Ἡ ἀριστερὰ ἔχει ληφθῆ μὲ συνήθη φωτογραφικὴν πλάκα, ἐνῶ ἡ δεξιὰ μὲ εἰδικὴν πλάκα εὐπαθῆ εἰς τὸ ὑπέρυθρον.

Διὰ τῆς ἀκτινοβολίας, εἴτε ὁρατῆς εἴτε ἀοράτου, τὰ θερμὰ σώματα χάνουν θερμότητα καὶ ψύχονται, ἐνῶ τὰ ψυχρὰ θερμαίνονται ἀκτινοβολούμενα. Οὕτως, ἕνα θερμόν, ἰδίως μαῦρον σῶμα, π.χ. μία χύτρα μὲ θερμὸν ὕδωρ καὶ μαυρισμένη ἀπὸ τὴν αἰθάλην (καπνιὰ) ψύχεται εὐκόλως λόγω ἀπωλειῶν θερμότητος ἐξ ἀκτινοβολίας. Ἀντιθέτως, ἕνα μαῦρον μάλλινον ὕφασμα μᾶς θερμαίνει πολύ, ὅταν εἴμεθα ὑπὸ τὸν Ἥλιον, διότι *ἀπορροφεῖ* ἐξαιρετικὰ καλὰ τὸ φῶς τοῦ Ἡλίου. Τοῦτο δὲν συμβαίνει μὲ τὰ λευκὰ ἢ στιλπνὰ ὑφάσματα· αὐτὰ ἀνακλοῦν (ἀποδιώκουν) ἀρκετὴν ποσότητα ἀπὸ τὴν ἀκτινοβολίαν, ποὺ προσπίπτει ἐπ' αὐτῶν. Ἑπομένως, ὅσα σώματα ἀπορροφοῦν καλῶς, καὶ ἕνας τέλειος ἀπορροφητὴς θὰ ἦτο ἕνα ἰδανικῶς *μέλαν* σῶμα, τὰ ἴδια σώματα θερμανθέντα ἀκτινοβολοῦν κατὰ τὸν καλύτερον τρόπον. Ἄρα τὰ μαῦρα καὶ γκρίζα θαμπὰ σώματα εἶναι καλοὶ ἀπορροφηταὶ καὶ συγχρόνως καλοὶ πομποὶ θερμικῆς ἀκτινοβολίας. Ἀντιθέτως, τὰ λευκὰ στιλπνά, τὰ ἀνοικτόχρωμα σώματα οὔτε θερμαίνονται εὐκόλως ἐξ ἀκτινοβολίας, οὔτε ἀκτινοβολοῦν καὶ χάνουν θερμότητα, ὅταν θερμανθοῦν (σχ. 15 · 3 β).



Σχ. 15 · 3 β.
Μεταλλικὸν δοχεῖον μὲ θερμὸν ὕδωρ, ἐξωτερικὴ ἕδρα Μ μαύρη, ἕδρα Α λευκή.

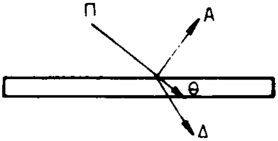
Μόνωσιν λοιπὸν θὰ ἐπιτύχωμεν ἔναντι τῆς ἀκτινοβολίας κυρίως κατὰ τὸ θέρος, ὅταν τὰ ψυγεῖα μας εἶναι ἐξωτερικῶς καὶ ἐσωτερικῶς λευκὰ καὶ πάρα πολὺ στιλπνά, σὰν καθρέπται (π.χ. ὡσὰν τὰ δοχεῖα Θερμὸς Dewar) (σχ. 15 · 1). Ἀντιθέτως, θὰ θερμανθῶμεν πολὺ τὸν χειμῶνα, ἐὰν ἐνδυώμεθα μὲ μαῦρα μάλλινα ἐνδύματα μέσα εἰς δωμάτιον μὲ γκρίζους τοίχους, ποὺ τὸ φωτίζει ὁ Ἥλιος. Πρέπει νὰ σημειωθῇ ἐπίσης ὅτι μετὰ τὴν θέρμανσιν τοῦ δωματίου, δὲν φεύγει εὐκόλως ἀπὸ μέσα ἡ παραχθεῖσα ὑπέρυθρος ἀκτινοβολία του, διότι τὴν ἐμποδίζουν οἱ ὑαλοπίνακες. Ἀπόδειξις ἡ μεγάλη ἐσωτερικὴ θερμοκρασία μαύρου ἰδίως αὐτοκινήτου ἐκτεθειμένου εἰς τὸν Ἥλιον μὲ κλειστὰ τὰ παράθυρά του ἢ ἡ ἐπίσης θερμὴ ἀτμόσφαιρα μέσα εἰς δωμάτιον, ποὺ ἔχει γύρω - γύρω καὶ ἄνω μεγάλα παράθυρα (θερμοκήπιον, βεράντα κλειστὴ μὲ τζαμαρία κ.λπ.).

Συμφώνως πρὸς τὰ ἀνωτέρω πειραματικῶς διαπιστούμενα γεγονότα, εἰς θερμικῶς διαφανὲς σῶμα ἕνα ποσοστὸν Δ ἐπὶ τοῖς % τῆς προσπιπτούσης ἀκτινοβολίας Π τὸ διαπερᾷ, ἕνα μέρος Α ἀνακλᾶται καὶ ἕνα μέρος Θ ἀπορροφεῖται καὶ τὸ θερμαίνει. Ἐνῷ εἰς θερμικῶς ἀδιαφανὲς σῶμα *ἐλλείπει* τὸ ποσοστὸν Δ (σχ. 15 · 3 γ).

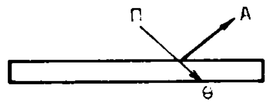
Ἕνα καλῶς ἀκτινοβολοῦν σῶμα, π.χ. ἕνα θερμὸν μαῦρον σῶμα, ἀκολουθεῖ ὡρισμένους νόμους, ποὺ ἰσχύουν κυρίως διὰ τέλειον *μέλαν* σῶμα, πρᾶγμα ποὺ δὲν συναντᾶται εἰς τὰς τεχνικὰς ἐφαρμογάς, ἀλλὰ κατασκευάζεται εἰς τὰ ἐπιστημονικὰ ἐργαστήρια καὶ χρησιμοποιεῖται ὡς πρότυπον.

Δι' αὐτὸ τὸ μέλαν σῶμα, καὶ κατὰ προσέγγισιν διὰ τὰ συνήθη μαῦρα θαμπὰ ὑλικὰ καὶ μὲ ὡρισμένας διορθώσεις διὰ τὰ λοιπὰ σώματα, ἰσχύουν:

α) *Ὁ Νόμος Στέφαν - Μπόλτσμαν*, ποὺ λέγει ὅτι ἡ ἐκπεμπομένη συνολικῶς ἀκτινοβολία οἱουδήποτε χρώματος εἶναι ἀνάλογος τῆς τετάρτης δυνάμεως τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας. Ἤτοι διπλασιάζοντες τὴν θερμοκρασίαν (βαθμ. Κέλβιν) ἑνὸς μέλανος σώματος ἔχομεν 16 φορὰς μεγαλυτέραν παραγωγὴν ἀκτινοβολίας ἀνὰ sec.



Διαφανὲς σῶμα



Ἀδιαφανὲς σῶμα

Σχ. 15 · 3γ.

β) *Ὁ Νόμος Βήν*. Κάθε μέλαν σῶμα θερμαινόμενον ἐκπέμπει σύνθετον (λευκὸν) φῶς, ποὺ τὸ ἐντονώτερόν του χρῶμα εὑρίσκεται τόσον πλησιέστερον πρὸς τὸ ἰῶδες, ὅσον μεγαλυτέρα εἶναι ἡ θερμοκρασία του. Συνεπῶς εἰς χαμηλὰς θερμοκρασίας κυριαρχεῖ τὸ ἐρυθρόν, ἄρα τὸ λευκὸν φῶς τοῦ σώματος ροδίζει, εἰς ὑψηλοτέρας τὸ πορτοκαλί, τὸ κίτρινον καὶ εἰς πολὺ ὑψηλὰς τὸ πράσινον, κυανοῦν κ.ο.κ. Ἀπὸ τὸν νόμον αὐτὸν δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν θερμοκρασίαν ἑνὸς διαπύρου ὑλικοῦ, χρησιμοποιοῦντες φασματοσκόπιον. Ἡ ἐπιφάνεια τοῦ Ἡλίου π.χ. δίδει 5 700° C, διότι τὸ πλέον ζωηρὸν χρῶμα, ὅταν ἀναλυθῇ τὸ λευκὸν φῶς εἰς τὰ ἁπλᾶ συστατικά του, εἶναι τὸ κιτρινοπράσινον.

Ὑπάρχουν θερμομετρικὰ ὄργανα ὀνομαζόμενα *πυρόμετρα*, μὲ τὰ ὁποῖα συγκρίνομεν τὸ φῶς τοῦ πυρακτωμένου νήματος ἑνὸς ἠλεκτρικοῦ λαμπτῆρος πρὸς τὸ φῶς ἑνὸς διαπύρου σώματος, π.χ. τετηγμένου σιδήρου εἰς μεταλλουργικὸν φοῦρνον. Ρυθμίζοντες τὸ ρεῦμα τοῦ νήματος, ὥστε τὸ φῶς τοῦ λαμπτῆρος νὰ ὁμοιάζῃ μὲ τὸ φῶς τοῦ διαπύρου μετάλλου, δυνάμεθα νὰ ἐκτιμήσωμεν ἐξ ἀποστάσεως τὴν θερμοκρασίαν τοῦ μετάλλου. Λευκὸν μὲ ἔντονον κυανίζουσαν ἀπόχρωσιν, ὅπως μερικῶν ἀστέρων, προδίδει θερμοκρασίαν τῆς ἐπιφανείας των ἄνω τῶν 25 000° C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 16

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

16·1 Τὸ Αον ἀξίωμα τῆς Θερμοδυναμικῆς.

Μέγα πλῆθος φαινομένων συνδέει τὴν Μηχανικὴν μὲ τὴν Θερμότητα. Ἰδιαιτέρως στενὴ εἶναι ἡ σχέσις μεταξὺ τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας (ἔργον, κινητική, δυναμικὴ) καὶ τῆς αὐξήσεως τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας, ποὺ δημιουργεῖται ἀπὸ τὴν ἐξαφάνισιν, τρόπον τινά, τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας.

Μία σφαῖρα ἐκ μολύβδου πίπτουσα ἀπὸ ὕψος ἐπάνω εἰς σκληρὰν πλάκα δίδει τὴν ἐντύπωσιν ὅτι ἡ ἐνέργειά της χάνεται, διότι δὲν ἀναπηδᾶ· καὶ ὅμως, ἂν τὴν πιάσωμεν, θὰ ἰδοῦμε ὅτι ἐθερμάνθη. Τὸ φαινόμενον αὐτὸ θὰ τὸ ἐξηγήσωμεν ὡς ἑξῆς: Ἐν πρώτοις ἂς θεωρήσωμεν ὅτι τὰ μόρια τῆς σφαίρας ἦσαν σχετικῶς πρὸς ἄλληλα ἀκίνητα (δηλ. ἂς μὴ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τὰς ταλαντώσεις, ἢ ἄλλας τυχὸν κινήσεις τῶν μορίων τοῦ στερεοῦ μολύβδου, ποὺ πάντοτε ὑπάρχουν), ἑπομένως ὅλα τὰ μόρια εἶχον κατὰ τὴν στιγμὴν τῆς προσκρούσεως *μίαν μόνον* ταχύτητα, τὴν τῆς πτώσεως μὲ φορὰν τὴν κατακόρυφον. Ὅταν ἔγινεν ἡ πρόσκρουσις, ἐπῆλθε *παραμόρφωσις* καὶ διὰ νὰ γίνῃ αὐτὴ κατηναλώθη μέρος τῆς ἐνεργείας τῆς σφαίρας, ἤλλαξαν δὲ αἱ σχετικαὶ ἀποστάσεις μεταξὺ τῶν μορίων. Τὸ ὑπόλοιπον μέρος τῆς ἐνεργείας, ἐφ' ὅσον δεχθῶμεν ὅτι δὲν ἔλαβεν ἕνα ποσοστὸν ἡ πλάκα, ἔμεινεν εἰς τὴν σφαῖραν καὶ φυσικῶς ἡ ἐσωτερική της ἐνέργεια ηὐξήθη.

Αὐτὸ ὅμως σημαίνει ὅτι ἤρχισαν ταλαντώσεις τῶν μορίων καὶ γενικῶς ἡ σφαῖρα ἀπέκτησε ποικιλίαν μοριακῶν ταχυτήτων, ἐνῶ πρὶν δὲν εἶχε παρὰ μίαν μόνον ταχύτητα, συνεπῶς ἐθερμάνθη.

Γενικῶς, ὅλα τὰ φαινόμενα τῆς μετατροπῆς ἔργου καὶ ἄλλων μορφῶν ἐνεργείας εἰς θερμότητα, καθὼς καὶ τὸ πότε εἶναι δυνατὸν ἡ θερμότης νὰ μετατραπῇ εἰς ἔργον ἢ ἄλλας μορφὰς ἐνεργείας, μελετᾶ ἡ Θερμοδυναμική, ποὺ ἀποτελεῖ ἕνα μέγιστον κλάδον τόσον θεωρητικῶν ὅσον καὶ πρακτικῶν ἐφαρμογῶν τῆς μετατροπῆς τῶν διαφόρων μορφῶν τῆς ἐνεργείας εἰς θερμότητα καὶ ἀντιστρόφως.

Ἡ Θερμοδυναμικὴ δὲν εἶναι εὔκολος εἰς τὴν κατανόησιν, χρειάζεται καὶ καλὸν μαθηματικὸν ἐξοπλισμόν, βασίζεται ὅμως εἰς δύο ἁπλᾶ ἀξιώματα, ποὺ διετυπώθησαν τὸν παρελθόντα αἰῶνα ἀπὸ τοὺς Μάγιερ (Mayer 1840) καὶ Καρνὼ (Carnot 1820), ἐνῶ ἀρχικῶς ἡ θερμότης ἐθεωρεῖτο ὡς ρευστόν, ποὺ ἦτο δυνατὸν νὰ χυθῆ ὅπως τὸ ὕδωρ ἢ νὰ διοχετευθῆ ὅπως τὸ ἀέριον ἀπὸ δοχείου εἰς δοχεῖον.

Θὰ ἐξετάσωμεν κατ' ἀρχὰς τὸ Α^{ον} ἀξίωμα καὶ τὰ σχετικὰ πρὸς αὐτὸ φαινόμενα, ἡ γνῶσις τῶν ὁποίων συνδέεται μὲ τὴν λειτουργίαν μηχανῶν. Αὐτὸ καθ' ἑαυτὸ τὸ ἀξίωμα εἶναι ποσοτικοῦ περιεχομένου καὶ διατυποῦται ὡς ἀκολούθως:

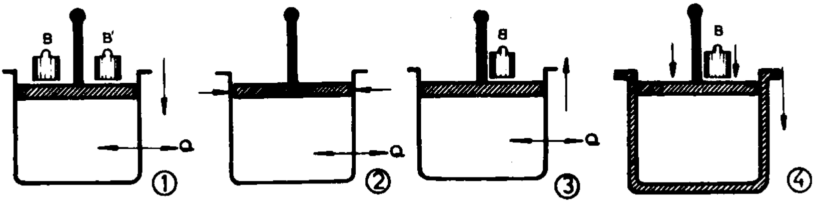
Ἡ θερμότης εἶναι ἰδιότυπος μορφὴ ἐνεργείας καὶ ἕνα ποσὸν αὐτῆς δύναται νὰ μετατραπῆ εἰς ἰσοδύναμον ποσὸν ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας. Θερμότης οὔτε παράγεται ἐκ τοῦ μηδενός, οὔτε χάνεται ἐκμηδενιζομένη.

Ἂς μελετήσωμεν τώρα τὴν συμπεριφορὰν ἀερίων ἢ ἀτμῶν εἰς ἐξωτερικὰς ἐπιδράσεις, αἱ ὁποῖαι ἀλλάσσουν τὰ χαρακτηριστικὰ φυσικὰ μεγέθη των.

Ἕνα τέλειον ἀέριον (ἢ ἔστω ἕνα φυσικὸν ἀέριον ἢ ἀκόμη ἕνα ἀτμὸν ἀκόρεστον) δυνάμεθα, ὡς γνωστόν, νὰ τὸ χαρακτηρίσωμεν ἀπὸ τρία κυρίως φυσικὰ μεγέθη, τὴν πίεσιν P, τὸν ὄγκον V καὶ τὴν ἀπόλυτον θερμοκρασίαν του T. Μὲ αὐτὰ εἶναι δυνατὸν νὰ ὑπολογισθοῦν ἡ μᾶζα του καὶ ἡ πυκνότης του (ἀπόλυτος ἢ σχετική). Ἑπομένως, διακρίνομεν τρεῖς βασικὰς μεταβολὰς τοῦ ἀερίου, ὅπου ἀλλάσσει τὸ ἕνα μέγεθος καὶ μένουν σταθερὰ τὰ ἄλλα δύο, καὶ μίαν τετάρτην μεταβολήν, κατὰ τὴν ὁποίαν μεταβάλλονται συγχρόνως καὶ τὰ τρία μεγέθη, ἤτοι ἔχομεν:

α) Τὴν *ἰσοθερμοκρασιακὴν* ἢ ἄλλως *ἰσόθερμον* μεταβολήν· ἡ θερμοκρασία T μένει σταθερὰ καὶ ἀλλάσσει ἡ πίεσις καὶ ὁ ὄγκος. Μεταβολὴν τοῦ εἴδους αὐτοῦ πραγματοποιοῦμεν π.χ. ὅταν κλείσωμεν ἕνα ἀέριον εἰς δοχεῖον μὲ ἔμβολον (σχ. 16 · 1 α). Προσθέτοντες εἰς τὸ ἔμβολον σιγά-σιγὰ μικρὰ βάρη B', ἐλαττώνομεν βραδέως τὸν ὄγκον του. Τονίζομεν *βραδέως*, διότι κάθε ἀπότομος συμπίεσις θὰ θερμάνη τὸ ἀέριον (βλ. κατωτέρω, ἀδιαβατικὴ μεταβολή), πρᾶγμα ποὺ θὰ μᾶς καταστρέψη τὴν ἔννοιαν *ἰσοθερμοκρασιακή*.

Ἐφ' ὅσον μὲ τὴν βραδεῖαν προσθήκην πολλῶν μικρῶν βαρῶν θὰ ἐλαττώνεται ὁ ὄγκος, δηλαδὴ θὰ ἔχωμεν $-\Delta V$, χωρὶς νὰ μεταβάλλεται ἡ θερμοκρασία ($T =$ σταθερόν), ἕπεται ὅτι θὰ παρατηρηθῆ αὔξησις εἰς τὴν πίεσιν (+ ΔΡ) συμφώνως πρὸς τὸν Νόμον Boyle - Mariotte.



+ ΔΡ, — ΔV Τ σταθ. ἰσοθερμοκρασιακὴ ἢ ἰσόθερμος	+ ΔΤ, + ΔΡ V σταθ. ἰσόχωρος	+ ΔΤ, + ΔV Ρ σταθ. ἰσοβαρὴς	+ ΔΤ, + ΔΡ — ΔV ἀδιαβατικὴ ἄνευ εἰσόδου ἢ ἐξόδου θερμότητος τοιχώματα θερμ. μονωμένα

Σχ. 16 · 1 α.

(+ Δ δηλοῖ αὔξησιν εἰς τὸ μέγεθος, — Δ ἐλάττωσίν του ←→ Q σημαίνει εὔκολον διαπερατότητα εἰς τὴν θερμότητα).

Θὰ ἰσχύῃ ὅμως ἐξ ἴσου καλῶς καὶ ἡ ἀντίθετος διεργασία, ἤτοι μὲ τὴν ἀφαίρεσιν σιγά - σιγὰ τῶν προστεθέντων βαρῶν θὰ μεγαλώνῃ ὁ ὄγκος, θὰ πίπτῃ ἡ πίεσις, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία θὰ μένῃ σταθερὰ καὶ τέλος τὸ ἀέριον θὰ ἐπανέλθῃ εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του. Ὀνομάζομεν τότε τὴν μεταβολὴν αὐτὴν τοῦ ἀερίου *κυκλικήν*, ὄχι διότι γίνεται κανένας κύκλος, ἀλλὰ διότι ἐπανερχόμεθα εἰς τὸ σημεῖον, ἀπὸ τὸ ὁποῖον ἐκκινήσαμεν.

Σημείωσις. Ἐκτὸς τούτου ὀνομάζομεν μίαν μεταβολὴν *ἀντιστρεπτήν*, ὅταν εἶναι δυνατὸν νὰ γίνῃ ἀπολύτως ὁμοία κατὰ δύο ἀντιθέτους πορείας. Π.χ. τὸ ἀέριον νὰ διογκωθῇ μὲ τὴν ἀφαίρεσιν τῶν βαρῶν Β' βαθμιαίως καὶ μὲ τὸν ἴδιον ἀκριβῶς τρόπον προσθέτοντες τὰ βάρη νὰ ἐπιτύχωμεν νὰ συμπιεσθῇ ὅπως ἦτο ἐξ ἀρχῆς. Τοιούτου εἴδους ἀντιστρεπταὶ μεταβολαὶ ὅσον καὶ ἂν μᾶς φαίνωνται εὔκολοι, εἶναι εἰς τὴν Φύσιν σπάνιαι ἢ μόνον κατὰ προσέγγισιν δυναταὶ (δι' αὐτὸ προηγουμένως ἐτονίσαμεν τὴν ἀνάγκην νὰ γίνῃ τὸ πείραμα βραδέως, διότι, ὅταν γίνουν ἀποτόμως εἴτε ἡ ἀφαίρεσις εἴτε ἡ προσθήκη τῶν βαρῶν, αἱ μεταβολαί, ποὺ θὰ παρουσιασθοῦν, *δὲν* ἀλληλοαναιροῦνται) καὶ γενικῶς ἡ *κυκλικὴ ἀντιστρεπτὴ μεταβολὴ εἶναι εἰς τὴν Φύσιν ἀδύνατος*.

Ἀνάλογον φαινόμενον εἶναι ἡ πτῶσις μιᾶς χαλυβδίνης σφαίρας ἐπάνω εἰς σκληρὰν πλάκα. Ἡ σφαῖρα θὰ πέση, ἀλλὰ δὲν θὰ δυνηθῆ νὰ ὑψωθῆ ἀκριβῶς εἰς τὸ ἴδιον ὕψος κατὰ τὴν ἀναπήδησίν της· αἱ ἀπώλειαι γενικῶς τῆς μηχανικῆς ἐνεργείας, π.χ. ἡ μετατροπὴ εἰς θερμικὴν ἐνέργειαν εἶναι ἀδύνατον νὰ ἀποφευχθοῦν. Ἑπομένως, διὰ νὰ ὑψωθῆ εἰς τὸ ἴδιον ὕψος καὶ νὰ συνεχίση τὴν κίνησίν της ἀδιακόπως, χρειάζεται ὁπωσδήποτε τὴν ἰδικήν μας ἐπέμβασιν, π.χ. δρᾶσιν κάποιου μαγνήτου, τὴν στιγμὴν ποὺ πλησιάζει πρὸς τὴν ἀρχικὴν θέσιν της κ.λπ. (παράγρ. 16·2 καὶ 16·3) διὰ νὰ δυνηθῆ νὰ κερδίση τὸ προηγούμενον ὕψος.

β) Ἡ *ἰσόχωρος* μεταβολὴ χαρακτηρίζεται ἀπὸ ὄγκον (χῶρον) σταθερόν, ἐνῶ μεταβάλλονται ἡ πίεσις καὶ ἡ θερμοκρασία. Αὐτὴν τὴν μεταβολὴν τὴν πραγματοποιοῦμεν μὲ τὸ ἀέριον ἐντὸς κλειστοῦ δοχείου, ὁπότε θερμαίνοντες αὐτὸ ἔχομεν $+\Delta P$, $+\Delta T$ ἀλλὰ V πρακτικῶς σταθερὸν (σχ. 16·1 α).

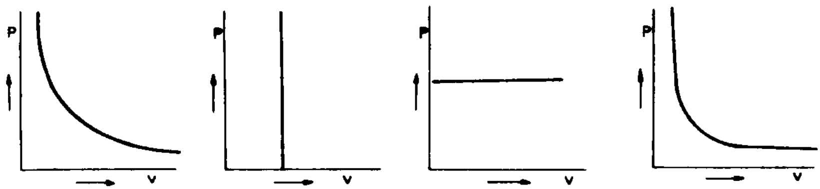
γ) Τὴν *ἰσοπιεστικὴν* ἢ ἰσοβαρῆ *μεταβολὴν* πραγματοποιοῦμεν, ἂν θερμάνωμεν τὸ δοχεῖον, χωρὶς νὰ μεταβάλωμεν τὰ βάρη τοῦ ἐμβόλου. Τότε τὸ ἀέριον θερμαινόμενον διαστέλλεται, τὸ ἔμβολον ὑψώνεται, ὁ ὄγκος αὐξάνει, ἡ πίεσις ὅμως μένει ἡ ἰδία, δηλαδὴ τὸ ἀέριον μὲ τὸ ἴδιον βάρος ἔφραζε τὸ ἔμβολον προηγουμένως ὅπως καὶ τώρα. Ὅθεν, $P =$ σταθ. ἀλλὰ $+\Delta V$, $+\Delta T$.

δ) Ὡς τελευταίαν μεταβολὴν ἔχομεν τὴν *ἀδιαβατικήν*, κατὰ τὴν ὁποίαν, ὅπως ἐννοεῖται ἀπὸ τὴν ὀνομασίαν της, δὲν ἐπιτρέπομεν διάβασιν τῆς θερμότητος ἐντὸς καὶ ἐκτὸς τοῦ δοχείου, ποὺ περικλείει τὸ ἀέριον διὰ τῶν τοιχωμάτων αὐτοῦ. Γίνεται συνεπῶς ἢ ἐντὸς δοχείου ἄριστα θερμικῶς μονωμένου ἢ τόσον ταχέως, *ὥστε νὰ μὴ προφθάνη ἡ θερμότης* νὰ διαπερᾶ τὰ τοιχώματά του. Αὐτὴ ἡ ταχύτης εἶναι πολὺ σημαντικὸν χαρακτηριστικὸν τῆς ἀδιαβατικῆς μεταβολῆς, διότι εἶναι σχεδὸν ἀδύνατον νὰ ἀποφύγωμεν θερμικὰς διαρροάς, δηλαδὴ δοχεῖα ἀπείρου μονώσεως δὲν κατασκευάζονται, καὶ ἑπομένως ἐλαχίστη ἔστω διαρροὴ θὰ ὑπάρξη (σχ. 16·1 α).

Αἱ τέσσαρες αὐταὶ μεταβολαὶ εἶναι δυνατὸν νὰ παρασταθοῦν διὰ διαγραμμάτων, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16·1 β.

Ἐπανερχόμενοι εἰς τὰ σχήματα τῶν δοχείων τοῦ σχήματος 16·1 α βλέπομεν ὅτι μόνον ἡ ἰσόχωρος μεταβολὴ *δὲν* συνδέεται μὲ *ἔργον*, ἤτοι μὲ μετακίνησιν τοῦ ἐμβόλου ἄνω ἢ κάτω, πρᾶγμα ποὺ προκύπτει καὶ ἐκ τῆς μορφῆς τῶν ἀντιστοίχων διαγραμμάτων (ἡ ἰσόχωρος δὲν προβάλλεται ἐπάνω εἰς τὸν ἄξονα V).

Ἐπειδὴ τὸ ἔργον εἶναι, ὡς γνωστόν, μία ἐκ τῶν μορφῶν τῆς ἐνεργείας, ἕπεται ὅτι εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις, ἐκτὸς βεβαίως τῆς ἰσοχώρου, κάποια ἄλλη μορφὴ ἐνεργείας δαπανᾶται διὰ νὰ τὸ παραγάγῃ, διότι, ἂν δὲν παραδεχθῶμεν αὐτό, προκύπτει τὸ ἐρώτημα: Πόθεν παρήχθη τὸ ἔργον; Αὐτομάτως; Ἐκ τοῦ μηδενός; Κατηργήθη ἡ ἀρχὴ διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας; Εἰσπράττομεν, χωρὶς νὰ προσφέρωμεν;



α) T = σταθ. Ἰσόθερμος. β) V = σταθ. Ἰσόχωρος. γ) P = σταθ. Ἰσοβαρής. δ) Ἀδιαβατική.

Σχ. 16 · 1 β.

Συμπεραίνομεν λοιπὸν ὅτι ὁσάκις μετακινεῖται ἕνα ἔμβολον, διότι ἐντὸς τοῦ δοχείου διογκώνεται (ἐκτονοῦται) ἕνα ἀέριον ἢ ἀτμός, τὸ ἔργον παράγεται λόγω προσφερομένης θερμότητος, τὴν ὁποίαν φροντίζομεν νὰ παραλαμβάνῃ τὸ ἀέριον ἔξωθεν διὰ μέσου τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου (ἰσόθερμος καὶ ἰσοπιεστικὴ μεταβολή), ἄλλως, ἂν τοῦτο δὲν εἶναι δυνατὸν (ἀδιαβατικὴ μεταβολή), τότε θὰ ἀποδοθῇ ἔργον εἰς βάρος τῆς ἐνεργείας αὐτῶν τούτων τῶν μορίων τοῦ ἀερίου, ποὺ ἀναγκαστικῶς θὰ ψυχθῇ. Τὰ ἀντίστροφα φαινόμενα θὰ συμβοῦν, ὅταν προσφερθῇ εἰς τὸ ἀέριον ἔργον, ὁπότε τοῦτο θὰ θερμανθῇ.

Γενικῶς ἡ μετατροπὴ αὐτὴ τοῦ ἔργου εἰς θερμότητα εἶναι πολὺ εὔκολος, διότι ἀρκεῖ π.χ. νὰ τρίψωμεν τὰς χεῖρας μας διὰ νὰ θερμανθοῦν. Ἀκόμη καὶ σήμερον εἰς ἀγρίους λαοὺς ἀνάπτουν φωτιὰν τρίβοντες ξηρὸν τεμάχιον ξύλου ἐπὶ τῆς κοιλότητος στεγνοῦ καὶ ξηροῦ κορμοῦ δένδρου. Ἐπίσης ὁ σπινθὴρ τῆς τσακμακόπετρας, ποὺ ἀνάπτει τὴν ὕσκαν, ἡ θέρμανσις εἰς τὰ φρένα, εἰς τοὺς ἄξονας, εἰς τὰ ἔδρανα (κουσινέτα) κ.ο.κ. εἶναι φαινόμενα, κατὰ τὰ ὁποῖα χάνεται ἔργον καὶ αὐξάνει ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τῶν σωμάτων. Ἀντιθέτως, ὅπως προηγουμένως εἴδομεν, δὲν μετακινεῖται τὸ ἔμβολον ἄνευ δαπάνης θερμότητος. Ἀλλὰ ἂς ἐξετάσωμεν ἐκ νέου λεπτομερέστερον τὰς διαφόρους περιπτώσεις, αἱ ὁποῖαι κατὰ τὴν τεχνικὴν ἐφαρμογὴν δὲν εἶναι βεβαίως τόσον ἁπλαῖ, ὅπως τὰς περιγράφει ἡ Φυσική.

α) Περίπτωσις ἰσοθέρμου μεταβολῆς.

Τὸ ἔμβολον κατέρχεται, ἂν προσθέσωμεν βάρη Β'· ἄρα προσφέρομεν ἔργον, συνεπῶς τὸ ἀέριον πρέπει νὰ θερμανθῇ. Ὅμως *δὲν* θερμαίνεται, διότι προφθάνει ἡ θερμότης καὶ διαρρέει μέσω τῶν τοιχωμάτων τοῦ δοχείου. Ὅταν αὐτὸ ἐμποδισθῇ λόγω μονώσεως ἢ μεγάλης ταχύτητος τῆς συμπιέσεως, τὸ ἀέριον θὰ θερμανθῇ (βλ. ἀδιαβατικὴ συμπίεσις). Τὸ ἀντίστροφον συμβαίνει, ὅταν ἡ ἔξωθεν προσφερομένη θερμότης παράγῃ τὸ ἔργον ἀνυψώσεως τοῦ ἐμβόλου, ἐνῶ ἡ θερμοκρασία παραμένει σταθερά, δηλαδὴ *ὅ,τι εἰσέρχεται ὡς θερμότης, ἀποδίδεται ὡς ἔργον, ἄρα δὲν μένει τίποτε διὰ νὰ θερμάνῃ τὸ ἀέριον.*

β) *Περίπτωσις ἰσοχώρου μεταβολῆς.*

Κατὰ τὴν περίπτωσιν αὐτὴν τὸ ἔργον ἰσοῦται μὲ τὸ μηδέν, διότι τὸ ἔμβολον εἶναι ἀκίνητον καὶ ἁπλῶς θερμαίνεται τὸ ἀέριον. Ἑπομένως, ἕνα ἀέριον πρέπει νὰ θέλῃ ὀλιγωτέραν θερμότητα ἀνὰ βαθμὸν διὰ νὰ θερμανθῇ κλεισμένον εἰς δοχεῖον, παρὰ ὅταν τὸ αὐτὸ ἀέριον θερμαίνεται εἰς δοχεῖον μὲ μετακινούμενον ἔμβολον, ὅπως εἰς τὴν προηγουμένην περίπτωσιν. Τοῦτο ἀποτελεῖ βασικὸν φαινόμενον γνωστὸν ἀπὸ ἑκατὸν ἐτῶν καὶ πλέον, συνοψίζεται δὲ εἰς τὴν ἀκόλουθον πρότασιν: Ἡ *εἰδικὴ θερμότης τῶν ἀερίων, δηλαδὴ τὸ ἀνὰ γραμμάριον καὶ βαθμὸν ἀπαιτούμενον πρὸς θέρμανσιν τοῦ ἀερίου ποσὸν τῆς θερμότητος, εἶναι μεγαλύτερον εἰς τὴν ἰσοπιεστικὴν παρὰ εἰς τὴν ἰσόχωρον μεταβολήν.* Ἢ ἄλλως ἡ *εἰδικὴ θερμότης ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν* C_p *εἶναι μεγαλυτέρα τῆς ὑπὸ σταθερὸν ὄγκον* C_v, *ἡ δὲ διαφορά των ὀφείλεται εἰς τὸ παραγόμενον ἔργον.* Π.χ. εἰδικαὶ θερμότητες ἀέρος: $C_p = 0{,}24$, ἐνῶ $C_v = 0{,}17$ cal/gr · grad.

γ) *Περίπτωσις ἀδιαβατικῆς μεταβολῆς.*

Εἰς τὴν περίπτωσιν αὐτήν, καθ' ἣν ἡ μεταβολὴ γίνεται συνήθως ταχέως διὰ νὰ μὴ προφθάνῃ νὰ διαρρέῃ ἢ νὰ εἰσρέῃ διὰ τῶν τοιχωμάτων ἡ θερμότης, ἔχομεν κατὰ τὴν συμπίεσιν μὲν θέρμανσιν (τὸ ἔργον μας αὐξάνει τὴν ἐσωτερικὴν ἐνέργειαν τοῦ ἀερίου), κατὰ τὴν ἐκτόνωσιν δὲ (ἀπότομον διαστολὴν) ψῦξιν (παραγωγὴν ἔργου μὲ δαπάνην τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας τοῦ ἀερίου)· χαρακτηριστικὰ παραδείγματα εἶναι: ἡ θέρμανσις εἰς τὴν ἀντλίαν συμπιέσεως ἀέρος κατὰ τὴν πλήρωσιν τοῦ ἀεροθαλάμου (σαμπρέλα) τοῦ ποδηλάτου δι' ἀέρος, ἡ ψῦξις τῆς βαλβῖδος τοῦ ἀεροθαλάμου, ὅταν ἀφαιροῦμεν τὸν ἀέρα, ἡ ψῦξις τοῦ CO_2, ὅταν ἀποτόμως ἀνοίξωμεν τὴν βαλβῖδα ἐξαγωγῆς του ἀπὸ τὴν ὀβίδα, ἀφοῦ δέσωμεν εἰς τὸ στόμιόν της ἕνα μικρὸν μάλλινον σάκκον. Ἡ ψῦξις εἶναι τόσον ἔντονος, ὥστε τελικῶς πληροῦται ὁ σάκκος μὲ ἕνα εἶδος χιόνος, ἡ ὁποία εἶναι στερεοποιημένον διοξείδιον τοῦ ἄνθρακος (ξηρὸς πάγος) (παράγρ. 14·3).

Ἄλλο παράδειγμα εἶναι ἡ συμπίεσις πρὸς ἔκρηξιν τοῦ μίγματος ἀεριοποιημένου πετρελαίου καὶ ἀέρος εἰς τὸν κύλινδρον μηχανῆς Ντῆζελ, ὁπότε τὸ μῖγμα ἀναφλέγεται μόνον του, ἕνεκα τῆς μεγάλης θερμάνσεως, ποὺ παράγεται κατὰ τὸ ἔργον τῆς συμπιέσεως. Ἡ συμπίεσις αὐτὴ δὲν εἶναι τόσον ὑψηλὴ εἰς τοὺς βενζινοκινητῆρας τῶν συνήθων αὐτοκινήτων καὶ δι' αὐτὸ εἰς τὸ τέλος τῆς συμπιέσεως, εἰς τὸ 8 ἕως 10πλάσιον περίπου τῆς ἀρχικῆς πιέσεως, δημιουργεῖται ἠλεκτρικὸς σπινθὴρ (σπινθὴρ στὸ μπουζί, Bougie = κηρίον) καὶ τὸ ἤδη θερμὸν μῖγμα ἀναφλέγεται καὶ ἐκρήγνυται.

Ἐξ ὅσων ἀνεφέραμεν, προκύπτουν τελικῶς τὰ ἀκόλουθα συμπεράσματα, ποὺ συναποτελοῦν τὸ Αον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα, ὅπως τὸ διετυπώσαμεν εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς παραγράφου:

α) Ἡ θερμότης εἶναι μία ἰδιότυπος μορφὴ ἐνεργείας καὶ δύναται νὰ μετατραπῇ εἰς ἄλλας μορφὰς ἐνεργείας, ὅπως π.χ. εἰς μηχανικὸν ἔργον, ἀλλὰ καὶ ἀντιστρόφως, ὅλαι αἱ ἄλλαι μορφαὶ ἐνεργείας δύνανται νὰ παράγουν θερμότητα, καὶ

β) Ὁσάκις παράγεται ἕνα ποσὸν θερμότητος, πρέπει νὰ ἀναζητήσωμεν ἰσοδύναμον ποσὸν ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας, τοῦ ὁποίου ἡ μετατροπὴ ἀπέδωσεν τὴν θερμότητα.

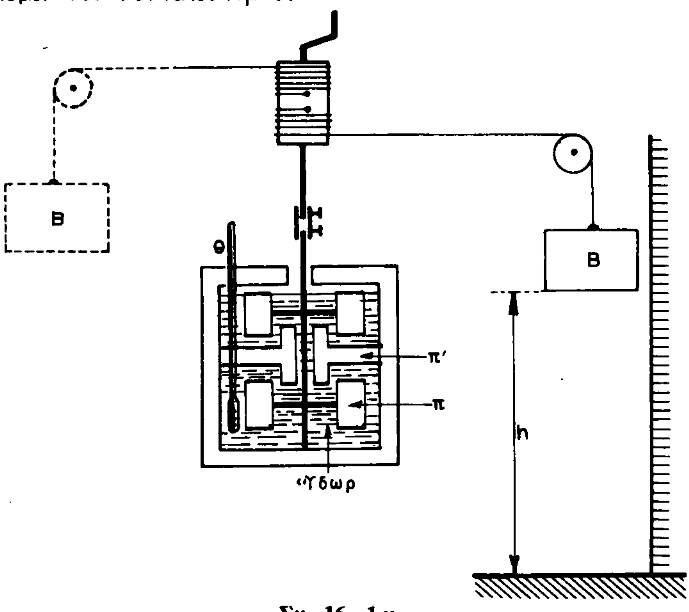
Διὰ τὴν μετατροπὴν ἔργου εἰς θερμότητα ἰσχύει ἡ σχέσις:

$$A = J \cdot Q$$

ὅπου A τὸ δαπανώμενον ἔργον, Q ἡ ἰσοδύναμος πρὸς αὐτὸ παραχθεῖσα θερμότης καὶ J συντελεστὴς ἐξαρτώμενος ἀπὸ τὰς μονάδας τῶν A καὶ Q καλούμενος *μηχανικὸν ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος*.

Εἰς τὴν περίπτωσιν, ὅπου τὸ ἔργον τὸ μετροῦμεν εἰς kilopond - mètre καὶ τὴν θερμότητα εἰς kcal, ἡ τιμὴ τοῦ J εἶναι: J = 427 kpm/kcal ἢ ἄλλως διὰ A εἰς Joule καὶ Q εἰς calorie: J = 4,2 Joule/cal.

Ἡ μέτρησις τοῦ μηχανικοῦ ἰσοδυνάμου γίνεται διὰ διαφόρων μεθόδων εἴτε μηχανικῶν εἴτε ἠλεκτρικῶν. Π.χ. περιστρέφεται ἀπὸ πτῶσιν βαρῶν ἕνας μύλος μὲ πτερὰ Π ἐντὸς εἰδικοῦ θερμιδομέτρου, ποὺ φέρει πτερύγια Π′ εἰς τὰ τοιχώματά του εἰς τρόπον, ὥστε νὰ δυσχεραίνεται ὁ στροβιλισμὸς τοῦ ὕδατος (σχ. 16 · 1 γ). Μὲ τὴν κίνησιν τοῦ μύλου τὸ ὕδωρ τρίβεται, θερμαίνεται καὶ ἡ θέρμανσίς τόυ (Δθ) φαίνεται ἀπὸ τὸ θερμόμετρον τοῦ θερμιδομέτρου. Ὅταν γνωρίζωμεν τὸ ἔργον Α τοῦ μύλου, τὴν θερμοχωρητικότητα τοῦ θερμιδομέτρου καὶ λοιπὰ δεδομένα, ὑπολογίζομεν πόση θερμότης Q ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ καταναλωθὲν ἔργον καὶ κατ᾿ αὐτὸν τὸν τρόπον εὑρίσκομεν τὸν συντελεστὴν J.



Σχ. 16 · 1 γ.

Κάτι παρόμοιον θὰ ἦτο τὸ νὰ ἔχωμεν ποσὸν 1510 δραχμῶν Α καὶ νὰ τὸ μετατρέψωμεν εἰς τὴν Τράπεζαν εἰς δολλάρια Q, ὁπότε λαμβάνοντες 50 δολλάρια δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὸν συντελεστὴν μετατροπῆς J ἐκ τῆς σχέσεως: $J = \frac{A}{Q} = \frac{1510}{50} = 30{,}20$ δραχμὰς ἀνὰ δολλάριον. Εἶναι προφανὲς ὅτι, ἂν ἀντὶ δολλαρίων ζητήσωμεν ἰσοδύναμον ποσὸν γαλλικῶν φράγκων, ὁ συντελεστὴς δὲν θὰ εἶναι ἀριθμητικῶς ὁ ἴδιος, διότι θὰ ἐξαρτᾶται ἑκάστοτε ἀπὸ τὰς χρησιμοποιουμένας μονάδας τόσον τοῦ A ὅσον καὶ τοῦ Q.

16 · 2 Τὸ Βον ἀξίωμα τῆς Θερμοδυναμικῆς.

Τὸ ἀξίωμα αὐτὸ εἶναι κυρίως ποιοτικοῦ περιεχομένου. Ἔστω π.χ. ὅτι πρόκειται νὰ ἀγοράσωμεν συνάλλαγμα καὶ δὲν ἐνδιαφερόμεθα μόνον διὰ τὸ *πόσα* ξένα χρήματα θὰ λάβωμεν (Αον ἀξίωμα), ἀλλὰ *ποῖα* δυνάμεθα νὰ ἀγοράσωμε μὲ τὸ ποσὸν τῶν δραχμῶν, ποὺ διαθέτομεν. Εἶναι πιθανὸν ἡ Τράπεζά μας νὰ μὴ μᾶς δίδη εὐκόλως δολλάρια ἢ καὶ νὰ μᾶς κρατῆ πολλὰ ὡς προμήθειάν της, ἐνῶ ἀντιθέτως δύναται νὰ μᾶς χορηγήση μάρκα μὲ μικροτέραν κράτησιν κ.ο.κ.

Αὐτὴν τὴν ἔνδειξιν, τοῦ πότε δυνάμεθα ἐκ τῆς διαθεσίμου θερμότητος νὰ λάβωμεν ἔργον καὶ μὲ ποίαν ἀπόδοσιν, δηλαδὴ ποίαν ἀπαίτησιν θὰ προβάλη ἡ Φύσις διὰ νὰ μᾶς ἐπιτρέψη νὰ κάμωμεν τὴν μετατροπὴν τῆς θερμότητος, τί ἔργον θὰ μᾶς ζητηθῆ διὰ νὰ βοηθήσωμεν νὰ γίνη μεταφορὰ τῆς θερμότητος ἀπὸ χαμηλὴν θερμοκρασίαν εἰς ὑψηλήν, πρᾶγμα ποὺ δὲν τὸ θέλει ἡ Φύσις κ.λπ., ὅλα αὐτὰ τὰ ρυθμίζει τὸ Βον ἀξίωμα, ποὺ διατυποῦται ἁπλούστερον καὶ μὲ δύο τρόπους ὡς ἑξῆς:

Δὲν εἶναι ποτὲ δυνατὸν νὰ μετατρέψωμεν θερμότητα εἰς ἔργον (νὰ ἐργασθῇ μία θερμικὴ μηχανή), ἐφ' ὅσον δὲν διαθέτωμεν δύο θερμὰ σώματα (δεξαμενὰς θερμότητος) διαφορετικῆς θερμοκρασίας, ὥστε ποσὸν θερμότητος ἀπὸ τὴν ὑψηλὴν θερμοκρασίαν νὰ δυνηθῇ νὰ μεταβῇ διὰ μέσου τῆς μηχανῆς εἰς τὴν χαμηλὴν θερμοκρασίαν. Ἢ ἀντιστρόφως *δὲν εἶναι ποτὲ δυνατὸν νὰ μεταφέρωμεν ποσὸν θερμότητος ἀπὸ σῶμα χαμηλῆς θερμοκρασίας εἰς σῶμα ὑψηλῆς θερμοκρασίας (π.χ. νὰ λάβωμεν θερμότητα ἐκ τῆς θαλάσσης καὶ νὰ τὴν μεταφέρωμεν εἰς λέβητα ὕδατος διὰ νὰ τὸ κάμνωμεν νὰ θερμανθῇ), ἐφ' ὅσον δὲν ἐξοδεύσωμεν μηχανικὸν ἔργον, δηλαδὴ δὲν θέσωμεν εἰς λειτουργίαν ἄλλην ἰδικήν μας μηχανήν.*

Βάσει τοῦ Βου Ἀξιώματος ἐργάζονται αἱ θερμικαὶ μηχαναί, ποὺ ἔχουν ὅλαι τὴν ἀπαρχήν των εἰς μίαν δεξαμενὴν θερμότητος ὑψηλῆς θερμοκρασίας (τὸν λέβητα μὲ τὸν ἀτμὸν ἢ τὸν κύλινδρον, ὅπου γίνεται ἡ ἔκρηξις τοῦ μίγματος βενζίνης - ἀέρος) καὶ τὴν ἐξαγωγή των εἰς δεξαμενὴν χαμηλῆς θερμοκρασίας, ὅπως ὁ ἀτμοσφαιρικὸς ἀὴρ ἢ κάποιος ψυκτὴρ (συμπυκνωτὴς ἀτμοῦ) μὲ ὕδωρ ἢ ἄλλο ρευστόν, ποὺ φροντίζομεν νὰ *μὴ* θερμανθῇ.

Ὅσον ἡ διαφορὰ θερμοκρασίας εἰσόδου T_1 καὶ ἐξόδου T_2 τοῦ ἀτμοῦ εἰς μηχανὴν μειοῦται, τόσον χαμηλώνει ἡ ἀπόδοσίς της καὶ εὑρίσκεται ὅτι ἡ *θεωρητικὴ ἀπόδοσίς της η*, ἤτοι τὸ πόσον τοῖς ἑκατὸν τῆς παραληφθείσης θερμότητος Q ἀπὸ τὴν δεξαμενὴν τῆς ὑψηλῆς θερμοκρασίας (καζάνι) γίνεται ἔργον A, ἰσοῦται πρός:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100.$$

Συμπεραίνομεν ὅθεν ὅτι διὰ νὰ ἔχωμεν καλὴν ἀπόδοσιν, πρέπει νὰ ξεκινήσωμεν ἀπὸ T_1 ὅσον δυνάμεθα μεγαλύτερον καὶ νὰ καταλήξωμεν εἰς ψυγεῖον, ὅσον τὸ δυνατὸν ψυχρότερον, δηλαδὴ $T_1 > T_2$. Ἡ ἀπόδοσις δηλαδὴ τῆς μηχανῆς θὰ μειοῦται, ὅταν ἡ ἐξαγωγή της καταλήγῃ εἰς θερμὸν περιβάλλον, ὁπότε μειοῦται ἡ διαφορὰ $T_1 - T_2$. Ἔστω π.χ. μία ἀτμομηχανή, ποὺ ἀρχίζει ἀπὸ λέβητα ἀτμοῦ 10 at καὶ ἐξατμίζει εἰς ψυκτῆρα 20^0 C. Ποία εἶναι ἡ θεωρητικὴ ἀπόδοσίς της η;

Λύσις:

Ἀπὸ πίνακας Θερμοδυναμικῆς εὑρίσκομεν ὅτι ὕδωρ 10 at ἔχει θερμοκρασίαν ἀτμοῦ 179^0 C. [Ὑπενθυμίζομεν ὅτι: α) μία ἀτμόσφαιρα τεχνικὴ εἶναι ἴση πρὸς 735,5 torr καὶ ὄχι 760 torr, διότι ἰσοῦται πρὸς 1 kp/cm^2 καὶ ὄχι πρὸς 1,033 kp/ cm^2, β) τὸ ὕδωρ ἔχει θερμοκρασίαν 100^0 ὑπὸ πίεσιν μιᾶς κανονικῆς ἀτμοσφαίρας ἤτοι, 1,033 τεχνικὴν ἀτμ. καὶ γ) ὅταν τὰ μανόμετρα τῶν λεβήτων δεικνύουν μηδέν, τοῦτο σημαίνει ἤδη τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν, δηλαδὴ μίαν ἤδη ἀτμόσφαιραν).

Ἐφαρμόζοντες τὴν σχέσιν:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{καὶ ἐπειδὴ} \quad T_1 = 179 + 273 \quad \text{καὶ} \quad T_2 = 20 + 273$$

ἔχομεν θεωρητικὴν ἀπόδοσιν:

$$\eta = \frac{452 - 293}{452} \times 100 = 35$$

ἄρα μόνον 35 % γίνεται ἔργον, ἡ δὲ ἄλλη θερμότης δαπανᾶται διὰ θέρμανσιν τοῦ ψυκτῆρος τῆς μηχανῆς.

Δυστυχῶς διὰ τὴν τεχνικὴν ἐκμετάλλευσιν ἡ ὠφέλιμος ἀπόδοσις μιᾶς παλινδρομικῆς ἀτμομηχανῆς εἶναι πολὺ μακρὰν τῆς θεωρητικῆς καὶ ποτὲ δὲν ὑπερβαίνει τὰ 15 ἕως 20%. Εἰς τοὺς στροβίλους ἡ ὠφέλιμος ἀπόδοσις εἶναι σημαντικῶς ὑψηλοτέρα, φθάνει τὸ 35 %.

Καλύτερον ἐργάζονται οἱ βενζινοκινητῆρες λόγω τῶν ὑψηλῶν πιέσεων καὶ θερμοκρασιῶν τῆς ἐκρήξεως. Ἔστω π.χ. ὅτι ἔχομεν μοτοποδήλατον τῶν 6 ἵππων, ποὺ καταναλίσκει 2 περίπου λίτρα βενζίνης τὴν ὥρα κατὰ μέσον ὅρον. Ἐπειδὴ ἡ βενζίνη ἔχει πυκνότητα 0,7, προκύπτει περίπου 1,5 kg βενζίνη/h καὶ μὲ θερμότητα πλήρους καύσεως 10 000 kcal/kg, θὰ ἔχωμεν 15 000 kcal/h ἢ 4,16 kcal/sec. Ἐφ' ὅσον 427 kpm ἰσοδυναμοῦν πρὸς 1 kcal (μηχανικὸν ἰσοδύναμον τῆς θερμότητος), ἔχομεν τελικῶς 1780 kpm ἀνὰ sec καὶ διαιροῦντες μὲ 75, διὰ νὰ τραποῦν εἰς ἵππους, καταλήγομεν εἰς 24 περίπου ἵππους. Δίδομεν ὅθεν βενζίνην θερμικῶς ἰσοδύναμον πρὸς παραγωγὴν 24 ἵππων καὶ λαμβάνομεν χρησίμους μόνον 6, ἄρα ὠφέλιμον (οἰκονομικῶς) ἀπόδοσιν:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{6}{24} \times 100 = 25\,\%.$$

Τὰ ὑπόλοιπα 75 % εἶναι ἀχρησιμοποίητα ὑπὸ τῆς μηχανῆς, διότι σχεδὸν 25 % πηγαίνουν εἰς τὸν ἀέρα διὰ τοῦ ψυκτῆρος (πτερύγια ψύξεως ἢ ὕδωρ), ἄλλα 35 % φεύγουν ὡς ἐνέργεια τῶν καυσαερίων καὶ τέλος περίπου 15 % εἶναι διάφοροι ἀπώλειαι ἐξ ἀκτινοβολίας, ἀγωγῆς, τριβῶν, ἀντιστάσεων κ.λπ.

Αἱ πλέον βελτιωμέναι πετρελαιομηχαναὶ (Ντῆζελ), μόλις φθάνουν τὰ 40 % ὠφελίμου (χρησίμου) ἀποδόσεως, δηλαδὴ τὸ διπλάσιον τῶν ἀτμομηχανῶν.

Διὰ πολλὰς ἐννοίας καὶ μεγέθη, ποὺ σχετίζονται μὲ τὸ Βον 'Αξίωμα καὶ ἀντιστοίχους ἐφαρμογάς, εἶναι ἀπαραίτητος ἡ Μαθηματικὴ 'Ανάλυσις καὶ ἡ ὑψηλὴ στάθμη τῆς Φυσικῆς· θὰ προσπαθήσωμεν ὅμως νὰ περιγράψωμεν ἐν συντομίᾳ ὡρισμένα ἐξ αὐτῶν.

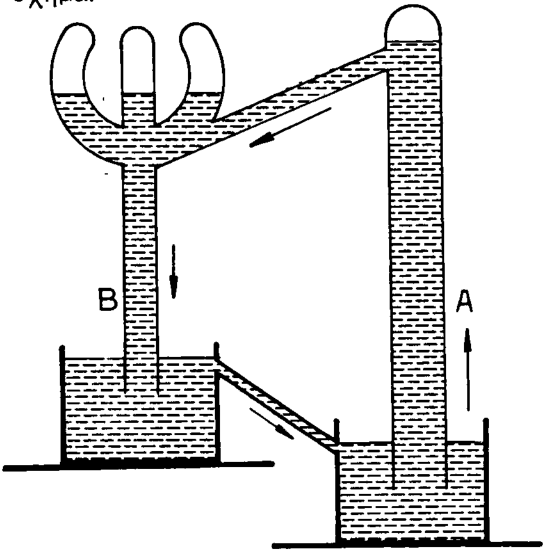
16 · 3 'Αεικίνητον Αου καὶ Βου εἴδους.

Μὲ τὰ θερμοδυναμικὰ ἀξιώματα δυνάμεθα νὰ δικαιολογήσωμεν τὴν ἀδυναμίαν κατασκευῆς δύο εἰδῶν ἀεικινήτων, ποὺ ἀνεζήτησαν ματαίως οἱ ἄνθρωποι καὶ ἐθυσίασαν πολλὰς φορὰς εἰς αὐτὴν τὴν μανίαν των ὄχι μόνον τὴν ἰδικήν των ζωήν, ἀλλὰ καὶ τῶν οἰκογενειῶν των. Εἶναι φοβερὰ ἡ ψυχικὴ κατάστασις τῶν ἀνησύχων φιλοδόξων ἀνθρώπων τῆς τεχνικῆς (διότι, μὴ τεχνικοὶ σπανίως ἀσχολοῦνται μὲ προβλήματα κατασκευῶν καὶ ὑπολογισμῶν), ποὺ κυριεύονται ἀπὸ τὴν μανίαν τῆς ἐφευρέσεως ἀεικινήτων. Γίνονται σκληροί, καχύποπτοι, κρύπτουν τὰ σχέδιά των, ἀμφιβάλλουν διὰ τὸν ἑαυτόν των, διότι ἔχουν ἀκούσει τόσα πολλὰ διὰ τὸ ἀδύνατον τῆς κατασκευῆς τῶν ἀεικινήτων, τελικῶς ἐξοδεύουν χρήματα διὰ κατασκευάς, αἱ ὁποῖαι ποτὲ δὲν θὰ λειτουργήσουν, ἀρχίζουν νέα σχέδια, νέα ἔξοδα, ἡ κατάστασις χειροτερεύει καὶ ἂν δὲν εὑρεθῇ τρόπος νὰ παύσουν νὰ ἀσχολοῦνται μὲ τὸ θέμα, καταλήγουν εἰς πλήρη πνευματικὴν διαταραχὴν συνήθως ἀνίατον. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον, ἀντὶ νὰ γίνουν πάμπλουτοι καὶ σωτῆρες τῆς 'Ανθρωπότητος, ὅπως ἤλπιζον, καταντοῦν πάμπτωχοι ζῶντες ἐκ τῆς εὐσπλαχνίας τῶν συνανθρώπων των. Αἱ περιπτώσεις παρομοίων κυνηγῶν ἀεικινήτων εἶναι πολλαὶ καὶ δυστυχῶς ἀρκεταὶ συχναὶ εἰς τὴν πατρίδα μας.

Τὸ ἀεικίνητον Α^{ου} εἴδους θὰ ἦτο μία μηχανή, ἡ ὁποία θὰ *παρῆγε ἔργον*, χωρὶς νὰ τῆς προσφέρωμεν τίποτε. Δηλαδὴ δὲν ἀρκεῖ ἁπλῶς νὰ κατασκευάσωμεν μηχανήν, ἡ ὁποία νὰ ἐκινεῖτο ἐπ' ἄπειρον, χωρὶς νὰ παράγῃ ἔργον. Αὐτὸ *δὲν* εἶναι τὸ ἀεικίνητον Α^{ου} εἴδους, ποὺ ἀναζητεῖ ὁ ἄνθρωπος. 'Ημεῖς θέλομεν μηχανήν, ποὺ νὰ κινῆται καὶ νὰ κάμῃ μίαν ἐργασίαν, π.χ. νὰ σπάζῃ λίθους ἢ νὰ παράγῃ ἠλεκτρικὸν ρεῦμα καὶ νὰ μὴ πληρώνωμεν τίποτε, ἢ ἔστω νὰ πληρώνωμεν ἐλάχιστα. Τὸ ἄλλο, τὸ ἁπλῶς ἀεικίνητον σύστημα, χωρὶς νὰ μᾶς ἐξυπηρετῇ, δὲν μᾶς συμφέρει, διότι, μόλις ζητήσωμεν νὰ λάβωμεν κάτι, θὰ φρενάρῃ καὶ θὰ σταματήσῃ. Τὸ ἀεικίνητον Α^{ου} εἴδους ἀντιβαίνει πρὸς τὸ ἀξίωμα διατηρήσεως (ἀφθαρσίας) τῆς ἐνεργείας καὶ φυσικῶς πρὸς τὸ Α^{ον} θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα. Δὲν εἶναι ποτὲ δυνατὸν νὰ παραχθῇ ἔργον χωρὶς *δαπάνην* ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας, ἡ ὁποία ὅμως δύναται νὰ μᾶς κοστίζῃ πολὺ ἢ ὀλίγον. 'Επομένως, ἀντὶ νὰ ἐπιδιώκωμεν τὸ ἀεικίνητον, ὀρθότερον εἶναι νὰ ἐρευνῶμεν διὰ τὴν βελτίωσιν τῶν ἀποδόσεων τῶν μηχανῶν καὶ διὰ τὴν ἀνεύρεσιν καὶ χρησιμοποίησιν πηγῶν ἐνεργείας, ὅπως ἡ ἡλιακή, ἡ πυρηνική, ἡ ἐνέργεια παλιρροιῶν, ἀνέμων, μεταβολῶν ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως κ.τλ., ὥστε νὰ μὴ μᾶς κοστίζουν πολὺ αἱ πρῶται ὗλαι, ὅπως τὸ πετρέλαιον ἢ τὰ κάρβουνα κ.ο.κ.

Θὰ ἀναφέρωμεν ἕνα τυπικὸν ἀεικίνητον Αου εἴδους (σχ. 16 · 3 α). Μᾶς λέγει ἕνας ἐφευρέτης:

Ἔχομε δύο δοχεῖα μὲ διαφορὰν ὕψους θέσεως πλήρη ὑδραργύρου. Εἰς τὸ ἕνα ὑπάρχει βυθισμένος ἕνας ἁπλοῦς σωλὴν Τορρικέλλι μεγάλης διαμέτρου καὶ εἰς τὸ ἄλλο ἕνας σωλὴν μὲ κλάδους, ὡς φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα.



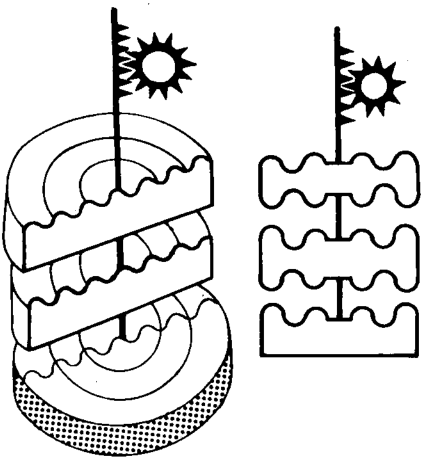
Σχ. 16 · 3 α.

Ὁ ὑδράργυρος ἐντὸς τοῦ σωλῆνος Α θὰ ὑψωθῇ στὰ 76 cm, ἐνῶ εἰς τὸν σωλῆνα Β θὰ μοιρασθῇ εἰς τοὺς κλάδους καὶ δὲν θὰ δυνηθῇ νὰ φθάσῃ τὰ 76 cm. Ὅταν φροντίσωμεν νὰ ὑπάρχῃ συγκοινωνία μεταξὺ Α καὶ Β, θὰ προκληθῇ ροὴ ὑδραργύρου ἀπὸ τὸν Α εἰς τὸν Β καὶ ἐν συνεχείᾳ — λόγω τῆς σταθερᾶς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως καὶ τῆς διαφορᾶς ὑψῶν — καὶ μόνιμος ροὴ ἀπὸ τὸ δοχεῖον Β εἰς τὸ Α. Τὴν ροὴν αὐτὴν ἐκμεταλλευόμεθα διὰ κίνησιν στροβίλου κ.λπ. Ἑπομένως τὸ ἀεικίνητον Αου εἴδους εὑρέθη. Δυστυχῶς ὅμως διὰ τὸν ἐφευρέτην θὰ ἀπαντήσωμεν: ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις καὶ τὸ ἀντίστοιχον ὕψος τῆς στήλης τοῦ Hg δὲν μοιράζονται, οὔτε ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν διάμετρον ἢ τὸ σχῆμα τοῦ σωλῆνος Τορρικέλλι ἡ ἀνύψωσις εἰς τὰ 76 cm. Ὁ ὑδράργυρος θὰ ὑψωθῇ καὶ εἰς τοὺς δύο σωλῆνας 76 cm ἄνωθεν τῆς ἑκάστοτε ἐλευθέρας ἐπιφανείας του εἰς τὰ δοχεῖα.

Ἀεικίνητον Αου εἴδους (παράγρ. 4 · 3), τὸ ὁποῖον θὰ κατήργει τὴν ἀρχὴν τοῦ Ἀρχιμήδους, ἀνεφέραμεν εἰς τὴν παράγραφον 7 · 6 καὶ ἀξίζει νὰ τὸ μελετήσωμεν ἐκ νέου.

Δυνάμεθα ὅμως νὰ ἐκμεταλλευθῶμεν τὰς *μεταβολὰς* τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως ὡς ἑξῆς:

Ἐφαρμόζομεν ἕνα σύστημα βαρομέτρου μεταλλικοῦ μὲ πολλὰ δοχεῖα (ὅπως εἰς τὸν βαρογράφον) εἰς ράβδον μὲ ὀδόντας, ἡ ὁποία κινεῖ ὀδοντωτὸν τροχὸν λεπτοῦ ὡρολογιακοῦ μηχανισμοῦ μὲ ἐλαχίστας τριβὰς καὶ μαλακὰ ἐλατήρια (σχ. 16 · 3β). Αἱ ἀπὸ ἡμέρας εἰς ἡμέραν συνήθεις μεταβολαὶ τῆς ἀτμοσφαιρικῆς πιέσεως λόγῳ καιρικῶν συνθηκῶν προκαλοῦν μετακινήσεις τοῦ τροχοῦ, ποὺ χορδίζει τὸ ὡρολόγιον (τοίχου ἢ ἐπιτραπέζιον), ὅπως αἱ κινήσεις τῶν χειρῶν μας διατηροῦν χορδισμένα τὰ νέα αὐτόματα λεπτῆς κατασκευῆς ὡρολόγια χειρός. Ὅλα ὅμως αὐτὰ δὲν εἶναι ἀεικίνητα, διότι, ὅταν συμβῇ ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις νὰ παύσῃ νὰ μεταβάλλεται ἢ ὅταν ἀφήσωμεν τὸ ὡρολόγιον τῆς χειρὸς κάπου ἐπὶ ἀρκετὰς ὥρας ἀκίνητον, ὁπωσδήποτε θὰ σταματήσουν. Τὸ ἔργον συνεπῶς, ποὺ ἀποδίδουν, προέρχεται ἀπὸ δαπάνην ἐνεργείας ἄλλης μορφῆς, ποὺ ἔχει τὸ πλεονέκτημα σχετικῶς νὰ μὴ κοστίζῃ.



Σχ. 16 · 3 β.

Προκειμένου τώρα περὶ ἀεικινήτου Βου εἴδους λέγομεν ὅτι τοῦτο θὰ ἦτο μία θερμικὴ μηχανὴ μὲ ἀπόδοσιν 100 % καὶ ἀνεξάρτητον τῶν ὑψηλῶν ἢ χαμηλῶν θερμοκρασιῶν, ποὺ ὁρίζει τὸ Βον θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα.

Ἕνα παρόμοιον ἀεικίνητον θὰ ἦτο τὸ ἀκόλουθον: μία μηχανή, ἡ ὁποία θὰ ἀνερρόφει ὕδωρ ἐκ τῆς θαλάσσης, ἡ ὁποία ἰδίως τὸ θέρος εἶναι ἀρκούντως θερμή, καὶ θὰ τοῦ ἀφήρει τὴν θερμότητα. Τὴν θερμότητα αὐτὴν θὰ τὴν ἐχρησιμοποίει διὰ τὴν βασικὴν λειτουργίαν της, νὰ κινῇ π.χ. τὸ πλοῖον, ὅπου θὰ εὑρίσκετο ἐγκατεστημένη, καὶ νὰ ἀπορρίπτη ψυχρὸν ὕδωρ εἰς τὴν θάλασσαν. Ἡ μηχανὴ αὐτὴ δὲν θὰ παρῆγεν προφανῶς ἔργον ἐκ τοῦ μηδενὸς καὶ παρὰ ταῦτα εἶναι ἀδύνατον νὰ κατασκευασθῆ, διότι τὸ *ἀεικίνητον δευτέρου εἴδους* ἀντιβαίνει πρὸς τὸ δεύτερον ἀξίωμα τῆς θερμοδυναμικῆς, ποὺ ἀπαιτεῖ ὄχι μόνον τὴν θερμὴν θάλασσαν ἀλλὰ καὶ μίαν ἄλλην θάλασσαν ψυχράν, ψυχροτέραν ἀπὸ τὴν ἐξαγωγὴν (ἐξάτμισιν) τῆς μηχανῆς.

Ἄλλο ἀεικίνητον Βου εἴδους θὰ ἦτο μία μηχανή, ἡ ὁποία θὰ ἐλάμβανε θερμότητα ἀπὸ μίαν μεγάλην δεξαμενὴν ὕδατος καὶ τὴν θερμότητα αὐτὴν θὰ ἐχρησιμοποίει διὰ νὰ θερμάνη τὸ ὕδωρ ἑνὸς λέβητος. Ταυτοχρόνως, χωρὶς προηγουμένως νὰ ὑπῆρχε, θὰ ἐδημιουργεῖτο διαφορὰ θερμοκρασίας, δηλαδὴ δροσερὸν ὕδωρ τώρα εἰς τὴν δεξαμενὴν καὶ θερμὸν εἰς τὸν λέβητα (σπουδαιότατον ὄφελος μιᾶς οἰκογενείας, χωρὶς ἔξοδα ἠλεκτρισμοῦ ἀλλὰ μόνον μὲ ὕδωρ νὰ ἔχη ψυγεῖον καὶ κουζίνα).

Δυστυχῶς παρομοία μηχανή, ποὺ νὰ δημιουργῆ διαφορὰν θερμοκρασίας μεταξὺ σωμάτων τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας, καὶ τοῦτο χωρὶς τὴν κατανάλωσιν ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας π.χ. χημικῆς, *δὲν* εἶναι δυνατὸν νὰ κατασκευασθῆ. Ἀκόμη καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν μιᾶς σφαίρας, ἡ ὁποία πίπτει εἰς σκληρὰν πλάκα καὶ *δὲν* δύναται νὰ φθάση εἰς τὸ προηγούμενον ὕψος της (ἀπόδοσις $< 100\,\%$), αἰτία εἶναι ἡ θερμότης, ποὺ ἐμφανίζεται ἀναποφεύκτως κατὰ τὸ κτύπημα τῆς σφαίρας καὶ διαχέεται θερμαίνουσα τὴν σφαῖραν ἢ καὶ τὴν πλάκα. Αὐτὸ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος *δὲν* εἶναι δυνατὸν νὰ περισυλλεγῆ, νὰ ἀπορροφηθῆ ἀπὸ τὴν σφαῖραν καὶ νὰ χρησιμοποιηθῆ, ὥστε αὐτὴ νὰ κερδίση τὴν ἀπώλειαν τοῦ ὕψους της. Ἄρα, εἰς ἑκάστην ἀναπήδησιν τὸ ὕψος θὰ μειοῦται, καὶ τέλος ἡ σφαῖρα θὰ ἀκινητήση, ὅλη δὲ ἡ μηχανικὴ ἐνέργειά της θὰ ἔχη μετατραπῆ εἰς θερμότητα, ποὺ ἐσκόρπισεν εἰς τὴν Φύσιν.

Συμπέρασμα: Μηχανὴ παράγουσα ἔργον ἐκ τοῦ μηδενός, μηχανὴ μετατρέπουσα $100\,\%$ τὴν θερμότητα εἰς ἔργον, μηχανὴ προκαλοῦσα διαφορὰν θερμοκρασίας ἄνευ δαπάνης ἔργου καὶ μηχανὴ λειτουργοῦσα χωρὶς διαφορὰν θερμοκρασίας εἰς τὰ ἄκρα της, *δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ κατασκευασθοῦν.*

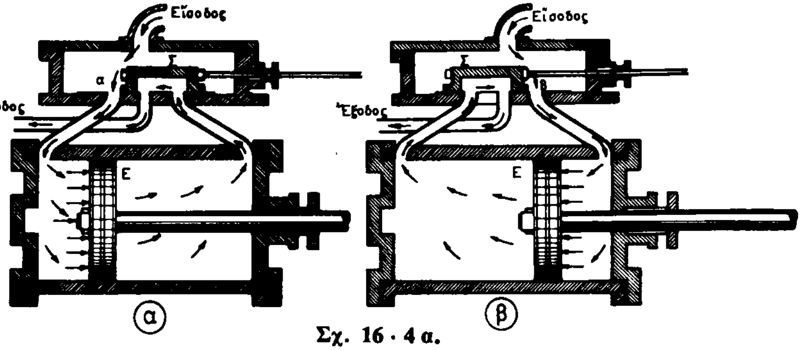
Σημείωσις: Ἡ κίνησις τῆς Σελήνης περὶ τὴν Γῆν ἢ τῶν τεχνητῶν δορυφόρων περὶ τὴν Γῆν δὲν εἶναι περίπτωσις ἀεικινήτου, διότι ἐχρειάσθη ἐνέργεια διὰ νὰ σταλοῦν καὶ κινηθοῦν ἐκεῖ, ὅπου εὑρίσκονται καὶ κινοῦνται. Λόγω δὲ μὴ ὑπάρξεως τριβῶν καὶ λοιπῶν ἀπωλειῶν ὑπὸ μορφὴν θερμότητος ἢ ἄλλων διατηροῦν τὴν ἐνέργειάν των σταθερὰν συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν ἀφθαρσίας τῆς ἐνεργείας.

16·4 Θερμικαὶ μηχαναί.

Εἰς γενικὰς γραμμὰς διαιροῦνται εἰς τὰς ἑξῆς κατηγορίας: α) Ἐμβολοφόρους μηχανάς, ποὺ βαθμιαίως ἐκλείπουν λόγω μικρῶν ἀποδόσεων. β) Μηχανὰς ἐσωτερικῆς ἐκρήξεως ἢ καύσεως, ὅπως αἱ μηχαναὶ τῶν αὐτοκινήτων βενζίνης ἢ πετρελαίου (Ντῆζελ) καὶ γ) στροβίλους. Ἡ περιγραφὴ τῶν κυριωτέρων τύπων ἔχει ἐν συντομίᾳ ὡς ἀκολούθως:

1) *Ἀτμομηχανή.*

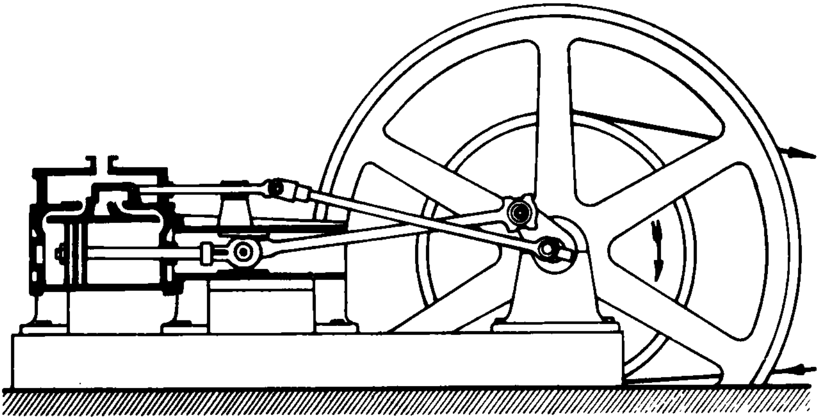
Ἡ ἀτμομηχανὴ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν κύλινδρον (σχ. 16·4α) καὶ τὸν ἀτμοσύρτην Σ, ποὺ κλείει καὶ ἀνοίγει δύο ὁδοὺς συγκοινω-



Σχ. 16·4α.
Ἁπλοῦν διάγραμμα παλινδρομικῆς κινήσεως ἐμβόλου καὶ ἀτμοσύρτου.

νίας (α καὶ β) τοῦ κυλίνδρου εἴτε πρὸς τὸν ἀτμολέβητα εἴτε πρὸς τὴν ἐξαγωγὴν (συμπυκνωτὴς τοῦ ἀτμοῦ ἢ ἀτμοσφαιρικὸς ἀήρ). Κατὰ τὴν ὤθησιν τοῦ ἐμβόλου Ε ἀπὸ τὸν εἰσερχόμενον ἀτμόν, ὁ σύρτης δὲν ἐκτελεῖ σύγχρονον κίνησιν τοῦ ἰδίου μήκους, ἀλλὰ διὰ συστήματος ἐκκέντρων καὶ μοχλῶν μετατοπίζεται ὀλιγώτερον καὶ μάλιστα ταχύτερον, ὅταν τὸ ἔμβολον πλησιάζῃ εἰς τὰ ἄκρα τοῦ κυλίνδρου.

Εἰς τὸ σχῆμα 16·4α (α) ἡ κίνησις τοῦ ἐμβόλου εἶναι πρὸς τὰ δεξιά, ὁ δὲ σύρτης κινεῖται βραδέως πρὸς τὰ ἀριστερά. Κατόπιν ὁ σύρτης φράσσει τὸν δρόμον α, δηλαδὴ τὴν εἴσοδον νέου ἀτμοῦ, ἐνῶ ὅσος ἔχει μείνει ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ἐξακολουθεῖ νὰ κινῇ τὸ ἔμβολον ἐκτονούμενος, μέχρις ὅτου ὁ σύρτης λάβη θέσιν ἐπιτρέπουσαν νὰ εἰσέλθη ὁ ἐκ τοῦ λέβητος ἀτμὸς ἀπὸ τὴν ὁδὸν β, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 16 · 4 α (β). Τότε ἡ κίνησις τοῦ ἐμβόλου ἀναστρέφεται, ὁ σύρτης πάλιν δὲν τὸ παρακολουθεῖ παρὰ βραδέως καὶ ὅταν τὸ ἔμβολον φθάση εἰς κατάλληλον θέσιν τῆς διαδρομῆς του, τότε ὁ σύρτης ἀρχίζει νὰ κινῆται ταχύτερον διὰ νὰ κλείση πρῶτα τὸν δρόμον β καὶ ἔπειτα νὰ τὸν ἀνοίξη ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 16 · 4 α (α) φαίνεται.



Σχ. 16 · 4 β.

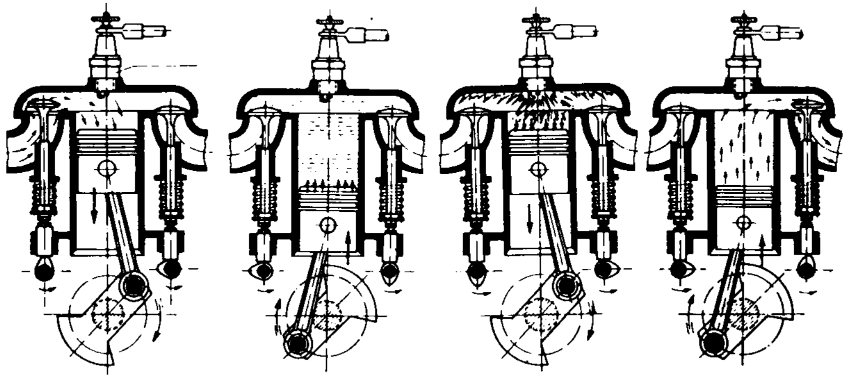
Ἡ εὐθύγραμμος κίνησις τοῦ ἐμβόλου μὲ κατάλληλον ἔκκεντρον σύνδεσμον μετατρέπεται εἰς περιστροφικὴν (σχ. 16 · 4 β), ὁ δὲ τροχὸς αὐτὸς ὀνομάζεται *σφόνδυλος* (βολὰν) καὶ ἔχει πολὺ μεγάλην ροπὴν ἀδρανείας, δηλαδὴ μεγάλην διάμετρον καὶ πολλὴν μᾶζαν εἰς τὰ ἄκρα του οὕτως, ὥστε νὰ ἀποκτηθῆ μεγάλη στροφορμὴ καὶ κινητικὴ ἐνέργεια (παράγρ. 3 · 10, 3 · 11, 4 · 3) χρήσιμος διὰ τὴν εὐσταθῆ λειτουργίαν τῆς ἀτμομηχανῆς.

2) *Τετράχρονος βενζινοκινητήρ.*

Εἰς τὸν κινητῆρα αὐτὸν (σχ. 16 · 4 γ) διακρίνομεν τέσσαρας «χρόνους», δηλαδὴ χρονικὰ διαστήματα, κατὰ τὰ ὁποῖα γίνονται διαδοχικαὶ λειτουργίαι ἀπὸ τὸ ἔμβολον καὶ τὰς βαλβῖδας (εἰσαγωγῆς, ἐξαγωγῆς), ποὺ ἐπαναλαμβάνονται ἐκ νέου, ἤτοι:

α) *Ἀναρρόφησις:* Τὸ ἔμβολον εὑρίσκεται εἰς τὸ ἀνώτατον ἄκρον καὶ ἀρχίζει νὰ κατέρχεται, ὁπότε ἀναρροφεῖται μῖγμα ἀεροποιημένης βενζίνης καὶ ἀέρος. Ἡ σταγονοποίησις τῆς βενζίνης γίνεται εἰς τὸν *ἐξαερωτὴν* (καρμπυρατέρ, ὄχι καρμπυλατέρ), ποὺ ἐργάζεται ὅπως ἡ ἀντλία ψεκασμοῦ τῶν ἐντομοκτόνων. Τὸ μῖγμα αὐτὸ γεμίζει τὸν κύλινδρον καὶ ἐπακολουθεῖ ἡ

β) *Συμπίεσις :* Τὸ ἔμβολον ἀνέρχεται, ἡ βαλβὶς εἰσαγωγῆς



'Αναρρόφησις Συμπίεσις 'Ανάφλεξις 'Εξαγωγή

Σχ. 16 · 4 γ.

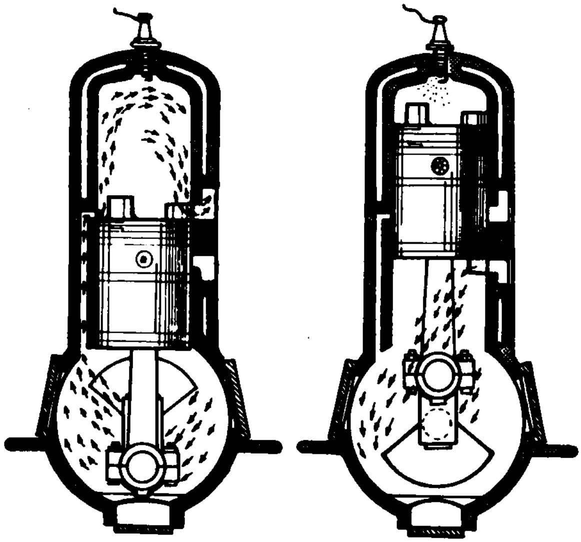
κλείει, ἡ συμπίεσις τοῦ μίγματος αὐξάνει, ὁπότε καὶ θερμαίνεται λόγω ταχείας ἀνόδου τοῦ ἐμβόλου. Ὅταν πλησιάζῃ ἡ συμπίεσις εἰς τὸ τέλος, τότε προκαλεῖται ἡ

γ) *'Ανάφλεξις - ἔκρηξις.* Τὴν κατάλληλον στιγμὴν τροφοδοτεῖται μὲ τάσιν πολλῶν χιλιάδων βόλτ ὁ *ἀναφλεκτὴρ* (μπουζὶ = κηρίον). Ὁ ἠλεκτρικὸς σπινθὴρ ἀναφλέγει τὸ θερμὸν μῖγμα καὶ ἡ ἔκρηξις ποὺ ἀκολουθεῖ εἶναι ἡ αἰτία τῆς παραγωγῆς τοῦ ἔργου ἀπὸ τὴν μηχανήν. Τὸ ἔμβολον κατέρχεται ἀποτόμως καὶ ἔπειτα ἀνέρχεται διὰ νὰ γίνῃ ἡ

δ) *'Εξαγωγὴ* τῶν ἀχρήστων πλέον καυσαερίων διὰ τῆς βαλβῖδος ἐξαγωγῆς πρὸς τὸν *σιωπητῆρα* καὶ ἐκεῖθεν πρὸς τὴν ἐξάτμισιν, δηλαδὴ τὴν ἔξοδον πρὸς τὸν ἀέρα. Ὁ σιωπητὴρ ἐξασθενίζει τὸν ἰσχυρὸν κρότον τῆς ἐκρήξεως καὶ παρ' ὅλον ὅτι ἀνακόπτει τὴν ταχεῖαν ἔξοδον τῶν καυσαερίων ἐπιβάλλεται ἐντὸς τῶν πόλεων διὰ λόγους ἡσυχίας.

Ὁ τετράχρονος κινητὴρ ἔχει πολὺ σπασμωδικὴν κίνησιν καὶ χρειάζεται σφόνδυλον μὲ μεγάλην ῥοπὴν ἀδρανείας διὰ νὰ δώσῃ ἤρεμον περιστροφικὴν κίνησιν. Διὰ τοῦτο συνήθως συνδέονται 4, 6 ἢ 8 κύλινδροι, εἰς τοὺς ὁποίους ἡ ἔκρηξις (τὸ κινητήριον δηλαδὴ ἔργον) δὲν γίνεται ταυτοχρόνως εἰς ὅλους, ἀλλὰ μὲ ὡρισμένον ρυθμόν, ὥστε ἡ τελικὴ περιστροφὴ τοῦ σφονδύλου νὰ εἶναι λόγω τῶν περισσοτέρων κυλίνδρων πλέον ὁμαλὴ καὶ μεγαλυτέρας ἰσχύος.

Εἰς τὸν δίχρονον κινητῆρα, ποὺ μᾶλλον διὰ μικρὰν ἰσχὺν χρησιμοποιεῖται, δὲν ὑπάρχουν βαλβῖδες (σχ. 16 · 4 δ), διότι ἡ ὀπὴ εἰσαγωγῆς καὶ ἡ ἐξαγωγὴ εὑρίσκονται πλαγίως εἰς τὸν κύλινδρον, συνεπῶς ἀνοίγουν καὶ φράσσονται ἀπὸ αὐτὸ τοῦτο τὸ ἔμβολον κατὰ τὴν κίνησίν του.



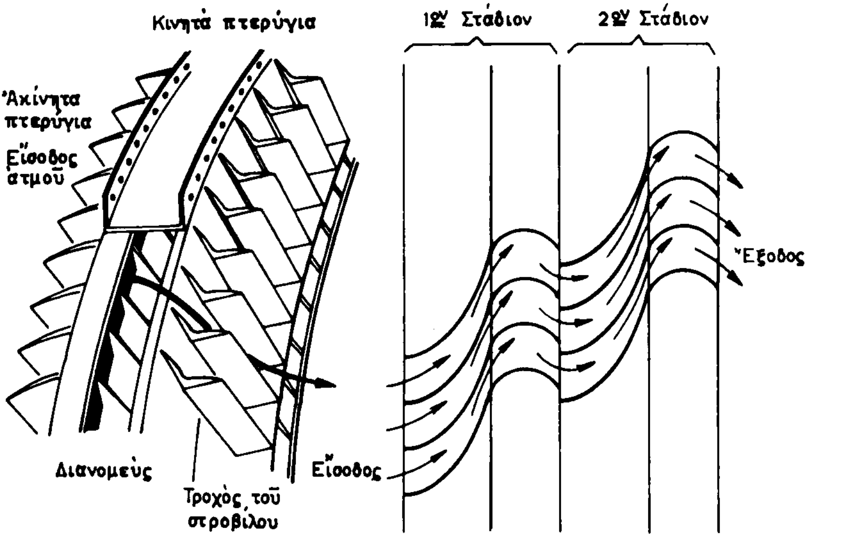
Σχ. 16 · 4 δ.

3) *Κινητὴρ Ντῆζελ (Diesel).*

Εἰς τὸν κινητῆρα αὐτόν, ποὺ ὁμοιάζει μὲ τὸν τετράχρονον, ἀναρροφεῖται ἀὴρ καὶ ὄχι ἀεροποιημένον μῖγμα βενζίνης, ὁ ἀὴρ δὲ αὐτὸς ὑφίσταται συμπίεσιν πολλῶν ἀτμοσφαιρῶν. Ἐνῶ π.χ. ὁ τετράχρονος κινητὴρ βενζίνης συμπιέζει τὸ μῖγμα 6 ἢ 8 φοράς, ἐδῶ συμπιέζεται ὁ ἀὴρ 16 ἢ 20 φορὰς περισσότερον τοῦ ἀρχικοῦ ὄγκου του. Ἕνεκα τούτου θερμαίνεται πάρα πολὺ καὶ οὕτω φθάνει εἰς πίεσιν 30 ἕως 40 at. Ἐνῶ ὁ ἀὴρ εὑρίσκεται εἰς τὴν κατάστασιν αὐτήν, δι' εἰδικῆς ἀντλίας πιέσεως εἰσέρχεται ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου ποσότης εὐθηνοῦ καυσίμου (πετρέλαιον), ποὺ ἀναφλέγεται καὶ *καίεται*. Τοῦτο προκαλεῖ ὤθησιν τοῦ ἐμβόλου (ὄχι ἀπότομον, δὲν γίνεται ἔκρηξις) καὶ μὲ τὴν ἐπιστροφήν του πρὸς τὰ ἄνω ἐκδιώκονται τὰ καυσαέρια. Ὁ κινητὴρ Ντῆζελ (Diesel 1858 - 1913) εἶναι μὲν ἀκριβὸς εἰς τὴν κατασκευήν του, συμφέρει ὅμως κατὰ τὴν λειτουργίαν του, λόγω τοῦ εὐθηνοῦ καυσίμου καὶ τῆς μεγαλυτέρας ἀποδόσεως.

4) *Στρόβιλοι.*

Τελευταίως ἀνεπτύχθησαν καὶ τείνουν νὰ ἐκτοπίσουν τὰς παλαιοτέρας θερμικὰς μηχανὰς οἱ ἀτμοστρόβιλοι καὶ κυρίως οἱ ἀεριοστρόβιλοι. Εἰς τοὺς ἀτμοστροβίλους ὁ ἀτμὸς ἀντὶ νὰ ὠθῇ ἔμβολον, διέρχεται διὰ μέσου σειρᾶς πτερυγιοφόρων στρεπτῶν συστημάτων, τὰ ὁποῖα κινεῖ (σχ. 16 · 4 ε). Εἶναι δυνατὸν νὰ ἐναλλάσσωνται κινού-

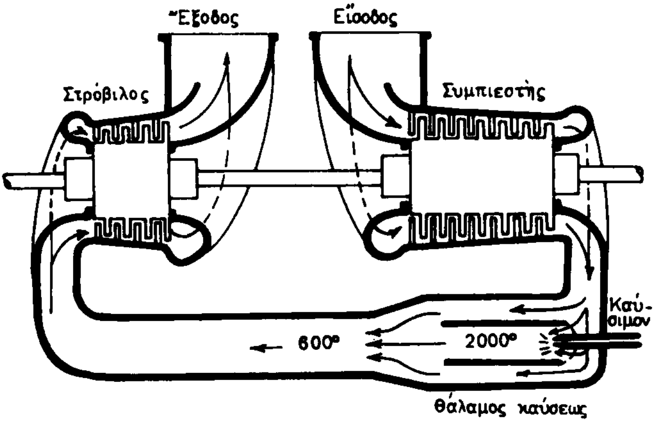


Σχ. 16 · 4 ε.

μενα (rotor) καὶ ἀκίνητα συστήματα πτερυγίων (stator) ἢ νὰ κινοῦνται ἀμφότερα κατὰ ἀντιθέτους φοράς. Ἡ θερμικὴ ἀπόδοσίς των φθάνει τὰ 25 %, ἐνῶ ἡ ἀρίστη ἀτμομηχανὴ μὲ ἔμβολα καὶ συμπυκνωτὰς τῶν ἐξατμίσεών της δὲν ὑπερβαίνει τὰ 20 %.

Εἰς τοὺς ἀεριοστροβίλους (σχ. 16 · 4 στ) ἀναρροφεῖται ἀήρ, ποὺ συμπιέζεται καὶ διοχετεύεται εἰς θάλαμον, ὅπου ἐκρέει (ἐκτοξεύεται) ὑγρὸν καύσιμον (πετρέλαιον), τὸ ὁποῖον ἀναφλεγόμενον καὶ καιόμενον παρέχει ὑψηλῆς θερμοκρασίας ἀέρια ὑπὸ πίεσιν. Ταῦτα διερχόμενα μέσω ὁμοίου περίπου συστήματος ὡς τοῦ ἀτμοστροβίλου προκαλοῦν τὴν περιστροφήν του.

Σημείωσις : Ἐνδιαφέρον εἶναι νὰ μελετηθοῦν τὰ διαγράμματα τῶν τριῶν πρώτων θερμικῶν μηχανῶν ἔστω καὶ ἂν ἀντιστοιχοῦν κατὰ προσέγγισιν πρὸς τὴν πραγματικὴν λειτουργίαν των.



Σχ. 16 · 4 στ.

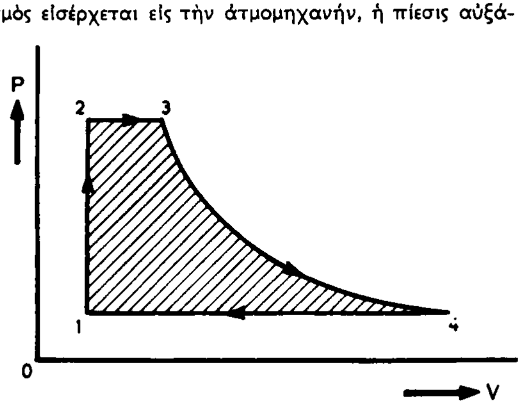
α) *Ἀτμομηχανή.*

Τμῆμα 1 ἕως 2. Ὁ ἀτμὸς εἰσέρχεται εἰς τὴν ἀτμομηχανήν, ἡ πίεσις αὐξάνει, τὸ ἔμβολον μόλις ἀρχίζει νὰ κινῆται (ἰσόχωρος).

Τμῆμα 2 ἕως 3. Τὸ ἔμβολον κινεῖται ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν τοῦ εἰσερχομένου ἀτμοῦ (ἰσοπιεστική).

Τμῆμα 3 ἕως 4: Ὁ ἀτμὸς δὲν εἰσέρχεται, τὸ ἔμβολον ὅμως συνεχίζει τὴν κίνησίν του, ἄρα ἡ πίεσις πίπτει (ἀδιαβατική).

Τμῆμα 4 ἕως 1: Τὸ ἔμβολον ἐπιστρέφει εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς διαδρομῆς του καὶ ἐκδιώκεται ὁ χρησιμοποιηθεὶς ἀτμὸς (ἰσοπιεστική) (σχ. 16 · 4 ζ).



Σχ. 16 · 4 ζ.

β) *Τετράχρονος βενζινοκινητήρ.*

Τμῆμα 1 ἕως 2: Τὸ ἔμβολον ἀναρροφεῖ τὸ μῖγμα.

Τμῆμα 2 ἕως 3: Συμπίεσις.

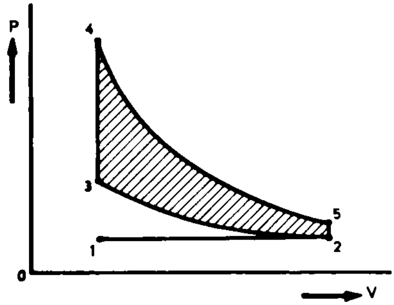
Τμῆμα 3 ἕως 4: Ἔκρηξις, ὁπότε ἡ πίεσις ἐντὸς τοῦ περιωρισμένου χώρου ἀποτόμως ἀνέρχεται.

Τμῆμα 4 ἕως 5: Ἐκτόνωσις τῶν ἀερίων καὶ ἄνοιγμα τῆς βαλβῖδος ἐξαγωγῆς (θέσις 5), ὁπότε ἡ πίεσις πίπτει ἀκόμη περισσότερον ἕως τὸ σημεῖον 2 καὶ ἐκεῖθεν τὸ ἔμβολον ἐκδιῶκον τὰ καυσαέρια ἐκτελεῖ τὴν διαδρομὴν 2 ἕως 1 (σχ. 16 · 4 η).

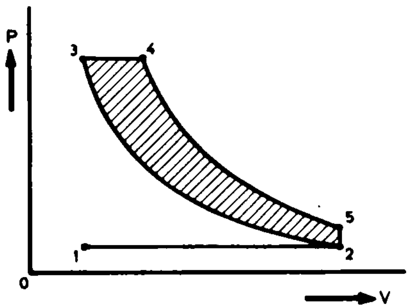
γ) *Τετράχρονος Ντῆζελ.*

Τμῆμα 1 ἕως 2: Εἰσέρχεται ὁ ἀήρ.

Τμῆμα 2 ἕως 3: Συμπίεσις.



Σχ. 16 · 4 η.



Σχ. 16 · 4 θ.

Τμῆμα 3 ἕως 4: Εἰσαγωγὴ τοῦ καυσίμου καὶ καῦσις αὐτοῦ.

Τμῆμα 4 ἕως 5: Ἐκτόνωσις ἀερίων, πτῶσις τῆς πιέσεως.

Τμῆμα 5 ἕως 2: Ἄνοιγμα βαλβῖδος ἐξαγωγῆς καυσαερίων καὶ ἐπιστροφὴ τοῦ ἐμβόλου εἰς τὴν ἀρχικὴν θέσιν, διαδρομὴ 2 ἕως 1 (σχ. 16 · 4 θ).

16 · 5 Συμπλήρωμα Θερμοδυναμικῆς.

Τὸ 1824 ὁ γάλλος Μηχανικὸς Sadi Carnot (Καρνὼ) μελετῶν τοὺς διαφόρους τρόπους βελτιώσεως τῶν ἀτμομηχανῶν διὰ νὰ ἀποδίδουν περισσότερον ἔργον, ἐθεώρησεν μίαν *ἰδανικὴν* μηχανὴν ἐργαζομένην μὲ τέλειον ἀέριον, δηλ. ἀέριον ποὺ νὰ ὑπακούῃ πλήρως εἰς τοὺς νόμους Μπόυλ - Μαριὸττ καὶ Γκαίη Λυσσὰκ (παράγρ. 12 · 3).

Ἡ μηχανὴ αὐτὴ θὰ παρῆγεν μέσω ἄξονος συνδεομένου εἰς ἔμβολον (παράγρ. 16 · 4) ἔργον ἐκτελοῦσα παλινδρομικὴν μὲν κίνησιν διὰ τὸ ἔμβολον, *κυκλικὴν* δὲ μεταβολὴν διὰ τὸ χρησιμοποιούμενον ἀέριον, ἀντλοῦσα θερμότητα ἀπὸ θερμὴν δεξαμενὴν καὶ ἀποδίδουσα μέρος τῆς ἐν λόγῳ θερμότητος πρὸς ἑτέραν δεξαμενὴν χαμηλοτέρας θερμοκρασίας ἀπὸ τὴν πρώτην.

Ἐκτὸς τούτου ὁ Καρνὼ ἐδέχθη ὅτι παρὰ τὴν «ἄντλησιν» θερμότητος ἀπὸ τὴν θερμὴν καὶ «πρόσδοσιν» θερμότητος εἰς τὴν ψυχρὰν δεξαμενὴν οὐδεμία αἰσθητὴ μεταβολὴ τῶν θερμοκρασιῶν των (T_1 καὶ T_2) συμβαίνει, δηλ. ὅτι πρόκειται περὶ δεξαμενῶν τεραστίας θερμοχωρητικότητος (ὡσὰν θάλασσαι σταθερῶν θερμοκρασιῶν).

Ἐξ ἄλλου ἐδέχθη τὴν δυνατότητα πλήρους θερμικῆς συγκοινωνίας τῆς μηχανῆς μὲ τὰς δύο δεξαμενὰς ὡς καὶ τὴν δυνατότητα εὐχεροῦς μονώσεως τῆς μηχανῆς ἀπὸ αὐτάς, τὸ δὲ *σύστημα*, δηλ. τὸ συγκρότημα ἀερίου, μηχανῆς καὶ δεξαμενῶν τελείως κλειστόν, ἀπομονωμένον ἀπὸ πᾶσαν ἐπίδρασιν τοῦ ἔξω αὐτῶν Κόσμου (περιβάλλον).

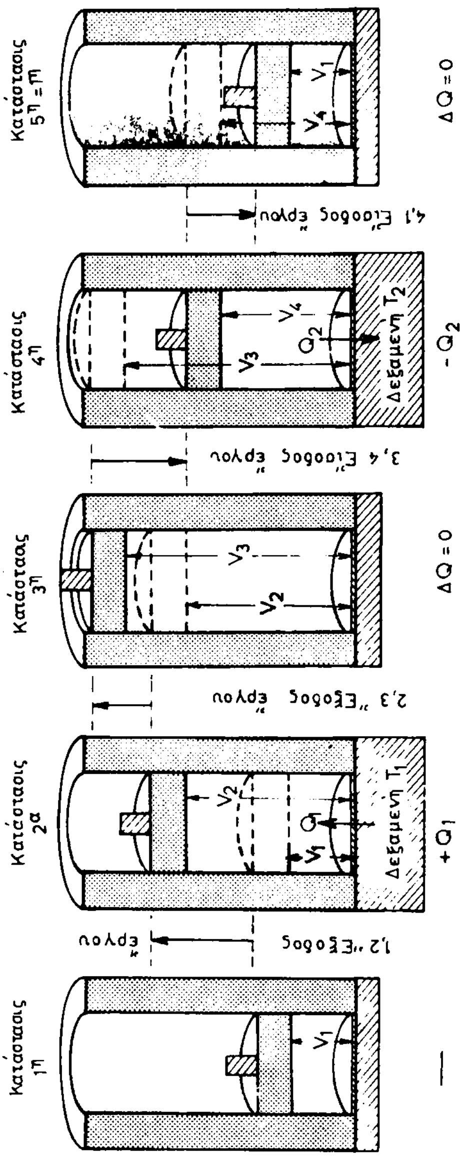
Τέλος ἐθεώρησεν ὅτι ἡ μηχανὴ δαπάναις ἔργου δύναται νὰ ἐργασθῇ καὶ «ἀντιστρεπτῶς», δηλ. νὰ λάβῃ θερμότητα ἀπὸ τὴν δεξαμενὴν τῆς χαμηλοτέρας θερμοκρασίας καὶ νὰ τὴν προσδώσῃ εἰς τὴν δεξαμενὴν τῆς ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας, μὲ ἄλλους λόγους νὰ ἐργασθῇ ὡς «ψυγεῖον» (παράγρ. 12 · 3) ἀντλοῦσα τώρα θερμότητα ἀπὸ τὴν δεξαμενὴν τῆς χαμηλῆς θερμοκρασίας.

Καὶ τώρα ἂς παρακολουθήσωμεν τὴν πορείαν παραγωγῆς ἔργου ἀπὸ τὴν μηχανὴν Καρνώ, ποὺ διαγράφει τὸν «κύκλον» τοῦ Καρνώ, ἤτοι ἐκκινεῖ ἀπὸ κατάστασιν ὡρισμένης θερμοκρασίας, πιέσεως καὶ ὄγκου καὶ διὰ σειρᾶς διαδοχικῶν μεταβολῶν καὶ ἀλληλοεπιδράσεων πρὸς τὰς δεξαμενάς, ποὺ ἀποτελοῦν τὸ «περίβλημά» της, καταλήγει εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν, ἀπὸ τὴν ὁποίαν ἐξεκίνησεν.

Ἔστω λοιπὸν ὅτι διαθέτομεν (σχ. 16 · 5 α) ἐντὸς τοῦ κυλίνδρου τῆς μηχανῆς, μονωμένου πανταχόθεν, ἕνα τέλειον ἀέριον ὄγκου V_1 πιέσεως P_1 καὶ θερμοκρασίας T_1 (κατάστασις 1η). Ὅλα αὐτὰ παρίστανται δι' ἑνὸς σημείου (1) κειμένου ἐπὶ τῆς ἰσοθέρμου T_1 εἰς τὸ διάγραμμα PV (σχ. 16 · 5 β).

Δημιουργοῦμεν συγκοινωνίαν τοῦ ἀερίου μὲ τὴν θερμὴν δεξαμενὴν T_1, ἡ ὁποία παρέχουσα θερμότητα Q_1 τὸ ἀναγκάζει νὰ διασταλῇ *ἰσοθέρμως* μέχρι τῆς καταστάσεως 2, ἡ ὁποία ἔχει μὲν τὴν αὐτὴν θερμοκρασίαν ἀλλὰ μεγαλύτερον ὄγκον καὶ μειωμένην ἀναλόγως πίεσιν (**Boyle - Mariotte.**). Συνεπῶς, τὸ ἀέριον παρακολουθοῦν τὴν ἰσόθερμον ἀπὸ 1 ἕως 2 (κατάστασις T_1, V_2, P_2) ἐκτονοῦται καὶ παράγει ἔργον.

Ἐν συνεχείᾳ, διακόπτομεν πᾶσαν ἐπαφὴν πρὸς τὴν δεξαμενήν, ἀφίνομεν τὸ

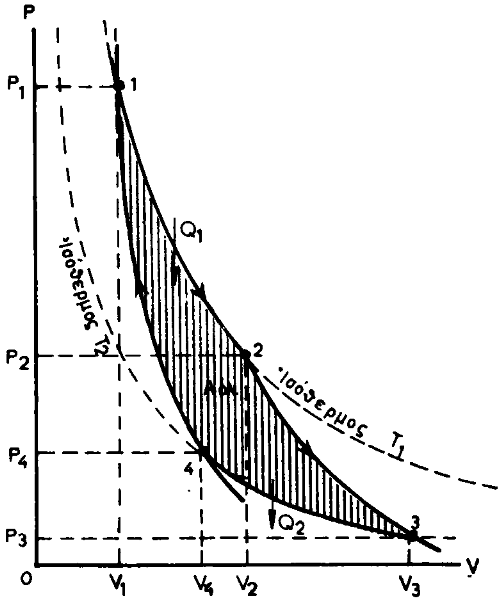


Σχ. 16·5α.
Καταστάσεις τοῦ συστήματος (μηχανῆς) Καρνώ.

ἔμβολον νὰ συνεχίσῃ τὴν πορείαν του πρὸς τὰ ἔξω *ἀδιαβατικῶς* καὶ νὰ φθάσῃ τὸ ἀέριον τὴν κατάστασιν 3, ὁπότε προφανῶς παράγει ἔργον ἰδίαις δαπάναις (ἤτοι δαπάναις μέρους τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας του (παράγρ. 11 · 1) καὶ ψύχεται (κατάστασις $T_2 < T_1$, V_3, P_3).

Προχωροῦμεν τώρα εἰς τὴν ἰσόθερμον T_2. Τὸ ἀέριον συμπιέζεται *ἰσοθέρμως*, δηλ. μὲ πλήρη ἐπαφὴν πρὸς τὴν δεξαμενὴν T_2. Παρέχεται τότε πρὸς αὐτὴν θερμότης $Q_2 < Q_1$, ἡ ὁποία ἂν ἔμενε ἐντὸς τοῦ ἀερίου καὶ δὲν ἐξήρχετο πρὸς τὴν δεξαμενήν, θὰ τὸ ἐθέρμαινε, πρᾶγμα ποὺ θέλομεν νὰ ἀποφύγωμεν. Φθάνομεν οὕτως εἰς τὴν κατάστασιν 4 μὲ θερμοκρασίαν T_2, πίεσιν P_4 καὶ ὄγκον V_4.

Τέλος ἀπομονώνοντες τὸ ἀέριον ἀφίνομεν αὐτὸ νὰ συμπιεσθῇ *ἀδιαβατικῶς* τόσον, ὥστε νὰ ἐπιτύχωμεν τὰς συνθήκας τῆς ἐκκινήσεως, δηλ. νὰ ἐπανέλθωμεν εἰς τὴν κατάστασιν 1 ($T_1 > T_2$, P_1, V_1).



Σχ. 16 · 5 β.

Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον διεγράψαμεν δύο ἰσοθέρμους καὶ δύο ἀδιαβατικὰς ἀποτελούσας τὸν κύκλον τοῦ Καρνὼ καὶ δὴ δεξιοστρόφως, ἤτοι ὅπως οἱ δεῖκται τοῦ ὡρολογίου. Κατὰ τὴν κυκλικὴν αὐτὴν μεταβολήν, α) τὸ μὲν ἀέριον ἐπέστρεψεν ἀκριβῶς εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασίν του β) ἡ ἀνωτέρας θερμοκρασίας δεξαμενὴ ἔχασε θερμότητα Q_1 ὑπὸ θερμοκρασίαν T_1 καὶ γ) ἡ κατωτέρας θερμοκρασίας δεξαμενὴ προσέλαβε θερμότητα Q_2 ὑπὸ θερμοκρασίαν T_2.

Ὡς ἐκ τούτου *πρέπει* νὰ ἀναζητήσωμεν τὴν διαφορὰν $Q_1 - Q_2$ (ἐφ' ὅσον ἐδέχθημεν ὅτι $Q_2 < Q_1$) ὡς τὸ παραχθὲν εἰς τὸν ἄξονα τῆς μηχανῆς ἔργον καὶ τοῦτο, διότι παραδεχόμεθα ὅτι ἡ μηχανὴ *δὲν* ἔχει δυνατότητα παραγωγῆς καὶ ἄλλης μορφῆς ἐνεργείας, οὔτε ὑπάρχουν ἀπώλειαι οἱασδήποτε μορφῆς.

Ἄρα, τὸ ἐκ τῆς μηχανῆς ἔργον εἶναι ἴσον πρὸς $A = Q_1 - Q_2$ (μονάδες A καὶ Q εἰς Joule) καὶ ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς συνήθως ἐκφραζόμενος ἐπὶ τοῖς ἑκατὸν θὰ γραφῇ:

$$\eta = \frac{\text{Ὠφέλιμον ἔργον (ἔξοδος)} \times 100}{\text{Προσδοθεῖσα θερμότης (εἴσοδος)}} = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} \cdot 100.$$

Τὸ παραχθὲν ἔργον γραφικῶς παρίσταται ἀπὸ τὸ γραμμοσκιασμένον ἐμβαδὸν τοῦ κύκλου (σχ. 16 · 5 β) καὶ πράγματι ὅσον περισσότερον προχωρήσωμεν ἐπὶ τῆς ἰσοθέρμου T_1 (τῆς ἰσοθέρμου T_2) τόσον τὸ σημεῖον 2 (τὸ σημεῖον 4) θὰ κατέλθη (θὰ ἀνέλθη), ὁπότε διὰ τὴν αὐτὴν μετάβασιν ἀπὸ T_1 εἰς T_2 τὸ ἐμβαδὸν θὰ μεγαλώση. Ἐξ ἄλλου ἀποδεικνύεται ὅτι αἱ ποσότητες θερμότητος, ποὺ μετακινοῦνται ἰσοθέρμως, δηλ. αἱ Q_1 καὶ Q_2, εἶναι ἀνάλογοι τῶν θερμοκρασιῶν τῶν δεξαμενῶν.

Ὅθεν: $$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{καὶ} \quad \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}.$$

Π.χ. ἀτμομηχανὴ ἐργαζομένη μὲ λέβητα θερμοκρασίας 200° C (πίεσις 15,8 ἀτμ.) ἐξατμίζει πρὸς τὴν ἀτμόσφαιραν ἀποδίδουσα ἀτμὸν θερμοκρασίας 100° C (πίεσις 1 ἀτμ.). Ποῖος ὁ συντελεστὴς κατὰ Καρνώ;

$$\eta = \frac{473 - 373}{473} = 0{,}21 = 21\ \%.$$

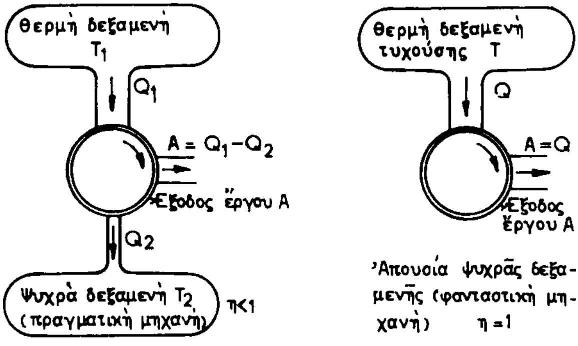
Ὁ συντελεστὴς η (Καρνὼ) εἶναι ὁ μέγιστος δυνατός, διότι ἀναφέρεται εἰς ἰδανικὴν ἀντιστρεπτὴν μηχανὴν μὲ τὸ πλῆθος τῶν προϋποθέσεων, ποὺ ἀνεφέραμεν, καὶ οὐδέποτε πρόκειται νὰ τὸν φθάσωμεν. Εἰς τὸ προηγούμενον παράδειγμα τῆς ἀτμομηχανῆς, εἶναι ζήτημα ἂν θὰ ἐλαμβάναμεν ἀπόδοσιν 15 %. Χάνομεν ὠφέλιμον ἐνέργειαν εἰς τριβάς, εἰς στροβιλισμοὺς ἀτμοῦ, εἰς ἀγωγιμότητα ἢ μεταφορὰν ἢ ἀκόμη καὶ ἀκτινοβολίαν πρὸς τὰ ἔξω. Εἰσαγωγὴ ἀτμοῦ ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας καὶ συμπυκνωτὴς ἀτμοῦ (ψυγεῖον) πολὺ χαμηλοτέρας θερμοκρασίας βελτιώνει προφανῶς τὴν ἀπόδοσιν, ἀλλὰ ἀκόμη καὶ εἰς περιπτώσεις μηχανῶν ἐσωτερικῆς καύσεως, ὅπως αἱ Ντῆζελ, δυστυχῶς δὲν ὑπερβαίνομεν τὴν τιμὴν $\eta = 40\ \%$.

Ἐνδιαφέροντα πορίσματα συνάγομεν ἀπὸ τὰ σχήματα 16 · 5 γ, 16 · 5 δ, παριστῶντα σχηματικῶς πραγματικὴν καὶ φανταστικὴν μηχανὴν ἢ ἀντιστρόφως πραγματικὸν καὶ φανταστικὸν ψυγεῖον.

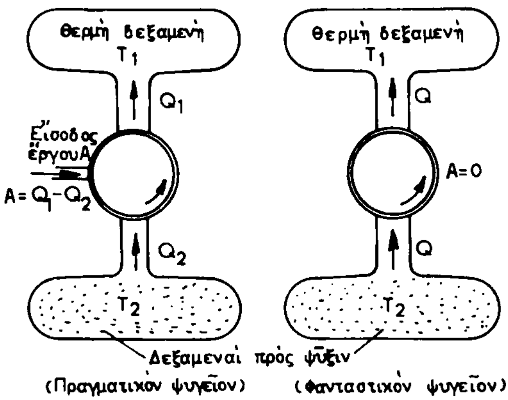
Εἰς τὸ σχῆμα 16 · 5 γ ἡ μηχανὴ παράγει ἔργον λαμβάνουσα θερμότητα Q_1 ἀπὸ τὴν θερμὴν δεξαμενὴν καὶ ἀποδίδουσα μέρος αὐτῆς Q_2 εἰς τὴν ψυχράν. Εἰς τὴν φανταστικὴν μηχανὴν ψυχρὰ δεξαμενὴ δὲν ὑπάρχει καὶ ὅλην τὴν θερμότητα, ποὺ ἐλάβαμε ἀπὸ τὴν θερμὴν δεξαμενήν, ἡ μηχανὴ τὴν ἀποδίδει ὡς ἔργον, ἄρα $\eta = 100\ \%$. Τοῦτο προφανῶς δὲν ἀντιβαίνει εἰς τὸ Α΄ θερμοδυναμικὸν ἀξίωμα, ἐνῶ ἀπαγορεύεται ἀπὸ τὸ Β΄ ἀξίωμα ἀποτελοῦσα ἀεικίνητον Β΄ εἴδους (παράγρ. 16 · 2).

Εἰς τὸ σχῆμα 16 · 5 δ ἡ μηχανὴ τοῦ ψυγείου λαμβάνει θερμότητα ἀπὸ τὸν πρὸς ψῦξιν χῶρον, προσθέτει ἔργον $A = Q_1 - Q_2$ καὶ ἀποδίδει εἰς τὴν θερμὴν δεξαμενὴν θερμότητα $Q_1 > Q_2$, διότι ἄλλως ροὴ θερμότητος ἀπὸ χαμηλοτέρας θερμοκρασίας δεξαμενὴν πρὸς ἄλλην ἀνωτέρας θερμοκρασίας αὐθορμήτως (ἀφ' ἑαυτῆς) ἀπαγορεύεται (Β΄ Ἀξίωμα). Εἰς τὸ φανταστικὸν ψυγεῖον θὰ ἐγίνετο τὸ προηγούμενον, ἀλλὰ χωρὶς εἴσοδον μηχανικοῦ ἔργου, δηλ. ἁπλῶς θὰ ἔρρεε θερμότης μόνη της ἀπὸ τὸν πρὸς ψῦξιν χῶρον πρὸς τὰ ἔξω. Τοῦτο ὅμως ἀποκλείεται.

Ἀπὸ τὸ σχῆμα 16 · 5 δ φαίνεται — ἂν προσέξωμεν καλῶς — ὅτι ἡ φορὰ κινήσεως τῆς μηχανῆς εἶναι ἀντίθετος (ἀριστερόστροφος) ὡς πρὸς τὴν μηχανὴν τοῦ σχήματος 16 · 5 γ. Πράγματι, μία μηχανὴ Καρνὼ ἐργαζομένη ἀντιστρόφως, δηλ. $1 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ δρᾷ ὡς μηχανὴ ψυγείου, διότι λαμβάνει θερμότητα Q_2 ἀπὸ τὴν δεξαμενὴν χαμηλῆς θερμοκρασίας T_2 καὶ τῇ βοηθείᾳ ἐξωτερικοῦ ἔργου (π.χ. ἠλεκτρικοῦ κινητῆρος - συμπιεστοῦ) δίδει εἰς τὴν ἀνωτέρας θερμοκρασίας T_1 δεξαμενὴν θερμότητα Q_1. ('Αναστρέψατε τὴν φορὰν τῶν βελῶν Q_1, Q_2 εἰς τὸ σχῆμα 16 · 5 β). 'Αλλά, ὅπως ἀνεφέραμεν, ἡ μηχανὴ τοῦ Καρνὼ εἶναι ἰδανικὴ μηχανὴ καὶ ἡ δυνατότης τῆς ἀντιστρεπτῆς λειτουργίας κοινῶν μηχανῶν ὑπὸ ἀναλόγους πρὸς τὴν μηχανὴν Καρνὼ συνθήκας δὲν εἶναι δυνατή. 'Η συνήθης λειτουργία τῶν μηχανῶν εἶναι καθωρισμένη· *μὴ* ἀντιστρεπτὴ μὲ συντελεστὴν μικρότερον τοῦ η (Καρνώ).



Σχ. 16 · 5 γ.



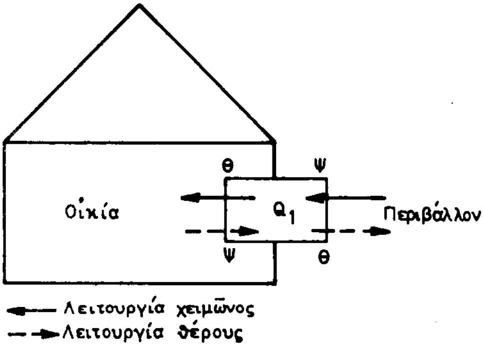
Σχ. 16 · 5 δ.

Προκειμένου περὶ τῆς μηχανῆς Καρνὼ λειτουργούσης ὡς ψυκτικῆς ὁ συντελεστὴς εἶναι:

$$\eta = \frac{\text{ἐξαχθεῖσα θερμότης}}{\text{προσφερθὲν ἔργον}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

ἄρα, ὅσον ἡ διαφορὰ $T_1 - T_2$ ἐλαττοῦται, ὁ συντελεστὴς μεγαλώνει, δηλ. μεγαλώνει ἡ ἀπόδοσις τοῦ ψυγείου ὅσον ἡ διαφορὰ ἔξω (T_1) – μέσα (T_2) εἶναι μικρά, ἤτοι κατὰ τὸν χειμῶνα.

'Εὰν τὴν ἐξαγομένην θερμότητα Q_1 ἀντὶ νὰ τὴν ἀπορρίπτωμεν τὴν χρησιμοποιῶμεν διὰ νὰ θερμαίνωμεν π.χ. ἕνα δωμάτιον ἔχοντες τὸν ψυκτικὸν θάλαμον ἔξω ἀπὸ τὸ δωμάτιον, τότε ἔχομεν «ἀντλίαν θερμότητος» (heat pump), ὁπότε τὸ δωμάτιόν μας θερμαίνεται.



Σχ. 16 · 5 ε.

Ἑπομένως δυνάμεθα νὰ ἔχωμεν (σχ. 16 · 5 ε) συσκευήν, ἡ ὁποία τὸν χειμῶνα νὰ θερμαίνῃ τὸ δωμάτιον ἢ τὴν οἰκίαν μας καὶ τὸ ψυχρὸν μέρος της (ψ) νὰ κεῖται ἐκτὸς τοῦ δωματίου μας (ἔξω ἀπὸ τὸ παράθυρο) καὶ τὸ θέρος νὰ ἐργάζεται ἀντιστρόφως, δηλ. μέσα εἰς τὸ δωμάτιον νὰ εὑρίσκεται τὸ ψυχρὸν μέρος της καὶ ἔξω αὐτοῦ τὸ θερμὸν (θ).

16 · 6 Θερμοδυναμικαὶ ἔννοιαι καὶ μεγέθη (ἐμβάθυνσις).

1) *Θερμοδυναμικὸν σύστημα.*

Καλοῦμεν θερμοδυναμικὸν *σύστημα* ἕνα ποσὸν ὕλης (ἕνα σῶμα ἢ περισσότερα σώματα ἀλληλοεπιδρῶντα ἢ μή) περιοριζόμενον ὑπὸ κλειστῆς ἐπιφανείας. Τὴν ἐπιφάνειαν αὐτὴν δυνάμεθα νὰ καλέσωμεν *περίβλημα*. Ὅ,τι μένει ἔξω ἀπὸ τὸ σύστημα, τὸ ὁρίζομεν ὡς τὸ *περιβάλλον* τοῦ συστήματος. Ἄρα σύστημα καὶ περιβάλλον ἀποτελεῖ ἕνα «Σύνολον».

Ἕνα σύστημα δύναται νὰ εἶναι ἀέριον ἐντὸς μηχανῆς μὲ τὰς δεξαμενὰς τῆς θερμότητος (βλ. προηγουμένην παράγραφον). Ἐπίσης δύναται νὰ ἀποτελῆται ἀπὸ διαφόρους μορφὰς π.χ. στερεόν, ὑγρόν, ἀέριον, ἢ διάφορα εἴδη χημικῶς ἀντιδρῶντα, ὁπότε καὶ μεταβάλλονται αἱ ἀναλογίαι των προϊούσης τῆς χημικῆς ἀντιδράσεως.

2) *Εἴδη μεταβολῶν.*

α) *Κυκλικὴ μεταβολή*: Ὁρίζεται ὡς ἡ μεταβολὴ ἐκείνη, κατὰ τὴν ὁποίαν τὸ σῶμα ἀπὸ κάποιαν κατάστασιν περνᾷ ἀπὸ σειρὰν διαδοχικῶν ἄλλων καταστάσεων καὶ τελικὰ ἐπιστρέφει εἰς τὴν ἀρχικὴν ἀκριβῶς κατάστασίν του καὶ τίποτε δὲν ἔχει ἀπομείνει εἰς τὸ σῶμα, ποὺ νὰ «ἐνθυμίζῃ» ὅτι ἔγινε μεταβολή.

Π.χ. θερμαίνομεν ἕνα ὑγρόν, φθάνει τὴν θερμοκρασίαν βρασμοῦ, συλλέγομεν γενικῶς ὅλους τοὺς ἀτμούς του, τοὺς ψύχομεν καὶ ἀποκτῶμεν τελικῶς τὸ ἀρχικὸν ὑγρόν, χωρὶς οἱανδήποτε μεταβολὴν φυσικὴν ἢ χημικήν, ποὺ νὰ διαφοροποιῇ τὸ παρὸν ὑγρὸν ἀπὸ τὸ ἀρχικόν.

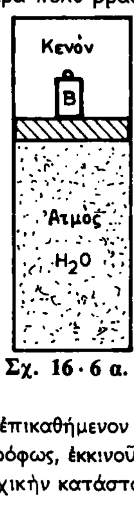
β) *Ἀνοικτὴ μεταβολή*: Ὁρίζεται ὡς ἡ μεταβολή, κατὰ τὴν ὁποίαν τὸ σῶμα ἀπὸ κάποιαν κατάστασιν (ἀρχὴ) περνᾷ ἀπὸ σειρὰν διαδοχικῶν καταστάσεων διὰ νὰ καταλήξῃ εἰς κάποιαν ἄλλην, ποὺ χαρακτηρίζεται ὡς τελική. Π.χ. θερμαίνεται ἕνα σῶμα ἀπὸ τὴν στερεὰν μορφήν του (ἔστω πάγος) διὰ νὰ καταλήξῃ εἰς ἀτμόν, ἀέριον ὑψηλῆς θερμοκρασίας ἢ ἀφίνεται ἕνα ἀέριον νὰ διαχυθῆ μέσα εἰς ἕνα ἄλλο ἢ νὰ ἐκτονωθῆ εἰς ἕνα ἄλλο δοχεῖον κενὸν κ.ο.κ.

γ) *Ἀντιστρεπτὴ μεταβολή:* Ὁρίζεται ὡς ἡ μεταβολὴ ἐκείνη, τῆς ὁποίας σειρὰ διαδοχικῶν καταστάσεων δύναται ἀνὰ πᾶσαν στιγμὴν νὰ ἀντιστραφῆ κατὰ τὸν αὐτὸν ἀκριβῶς τρόπον, κατὰ τὸν ὁποῖον προχωρεῖ, καὶ τίποτε δὲν ἀπομένει εἰς τὸ σύνολον (σύστημα καὶ περιβάλλον), ποὺ νὰ «ἐνθυμίζῃ» ὅτι ἔλαβε χώραν μεταβολή. Ἔστω π.χ. ὅτι δυνάμεθα εὐκόλως νὰ μεταβῶμεν ἀπὸ κάποιαν θέσιν 1 διὰ τῆς 2 καὶ 3 εἰς τὴν θέσιν 4, ἀλλὰ καὶ ἐκ τῆς 4 διὰ τῆς αὐτῆς ἀκριβῶς εὐκολίας νὰ γυρίσωμεν ὀπίσω μέσω τῆς 3 καὶ 2 εἰς τὴν ἀρχικὴν θέσιν 1, χωρὶς τελικῶς τίποτε νὰ ὑποδηλοῖ ὅτι ἔγινεν μία τοιαύτη μεταβολή.

Ὅταν ἡ ἀντιστρεπτὴ μεταβολὴ εἶναι κυκλική, τότε δυνάμεθα νὰ τὴν διαγράψωμεν εἴτε δεξιοστρόφως εἴτε ἀριστεροστρόφως, χωρὶς αὐτὸ νὰ δηλοῖ περιστροφὴν ἀλλ' ἁπλῶς ἀλληλουχίαν διαδοχικῶν καταστάσεων κατὰ τὸν ἕνα ἢ κατὰ τὸν ἄλλον (ἀντίστροφον) τρόπον. Εἰς μίαν ἀντιστρεπτὴν κυκλικὴν μεταβολήν, ὅταν γίνῃ μίαν φορὰν κατὰ τὸν ἕνα τρόπον καὶ ἄλλην κατὰ τὸν ἀντίθετον, ὄχι μόνον δὲν μένει κανὲν ἴχνος ὅτι ἔγινε ἡ μεταβολὴ εἰς τὸ σῶμα ποὺ τὴν ἐκτελεῖ ἀλλὰ καὶ εἰς τὰ περιβάλλοντα αὐτὸ ἄλλα συνεργαζόμενα (ἀλληλοεπιδρῶντα) σώματα δὲν μένει τίποτε, ποὺ νὰ ἐνθυμίζῃ αὐτὴν τὴν μεταβολήν· εἶναι ὡσὰν νὰ μὴ συνέβη ποτὲ εἰς τὴν Φύσιν. (Μηδενικὴ ἡ μεταβολὴ τοῦ συνόλου).

Ἀπὸ τὰ ἀνωτέρω φαίνεται πόσον *«ἰδανικαί»* εἶναι αἱ ἀντιστρεπταὶ μεταβολαὶ καὶ πράγματι *δὲν ὑπάρχουν* εἰς τὴν Φύσιν, ἀλλὰ ἡ θερμοδυναμικὴ τὰς μελετᾷ ὡς κατὰ προσέγγισιν δυνατὰς εἰς τὰ φυσικὰ σώματα, διότι ἡ γνῶσις των εἶναι ἐξαιρετικῆς σημασίας διὰ τὸν Τεχνικόν, ποὺ ἐξετάζει τὴν συμπεριφορὰν φυσικῶν ἀερίων καὶ ἀτμῶν ὑπὸ διαφόρους συνθήκας πιέσεως, θερμοκρασίας, ὄγκου, ἀλλαγῆς μορφῆς (ὑγρόν, ἀέριον) κ.λπ.

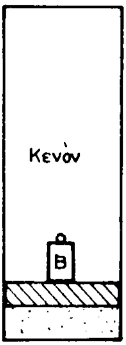
Ὅταν αἱ μεταβολαὶ τῶν φυσικῶν σωμάτων γίνωνται πάρα πολὺ βραδέως καὶ ὑπὸ ἀμελητέας τριβὰς ἢ ἄλλας μορφὰς ἀπωλειῶν (π.χ. ἀκτινοβολίας) τοιουτοτρόπως, ὥστε κάθε στιγμήν, ὅταν προχωροῦμεν ὀλίγον κατὰ τὴν μίαν φορὰν καὶ ὅταν ὀπισθοχωροῦμεν ὀλίγον κατὰ τὴν ἀντίθετον, *πρακτικῶς* νὰ μὴ δυνάμεθα νὰ διαπιστώσωμεν διαφοράν τινα, κάτι αἰσθητὸν ποὺ νὰ μένῃ, τότε ἔχομεν πλησιάσει τὴν ἀντιστρεπτὴν μεταβολήν. Ἔστω π.χ. ὅτι ἔχομεν ἕνα θερμὸν δοχεῖον ἀπὸ ἐξαιρετικῶς ἀγώγιμον ὑλικὸν περιέχον κεκορεσμένους ἀτμοὺς ὕδατος καὶ ὑπεράνω αὐτῶν ἕνα ἔμβολον μὲ συνολικὸν βάρος Β δυνάμενον νὰ μετακινηθῆ ἄνευ οἱασδήποτε τριβῆς (σχ. 16 · 6 α)

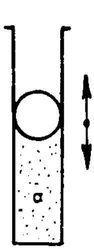


Σχ. 16 · 6 α.

Διὰ μίαν δεδομένην θερμοκρασίαν τὸ ἔμβολον ἀκινητεῖ, διότι ἡ τάσις τῶν ἀτμῶν εἶναι ἴση πρὸς τὴν ἐκ τοῦ ἐμβόλου πίεσιν. Ὅταν μεταβάλωμεν τὴν θερμοκρασίαν μειοῦντες αὐτὴν *κατ' ἐλάχιστον*, τότε παρατηροῦμεν ὅτι τὸ ἔμβολον κατέρχεται βραδύτατα καὶ τελικῶς φθάνει πλησίον τοῦ πυθμένος περίπου ἐπικαθήμενον τοῦ ὑγροῦ (σχ. 16 · 6 β), εἰς τὸ ὁποῖον μετετράπη ὁ ἀτμός. Ἀντιστρόφως, ἐκκινοῦντες ἀπὸ τὴν κατάστασιν αὐτὴν δυνάμεθα νὰ ἐπανέλθωμεν εἰς τὴν ἀρχικὴν κατάστασιν δηλ. εἰς τὸν αὐτὸν ἀρχικὸν ὄγκον τῶν κεκορεσμένων ἀτμῶν. Ἑπομένως ἐξετελέσαμεν μίαν κυκλικὴν καὶ δὴ ἀντιστρεπτὴν μεταβολήν, *ἐφ' ὅσον* ὅσην θερμότητα ἀφηρέσαμεν κατὰ τὴν ὑγροποίησιν τοῦ ἀτμοῦ τὴν ἐδώσαμεν κατὰ τὴν ἐξαέρωσιν τοῦ ὑγροῦ.

Τὸ πείραμα αὐτὸ δυνάμεθα νὰ τὸ πραγματοποιήσωμεν καὶ ὑπὸ κατάλληλον σταθερὰν θερμοκρασίαν (ἰσοθέρμως), ἀρκεῖ νὰ ἐπινοήσωμεν ἕνα τρόπον, νὰ μεταβάλωμεν βραδέως καὶ κατὰ πολὺ μικρὰ ποσὰ ($+\Delta B$) τὸ βάρος B, ὁπότε πέριξ ὡρισμένης τιμῆς ἐπιτυγχάνομεν εἴτε τὴν κατάστασιν τοῦ σχήματος 16·6 α εἴτε τὴν τοῦ σχήματος 16·6 β.





Σχ. 16·6 β. Σχ. 16·6 γ.

Ἐξ ἄλλου, ἂν εἴχομεν ἕνα σωλῆνα πλήρη ἀερίου α, ποὺ νὰ ἐφράσσετο μὲ μίαν μπίλιαν ἀεροστεγῶς ἄνευ τριβῶν πρὸς τὰ τοιχώματά του καὶ ἄριστα θερμικῶς μονωμένον (ἀδιαβατικὴ περίπτωσις), τότε δίδοντες μίαν μικρὰν ὤθησιν εἰς τὴν μπίλιαν θὰ παρετηροῦμεν αὐτὴν νὰ ταλαντεύεται, συμπιέζουσα τὸ ἀέριον καὶ ἔπειτα ὡς ἐκ τῆς συμπιέσεως νὰ ἐξωθῆται πρὸς τὰ ἄνω, μέχρι κάποιας ἀραιώσεως τοῦ ἀερίου διὰ νὰ ἐπαναληφθῆ τὸ αὐτὸ περὶ τὴν θέσιν τῆς ἰσορροπίας. Δυστυχῶς ἡ ἀντιστρεπτὴ κυκλικὴ ἀδιαβατικὴ μεταβολὴ ὡς ἡ περιγραφεῖσα καθὼς καὶ ἡ προηγουμένη κυκλικὴ ἰσόθερμος ἀντιστρεπτὴ εἶναι ἀδύνατον νὰ πραγματοποιηθοῦν, διότι — πλὴν ἄλλων — ἡ τριβὴ εἶναι ἀδύνατον νὰ ἀποφευχθῆ.

Ἕνα τυπικὸν παράδειγμα μὴ ἀντιστρεπτῆς μεταβολῆς εἶναι ἡ διάδοσις τῆς θερμότητος ἀπὸ τὸ περιβάλλον εἰς τὸν ἐντὸς τοῦ ψυγείου χῶρον καὶ τὸ φαινόμενον αὐτὸ συμβαίνει αὐθορμήτως, χωρὶς οἱανδήποτε ἐπέμβασίν μας χωρὶς δαπάνην ἢ ἀπολαβὴν ἔργου. Ὅταν ὅμως θελήσωμεν νὰ κινηθῶμεν ἀντιστρόφως, δηλ. νὰ ἐπινοήσωμεν κάτι ποὺ νὰ προκαλῆ διὰ τῆς αὐτῆς ἀκριβῶς ὁδοῦ (τρόπου) τὴν ἔξοδον θερμότητος ἀπὸ τὸ ψυγεῖον, θὰ εὑρεθῶμεν πρὸ τελείας ἀδυναμίας, ἐκτὸς ἂν ἀλλάξωμεν τρόπον, καὶ δὴ ἂν καταβάλωμεν ἔργον.

Ἑπομένως θὰ γυρίσωμεν ἐκ νέου εἰς τὴν παλαιὰν χαμηλὴν θερμοκρασίαν (κυκλικὴ μεταβολὴ) ἀλλὰ δι' ἄλλης ὁδοῦ, ποὺ μάλιστα μᾶς κοστίζει. Συνεπῶς κατὰ τὴν *μὴ ἀντιστρεπτὴν* μεταβολήν, παρ' ὅλον ὅτι συνέβη ἀρχικῶς τόσον εὔκολα τόσον αὐθόρμητα, ἐν τούτοις κάτι γενικώτερον συνέβη εἰς τὴν Φύσιν, ποὺ μᾶς δυσκολεύει νὰ τὴν ἐκτελέσωμεν κατὰ τὴν ἀντίθετον φοράν.

2) *Ἀταξία. Ἐντροπία.*

Ἕνας νεώτερος ὁρισμὸς τῆς θερμότητος μᾶς λέγει ὅτι ἡ θερμότης εἶναι μία «ἀνοργάνωτος, ἄνευ τάξεως τινὸς μορφὴ ἐνεργείας» (disordered, disorganized energy).

Αὐτὸ δὲν συμβαίνει πάντοτε εἰς κάθε μορφὴν ἐνεργείας, διότι π.χ. ἕνα βλῆμα ἀπὸ ὅπλον ἔχει κινητικὴν ἐνέργειαν $\frac{1}{2} \cdot mu^2$, ὅπως καὶ ἕνα ταχέως κινούμενον ἰόν, ἀλλὰ αὐταὶ αἱ ἐνέργειαι δὲν ἀποτελοῦν θερμότητα. Ὅμως, ὅταν τὸ βλῆμα κτυπήσῃ εἰς σταθερὸν τοίχωμα, ἡ κινητικὴ ἐνέργειά του, ὀφειλομένη εἰς ταχύτητα ὡρισμένης τιμῆς, διευθύνσεως καὶ φορᾶς, μοιράζεται εἰς πλῆθος κινητικῶν ἐνεργειῶν τυχαίων ταχυτήτων ποικιλωτάτων διευθύνσεων, δηλ. ἀποργανοῦται καὶ οὕτως ἐμφανίζεται ἐκεῖνο, ποὺ χαρακτηρίζει τὴν θέρμανσιν τοῦ ἀκινητοποιηθέντος βλήματος.

Βεβαίως εἶναι ἀδύνατον ποτὲ νὰ φαντασθῶμεν ὅτι ὅλαι αὐταὶ αἱ τυχαίων διευθύνσεων ταχύτητες ἐνδέχεται νὰ συμβῇ κάποτε νὰ γίνουν ὁμόρροποι, ὥστε τὸ βλῆμα νὰ φύγῃ πρὸς τὰ ὀπίσω μὲ κινητικὴν ἐνέργειαν $\frac{1}{2}mv^2$. Αὐτὸ εἶναι τόσον *ἀπίθανον*, ὥστε εἶναι δι' ἡμᾶς *ἀδύνατον* νὰ συμβῇ, ὅσον καὶ ἂν περιμένωμεν τὴν σύμπτωσιν αὐτὴν τῶν ταχυτήτων.

Ἐπίσης εἰς τὸ παράδειγμα τῆς προηγουμένης παραγράφου τῆς εἰσόδου θερμότητος εἰς τὸ ψυγεῖον, ποὺ γίνεται αὐθορμήτως, εὐκόλως εἶναι δυνατὸν πειραματικῶς νὰ διαπιστώσωμεν ὅτι εἰς τὸ ψυχρὸν ἐσωτερικὸν τοῦ ψυγείου τὰ μόρια π.χ. τοῦ ἀέρος ἔχουν κινητικὰς ἐνεργείας μικροτέρας, κινήσεις ἠρεμωτέρας καὶ διὰ τὸ ἀπόλυτον μηδὲν θεωρητικῶς ἀκινησίαν, ἑπομένως μικροτέραν ἀταξίαν παρὰ τὰ θερμὰ μόρια ἔξω τοῦ ψυγείου. Ἄρα, ἡ αὐθόρμητος μεταφορὰ τῆς θερμότητος σημαίνει καὶ μετακίνησιν ἐνεργείας πρὸς δημιουργίαν καταστάσεων πλέον ἀτάκτου κινητικῆς συμπεριφορᾶς. Ἀκόμη, δυνάμεθα νὰ εἴπωμεν ὅτι αἱ τόσον εὔκολοι εἰς τὴν Φύσιν *μὴ ἀντιστρεπταὶ* μεταβολαὶ (τρίβω τὰ χέρια μου καὶ ζεσταίνομαι) τείνουν πρὸς ἐγκατάστασιν μεγαλυτέρων ἀταξιῶν ἐκεῖ, ποὺ ὑπῆρχε κάποια σχετικῶς μικροτέρα ἀταξία κινήσεων.

Οὕτως, ἀπὸ ἕνα θερμὸν σῶμα (μεγάλη ἀταξία), ποὺ εὑρίσκεται ἐν ἐπαφῇ πρὸς ἕνα ψυχρὸν (μικροτέρα ἀταξία), μεταφέρεται αὐθορμήτως ἐνέργεια καὶ τὸ ψυχρὸν καθίσταται θερμότερον, δηλ. γίνεται τώρα χειρότερον ἀπὸ πλευρᾶς ἀταξίας, ἤτοι τυχαίων ἀτάκτων κινήσεων ἀπὸ ὅ,τι ἦτο πρίν· (ἡ μεταβολὴ *δὲν* εἶναι ἀντιστρεπτή).

Τὸ ἀντίθετον, ἤτοι ἡ αὐθόρμητος μετακίνησις θερμότητος *ἀπὸ τὸ ψυχρὸν πρὸς τὸ θερμὸν ἀπαγορεύεται*. Κι' αὐτό, διότι, ἂν μετεφέρετο ἡ ἐνέργεια πρὸς τὸ θερμὸν σῶμα, τότε τὸ ψυχρὸν σῶμα θὰ ἠρεμοῦσεν ἔτι περισσότερον κινητικῶς, θὰ ἐδημιουργεῖτο κάποια καλυτέρα τάξις καὶ αὐτὸ ἀκριβῶς *δὲν* τὸ εὐνοεῖ ἡ Φύσις. Συνεπῶς εἰς τὴν Φύσιν ὑπάρχει κατεύθυνσις αὐξούσης ἀταξίας καὶ ἂν ἡμεῖς θέλωμεν κάποτε καὶ κάπου νὰ τὴν ἀναστρέψωμεν, πρέπει νὰ πληρώσωμεν. Ἄρα καταβάλλομεν ἔργον διὰ νὰ κατορθώσωμεν νὰ τὸ ἐπιτύχωμεν ἔστω καὶ προσκαίρως (περίπτωσις ψύξεως τοῦ ἐσωτερικοῦ τοῦ ψυγείου διὰ τῆς μεταφορᾶς θερμότητος πρὸς τὰ ἔξω δαπάναις ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας).

Τὴν ἐξέλιξιν τῶν θερμοδυναμικῶν μεταβολῶν πρὸς καταστάσεις πλέον ὁμοιογενεῖς, πλέον ἰσορροπημένας, πλέον ἰσοκατανεμημένων ἐνεργειῶν, πλέον πιθανάς, δυνάμεθα νὰ ἐξομοιώσωμεν μὲ τὸ ἀκόλουθον πείραμα: Ἔχομεν μέσα εἰς ἕνα ἀβαθὲς δοχεῖον, ὅπως ἕνα ταψί, σωρὸν κόκκων ἀραβοσίτου καὶ σωρὸν κόκκων ὀρύζης. Ταλαντεύομεν τὸ ταψὶ ἀτάκτως, τυχαίως, ἐνῷ ἕνας συνεργάτης μας λαμβάνει κινηματογραφικὴν ταινίαν τοῦ περιεχομένου του. Τελικῶς, θὰ φθάσωμεν εἰς πλήρη ἀνάμιξιν καὶ *ὁμοιογένειαν* τοῦ περιεχομένου εἰς ἕνα *ἰσοπαχὲς* στρῶμα.

Όταν έπειτα προβάλωμεν τὴν ταινίαν εἰς ἀκροατήριον μαθητῶν, οὐδεὶς θὰ ἐκπλαγῇ, διότι ἐκ πείρας ἀναμένομεν παρομοίαν ἐξέλιξιν ὡς *πιθανωτάτην* νὰ συμβῇ μὲ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου καὶ τὴν συνεχῆ ἀνακίνησιν τοῦ ταψιοῦ.

Αὐτὸ τὸ τόσον φυσικὸν φαινόμενον θὰ προκαλέσῃ διαμαρτυρίας ἢ καὶ γέλωτα, ὅταν τὸ προβάλωμεν ἀντιστρόφως, δηλ. οἱ μαθηταὶ ἴδουν ἀρχικῶς ἕνα ὁμοιογενὲς μῖγμα ἰσοπαχὲς καὶ σιγά-σιγὰ μὲ τὰς κινήσεις τὸ μῖγμα νὰ χωρίζεται εἰς δύο λόφους καθαροῦ ἀραβοσίτου και καθαρᾶς ὀρύζης. Εἶναι δηλ. τόσον ἀπίθανον αἱ τυχαῖαι κινήσεις νὰ καταλήξουν εἰς διαφοροποίησιν, εἰς χωρισμὸν τῶν κόκκων, ὥστε τὸ θεωροῦμεν ἀδύνατον νὰ συμβῇ καὶ διαμαρτυρόμεθα διὰ τὴν *ἀναστροφὴν* τῆς διαδοχικῆς χρονικῆς σειρᾶς τῶν εἰκόνων.

Ἀπὸ ὅλα τὰ ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι, ἂν ἠδυνάμεθα νὰ χαρακτηρίσωμεν τὴν ἀταξίαν μιᾶς καταστάσεως μὲ κάποιο μέγεθος, τότε μαθηματικῶς θὰ μᾶς ἦτο δυνατὸν νὰ γράψωμεν ὅτι μία μεταβολὴ ἐπιτρέπεται, γίνεται αὐθορμήτως, ὅταν τὸ μέγεθος αὐτὸ αὐξάνῃ. Μάλιστα δὲν εἶναι ἀνάγκη νὰ γνωρίζωμεν τὴν τιμὴν τοῦ μεγέθους αὐτοῦ, ἀλλὰ νὰ δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν αὔξησίν του (ἢ σταθερότητά του), ὅπως δὲν εἶναι ἀνάγκη νὰ γνωρίζωμεν τὴν περιουσίαν ἑνὸς ἀνθρώπου, μὲ τὸν ὁποῖον συναλλασσόμεθα ἐμπορικῶς, ἀλλὰ εἶναι δυνατὸν νὰ γνωρίσωμεν τὴν αὔξησιν ἢ ἐλάττωσιν ἢ σταθερότητα τῆς περιουσίας του μετὰ ἀπὸ κάποιαν ἐμπορικὴν πρᾶξιν, τῆς ὁποίας ἐκτιμῶμεν τὸ κέρδος ἢ ζημίαν.

Τὸ μέγεθος αὐτὸ ὀνομάζεται *ἐντροπία* S καὶ ἡ μεταβολὴ αὐτοῦ ΔS μετρεῖται μὲ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος ΔQ, ποὺ ἐναλλάσσεται διὰ τῆς ἀπολύτου θερμοκρασίας T, ὑπὸ τὴν ὁποίαν γίνεται ἡ ἐναλλαγή:

$$\Delta S = \Delta Q / T \quad \text{cal/grad}$$

Παράδειγμα. Ὑπολογίσατε τὴν μεταβολὴν τῆς ἐντροπίας τεμαχίου πάγου 1 kg θερμοκρασίας 0° C, ὅταν τήκεται ἰσοθέρμως καὶ ἀντιστρεπτῶς πρὸς ὕδωρ. Θερμότης τήξεως 80 cal/g.

Λύσις:

Ἡ ἀπαίτησις ὁ πάγος νὰ τήκεται ἰσοθέρμως καὶ ἀντιστρεπτῶς σημαίνει ὅτι εὑρίσκεται εἰς ἐπαφὴν πρὸς θερμικὴν δεξαμενὴν 0° C τοιαύτην, ὥστε, ἂν ἡ θερμοκρασία της αὐξηθῇ κατ' ἐλάχιστον, ὁ πάγος ἀντλῶν θερμότητα νὰ τήκεται βραδύτατα, ἐνῶ, ἂν ἐλαττωθῇ κατ' ἐλάχιστον, τὸ ἐκ τῆς τήξεως τοῦ πάγου ὕδωρ ἀποδίδον θερμότητα νὰ παγώνῃ βραδύτατα.

$$\text{Ὅθεν} \quad \Delta S_{\text{τήξεως}} = S_{\text{ὕδατος}} - S_{\text{πάγου}} = \frac{\Delta Q}{T}.$$

$$\Delta Q = 1000 \times 80 \qquad T = 273^{\circ}\mathrm{K} \qquad \text{καὶ}$$

$$\Delta S = 80000/273 \simeq 292 \text{ cal/K}^{\circ} \qquad \text{ἢ}$$

$$1220 \text{ Joules/K}^{\circ}.$$

Εἰς τὸ παράδειγμά μας ἡ αὔξησις τῆς ἐντροπίας ἀφορᾶ εἰς τὸ ἐκ τῆς τήξεως προελθὸν ὕδωρ, ἀλλὰ μὲ τὸ αὐτὸ ποσὸν ἐντροπίας ἠλαττώθη ἡ ἐντροπία τῆς δεξαμενῆς. Ὅθεν, τὸ ἄθροισμα τῶν μεταβολῶν τῆς ἐντροπίας τοῦ συστήματος (πάγος + δεξαμενή) εἶναι ἴσον πρὸς μηδὲν πρᾶγμα χαρακτηριστικὸν ὅλων τῶν *ἀντιστρεπτῶν* *μεταβολῶν* πού, ὅπως ἀνεφέραμεν, εἶναι ἰδανικαί, δὲν γίνονται εἰς τὴν Φύσιν.

Εἰς τὴν πρᾶξιν, ἕνα πάγου τεμάχιον μέσα εἰς μίαν δεξαμενὴν τήκεται, ἀλλὰ *αὐθορμήτως* δὲν παγώνει, ἑπομένως ἡ τῆξις εἶναι *μὴ* ἀντιστρεπτὴ μεταβολή, εἶναι μετακίνησις θερμότητος πρὸς δημιουργίαν μεγαλυτέρας ἀταξίας (ὑγροῦ ἀντὶ στερεοῦ) καὶ ὡς ἐκ τούτου πρέπει ἡ θερμοκρασία τῆς δεξαμενῆς νὰ εἶναι ὑψηλοτέρα (T_δ) κάπως, ἄρα τὸ $\frac{\Delta Q}{T_\delta}$ τῆς δεξαμενῆς εἶναι μικρότερον ἀπὸ τὸ $\frac{\Delta Q}{T_\pi}$ τοῦ τηκομένου ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν (T_π) πάγου.

Συμπέρασμα: Κατὰ τὴν τῆξιν $\frac{\Delta Q}{T_\delta} < \frac{\Delta Q}{T_\pi}$ καὶ σύνολον τῶν $\frac{\Delta Q}{T} > 0$.

Ἕνα τεράστιον πλῆθος παραδειγμάτων καὶ ἐφαρμογῶν ἐπιβεβαιοῖ τὰς ἀκολούθους σχέσεις διὰ τὴν αὐθόρμητον ἐξέλιξιν συνόλων ἀποτελουμένων ἀπὸ τὸ θεωρούμενον σῶμα καὶ τὸ περιβάλλον μετακινουμένων ἀπὸ τὴν κατάστασιν 1 εἰς τὴν κατάστασιν 2.

$S_2 - S_1 = \Delta S > 0$ ἐξέλιξις δυνατὴ καὶ αὐθόρμητος (μὴ ἀντιστρεπτή)

$\Delta S < 0$ ἐξέλιξις ἀδύνατος

$\Delta S = 0$ ἐξέλιξις δυνατὴ καὶ ἐπὶ πλέον ἀντιστρεπτὴ (ἰδανικὴ περίπτωσις βλ. Carnot).

Βάσει τῶν ἀνωτέρω δυνάμεθα νὰ γράψωμεν ὅτι τὸ δεύτερον ἀξίωμα τῆς Θερμοδυναμικῆς διατυποῦται ὡς ἑξῆς:

Μία φυσικὴ διεργασία ἐκκινοῦσα ἀπὸ μίαν κατάστασιν ἰσορροπίας καὶ καταλήγουσα εἰς ἄλλην συμβαίνει ἀφ' ἑαυτῆς, ὅταν ἡ ἐντροπία τοῦ θεωρουμένου Συνόλου (σῶμα καὶ περιβάλλον) τείνῃ νὰ αὐξηθῇ.

Ὅταν ἕνα Σύνολον ἀποτελούμενον ἀπὸ ἕνα ἢ πλείονα σώματα καὶ τὸ περιβάλλον των ἀφεθῇ μόνον του, καταλήγει εἰς κατάστασιν μεγίστης ἐντροπίας, ἤτοι γίνεται ὅσον τοῦ εἶναι δυνατὸν μεγαλυτέρας ἀταξίας.

ἢ

Ἕνα μονωμένον σύστημα οὐδέποτε ἀφ' ἑαυτοῦ ἐλαττώνει τὴν τιμὴν τῆς ἐντροπίας του.

ἢ

Εἶναι ἀδύνατος ἡ κατασκευὴ μηχανῆς κυκλικῶς λειτουργούσης μὲ τελικὸν ἀποτέλεσμα τὴν ἀφαίρεσιν θερμότητος ἀπὸ ἕνα σῶμα καὶ τὴν πρόσδοσιν αὐτῆς εἰς σῶμα ὑψηλοτέρας θερμοκρασίας.

ἢ

Εἶναι ἀδύνατος ἡ κατασκευὴ μηχανῆς κυκλικῶς λειτουργούσης μὲ τελικὸν ἀποτέλεσμα τὴν παραλαβὴν θερμότητος ἀπὸ ἕνα θερμὸν σῶμα καὶ μετατροπὴν αὐτῆς ἐξ ὁλοκλήρου εἰς ἔργον, δηλ. χωρὶς ἕνα ποσὸν αὐτῆς νὰ προσδοθῇ εἰς σῶμα μικροτέρας θερμοκρασίας.

Ὡς τέλος καταφαίνεται ἐκ τοῦ ὁρισμοῦ τῆς ἐντροπίας, τὸ γινόμενον τῆς μεταβολῆς της ἐπὶ τὴν ἀντίστοιχον σταθερὰν θερμοκρασίαν, ὑπὸ τὴν ὁποίαν λαμβάνει χώραν ἡ μεταβολή, ἀποδίδει ποσὸν θερμότητος ΔQ, ἤτοι:

$$\Delta S \cdot T = \Delta Q$$

Τὸ ποσὸν τοῦτο τῆς θερμότητος (ἐνεργείας) καλεῖται *δεσμευμένη* ἢ *δεδεμένη ἐνέργεια* καὶ παριστᾶ ποσὸν ἐνεργείας, ποὺ ἐστράφη (ἐτράπη) ἐντὸς τοῦ μεταβαλλομένου συστήματος (σώματος) καὶ δὲν δύναται νὰ «στραφῇ» πρὸς τὰ ἔξω, νὰ χρησιμοποιηθῇ πρὸς παραγωγὴν ἔργου, ἐκ τούτου δὲ καὶ ἡ ὀνομασία ἐντροπία, τροπὴ πρὸς τὰ ἔσω *ἀνηγμένου* ὡς πρὸς τὴν θερμοκρασίαν ποσοῦ θερμότητος δηλ. $\Delta Q/T$.

Παράδειγμα.

Δεχόμενοι αὐθαιρέτως διὰ τὰς Τεχνικὰς ἐφαρμογὰς τὴν ἐντροπίαν ὕδατος 0^0 C ὡς μηδενικὴν ὑπολογίσατε τὴν ἐντροπίαν ἑνὸς γραμμαρίου ἀτμοῦ ὕδατος 20^0 C ὡς πρὸς τὸ ὕδωρ 0^0 C. Θερμότης ἐξαερώσεως τοῦ ὕδατος ὑπὸ σταθερὰν θερμοκρασίαν 20^0 εἶναι $\lambda = 583$ cal/g.

Λύσις:

Ἡ ἐντροπία τοῦ ὕδατος 20^0 C ὡς πρὸς τὸ ὕδωρ 0^0 C δίδεται ἀπὸ τὴν δεκαδικὴν * λογαριθμικὴν σχέσιν:

$$\Delta S = 2{,}3\ (\log T_1 - \log T_0)$$
$$\Delta S = 2{,}3\ (\log 293 - \log 273) = 0{,}07 \text{ cal/g}.$$

Ἡ ἐντροπία τοῦ ἀτμοῦ τῶν 20^0 C ὡς πρὸς ὕδωρ τῆς αὐτῆς θερμοκρασίας θὰ εἶναι:

$$\Delta S = \frac{583}{293} = 1{,}99, \text{ ὅθεν συνολικὸν } \Delta S = 2{,}06 \text{ cal/g}.$$

Αἱ ἐντροπίαι τοῦ ἀτμοῦ καὶ ὕδατος ἀνὰ γραμμάριον ὡς πρὸς ὕδωρ 0^0 C καὶ αἱ θερμότητες ἐξαερώσεως αὐτοῦ ἔχουν ὡς ἑξῆς:

	Θερμοκρασίαι	^{0}K	Θερμότης ἐξαερώσεως	Ἐντροπίαι S_1 ὕδατος	S_2 ἀτμοῦ
	0^0 C	273	$\lambda = 594$ cal/g	0	2,18 cal/grad.g
	20^0	293	583	0,07	2,06
$S_1 - S_2 = \frac{\lambda}{T}$	40^0	313	573	0,14	1,97
	60^0	333	562	0,19	1,89
	80^0	353	551	0,26	1,82
	100^0	373	539	0,31	1,76

Παρατηροῦμεν ἀμέσως ὅτι ὅσον *μεγαλώνει* ἡ θερμοκρασία, τόσον ἡ ἐντροπία *μειοῦται*, ἄρα ἡ δυνατότης παραγωγῆς ἐξωτερικοῦ (ὠφελίμου) ἔργου αὐξάνει· δηλ. 1000 θερμίδες ἀπὸ ἀτμὸν 100^0 C εἶναι διὰ τὸν Τεχνικὸν πολυτιμότεραι σχετικῶς πρὸς 1000 θερμίδας ἀπὸ ἀτμὸν 40^0 C.

Τέλος ἕνας ἄλλος ὁρισμὸς τῆς ἐντροπίας μᾶς λέγει:

---

* Ἀκριβέστερον: $S_1 - S_0 = c \ln (T_1/T_0)$, ὅπου ἡ εἰδικὴ θερμότης (διὰ τὸ ὕδωρ $c = 1$ cal/g.grad). Ἡ σχέσις προκύπτει ἀπὸ ὁλοκλήρωσιν $\int_{T_0}^{T_1} dS$ τῆς διὰ στοιχειώδη μεταβολὴν ἰσχυούσης $dS = \frac{dQ}{T}$ καὶ $dQ = c dT$.

Ἡ ἐντροπία S εἶναι ἕνα μέγεθος ἐξαρτώμενον ἀπὸ τὴν ποσότητα θερμότητος, ποὺ ἠδυνάμεθα νὰ λάβωμεν ἀπὸ ἕνα θερμὸν σῶμα καὶ τὴν θερμοκρασίαν ὑπὸ τὴν ὁποίαν τὸ λαμβάνομεν. Ἡ ἐντροπία (ὀρθότερον ΔS) πολλαπλασιαζομένη ἐπὶ τὴν διαθέσιμον χαμηλὴν* θερμοκρασίαν μιᾶς μηχανῆς μᾶς δίδει τὴν *μὴ* ἐκμεταλλεύσιμον ἐνέργειαν ἢ τὴν ἀπώλειαν, ὅταν ζητήσωμεν ἀπολαβὴν ὠφελίμου δι᾽ἡμᾶς ἔργου, ἢ ἄλλως, ηὐξημένη ἐντροπία, ηὐξημένη *ἀνικανότης* παραγωγῆς *ἐξωτερικοῦ ἔργου*.

3) *Ἐνθαλπία*.

Θὰ κλείσωμεν τὴν ἐμβάθυνσιν αὐτὴν εἰς τὰ θερμοδυναμικὰ μεγέθη μὲ τὴν ἀναφορὰν εἰς ἕνα ἄλλο χρήσιμον διὰ τὸν Τεχνικὸν μέγεθος, *τὴν ἐνθαλπίαν, H*.

Ἡ ἐνθαλπία ὁρίζεται ὡς τὸ συνολικὸν ποσὸν τῆς ἐνεργείας (θερμότητος), ποὺ χρειαζόμεθα διὰ νὰ ἀχθῇ τὸ σῶμα ἀπὸ τὴν θερμοκρασίαν μηδενὸς Κελσίου μέχρι τῆς καταστάσεως, ποὺ ἐπιθυμοῦμεν νὰ ἔχωμεν. Συνήθως χρησιμοποιεῖται ἡ εἰδικὴ ἐνθαλπία ἀναφερομένη ὄχι εἰς τὸ ὅλον σῶμα ἀλλὰ εἰς τὴν μονάδα μάζης του.

Ἐπειδὴ κατὰ τὴν ἐνεργειακὴν αὐτὴν ἀνταλλαγὴν ἕνα ποσὸν ἐνεργείας δυνατὸν νὰ χρησιμοποιηθῇ διὰ νὰ θερμανθῇ τὸ σῶμα (ὀρθότερον αὔξησις τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας του U) καὶ ἕνα ἄλλο διὰ νὰ παραχθῇ κάποιο ἔργον (π.χ. διόγκωσις ὑπὸ δεδομένην σταθερὰν πίεσιν), τότε :

$$\boxed{H = U + PV}$$

ὅπου V ὁ σχηματισθεὶς ὄγκος.

Μονάδες: H, kcal ἢ διὰ τὴν εἰδικὴν ἐνθαλπίαν kcal kg.

Παράδειγμα.

Ὑπὸ ἀτμοσφαιρικὴν κανονικὴν πίεσιν πόση εἶναι ἡ ἐνθαλπία ἑνὸς kg ἀτμοῦ 100° C ὡς πρὸς ὕδωρ 0° Κελσίου;

Λύσις:

Διὰ νὰ θερμανθῇ τὸ ὕδωρ ἀπὸ 0 εἰς 100 βαθμοὺς θέλομεν 100 kcal/kg. Διὰ νὰ ἐξαερωθῇ εἰς τὴν θερμοκρασίαν τῶν 100° ὑπὸ κανονικὴν πίεσιν θέλομεν 539 kcal/kg, ἄρα συνολικῶς ἡ ἐνθαλπία θὰ εἶναι 639 kcal/kg.

Σημείωσις: Ἀξίζει νὰ ὑποδειχθῇ ὅτι ἀπὸ τὰς 539 θερμίδας, ποὺ χρειαζόμεθα διὰ νὰ ἐξαερώσωμεν ἕνα χιλιόγραμμον ὕδατος, τὸ μεγαλύτερον ποσοστὸν (499 kcal/kg) ἀπαιτεῖται διὰ νὰ μετατραπῇ τὸ ὑγρὸν εἰς ἀέριον διὰ τῆς ἀλληλοαπομακρύνσεως τῶν μορίων τοῦ ὕδατος καὶ ἕνα μικρότερον ποσοστὸν (40 kcal/kg) διὰ τὴν παραγωγὴν ἔργου, δεδομένου ὅτι ὁ ἀτμὸς κατέχει πολὺ μεγαλύτερον ὄγκον ($\simeq$ 1685 φορὰς) ἀπὸ τὸν ὄγκον τοῦ ἴσης μάζης ὑγροῦ ὑπὸ τὴν αὐτὴν πίεσιν.

Ἐκ τῶν προηγουμένων προκύπτει ὅτι διὰ πίεσιν 1 at (ἰσοβαρὴς καὶ ἀντιστρεπτὴ μεταβολὴ) τὸ ποσὸν τῆς θερμότητος, δηλ. αἱ 639 kcal/kg, ἰσοῦνται (ταυτίζονται) μὲ τὴν ἐνθαλπίαν, ἢ ὀρθότερον ΔQ = ΔH.

---

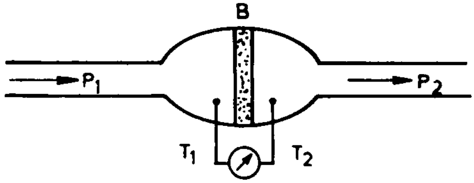
* Ἐπομένως μᾶς συμφέρει ἡ ὅσον τὸ δυνατὸν μικροτέρα τιμὴ θερμοκρασίας τοῦ «ψυγείου» τῆς μηχανῆς.

Παραδείγματα μεταβολῶν ἐνθαλπίας.

1) Ἐνδιαφέρουσα τὸν Τεχνικὸν περίπτωσις εἶναι ἡ ἐκροὴ ἑνὸς ἀερίου ἀπὸ ἕνα δοχεῖον, ὅπου εὑρίσκεται ὑπὸ μεγάλην σχετικῶς πίεσιν, εἰς ἄλλο δοχεῖον χαμηλοτέρας πιέσεως ἢ πολλάκις εἰς τὸ περιβάλλον, εἰς τὸν ἐλεύθερον ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα. Π.χ. ἔχομεν μία ὀβίδα πλήρη CO_2 καὶ ἀνοίγομεν τὴν βαλβῖδα της πρὸς ἐκκένωσιν, ἄνευ ἀπολαβῆς ὠφελίμου διὰ τὸν Τεχνικὸν ἔργου.

Θεωροῦμεν ὅτι ἔχομεν ἕνα ἀέριον ὑπὸ πίεσιν P_1 καὶ ὄγκον V_1 ἐκρέον μέσω εἰδικῆς βαλβῖδος, ὥστε νὰ ἀποφύγωμεν στροβιλισμούς, ὅπως π.χ. πορῶδες διάφραγμα, ἑκατέρωθεν δὲ αὐτοῦ δύο θερμόμετρα ἠλεκτρικοῦ τύπου ὁδηγοῦντα πρὸς ὄργανον μετροῦν τὴν *διαφορὰν* τῶν ἐνδείξεών των. Διὰ τῆς εἰδικῆς ταύτης βαλβῖδος B (στραγγαλιστικῆς, ἀποπνικτικῆς) ἀποφεύγομεν ἐπιταχύνσεις καὶ τὸ συνεπεία αὐτῶν ἔργον, ὁπότε μακρὰν τῆς βαλβῖδος, πρὸ καὶ μετ' αὐτήν, ἡ ἀρχικὴ καὶ ἡ τελικὴ ταχύτης ἐκροῆς τοῦ ἀερίου εἶναι πρακτικῶς ἴση πρὸς τὸ μηδέν (σχ. 16 · 6 δ).

Τὸ ὅλον σύστημα ἀερίου - βαλβῖδος κ.λπ. εἶναι μονωμένον ἀπὸ τὸ περιβάλλον, ἄρα θερμότης οὔτε προσάγεται οὔτε ἀπάγεται.



Σχ. 16 · 6 δ.

Παρὰ ταῦτα ἡ ἐκτόνωσις αὐτὴ γίνεται ἀφ' ἑαυτῆς, αὐθορμήτως, ἡ ἐντροπία αὐξάνεται, τὸ φαινόμενον *δὲν* εἶναι ἀντιστρεπτόν, ἄρα ἔχομεν κάποιο *ἐσωτερικὸν ἔργον* ἔναντι τῶν ἑλκτικῶν δυνάμεων μεταξὺ τῶν μορίων τοῦ ἀερίου, τὰ ὁποῖα τώρα καταλαμβάνουν μεγαλύτερον ὄγκον, ἀπέχουν τὸ ἕνα περισσότερον τοῦ ἄλλου. Αὐτὸ δηλοῖ ὅτι ἡ ἐσωτερικὴ ἐνέργεια τοῦ ἀερίου ἠλαττώθη, ἐχαλάρωσαν οἱ δεσμοί, καὶ ἡ μεταβολὴ αὐτὴ τῆς δυναμικῆς ἐνεργείας πρέπει νὰ γίνῃ δαπάναις ἄλλης καὶ εἰς τὴν περίπτωσίν μας δὲν μένει παρὰ ἡ κινητικὴ (ἄτακτος) ἐνέργεια τῶν μορίων. Συμπέρασμα, τὸ ἀέριον θὰ ψυχθῆ καὶ τὸ ὄργανον θὰ δείξῃ θερμοκρασιακὴν διαφορὰν $\Delta T = T_1 - T_2$.

Διὰ τὴν συνήθη θερμοκρασίαν καὶ πίεσιν δωματίου καὶ δι' ἐκτόνωσιν πεπιεσμένου ἀέρος ἡ διαφορὰ εἶναι περίπου 0,3 βαθμοὶ Κελσίου ἀνὰ διαφορὰν μιᾶς ἀτμοσφαίρας, ἐνῶ διὰ τὸ CO_2 ἀνέρχεται εἰς 1,5 βαθμόν/at. Ἐὰν τὸ ἀέριον ἦτο ἰδανικόν, δηλ. ἄνευ δυνάμεων μεταξὺ τῶν μορίων, τότε φυσικὰ θὰ ἦτο $\Delta T = 0$.

Ἐπειδὴ ἡ μεταβολὴ (μείωσις) τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας κατὰ τὸ Αον Ἀξίωμα δυνατὸν νὰ προέρχεται ἀπὸ «ἔξοδον» θερμότητος ἢ καὶ ἔργον ἐκ τοῦ συστήματος ἔχομεν: $U_1 - U_2 = \Delta U = \Delta Q + \Delta A$ καὶ διὰ $\Delta Q = 0$ καὶ $\Delta A = P_2V_2 - P_1V_1$ ὅπου V_2 ὁ νέος ὄγκος, ποὺ κατέλαβε τὸ προηγούμενον ὑπὸ ὄγκον V_1 ὑπάρξαν ἀέριον.

Ὅθεν τελικῶς $U_1 + P_1V_1 = U_2 + P_2V_2$ καὶ $H_1 = H_2$.

Ἐὰν τὸ ἀέριον ἐκτονούμενον προκαλέσῃ καὶ ἐπιτάχυνσιν τῶν μορίων του κατὰ τὴν ἐκροήν, τότε ἔχομεν καὶ πρόσθετον ἐνέργειαν ἀνάλογον πρὸς τὴν διαφοράν:

$$\frac{mu_2^2}{2} - \frac{mu_1^2}{2}$$

καὶ ἀντιστοίχως «μείωσιν» τῆς ἐνθαλπίας του, $H_1 \neq H_2$.

2) Ἐὰν πάλιν προσδώσωμεν ἡμεῖς θερμότητα Q καὶ εἰς τὴν θέσιν ἔστω τῆς βαλβῖδος τοῦ προηγουμένου παραδείγματος εἴχομεν διάταξιν μὲ πτερύγια καὶ αὐτὰ στρεφόμενα μᾶς ἔδιδαν εἰς τὸν ἄξονά των ὠφέλιμον ἔργον A κινητῆρος, τότε ἡ θερμότης θὰ ἠδύνατο νὰ καταναλωθῇ διὰ τρεῖς μορφὰς ἐνεργείας.

α) Παραγωγὴν τοῦ ὠφελίμου ἔργου $A_{ωφ}$

β) Αὔξησιν τῆς ἐσωτερικῆς ἐνεργείας ΔU καὶ

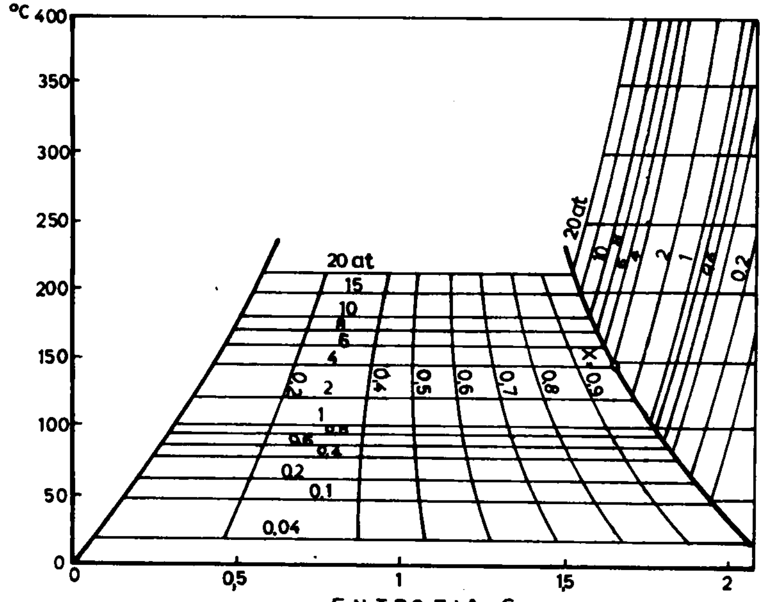
γ) ἔργον τῆς διαστολῆς (ἐκτονώσεως) ἀπὸ P_1V_1 εἰς P_2V_2.

Ἄρα: $Q = A_{ωφ} + (U_2 - U_1) + (P_2V_2 - P_1V_1)$

$$A_{ωφ} = Q - (H_2 - H_1)$$

προσδοθεῖσα αὔξησις τῆς ἐνθαλπίας.

Ἢ ἄλλως, ἡ εἰς τὸ ἀέριον προσφερομένη θερμότης χρησιμεύει: α) εἰς τὴν αὔξησιν τῆς ἐνθαλπίας του καὶ β) εἰς τὴν παραγωγὴν ὠφελίμου τεχνικῶς ἔργου.



Σχ. 16 · 6 ε.

Ἐκ τῶν ἐκτεθέντων καταφαίνεται ἡ μεγίστη σημασία διὰ τὸν Τεχνικὸν Μηχανολόγον γνῶσις καὶ χρησιμοποίησις τῶν ἐνθαλπικῶν καὶ ἐντροπικῶν διαγραμμάτων τῶν ἀερίων καὶ ἀτμῶν συναρτήσει τῶν θερμοκρασιῶν καὶ πιέσεων [διάγραμμα T.S. διάγραμμα H.S. (σχ. 16 · 6 ε)].

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 17

ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ - ΚΥΜΑΤΑ - ΗΧΟΣ

17 · 1 Περιοδικὰ φαινόμενα.

Πάρα πολλὰ φυσικὰ καὶ φυσιολογικὰ φαινόμενα ἀλλὰ καὶ λειτουργίαι μηχανῶν ἐπαναλαμβάνονται καθ' ὅμοιον τελείως τρόπον ἀνὰ ὡρισμένα χρονικὰ διαστήματα, ποὺ ὀνομάζονται *περίοδοι* T αὐτῶν καὶ ὡς ἐκ τούτου καλοῦνται *περιοδικά*. Χαρακτηριστικὰ παραδείγματα περιοδικῶν φαινομένων εἶναι αἱ λειτουργίαι τῆς καρδίας (σφυγμὸς) καὶ τῆς ἀναπνοῆς. Συνήθως ἡ πρώτη ἔχει περίοδον εἰς φυσιολογικὴν κατάστασιν ἐνηλίκου ἀνθρώπου $T_1 = 0{,}8$ sec, ἡ δὲ δευτέρα $T_2 = 3{,}3$ sec. Ἀπὸ τὰς τιμὰς αὐτάς, ὅταν διαιρέσωμεν τὸ πρῶτον λεπτὸν διὰ τῆς περιόδου, θὰ προκύψουν σφυγμοὶ καρδίας περὶ τοὺς 75 ἀνὰ min καὶ ἀναπνοαὶ 18 ἀνὰ min *. Ἑπομένως, διαιροῦντες τὴν μονάδα τοῦ χρόνου (εἰς τὴν Ἰατρικὴν τὸ πρῶτον λεπτὸν) διὰ τῆς περιόδου λαμβάνομεν ἕνα μέγεθος ν, ποὺ μᾶς ὁρίζει πόσας φορὰς τὸ περιοδικὸν φαινόμενον ἐπαναλαμβάνεται εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου, καλεῖται δὲ *συχνότης* τοῦ φαινομένου. Ὅθεν:

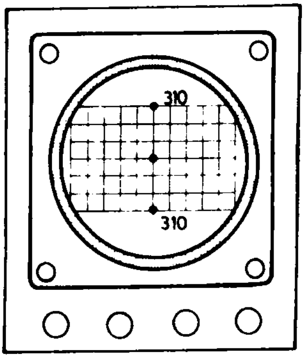
$$\boxed{\nu = \frac{1}{T}}$$

καὶ ὅταν ληφθῇ ὡς χρόνος τὸ sec, τότε ἡ συχνότης ἐκφράζεται εἴτε εἰς Χὲρτς (Hertz) εἴτε εἰς κύκλους ἀνὰ sec (cycles per seconde), χωρὶς βεβαίως νὰ ἀναζητῶμεν κάποιον κύκλον. Ἁπλῶς τοῦτο μᾶς ἐνθυμίζει ὅτι ἡ ἰσοταχὴς κίνησις ἐπὶ κυκλικῆς τροχιᾶς εἶναι τυπικὸν περιοδικὸν φαινόμενον (παράγρ. 2 · 4) καὶ ὁσάκις κάτι διέρχεται πάλιν ἐκ τῆς ἀρχικῆς θέσεώς του, ὅπως τὸ ἔμβολον μιᾶς ἀτμομη-

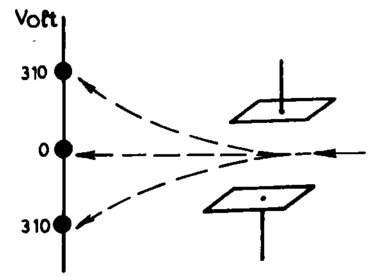
* Ἡ συχνότης τοῦ σφυγμοῦ καὶ τῆς ἀναπνοῆς τοῦ ἀνθρώπου μεταβάλλεται ἀναλόγως τῆς ἡλικίας του καὶ τῆς καταστάσεως τῆς ὑγείας του, κοπώσεως ἢ ἐντόνων συναισθημάτων (χαρά, θυμός, λύπη κ.λπ.). Κανονικῶς ὁ μὲν σφυγμὸς κυμαίνεται ἀπὸ 70 ἕως 80, αἱ δὲ ἀναπνοαὶ ἀπὸ 16 ἕως 20 ἀνὰ min. Μετρήσατε τὰς ἰδικάς σας συχνότητας καὶ ὑπολογίσατε τὰς περιόδους T_1 καὶ T_2 εἰς sec, ὅταν ἠρεμῆτε καὶ ἀφοῦ τρέξετε 100 m, ὅσον δύνασθε ταχύτερον.

χανῆς, λέγομεν ὅτι ἔκλεισε τὸν *κύκλον* του καὶ τὸν ἀρχίζει ἐκ νέου.

Ἀναλόγως, τὸ Ἐθνικὸν ἠλεκτροφόρον δίκτυον τῆς Ἑλλάδος διαρρέεται ἀπὸ ἠλεκτρικὸν ρεῦμα «ἐναλλασσόμενον» πού, ἂν περάση διὰ καταλλήλου ἠλεκτρονικοῦ ὀργάνου μετρήσεως τάσεως (παλμογράφου), μετακινεῖ τὴν φωτεινὴν κηλῖδα του ἀπὸ τὸ μηδὲν ἕως τὰ + 310 V, ἔπειτα ἐπιστρέφει πρὸς τὸ μηδέν, προχωρεῖ, πηγαίνει ἕως τὰ −310 καὶ ἐπιστρέφει εἰς τὸ μηδέν, κλεῖον οὕτω τὸν «κύκλον» του, διὰ νὰ συνεχίση πάλιν τὴν κίνησίν του πρὸς τὰ + 310 κ.ο.κ. (σχ. 17 · 1 α καὶ β).



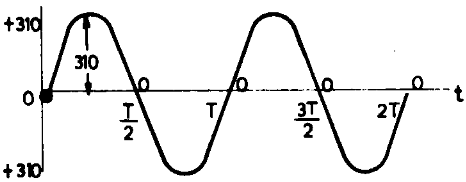
Σχ. 17 · 1 α.
Ὀθόνη παλμογράφου.



Σχ. 17 · 1 β.
Ρεῦμα ἠλεκτρονίων εἰς παλμογράφον.

Κάθε πλῆρες κυκλικὸν φαινόμενον διαρκεῖ 0,02 sec, δηλαδὴ 2 ἑκατοστὰ τοῦ sec ἢ $T = \frac{1}{50}$ sec· ἄρα ἡ συχνότης του εἶναι $\nu = 50$ Hertz ἢ ἄλλως 50 cycles/sec. Συνεπῶς 50 φορὰς κάθε sec γίνεται ἡ παλινδρομικὴ κίνησις, πρᾶγμα ποὺ σημαίνει ὅτι 100 φορὰς διέρχεται ὁ δείκτης ἀπὸ τὴν θέσιν ἰσορροπίας του (τὸ μηδὲν τῆς κλίμακος, τὴν ἀρχὴν τῆς κινήσεώς του). Ἡμεῖς φυσικῶς λόγω τῆς νευρικῆς ἀδρανείας τῶν ὀφθαλμῶν μας (μεταίσθημα) *δὲν* δυνάμεθα νὰ παρακολουθήσωμεν τὴν κίνησιν καὶ βλέπομεν μονίμως μίαν εὐθεῖαν γραμμὴν ἀπὸ τὸ + 310 ἕως τὸ −310 V. Ἐὰν ὅμως θελήσωμεν νὰ τὴν φωτογραφήσωμεν δι' εἰδικῆς μηχανῆς μὲ φίλμ, ποὺ κινεῖται ταχέως, διακρίνομεν ἀντὶ τῆς γραμμῆς μίαν χαρακτηριστικὴν καμπύλην, ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 17 · 1 γ.

Ὁ χρόνος, ποὺ περνᾶ κατὰ τὴν συνεχῆ φωτογράφησιν, θὰ μετρηθῆ μὲ τὸ μῆκος τοῦ φίλμ, τὸ ὁποῖον ἐν τῷ μεταξὺ ἐκινήθη ταχέως καὶ εἶναι προφανὲς ὅτι ἡ ἀπόστασις ἐπάνω εἰς φὶλμ ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν θέσιν, δηλαδὴ τὸ μηδέν, μέχρι τῆς νέας ἐπανόδου εἰς τὸ μηδὲν ἰσοῦται χρονικῶς μὲ μίαν περίοδον, δηλαδὴ $T = 1/50$ sec *.



Σχ. 17 · 1 γ.

Τώρα, ἀντὶ νὰ ὁμιλῶμεν μὲ βάσιν τὴν περίοδον τῆς ταλαντώσεως καὶ τὰ κλάσματα αὐτῆς, π.χ. 0, T/2, T/3, T/4 κ.λπ., μεταφράζομεν αὐτὰ εἰς μοίρας (γενικώτερον εἰς γωνίαν) ἐξισώνοντες $T = 360°$, ὁπότε χρησιμοποιοῦμεν ἕνα πολὺ σπουδαῖον διὰ τὴν μαθηματικὴν διατύπωσιν τῶν ταλαντώσεων μέγεθος, ποὺ ὀνομάζεται *φάσις* (ὄψις, ἐμφάνισις) τοῦ περιοδικοῦ φαινομένου. Ἑπομένως ἡ ἀρχὴ ἔχει φάσιν μηδέν, μετὰ χρόνον T/4, δηλαδὴ ὅταν εὑρίσκεται ὁ δείκτης εἰς τὴν ἀκρότατην θετικὴν τιμήν, ἡ φάσις εἶναι 90°, εἰς χρόνον T/2, ἤτοι ὅταν διέρχεται ἀπὸ τὸ μηδὲν ἐπιστρέφων πρὸς τὴν ἀρνητικὴν τιμήν, εἶναι εἰς φάσιν 180°, ἔπειτα εἰς χρόνον 3 T/4, ὁπότε θὰ φθάσῃ εἰς τὴν ἀρνητικὴν ἀκροτάτην τιμήν, ἡ ἀντίστοιχος φάσις εἶναι 270° καὶ τέλος θὰ γίνῃ ἡ φάσις 360°, ὅταν διέρχεται ἐκ νέου ἀπὸ τὸ μηδὲν μὲ φορὰν πρὸς τὰς θετικὰς τιμὰς καὶ κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον συμπληρώνεται ὁ *κύκλος* τοῦ φαινομένου (σχ. 17 · 1 γ).

Κατ' ἀνάλογον τρόπον, ἂν ἕνα κινητὸν Κ τρέχῃ ἰσοταχῶς ἐπὶ τοῦ κύκλου, ἡ σκιά του Κ' ἐπάνω εἰς ἕνα τοῖχον (ὅταν τὸ Κ φωτισθῇ μὲ παράλληλον φῶς) δὲν θὰ διανύῃ ἴσα διαστήματα εἰς ἴσους χρόνους, ἀλλὰ θὰ ἐκτελῇ παλινδρομικὴν κίνησιν ἐπὶ τῆς διαμέτρου τοῦ κύκλου, ἡ ὁποία καλεῖται *ἁπλῆ ἁρμονικὴ κίνησις*.

Συνεπῶς ἔχομεν τὴν ἀκόλουθον ἀντιστοιχίαν κλασμάτων τῆς περιόδου πρὸς τὰς γωνίας ἑνὸς ὑποθετικοῦ κινητοῦ Κ διανύοντος ἕνα κύκλον εἰς χρόνον T.

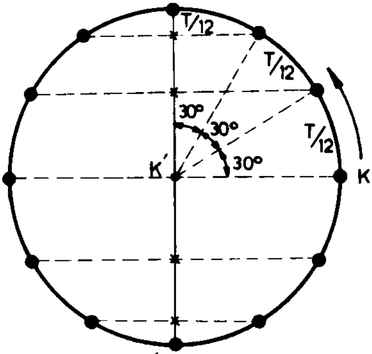
Ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 17 · 1 δ κάθε T/12 ἰσοδυναμεῖ πρὸς φάσιν 30°. Ἀλλὰ ἐνῶ τὸ Κ κινεῖται ἰσοταχῶς, ἡ προβολή του Κ' ἐκ-

---

* Προσοχή : Δὲν πρέπει νὰ γίνεται σύγχυσις τῆς περιόδου μὲ τὸ sec ἢ τὸ min. Ἐπίσης αὐτὸ ποὺ ὀνομάζομεν 220 V εἶναι περίπου τὰ 70 % τῶν 310 V καὶ δηλοῖ ὅτι, ἂν καὶ τὸ ἐναλλασσόμενον ρεῦμα μεταβάλλεται ἀπὸ + 310 ἕως − 310, ἰσοδυναμεῖ θερμικῶς (π.χ. εἰς «μάτι» ἠλεκτρικῆς κουζίνας) πρὸς συνεχὲς 220 V.

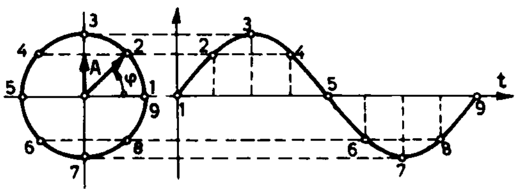
τελεῖ ταλάντωσιν διανύουσαν ἄνισα διαστήματα εἰς ἴσα κλάσματα

Περίοδος	Φάσις
0	0°
T/4	90°
T/3	120°
T/2	180°
2 T/3	240°
3 T/4	270°
T	360°
2 T	2×360°
κ.ο.κ.	



Σχ. 17 · 1 δ.

τῆς περιόδου T. Τὰ αὐτὰ παρατηροῦνται καὶ κατὰ τὴν προβολὴν ἑνὸς στρεφομένου διανύσματος A (σχ. 17 · 1 ε).



Σχ. 17 · 1 ε.

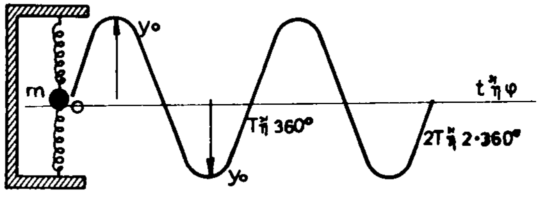
Οἱ ἀριθμοὶ ἀντιστοιχοῦν εἰς πάροδον χρονικῶν διαστημάτων T/8 ἢ $\varphi = 45°$.

17 · 2 Εὐθύγραμμοι ταλαντώσεις. Καταγραφὴ αὐτῶν.

Θὰ μελετήσωμεν τώρα ἕνα βασικὸν περιοδικὸν φαινόμενον καὶ ἰδιαιτέρως τὴν περίπτωσιν τῆς ἐπὶ εὐθείας «ἁπλῆς ἁρμονικῆς» ταλαντώσεως. Ἔστω ὅτι ἔχομεν εἰς ἕνα πλαίσιον ἕνα σφαιρίδιον στερεωμένον μεταξὺ δύο ἐλατηρίων, ὅπως εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 α.

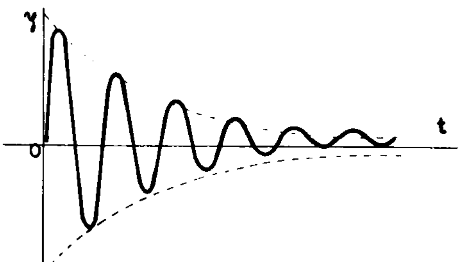
Τὸ σφαιρίδιον ἀκινητεῖ λόγῳ ἰσορροπίας δυνάμεων τῶν ἐλατηρίων (θεωροῦμεν τὴν βαρύτητα ἀμελητέαν) ἄρα, ἂν ἐπὶ τοῦ σφαιριδίου ὑπῆρχε κατὰ τὴν ὁριζοντίαν διεύθυνσιν ἕνα λεπτὸν μολυβάκι, τότε αὐτό, εὑρισκόμενον ἐν ἀκινησίᾳ, θὰ ἔγραφεν εἰς ταινίαν χάρτου, ποὺ θὰ διήρχετο ἐμπρός του, μίαν εὐθεῖαν ὁριζοντίαν γραμμήν· δηλαδὴ κατὰ τὴν πάροδον τοῦ χρόνου t θὰ κατέγραφε τὴν σταθερὰν θέσιν του (εὐθεῖα Ot ἢ Oφ ἢ ἀκόμη ἄξων συντεταγμένων Oχ).

Θέτομεν τώρα εἰς ταλάντωσιν τὸ σφαιρίδιον ἀπομακρύνοντες αὐτὸ πρὸς τὰ ἄνω καὶ ἀφίνοντές το ἐλεύθερον. Τὸ σφαιρίδιον (μάζης m) θὰ ἀρχίσῃ νὰ ταλαντεύεται (δονεῖται, πάλλεται) μεταξὺ δύο ἄκρων



Σχ. 17 · 2 α.

θέσεων $+\ y_0$, καὶ $-\ y_0$, ἐφ' ὅσον δὲ δεχθῶμεν ὅτι δὲν ὑπάρχει οἱαδήποτε ἀπώλεια (πρᾶγμα ἀδύνατον, βάσει τῶν θερμοδυναμικῶν ἀξιωμάτων), τότε ἡ κινητικὴ ἐνέργειά του θὰ μετατρέπεται εἰς δυναμικὴν ἐνέργειαν ἐλαστικῆς παραμορφώσεως τοῦ ἐλατηρίου καὶ αὐτὴ πάλιν εἰς κινητικήν, ὁπότε συμφώνως πρὸς τὴν ἀρχὴν διατηρήσεως τῆς ἐνεργείας, ἡ ταλάντωσις οὐδέποτε θὰ ἔπαυεν, ἐνῶ εἰς τὴν πραγματικότητα ἡ ταλάντωσις θὰ εἶναι «φθίνουσα», ἤτοι θὰ ἐλαττοῦται ὁλονὲν ἡ ἀπομάκρυνσις τοῦ σφαιριδίου ἀπὸ τὴν θέσιν τῆς ἰσορροπίας. Ἡ ἀντίστοιχος καμπύλη, ποὺ θὰ γραφῇ ἀπὸ τὸ μολυβάκι εἰς τὴν ταινίαν τοῦ χάρτου ἢ ἔστω εἰς τὴν κινηματογραφικὴν ταινίαν, ἂν καταλλήλως φωτογραφηθῇ, θὰ εἶναι ἡ εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 β εἰκονιζομένη: δηλαδὴ δὲν θὰ διατηρηθῇ σταθερὰ ἡ μεγίστη ἀπομάκρυνσις y_0 ἀπὸ τὴν θέσιν ἰσορροπίας.

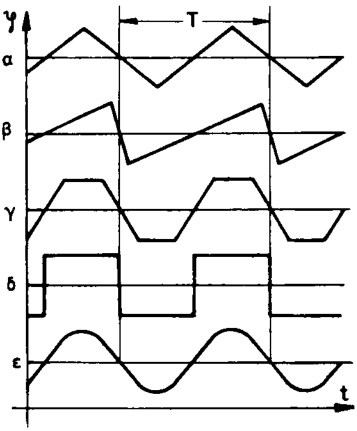


Σχ. 17 · 2 β.

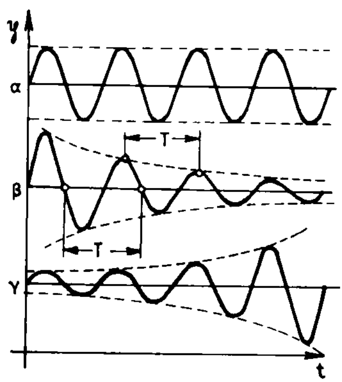
Μαθηματικῶς ἀποδεικνύεται ὅτι διὰ νὰ γίνῃ μία ἁπλῆ ἁρμονικὴ ταλάντωσις πρέπει νὰ ὑπάρχουν δυνάμεις ἐπαναφορᾶς τοῦ ὑλικοῦ σημείου, ποὺ νὰ αὐξάνουν ἀναλόγως πρὸς τὴν ἀπομάκρυνσίν του ἀπὸ τὴν θέσιν ἰσορροπίας. Πράγματι καὶ πειραματικῶς βεβαιοῦται ὅτι δυνάμεις ἀπὸ ἐλατήρια ἢ κάμψεις ἐλασμάτων κ.λπ. (ξυραφάκι ποὺ τὸ ἕνα ἄκρον του ἐστερεώθη) προκαλοῦν ταλαντώσεις ἁπλᾶς, ἐφ' ὅσον ἰσχύει ὁ Νόμος τοῦ Χοὺκ (παράγρ. 6 · 2), ὅταν δηλαδὴ αἱ δυνάμεις εἶναι ἀνάλογοι τῶν παραμορφώσεων.

Εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 γ φαίνονται καταγεγραμμέναι διάφοροι μορφαὶ ταλαντώσεων τῆς αὐτῆς περιόδου Τ, ἐκ τῶν ὁποίων ἡ κατωτέρα εἶναι ἡ ἁπλῆ ἁρμονικὴ προερχομένη ἀπὸ δυνάμεις Χοὺκ πρᾶγμα, τὸ ὁποῖον ὑπετέθη κατὰ τὴν περιγραφὴν τῆς ταλαντώσεως τοῦ σχήματος 17 · 2 α. Ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὴν μεγίστην ἀπομάκρυνσιν τοῦ ταλαντευομένου ὑλικοῦ σημείου, δηλαδὴ τὸ y_0 τοῦ σχήματος 17 · 2 α, ὀνομάζομεν αὐτὴν *πλάτος* τῆς ταλαντώσεως. Βάσει τοῦ πλάτους διακρίνομεν τὰς ἑξῆς τρεῖς κατηγορίας (σχ. 17 · 2 δ):

α) Τὴν ἀμείωτον ἢ συντηρουμένην ταλάντωσιν, ὅταν τὸ πλάτος y_0 μὲ προσφορὰν ἐνεργείας διατηρῆται σταθερόν, π.χ. τὸ πλάτος ἑνὸς ἐκκρεμοῦς ὡρολογίου.



Σχ. 17 · 2 γ.

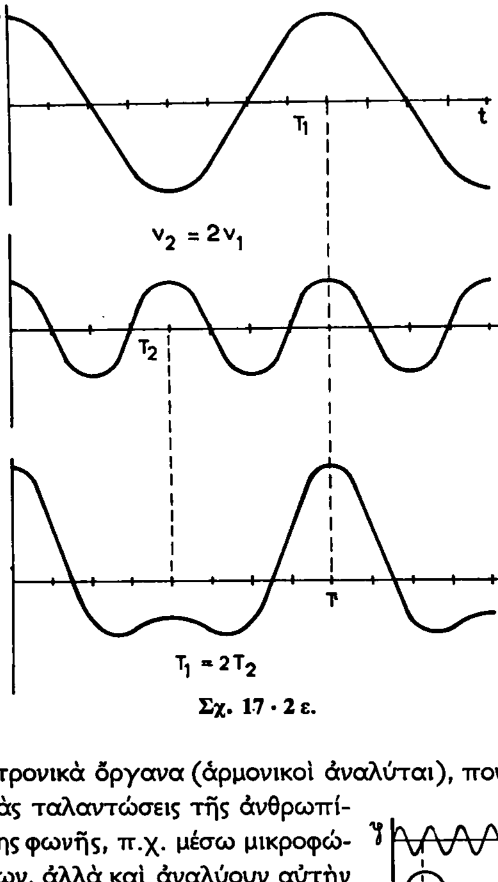


Σχ. 17 · 2 δ.

β) Τὴν φθίνουσαν ἢ ἀποσβεννυομένην ταλάντωσιν, ὅταν τὸ πλάτος μειοῦται σὺν τῷ χρόνῳ, π.χ. τὸ πλάτος ἑνὸς ἐκκρεμοῦς ὡρολογίου, ὅταν φθάνῃ εἰς τὸ τέρμα τοῦ χορδίσματός του, ὁπότε καὶ ἐργάζεται τὸ ὡρολόγιον μὲ καθυστέρησιν (πηγαίνει ὀπίσω) ἢ τὴν ταλάντωσιν ἑνὸς ἠχοῦντος διαπασῶν.

γ) Τὴν αὔξουσαν ταλάντωσιν, ὅταν τὸ πλάτος σιγὰ - σιγὰ αὐξάνῃ διὰ νὰ φθάσῃ τελικῶς εἰς τὴν κατάστασιν τῆς ἀμειώτου (ἐκκίνησις ταλαντευομένων σωμάτων ἀπὸ τὴν ἰσορροπίαν των).

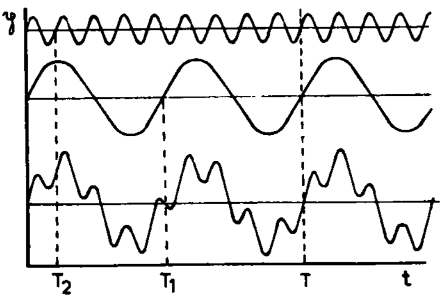
Ἐκτὸς ὅμως τῶν περιπτώσεων αὐτῶν ἔχομεν καὶ πλῆθος ταλαντώσεων, τῶν ὁποίων ἡ καταγραφὴ δίδει καμπύλας *συνθέτους*,



Σχ. 17 · 2 ε.

συνισταμένας ἀπὸ πολλὰς ἁπλᾶς ἁρμονικὰς ταλαντώσεις. Οὕτως, εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 ε φαίνεται σαφῶς ὅτι ἡ τρίτη καμπύλη προέρχεται ἀπὸ ἄθροισιν τῶν ἀπομακρύνσεων τῶν δύο προηγουμένων, τῶν ὁποίων αἱ συχνότητες εἶναι ἡ μία διπλασία τῆς ἄλλης. Ἀκόμη εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 στ φαίνεται μία σύνθετος ταλάντωσις μὲ συνιστώσας δύο ἁπλᾶς ταλαντώσεις ($T_1 = 4,5\,T_2$ ἢ συχνότητος $\nu_2 = 4,5\,\nu_1$) ὄχι ἁπλῆς ἀναλογίας.

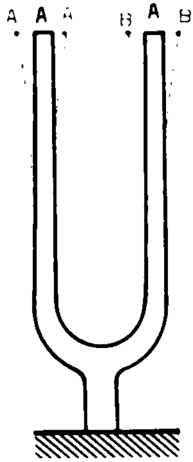
Σήμερον ὑπάρχουν εἰς τὴν διάθεσιν τῶν τεχνικῶν πολλὰ ἠλεκτρονικὰ ὄργανα (ἁρμονικοὶ ἀναλύται), ποὺ ὄχι μόνον καταγράφουν τὰς ταλαντώσεις τῆς ἀνθρωπίνης φωνῆς, π.χ. μέσω μικροφώνων, ἀλλὰ καὶ ἀναλύουν αὐτὴν εἰς τὰς ἁπλᾶς ἁρμονικάς, ἐκ τῶν ὁποίων συνίσταται. Ἀκριβῶς αὐτὴ ἡ μορφὴ τῆς συνθέτου ταλαντώσεως εἶναι τὸ ὑποκειμενικὸν αἴσθημα τῆς *χροιᾶς*, ποὺ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διαχωρίζωμεν τὴν φωνὴν ἑνὸς γνωστοῦ μας ἀπὸ τὴν τοῦ ἄλλου.



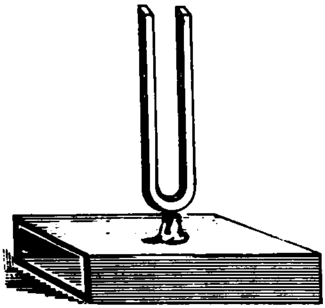
Σχ. 17 · 2 στ.

Ἀκόμη δύνανται αὐτοὶ οἱ ἀναλύται νὰ μᾶς προσδιορίσουν τὸν *βα-*

θμὸν παραμορφώσεως ἑνὸς ἠλεκτροφώνου, ὥστε νὰ ἀντιληφθῶμεν καλύτερον καὶ νὰ μετρήσωμεν τὴν παραμόρφωσιν, ποὺ προκαλεῖ ὁ ἐνισχυτής του, ὅταν δὲν εἶναι *ὑψηλῆς πιστότητος* (High Fidelity).

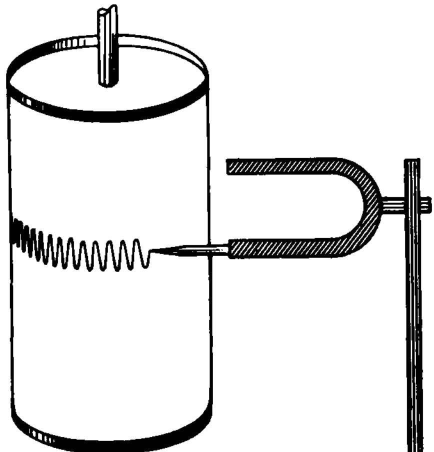


Γενικῶς, ὅταν διαθέτωμεν ἀριθμὸν ταλαντώσεων μὲ συχνότητας ν, 2ν, 3ν...., ἡ σειρά των ὀνομάζεται *ἁρμονικὴ σειρά*, ἡ δὲ πρώτη συχνότης καλεῖται *θεμελιώδης*. Π.χ. ἐκλέγομεν ἕνδεκα διαπασῶν μουσικῆς (σχ. 17 · 2ζ) παράγοντα ἤχους μὲ ἀριθμὸν παλμῶν ἀνὰ sec, $\nu = 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000$ καὶ 1600 Hertz. Λέγομεν ὅτι ὅλοι οἱ ἦχοι εἶναι ἁρμονικοὶ πρὸς τὸν πρῶτον, ποὺ ὀνομάζεται ὁ θεμελιώδης τῆς σειρᾶς. Ὁ διπλασίας συχνότητος καλεῖται δεύτερος ἁρμονικὸς (πρῶτος ἁρμονικὸς *δὲν* ὑπάρχει), τριπλασίαν συχνότητα ἔχει ὁ τρίτος ἁρμονικὸς κ.ο.κ. Ἐὰν δύο ἢ περισσότεροι ἁρμονικοὶ ἔχουν συχνότητα ἀνὰ δύο μὲ λόγον 1:2, τότε ἀποτελοῦν διαστήματα «ὀγδόης» (Octave).



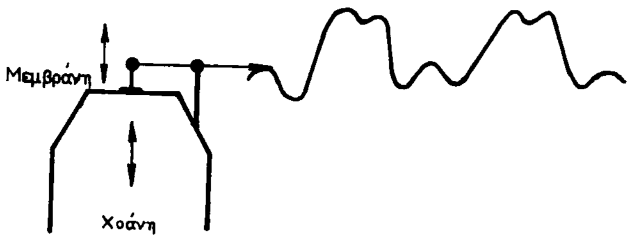
Σχ. 17 · 2ζ.

Οὕτως, ἐὰν θεωρηθῇ ἡ ταλάντωσις $\nu = 200$ Hertz ὡς θεμελιώδης, τότε αἱ ἁρμονικαὶ αὐτῆς θὰ εἶναι 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 κ.ο.κ. Διαφέρει ὅθεν



Σχ. 17 · 2η.
Τὸ ἰσοταχῶς στρεφόμενον τύμπανον ἔχει καλυφθῆ μὲ εὐαίσθητον εἰς τὴν πίεσιν χάρτην.

ἀπὸ τὸν θεμελιώδη κατὰ μίαν ὀκτάβα ὁ 400, κατὰ δύο ὀκτάβας ὁ 800, κατὰ τρεῖς ὁ 1600 κ.ο.κ. Ἐπίσης διαφέρουν κατὰ μίαν ὀγδόην αἱ συχνότητες 600 καὶ 1200 ἢ αἱ 800 καὶ 1600.



Σχ. 17 · 2 θ.
Ἐγγραφὴ εἰς κινούμενον χάρτην τοῦ φθόγγου «ου», ὅταν τὸν φωνάζωμεν πρὸ χοάνης φερούσης μεμβράνην μὲ σύστημα μοχλοῦ καὶ ἀκίδος. Εἰς τὴν νεοελληνικὴν ὁμιλίαν τὸ «ου» *δὲν* εἶναι δίφθογγος ἀλλὰ ἁπλοῦς φθόγγος - φωνῆεν πολὺ ἁπλουστέρας μορφῆς ταλαντώσεως ἀπὸ τὰ λοιπὰ φωνήεντα.

Ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα 17 · 2 ε ἡ σύνθετος ταλάντωσις προέρχεται ἀπὸ τὴν θεμελιώδη, εἰς τὴν ὁποίαν προσετέθη ἡ δευτέρα ἁρμονικὴ ἔχουσα τὸ ἥμισυ πλάτος. Ἐπαναλαμβάνομεν ὅτι σύνθετοι ταλαντώσεις παρουσιάζονται συχνότατα, ἐνῷ σπανίως θὰ εὕρεθῶμεν πρὸ παλλομένων σωμάτων, τῶν ὁποίων οἱ παλμοί, ὅταν καταγραφοῦν, δίδουν *ἁπλῆν ἁρμονικὴν** ταλάντωσιν, ὅπως π.χ. γράφεται ἀπὸ ἕνα διαπασῶν μὲ ἀκίδα ἐπάνω εἰς εἰδικὸν χάρτην, ποὺ εἶναι εὐαίσθητος εἰς τὴν πίεσιν καὶ μαυρίζει (σχ. 17 · 2 η).

Εἰς τὸ σχῆμα 17 · 2 θ παρίσταται ἐγγραφὴ τοῦ φθόγγου «ου».

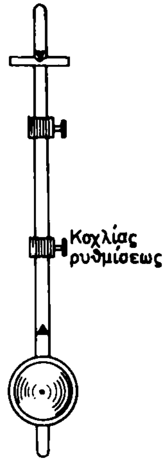
17 · 3 Τὸ ἐκκρεμές.

Πολὺ γνωστὸν εἰς τὸν ἄνθρωπον περιοδικὸν φαινόμενον χρησιμώτατον διὰ τὴν μέτρησιν ἴσων χρονικῶν διαστημάτων καὶ ἰδιαιτέρως μὲ κατάλληλον ρύθμισιν τοῦ χρονικοῦ διαστήματος, ποὺ ὀνομάζεται δευτερόλεπτον, εἶναι ἡ ταλάντωσις τοῦ ἐκκρεμοῦς.

Καλοῦμεν *φυσικὸν ἐκκρεμὲς* ἕνα σῶμα, ποὺ δύναται νὰ ταλαντεύεται περὶ ἄξονα μὴ διερχόμενον ἀπὸ τὸ κέντρον βάρους του, διότι τότε δὲν εἶναι δυνατὴ οἱαδήποτε ταλάντωσις, λόγω ἀδιαφόρου ἰσορ-

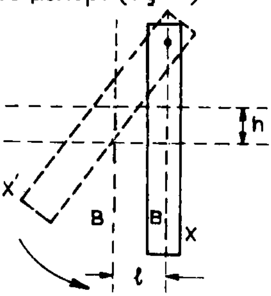
* Ἡ ὀνομασία ἁρμονικὴ σχετίζεται μὲ ταλαντώσεις χορδῶν καὶ παραγωγὴν φθόγγων, τῶν ὁποίων ἡ μελέτη ἄρχεται ἀπὸ τοῦ Πυθαγόρου (500 π.Χ.).

ροπίας. Ἐὰν δεχθῶμεν ἀντὶ σώματος ὑλικὸν σημεῖον ἐξαρτώμενον ἀπὸ λεπτὸν νῆμα θεωρούμενον ἀβαρὲς καὶ μήκους σταθεροῦ, τότε ἔχομεν τὸ θεωρητικῶς μόνον ἐνδιαφέρον *μαθηματικὸν ἐκκρεμές*.



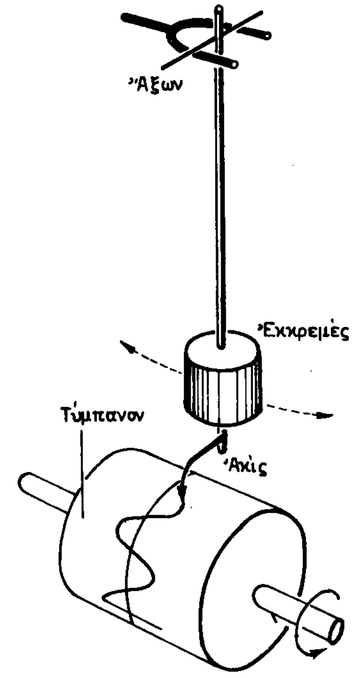
Σχ. 17 · 3 α.

Ὁ συνηθέστερος τύπος *φυσικοῦ ἐκκρεμοῦς* ἀποτελεῖται ἐκ μιᾶς ράβδου μεταλλικῆς ἐξαρτωμένης ἀπὸ διαμπερῆ ἄξονα τριγωνικόν. Ἡ ράβδος φέρει φακοειδὲς σῶμα στερεωμένον εἰς τὸ κάτω ἄκρον της ἀλλὰ κατὰ τρόπον, ὥστε νὰ δύναται νὰ μετακινῆται ὀλίγον πρὸς τὰ ἄνω ἢ κάτω. Τὸ ἐκκρεμές, ὅταν μετακινηθῇ ἀπὸ τὴν κατακόρυφον θέσιν του, τείνει νὰ ἐπανέλθη εἰς αὐτήν, διότι δημιουργεῖται ροπὴ ἐπαναφορᾶς ὡς πρὸς τὸν ἄξονα περιστροφῆς του (σχ. 17 · 3 α). Ἐὰν π.χ. εἰς πλατὺν χάρακα περάσωμεν τὸ μολύβι μας μέσα ἀπὸ τὴν ὀπήν του, καὶ τὸ κρατήσωμεν (ὡς ἄξονα) ὁριζόντιον, ὁ χάραξ θὰ ἰσορροπήσῃ, ὅπως φαίνεται εἰς τὴν θέσιν X, καὶ τὸ βάρος του B θὰ εὑρίσκεται ἐπὶ τῆς κατακορύφου, ποὺ διέρχεται ἀπὸ τὸ μολύβι (ἄξων). Ὅταν ὅμως μετακινήσωμεν τὸν χάρακα πρὸς τὰ ἀριστερὰ εἰς τὴν θέσιν X′, τότε τὸ βάρος B μετατοπίζεται παραλλήλως καὶ δημιουργεῖται ροπή, διότι ἀπέχει ἀπὸ τὸν ἄξονα ἀπόστασιν *l*. Ἡ ροπὴ αὐτή : $M = B \cdot l$, θέλει νὰ ἐπαναφέρῃ τὸ σῶμα εἰς τὴν ἀρχικὴν θέσιν του, καὶ πράγματι, ὅταν τὸ ἀφήσωμεν ἐλεύθερον, κινεῖται κατὰ τὴν φορὰν τοῦ βέλους. Ἐξ ἄλλου μὲ τὴν μετατόπισιν τοῦ σώματος εἰς τὴν θέσιν X′ παρήχθη ἔργον, ἀπεταμιεύθη δυναμικὴ ἐνέργεια, διότι τὸ κέντρον βάρους ἀνυψώθη κατὰ τὸ ὕψος h, ἤτοι ἐνέργεια $A = B \cdot h$ (σχ. 17 · 3 β).



Σχ. 17 · 3 β.

Κατὰ τὰ γνωστὰ (παράγρ. 4 · 3), ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια θὰ μεταβάλλεται κατὰ τὴν κάθοδον τοῦ ἐκκρεμοῦς βαθμιαίως εἰς κινητικὴν ἐνέργειαν $\left(\frac{1}{2}\,\theta\omega^2\right)$ καὶ αὐτὴ πάλιν θὰ μετατρέπεται εἰς δυναμικήν, ὅταν τὸ σῶμα, λόγω ἀδρανείας, ὑπερβῇ τὴν θέσιν ἰσορροπίας καὶ ἀνέρχεται πρὸς τὴν συμμετρικὴν θέσιν τοῦ X′ πρὸς τὰ δεξιά. Ἡ ταλάντωσις αὐτὴ ἔπρεπε νὰ διετηρεῖτο ἀενάως, ἀλλὰ μᾶς τὸ ἀπαγορεύουν τὰ θερμοδυναμικὰ ἀξιώματα. Συνεπῶς ἡ ταλάντωσις θὰ εἶναι φθίνουσα, ἀλλὰ διὰ μικρὰν γωνίαν (πλάτος) ταλαντώσεως τοῦ ἐκκρεμοῦς καὶ βαρὺν φακὸν διατηρεῖται ἐπ' ἀρκετὸν χρόνον σχεδὸν ἀμείωτος.



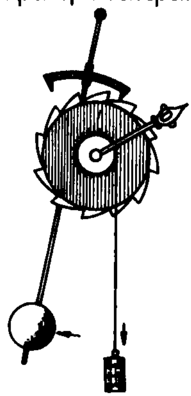
Σχ. 17 · 3 γ.

Ἐὰν μάλιστα ἐφοδιασθῇ τὸ ἐκκρεμὲς μὲ γραφίδα ἢ ὁ φακός του πληρωθῇ διὰ ψιλῆς ἄμμου, ποὺ δύναται νὰ διέλθῃ διὰ μέσου λεπτοῦ σωλῆνος, τότε ἐπάνω εἰς λωρίδα ἰσοταχῶς κινουμένου χάρτου καταγράφεται ἡ καμπύλη τῆς ἁπλῆς ἁρμονικῆς ταλαντώσεως τουλάχιστον δι' ὀλίγας ταλαντώσεις, προτοῦ ἀρχίσῃ νὰ φθίνῃ (σχ. 17 · 3 γ).

Ὁ χρόνος αἰωρήσεως τοῦ ἐκκρεμοῦς δι' ὡρισμένον μικρὸν πλάτος ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ βάρος αὐτοῦ καὶ τὴν ροπὴν ἀδρανείας ὡς πρὸς τὸν ἄξονα ἐξαρτήσεώς του. Μεγαλυτέρα ροπὴ ἀδρανείας τὸ καθυστερεῖ, ἐνῷ μεγαλυτέρα τιμὴ τοῦ g τῆς Γῆς τὸ ἐπιταχύνει. Ἄρα, μετακινοῦντες τὸν φακὸν (τὸ βαρίδι του) πρὸς τὰ κάτω αὐξάνομεν τὴν ροπὴν ἀδρανείας καὶ ἂν τὸ ἐκκρεμὲς ρυθμίζῃ τὴν κίνησιν ἑνὸς ὡρολογίου, αὐτὸ «πηγαίνει» πίσω. Τὸ ἀντίθετον θὰ συμβῇ (τὸ ὡρολόγιον θὰ πηγαίνῃ ἐμπρός), ὅταν ὑψωθῇ ὁ φακὸς τοῦ ἐκκρεμοῦς του. Ἐπίσης τὸ ἐκκρεμὲς θὰ πηγαίνῃ ἐμπρός, ὅταν ἀπὸ τὸν Ἰσημερινὸν (Κογκὸ) μεταφερθῇ εἰς τοὺς Πόλους (π.χ. Σπιτσβέργην), διότι αὐξάνει τὸ βάρος του καὶ ἡ ροπὴ ἐπαναφορᾶς γίνεται μεγαλυτέρα.

Εἰς τὰ ὡρολόγια ἐπειδὴ ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς, ἤτοι ὁ διπλάσιος χρόνος αἰωρήσεώς του (δηλ. νὰ διέλθῃ δύο φορὰς ἀπὸ τὴν θέσιν ἰσορροπίας), δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ εἶναι σταθερὰ λόγῳ ἀπωλειῶν ἐνεργείας, ὑπάρχει μηχανισμὸς ὠθήσεως (ὀδοντωτὸς τροχὸς καὶ ἄγκυρα) λειτουργῶν εἴτε διὰ χορδίσματος ἐλατηρίου ἢ δι' ἐξηρτημένων βαρῶν ἀπὸ ἄλυσιν, ποὺ προκαλεῖ ὤθησιν τόσην, ὥστε τὸ ἐκκρεμὲς νὰ μὴ χάνῃ εἰς πλάτος αἰωρήσεως, ἄρα νὰ κρατῇ σταθερὰν τὴν περίοδόν του (σχ. 17 · 3 δ).

Εἰς τὰ καλὰ ὡρολόγια τὸ ἐκκρεμὲς πρέπει νὰ εἶναι προφυλαγμένον ἀπὸ κόνιν καὶ ρεύματα ἀέρος, νὰ κινῆται δὲ πάντοτε μὲ μηχανισμὸν ἐξηρτημένων βαρῶν καὶ ὄχι μὲ ἐλατήριον, ὥστε νὰ διατηρῆται σταθερὰ ἡ τάσις εἰς τὴν ἄγκυραν· χορδίζονται μὲ τὴν μετατόπισιν τῶν βαρῶν πρὸς τὰ ἄνω. Χαρακτηριστικὰ αὐτοῦ τοῦ εἴδους εὐθηνὰ ὡρολόγια εἶναι οἱ «κοῦκοι». Τὰ ἀκριβὰ ἐκκρεμῆ τῶν ὡρολογίων τῶν Ἀστεροσκοπείων εἶναι κατεσκευασμένα ἀπὸ εἰδικὰ μέταλλα (Invar), αἰωροῦνται ἐπάνω εἰς εἰδικὰς κόψεις (στηρίγματα), ὁ μηχανισμὸς κινήσεως τῶν δεικτῶν τοῦ ὡρολογίου, τῆς ρυθμίσεως αὐτοῦ κ.λπ. εἶναι εἰδικῆς κατασκευῆς, χορδίζονται μὲ χρῆσιν ἠλεκτρικοῦ ρεύματος, εἶναι κλεισμένα εἰς κιβώτια ὑάλινα ἀεροστεγῆ, κενὰ ἀέρος καὶ οὕτως ἐργαζόμενα φθάνουν εἰς ἀκρίβειαν 1 πρὸς δέκα ἑκατομμύρια (Λάθος 1 sec κάθε 10^7 sec· περίπου 1 sec κάθε ἔτος).



Σχ. 17 · 3 δ.

Σήμερον ἡ ἀκρίβεια αὐτὴ ἔχει γίνει ἀκόμη μεγαλυτέρα μὲ τὴν χρησιμοποίησιν τῶν ταλαντώσεων ἀτόμων ἐντὸς τῶν μορίων τῆς ἀμμωνίας ἢ καὶ ἁλμάτων ἠλεκτρονίων εἰς τὸ ἄτομον τοῦ καισίου, ἑνὸς στοιχείου τῆς οἰκογενείας τῶν ἀλκαλίων (νάτριον, κάλιον, καίσιον, ρουβίδιον). Μὲ τὰς ταλαντώσεις αὐτάς, ποὺ εἶναι ἡ «καρδία» ἠλεκτρονικῶν ὡρολογίων, ἐμετρήθησαν πολλαὶ ἀνωμαλίαι τῆς κινήσεως τῆς Γῆς καὶ τῶν πλανητῶν, ποὺ ἄλλοτε ἦτο δύσκολον νὰ ἐξακριβωθοῦν.

Τέλος, μὲ τὸ ἐκκρεμὲς δύναται νὰ προσδιορισθῇ ὄχι μόνον ἡ τιμὴ τοῦ g εἰς ἕνα σημεῖον τῆς Γῆς ἀλλὰ καὶ ὑπὸ τοῦ Φουκὼ (1852) διεπιστώθη ἡ στροφὴ τῆς Γῆς περὶ τὸν ἄξονά της. Ὁ Φουκὼ ἐκρέμασεν ἀπὸ τὸν θόλον τοῦ Πανθέου εἰς Παρισίους (ὕψος 67 m) μὲ λεπτὸν σύρμα μίαν σφαῖραν (μαθηματικὸν κατὰ προσέγγισιν ἐκκρεμές), ποὺ εἶχεν εἰς τὸ κάτω ἄκρον της μίαν ἀκίδα, ὥστε κατὰ τὴν αἰώρησίν της νὰ χαράσσῃ μίαν λεπτὴν γραμμὴν εἰς στρῶμα ἄμμου ἐπὶ τοῦ δαπέδου τοῦ Πανθέου. Ἐπειδὴ δὲν ὑπάρχει κανεὶς λόγος νὰ ἀλλάξῃ τὸ ἐπίπεδον αἰωρήσεως τοῦ ἐκκρεμοῦς καὶ ἐπειδὴ παρετήρησεν ὅτι ἡ άκὶς ἐχάρασσε νέαν γραμμὴν εἰς κάθε αἰώρησιν τοῦ ἐκκρεμοῦς συνεπέρανεν ὅτι τὸ δάπεδον ἐστρέφετο καὶ ὄχι τὸ ἐκκρεμές.

17 · 4 Συντονισμός.

Ἕνα σῶμα ποὺ δύναται, γενικῶς, καθ' οἱονδήποτε τρόπον νὰ πάλλεται, ὅπως π.χ. ἕνα ἐκκρεμές, μία αἰώρα (κούνια), ἕνα διαπασῶν ἢ ἀκόμη μία σιδηρᾶ γέφυρα ἢ τέλος ἕνα ἠλεκτρικὸν κατάλληλον κύκλωμα κ.λπ., τὸ θέτομεν εἰς ταλάντωσιν διὰ προσφορᾶς ἐνεργείας, ποὺ συνήθως γίνεται κατὰ δύο τρόπους, ἤτοι : α) μὲ ἤρεμον ἢ βιαίαν ὤθησιν ἢ κροῦσιν (μετακίνησις τοῦ ἐκκρεμοῦς ἢ τοῦ σφαιριδίου τοῦ ἐξηρτημένου ἀπὸ ἐλατήριον, ἢ κτύπημα μὲ μαλακὸν σφυρὶ εἰς τὸ διαπασῶν ἢ κροῦσις μιᾶς χορδῆς κιθάρας ἢ σπινθὴρ ἠλεκτρικὸς κ.ο.κ.) καὶ β) μὲ ἐπενέργειαν ἄλλου παλλομένου σώματος, *ποὺ νὰ ἔχῃ τὴν ἰδίαν συχνότητα*, μὲ ἐκείνην ποὺ χαρακτηρίζει τὴν ταλάντωσιν τοῦ σώματος, τοῦ ὁποίου τὴν διέγερσιν ἐπιζητοῦμεν. Ἡ περίπτωσις αὐτὴ εἶναι ἐξαιρετικῶς ἐνδιαφέρουσα καὶ ἀποτελεῖ τὴν διέγερσιν εἰς ταλάντωσιν διὰ *συντονισμοῦ τοῦ διεγέρτου πρὸς τὸ σῶμα, ποὺ πρόκειται νὰ διεγερθῇ.*

Ἔστω π.χ. δύο διαπασῶν συχνότητος 440 Hz (διαπασῶν τόνου la τῆς μουσικῆς κλίμακος), κρούομεν τὸ ἕνα σφυρὶ ἐκ πλαστικοῦ ἢ σκληροῦ ἐλαστικοῦ καὶ ἀρχίζει νὰ ἠχῇ. Μόλις τὸ πλησιάσωμεν εἰς τὸ ἄλλο, παρατηροῦμεν ὅτι καὶ τὸ δεύτερον ἀσθενῶς διεγείρεται καὶ ἠχεῖ, ἐνῶ ἂν ἦτο ἄλλης συχνότητος, π.χ. 500 Hz θὰ ἔμενεν ἀπολύτως ἀδρανές.

Ἔχομεν ἕνα πιάνο εἰς τὸ ἰσόγειον τῆς οἰκίας καὶ ἕνα ἄλλο ὅμοιον εἰς τὸν πρῶτον ὄροφον τῆς αὐτῆς οἰκίας. Ὅταν κάποιος παίζῃ εἰς τὸ ἕνα, ἀκούεται ἀσθενῶς ἡ μελωδία νὰ παράγεται καὶ ἀπὸ τὸ δεύτερον.

Ἢ ἀκόμη, διέρχεται ἕνα φορτηγὸν αὐτοκίνητον ἔμπροσθεν τῆς οἰκίας μας καὶ ἐλάχιστα τρίζουν οἱ ὑαλοπίνακες, ἐνῶ μὲ ἔκπληξιν παρατηροῦμεν ὅτι, ὅταν διέρχεται ἕνα μικρὸν αὐτοκίνητον, παρουσιάζεται ἔντονος ταλάντωσις· τῶν ὑαλοπινάκων.

Ἐπίσης εἰς ἕνα ραδιόφωνον μετακινοῦμεν τὸν δείκτην καὶ εἰς ὡρισμένην θέσιν ἀκούομεν τὸν σταθμόν, ποὺ θέλομεν, καὶ μάλιστα γράφεται εἰς τὸν πίνακα τοῦ ραδιοφώνου καὶ ἡ συχνότης τοῦ σταθμοῦ, π.χ. Ἐθνικὸν πρόγραμμα 728 kc/sec (χιλιόκυκλοι ἀνὰ δευτερόλεπτον = χιλιάδες παλμοὶ εἰς τὸ sec = kiloHertz). Ὅλα αὐτὰ σημαίνουν ὅτι ἔχομεν σώματα, ὅπως τὸ διαπασῶν, τὰς χορδὰς τοῦ πιάνου, τοὺς ὑαλοπίνακας εἰς τὰ παράθυρα, ἢ εἰδικὰ ἠλεκτρικὰ κυκλώματα εἰς τὸ ραδιόφωνον, ποὺ χαρακτηρίζονται ἀπὸ τὴν ἱκανότητα νὰ ἐκτελοῦν ταλαντώσεις, ὅταν μεταβάλωμεν τὴν κατάστασιν ἰσορροπίας των προσφέροντες ἐνέργειαν.

Βεβαίως δυνάμεθα πολλὰ σώματα νὰ τὰ διεγείρωμεν διὰ κρούσεως, μὲ βίαιον τρόπον, π.χ. ἕνα διαπασῶν κτυπῶντες αὐτὸ μὲ σιδηροῦν σφυρὶ ἢ τὸ ραδιόφωνον μὲ σπινθῆρας, ποὺ δημιουργοῦν οἱ ἠλεκτρικοὶ διακόπται *, ὁπότε ἀκούονται κρότοι εἰς τὸ μεγάφωνον εἰς κάθε στροφήν των. Ἀλλὰ πολὺ καλυτέρα εἶναι ἡ διέγερσις μὲ συντονισμόν, δηλαδὴ μὲ ἐξωτερικὴν αἰτίαν, ἡ ὁποία πρέπει νὰ ἔχῃ τὴν ἰδίαν συχνότητα ταλαντώσεως μὲ τὸ σῶμα, ποὺ πρόκειται νὰ διεγερθῇ. Ἑπομένως, διεγείρεται μὲν τὸ διαπασῶν μὲ κτύπημα, ἀλλά, ὅταν συντονίζεται μὲ ἄλλο διαπασῶν τῆς αὐτῆς συχνότητος, ἠχεῖ πολὺ ὁμαλώτερον. Ἐπίσης ἡ μετακίνησις τοῦ δείκτου τοῦ ραδιοφώνου τὸ συντονίζει μὲ τὴν ἠλεκτρικὴν ταλάντωσιν τοῦ σταθμοῦ, ποὺ ἐπελέξαμεν, καὶ τότε ἀκούομεν πολὺ εὐκρινῶς τὸ πρόγραμμά του.

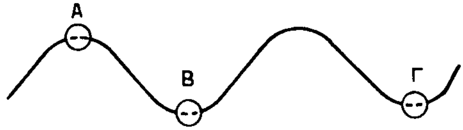
Ὅμως, δὲν πρέπει νὰ θεωρήσωμεν ὅτι τὸ φαινόμενον τοῦ συντονισμοῦ πάντοτε μᾶς ἐξυπηρετεῖ, διότι ναὶ μὲν πρέπει νὰ τὸ ἐπιδιώκωμεν κάθε φοράν, ποὺ πρόκειται νὰ προκαλέσωμεν μίαν ταλάντωσιν, ἀλλὰ ἀντιθέτως εἶναι τελείως καταστρεπτικόν, ὅταν δὲν θέλωμεν νὰ ταλαντωθῇ τὸ σῶμα. Οὕτως, ἔχομεν αὐτοκίνητον λεωφορεῖον καὶ παρατηροῦμεν ὅτι εἰς ὡρισμένην ταχύτητα, εἰς ὡρισμένον ρυθμὸν παλινδρομικῆς κινήσεως τῶν ἐμβόλων τῆς μηχανῆς, τρίζουν οἱ ἁρμοί, οἱ ὑαλοπίνακες κ.λπ. εἰς μέγα βαθμὸν λόγω συντονισμοῦ τοῦ ἁμαξώματος μὲ τὸν ρυθμὸν τῆς μηχανῆς. Ἐὰν αὐτὸ συνεχισθῇ, τότε ὑπάρχει κίνδυνος νὰ ἐξαρθρωθῇ τὸ ἁμάξωμα ἀπὸ τὰ ἐλατήριά του, νὰ σπάσουν αἱ σοῦσται ἀπὸ τὴν ἔντασιν τοῦ παλμοῦ. Πρέπει λοιπὸν νὰ ἀποφύγωμεν τὸν ρυθμὸν αὐτόν, τὴν συχνότητα τοῦ συντονισμοῦ, εἴτε αὐξάνοντες εἴτε ἐλαττώνοντες τὴν ταχύτητα τοῦ αὐτοκινήτου. Τὸ ἴδιον δύναται νὰ συμβῇ μὲ τὴν μηχανὴν πλοίου ἢ εἰς πτέρυγα ἀεροπλάνου ἢ εἰς σιδηρᾶν γέφυραν, ἐπὶ τῆς ὁποίας δι-

* Μὲ κακοκαιρίαν οἱ κεραυνοὶ καὶ αἱ ἀστραπαὶ προκαλοῦν παράσιτα εἰς τὸ ραδιόφωνον.

ἔρχεται τραῖνον κ.λπ. Αὐτὸς ἑπομένως εἶναι ὁ λόγος, διὰ τὸν ὁποῖον τὸ τραῖνον κινεῖται ἐπὶ γεφύρας ὄχι μὲ κανονικὴν ταχύτητα ἀλλὰ μὲ ἀτάκτους, ὄχι κανονικάς, κινήσεις διὰ νὰ ἀποφύγῃ ἐνδεχόμενον συντονισμόν. Διὰ τοῦτο ἐπίσης δὲν ἐπιτρέπεται εἰς στρατιώτας νὰ διέρχωνται σιδηρᾶν γέφυραν μὲ ρυθμικὸν βηματισμόν, διότι εἶναι δυνατόν, ἕνεκα τυχὸν συντονισμοῦ, νὰ ὑποστῇ ταλάντωσιν εἰς τὰ στηρίγματά της καὶ νὰ καταστραφῇ. Ἀναφέρονται περιπτώσεις ὄχι μόνον γεφυρῶν ἀλλὰ καὶ κατασκευῶν πολλαπλῆς στηρίξεως, ποὺ κατέπεσαν λόγῳ συντονισμοῦ πρὸς ἐξωτερικὴν ταλάντωσιν. Ἐπίσης τὰ διάφορα μουσικὰ ὄργανα δὲν πρέπει νὰ παρουσιάζουν καλὸν (ὀξὺ) συντονισμόν, διότι τότε ἕνα βιολὶ θὰ «τραντάζεται» ὁλόκληρον, ὅταν ὁ μουσικὸς παίζῃ μίαν νόταν, διὰ τὴν ὁποίαν ἡ ταλάντωσις τῆς χορδῆς συντονίζεται μὲ τὸ βιολί. Ἄρα, εἰς τὰ μουσικὰ ὄργανα, εἰς τὰ ραδιογραμμόφωνα ὅπως καὶ εἰς τὰ μεγάφωνα τῶν ραδιοφώνων κ.λπ. ἰδιαιτέρα προσοχὴ καταβάλλεται, ὥστε νὰ μὴ ὑπάρξῃ «ὀξὺς» συντονισμός, δηλαδὴ καλὸς συντονισμὸς διὰ μίαν συχνότητα, ἀλλά, ἐὰν εἶναι δυνατόν, πρᾶγμα δύσκολον, νὰ ὑπάρχῃ δι' ὅλας τὰς συχνότητας τῶν ἤχων ἡ *αὐτὴ συμπεριφορὰ* καὶ ὄχι προτιμήσεις ἐνισχύσεως (ραδιογραμμόφωνα καὶ ἠλεκτρόφωνα ὑψηλῆς πιστότητος, ἀρίστης μουσικῆς ἀποδόσεως χωρὶς ὀξεῖς συντονισμούς).

17·5 Κύματα.

Ἐκτὸς τῶν ταλαντώσεων ἑνὸς ὑλικοῦ σημείου π.χ. σφαιριδίου ἐξηρτημένου ἀπὸ ἐλατήριον ὑπάρχουν εἰς τὴν Φύσιν περιοδικὰ φαινόμενα, ποὺ ἀναφέρονται εἰς ἐκτεταμένον (ὑλικὸν) μέσον, ὅπως ὁ ἀήρ, μία χορδή, ἡ ἐπιφάνεια θαλάσσης κ.ο.κ. Εἰς αὐτὰς τὰς περιπτώσεις κάθε σημεῖον τοῦ μέσου ἐκτελεῖ ταλάντωσιν (π.χ. ἀνεβοκατεβαίνει), ἀλλὰ εἰς διαφορετικὴν φάσιν ἀπὸ τὸ παρακείμενόν του. Αὐτὸ τὸ παρατηροῦμεν μὲ δύο φελλοὺς (Α, Β), ποὺ ἀπέχουν ὀλίγον καὶ ἐπιπλέουν εἰς μίαν δεξαμενὴν ὕδατος. Ὅταν ταράξωμεν τὸ ὕδωρ (σχ. 17·5α), διαπιστώνομεν διάδοσιν τῆς διαταραχῆς, ποὺ προεκαλέσαμεν καὶ ταλάντωσιν τῶν φελλῶν εἰς τὸ σημεῖον, ὅπου εὑρίσκονται ἀλλὰ ὄχι «ἐν φάσει», ὄχι εἰς συγχρονισμένην κίνησιν. Εἶναι ὅμως πάντοτε δυνατὸν νὰ τοποθετηθοῦν οἱ δύο φελλοὶ εἰς ὡρισμένην ἀπόστασιν οὕτως, ὥστε νὰ ταλαντεύωνται ἐν φάσει, δηλαδὴ νὰ εὑρίσκωνται ταυτοχρόνως εἰς τὸ ὕψος ἢ τὸ βάθος (ὄρος ἢ κοιλάδα) τῆς περιοδικῆς διαταραχῆς, τὴν ὁποίαν προεκαλέσαμεν (φελλοί, Β. Γ). Ἡ περιοδικὴ αὐτὴ μεταβολὴ *ἑνὸς ἐλαστικοῦ ἐκτεταμένου μέσου* (χωρὶς ἐλαστικότητα ταλαντώσεις δὲν γίνονται), καὶ ὄχι ἑνὸς μόνον ὑλικοῦ σημείου, μεταβολή, ποὺ κινεῖται ἀπὸ σημείου εἰς σημεῖον μὲ ὡρισμένην ταχύτητα καὶ προκαλεῖ ταλαντώσεις τῶν σημείων τοῦ μέσου, ὀνομάζεται *τρέχον κῦμα*. Ἀντιστοίχως, ὅταν τὸ κῦμα δὲν φαίνεται νὰ προχωρῇ, ἀλλὰ τὸ μέσον κυματίζει ἐπὶ τόπου ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν σχοινίου δεμένου στερεῶς εἰς τὸν τοῖχον (σχ. 17·5 β), τότε πρόκειται περὶ *στασίμου κύματος*.



Σχ. 17·5 α.

Σχ. 17·5 β.

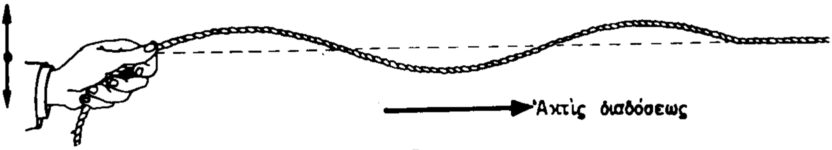
Εἰς κάθε κῦμα *δὲν* μετακινεῖται τὸ ὑλικὸν μέσον, ἀλλὰ ταλαντεύεταi ἐπὶ τόπου· αὐτὸ δὲ ποὺ μᾶς φαίνεται ὅτι τρέχει εἶναι ἡ *φάσις*, ἡ μορφὴ τῆς κυμάνσεως.

Εἰς τὰ παλαιὰ θέατρα διὰ νὰ δείξουν κυματίζουσαν θάλασσαν ἐστερέωνον καταλλήλως ἕνα χρωματιστὸν (κυανόχρουν) μέγα ὕφασμα καὶ ἔκρυπτον κάτωθεν αὐτοῦ δύο παιδία, τῶν ὁποίων αἱ κεφαλαὶ προεκάλουν ἕνα ὕψωμα (ὄρος τοῦ κύματος). Εἰς ὡρισμένην σκηνὴν τοῦ παιζομένου ἔργου, τὰ παιδία ἐκινοῦντο ταχέως πρὸς τὸ τέρμα τοῦ ὑφάσματος, ἐκεῖ ἔκυπτον, ἐξήρχοντο κρυφὰ ἐκ τοῦ ὑφάσματος, ἔτρεχον εἰς τὴν ἀρχὴν καὶ ἐπανελάμβανον τὸ αὐτό. Τοιουτοτρόπως εἰς τοὺς θεατάς, ποὺ δὲν ἔβλεπον τὰ παιδία παρὰ τὴν προχωροῦσαν κύμανσιν, ἐδημιουργεῖτο ἀρκούντως ἱκανοποιητικὴ ἡ ἐντύπωσις ἑνὸς προχωροῦντος κύματος.

17·6 Τρέχον κῦμα.

Τρέχον κῦμα δημιουργεῖται εἰς ἕνα ἐλαστικὸν μέσον κάθε φοράν, ποὺ θὰ προκαλέσωμεν μίαν διαταραχήν, μίαν παραμόρφωσιν εἰς τὴν κατάλληλον θέσιν· π.χ. ὅταν ρίψωμεν μίαν πέτραν εἰς τὸ κέντρον μιᾶς δεξαμενῆς πλήρους ὕδατος ἢ μετακινήσωμεν δύο - τρεῖς φορὰς ἄνω - κάτω τὸ ἄκρον ἑνὸς σχοινίου μεγάλου μήκους.

Εἰς αὐτὰς τὰς περιπτώσεις (σχ. 17 · 6 α), ἐπειδὴ ἡ ταλάντωσις ἑνὸς σημείου Α (φελλὸς εἰς τὸ ὕδωρ ἢ κόμβος εἰς τὸ σχοινίον) γίνεται καθέτως πρὸς τὴν διεύθυνσιν διαδόσεως τοῦ κυματισμοῦ, τὸ τρέχον



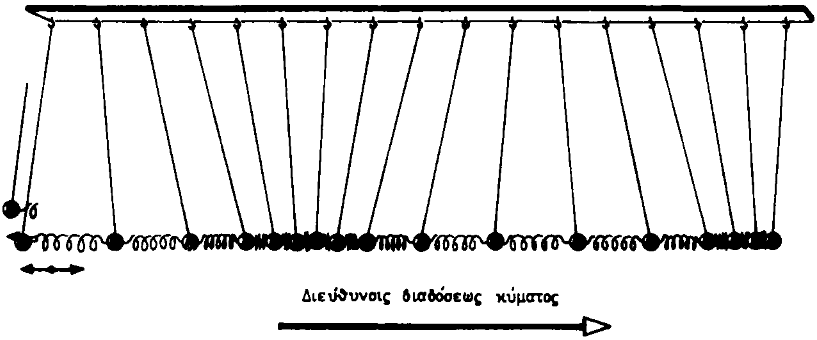
Σχ. 17 · 6 α.

κῦμα ὀνομάζεται *ἐγκάρσιον*, ὁπότε καὶ ὁρίζεται σαφῶς τὸ ἐπίπεδον, ἐκτὸς τοῦ ὁποίου γίνεται ἡ κύμανσις. Ὅταν τὸ κῦμα εἰς τὴν θάλασσαν δὲν εὑρίσκῃ τὴν ἰδίαν πάντοτε δυνατότητα παραμορφώσεως τῆς ἐπιφανείας, πρᾶγμα ποὺ συμβαίνει εἰς τὴν ἀκτήν, ὅπου ἀπὸ βαθέα μεταβαίνει εἰς ρηχὰ ὕδατα (τριβαί), τότε τὸ κῦμα χάνει τὴν κανονικὴν συμμετρικὴν μορφὴν καὶ ἀφρίζει. Τὸ αὐτὸ συμβαίνει, ὅταν ὑπάρχῃ βίαιος ἄνεμος, ποὺ τὸ ὠθεῖ καὶ τὸ παραμερίζει πλευρικῶς.

Ἐκτὸς τῆς μορφῆς αὐτῆς τοῦ κύματος, δηλαδὴ τοῦ ἐγκαρσίου τρέχοντος κύματος, τοῦ ὁποίου εἶναι ἀδύνατος ἡ διάδοσις εἰς ὑγρὸν ἢ ἀέριον, λόγῳ ἐλλείψεως ἐλαστικότητος, ἑλκυσμοῦ καὶ ὀλισθήσεως ὑπάρχει καὶ τὸ *παράλληλον* ἢ *διάμηκες* κῦμα, ποὺ πάντοτε παρουσιάζεται εἰς ὑγρὰ καὶ ἀέρια ὑλικά. Τὰ στερεὰ εἶναι δυνατὸν νὰ κυμανθοῦν καὶ μὲ ἐγκάρσιον τρόπον καὶ μὲ παράλληλον, αἱ δὲ ἐπιφάνειαι τῶν ὑγρῶν (π.χ. θαλάσσιον κῦμα χωρὶς ἄνεμον) μὲ περίπου ἐγκάρσιον τρόπον.

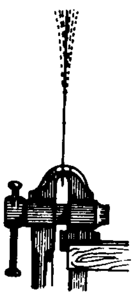
Εἰς τὸ διάμηκες κῦμα αἱ ταλαντώσεις τῶν μορίων γίνονται κατὰ μῆκος τῆς διευθύνσεως διαδόσεως (σχ. 17 · 6 β) καὶ ὄχι καθέτως πρὸς αὐτὴν καὶ ὡς ἐκ τούτου *δὲν* ὁρίζεται ἐπίπεδον κυμάνσεως.

Ἕνα παράδειγμα θὰ μᾶς δώσῃ σαφεστέραν τὴν εἰκόνα, ποὺ παρουσιάζεται: Ἂς φαντασθῶμεν πολλοὺς ἀκινήτους μαθητὰς εἰς τετράδας μὲ τὰς χεῖρας των ἐστηριγμένας ἐπὶ τῶν ὤμων τῶν ἔμπροσθέν των ἱσταμένων. Διατάσσομεν τώρα νὰ κάμῃ μόνον ἡ σειρὰ 1 ἕνα βῆμα ἐμπρός, ἕνα βῆμα ὀπίσω, κατὰ ρυθμικὸν τρόπον. Θὰ παρατηρήσωμεν τότε ὅτι ἡ ταλάντωσις αὐτή, λόγῳ τῶν συνδέσμων μὲ τὴν σειρὰν 2, θὰ προκαλέσῃ ρυθμικὴν κίνησιν καὶ τῆς δευτέρας σειρᾶς. Ἀλλὰ φυσικῶς καὶ ἡ σειρὰ 2 θὰ κινήσῃ τὴν σειρὰν 3 κ.ο.κ. Τελικῶς ὅλοι οἱ μαθηταὶ ἀναγκαστικῶς θὰ ταλαντεύωνται κατὰ μῆκος τῆς εὐθείας τῆς παρατάξεώς των μὲ ὁλονὲν μικρότερον πλάτος, ὅσον περισσότερον ἀπέχουν ἀπὸ τὴν σειρὰν Νο 1, ποὺ διετάχθη νὰ ταλαντωθῇ καὶ ὡς ἐκ τούτου θεωρεῖται *πηγὴ* τῆς κυμάνσεως.

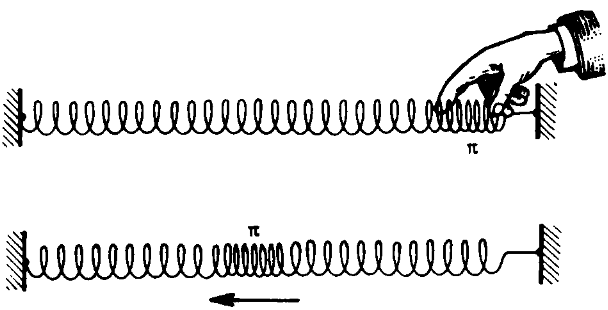


Σχ. 17 · 6 β.

Κῦμα αὐτοῦ τοῦ εἴδους παρουσιάζεται εἰς τὸν ἦχον, ὅπου π.χ. ἕνα λεπτὸν ἔλασμα στερεωμένον εἰς τὸ κάτω ἄκρον του προκαλεῖ παλλόμενον (σχ. 17 · 6 γ) παραλλήλους ταλαντώσεις τῶν μορίων τοῦ ἀέρος, ποὺ μεταδίδονται εἰς κῦμα ἠχητικὸν καὶ ἀκουστικὸν ὑπὸ τοῦ ἀνθρώπου, ἐφ' ὅσον ἡ συχνότης τῆς ταλαντώσεως εὑρίσκεται μεταξὺ ὡρισμένων ὁρίων (20 ἕως 20 000 Hz). Ἑπομένως, τρέχοντα κύματα, ποὺ μεταφέρουν ἐνέργειαν ἀπὸ τὴν πηγὴν πρὸς τὸ περιβάλλον αὐτὴν ἐλαστικὸν μέσον διαδόσεώς των, ἔχομεν δύο εἰδῶν:



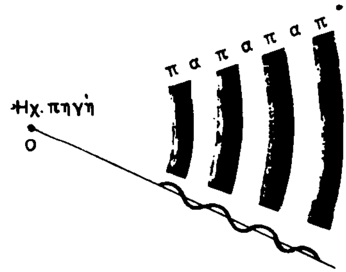
Σχ. 17 · 6 γ.



Σχ. 17 · 6 δ.

α) *Τὰ ἐγκάρσια κύματα:* Εἰς αὐτὰ τὰ παλλόμενα μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου κινοῦνται καθέτως πρὸς τὴν εὐθεῖαν διαδόσεως, καὶ κατὰ συνέπειαν σχηματίζεται, ὡς ἀνεφέραμεν, ἕνα ἐπίπεδον κυμάνσεως. Χαρακτηριστικὸν παράδειγμα τρέχοντος ἐγκαρσίου κύματος παρέχεται ἀπὸ τὴν κύμανσιν χορδῆς (μακρὸν σχοινίον τεταμένον), τῆς ὁποίας ταλαντεύομεν τὸ ἕνα ἄκρον (σχ. 17 · 6 α). Μεταβολαὶ πυκνότητος εἰς τὸ ὑλικὸν τῆς χορδῆς *δὲν* ὑπάρχει λόγος νὰ παρουσιασθοῦν.

β) *Τὰ διαμήκη ἢ παράλληλα κύματα:* Εἰς αὐτὰ τὰ παλλόμενα μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου κινοῦνται κατὰ μῆκος τῆς εὐθείας διαδόσεως, συνεπῶς *δὲν* σχηματίζεται ἐπίπεδον κυμάνσεως. Ἡ κύμανσις ὅμως αὐτὴ δημιουργεῖ κατὰ μῆκος τῆς εὐθείας διαδόσεως «πυκνώματα» καὶ «ἀραιώματα», διότι τὰ μόρια ἄλλοτε πυκνώνουν καὶ ἄλλοτε ἀραιώνουν ἀναλόγως τῆς θέσεως, ποὺ εὑρίσκονται κατὰ τὴν ταλάντωσίν του. Χαρακτηριστικὸν παράδειγμα ἀποτελοῦν τὰ ἠχητικὰ κύματα ἢ τὰ κύματα εἰς σπειροειδὲς ἐλατήριον μεγάλου μήκους (σχ. 17 · 6 δ). Ὥστε εἰς τὰ διαμήκη κύματα ἔχομεν διαταραχὰς τῆς πυκνότητος ρ ἀλλὰ ὄχι ἐπίπεδον κυμάνσεως. Γραφικῶς πάντως δὲν βλάπτει νὰ σχεδιάζωμεν καὶ αὐτὰ ὅπως τὰ ἐγκάρσια (σχ. 17 · 6 ε).

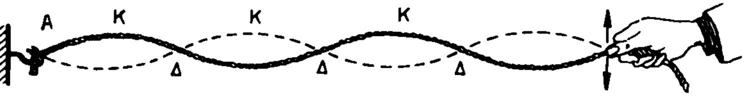


Σχ. 17 · 6 ε.
Ἀντιστοιχία πυκνωμάτων καὶ ἀραιωμάτων πρὸς ὄρη καὶ κοιλάδας. Πύκνωμα = αὔξησις πυκνότητος ὑπὲρ τὴν μέσην πυκνότητα ρ_0· ἀραίωμα = ἐλάττωσις πυκνότητος κάτω τῆς μέσης πυκνότητος ρ_0, τοῦ μὴ διαταρασσομένου ἐλαστικοῦ μέσου.

17 · 7 Στάσιμον κῦμα.

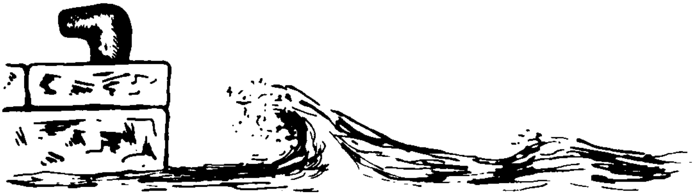
Εἰς τὸ στάσιμον κῦμα ἡ φάσις δὲν τρέχει, ἀλλὰ ἐμφανίζεται τοπικὴ περιοδικὴ ταλάντωσις διαφορετικοῦ πλάτους ἀπὸ σημείου εἰς σημεῖον. Τοῦτο προέρχεται ἀπὸ ἀλληλοπρόσθεσιν (συμβολήν, σύνθεσιν) ἑνὸς τρέχοντος κύματος καὶ τοῦ ἀνακλωμένου του, ποὺ ἐπιστρέφει καὶ συντίθεται μὲ τὸ ἀρχικῶς προσπῖπτον (σχ. 17 · 7 α).

Τὸ τελικὸν ἀποτέλεσμα τῶν δύο κυμάτων δίδεται ἀπὸ τὸ σχῆμα 17 · 7 α, ὅπου παρατηροῦμεν τὰ διάφορα μόρια νὰ ἐκτελοῦν ταλαντώσεις διαφορετικοῦ πλάτους. Μὲ ἄλλους λόγους εἰς τὸ στάσιμον κῦμα ὑπάρχουν ἀνὰ ὡρισμένην ἀπόστασιν, πού, ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὸ σχῆμα, εἶναι τὸ ἥμισυ μῆκος τρέχοντος κύματος, στάσιμα μόρια μὴ ταλαντευόμενα, ἐνῶ μεταξὺ αὐτῶν, τὰ ἄλλα μόρια ταλαντεύονται μὲ διαφορετικὸν πλάτος, πρᾶγμα ποὺ *ποτὲ* δὲν συμβαίνει εἰς τὸ τρέχον κῦμα. Ἐκεῖ ὅλα τὰ μόρια θὰ ταλαντεύωνται, ὅταν ἔλθη ἡ σειρά των, μὲ τὸ ἴδιον πλάτος. Χαρακτηριστικὸν παράδειγμα στασίμου κύματος μᾶς δίδει ἡ κύμανσις σχοινίου δεμένου εἰς τὸ ἕνα ἄκρον (σχ.



Σχ. 17 · 7 α.

Α = περιοχὴ ἀνακλάσεως ἤτοι πηγὴ τοῦ ἐπιστρέφοντος κύματος.



Σχ. 17 · 7 β.

17 · 7 α), ὁπότε σχηματίζονται τὰ γνωστὰ σχήματα τῆς ἀτράκτου (ἀδραχτιοῦ)· πρβλ. καὶ τὸ παιχνίδι *σχοινάκι*. Περιοχαί, ὅπου τὰ μόρια μονίμως ἀκινητοῦν ὀνομάζονται *δεσμοὶ* Δ, ἐνῶ περιοχαὶ μὲ ταλαντευόμενα μόρια καλοῦνται *κοιλίαι* Κ. Ἡ ἀπόστασις μεταξὺ δύο διαδοχικῶν δεσμῶν (ἢ κοιλιῶν) ἰσοῦται πρὸς ἕνα μῆκος στασίμου κύματος ἤτοι πρὸς τὸ ἥμισυ τοῦ μήκους τοῦ τρέχοντος κύματος.

Εἰς τὴν θάλασσαν, ποτὲ δὲν σχηματίζονται στάσιμα κύματα εἰς τὸ πέλαγος, ἀλλὰ οὔτε πλησίον τῆς «ἀμμουδιᾶς», παρὰ μόνον εἰς ἀποτόμους βράχους ἢ κυματοθραύστας λιμένων, δηλαδὴ ὅπου τὸ τρέχον κῦμα δύναται νὰ ἀνακλασθῆ εὐκόλως, χωρὶς νὰ ἐξασθενήση. Τότε σχηματίζεται ἔμπροσθεν τῆς προκυμαίας (σχ. 17 · 7 β) ἕνας ἔντονος τοπικὸς κυματισμός, ποὺ δὲν προχωρεῖ, οἱ δὲ ναυτικοὶ τὸν ὀνομάζουν *ἀντιμάμαλο*.

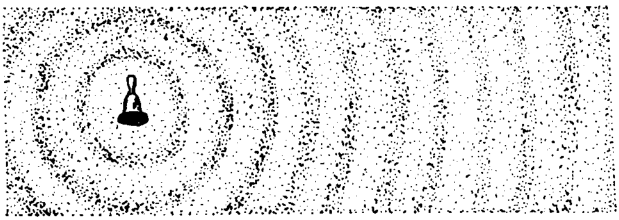
Βλέπομεν δηλαδὴ ἕνα ὕψωμα τῆς θαλάσσης, ποὺ ἐντὸς ὀλίγου κατέρχεται καὶ σχηματίζει κοιλάδα διὰ νὰ ὑψωθῆ πάλιν *ἐπὶ τόπου*. Ἐνῶ εἰς τὸ τρέχον κῦμα τὸ ὕψωμα φαίνεται νὰ μετατοπίζεται καὶ νὰ ἀφήνη ὀπίσω του τὴν κοιλάδα (*σημείωσις*: νὰ καταβληθῆ ἰδιαιτέρα προσοχὴ εἰς τὴν διάκρισιν τοῦ τρέχοντος ἐγκαρσίου, τοῦ τρέχοντος διαμήκους καὶ τοῦ στασίμου κύματος).

ΚΕΦΑΛΑΙΟΝ 18

ΦΥΣΙΚΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ. ΗΧΟΣ

18 · 1 Παραγωγὴ καὶ διάδοσις τοῦ ἤχου.

Ὁ ἦχος εἶναι κυματισμὸς παραλλήλου (διαμήκους) μορφῆς ἑνὸς ὑλικοῦ μέσου, ἱκανὸς νὰ προκαλέση διέγερσιν τοῦ αἰσθητηρίου τῆς ἀκοῆς ἑνὸς φυσιολογικοῦ ἀνθρώπου ἢ ἄλλου ζῶντος ὀργανισμοῦ. Τὰ ἠχητικὰ ἄρα κύματα δὲν χαρακτηρίζονται ἀπὸ ἐπίπεδον κυμάνσεως, ἀλλὰ ἐπειδὴ εἶναι διαμήκη κύματα, δημιουργοῦν *πυκνώματα* καὶ *ἀραιώματα* τοῦ ὑλικοῦ, ἐντὸς τοῦ ὁποίου διαδίδονται. Αὐταὶ αἱ διαταραχαὶ τῆς πυκνότητος (π.χ. τοῦ ἀέρος) εἶναι δυνατὸν νὰ φωτογραφηθοῦν μὲ πολὺ ταχεῖαν φωτογραφικὴν λῆψιν καὶ κατάλληλον φωτισμόν, ὁπότε καὶ φαίνονται ὡς ταινίαι σκοτειναὶ καὶ φωτειναὶ (σχ. 18 · 1 α).



Σχ. 18 · 1 α.
Στιγμιαία φωτογραφία ἠχητικῶν κυμάτων πέριξ ἠχοῦντος κώδωνος.

Εἰς τὴν εἰκόνα, ἐκεῖ ποὺ φαίνεται τώρα ἕνα πύκνωμα θὰ φωτογραφηθῆ μετ' ὀλίγον ἕνα ἀραίωμα, δηλαδὴ τὰ πυκνώματα π θὰ διασταλοῦν καὶ εἰς τὴν θέσιν των θὰ δημιουργηθοῦν ἀραιώματα κ.ο.κ. Ἑπομένως τὰ πυκνώματα θὰ φανοῦν ὅτι προχωροῦν πρὸς τὰ δεξιά, ἐνῶ πραγματικῶς τὰ μόρια τοῦ ἀερίου θὰ πάλλωνται δεξιά - ἀριστερὰ ἀκολουθοῦντα τὸν ρυθμὸν τοῦ κώδωνος.

Ὅταν πέριξ τοῦ κώδωνος ἀφαιρεθῆ ὁ ἀήρ, τότε φυσικῶς πυκνώματα καὶ ἀραιώματα δὲν δημιουργοῦνται, ἄρα *ἦχος εἰς τὸ κενὸν δὲν ὑφίσταται.* Ὁ ἦχος διαδίδεται καλύτερον εἰς τὰ ὑγρὰ καὶ ἀκόμη καλύτερον εἰς τὰ στερεά, ἀπορροφεῖται δὲ κατ' ἐξοχὴν ἀπὸ τὸ ἐλαστικόν, τὰ ἀφρώδη πλαστικά, τὰ χονδρὰ ὑφάσματα, τὰ ἄχυρα κ.λπ. Διὰ τοῦτο εἰς αἰθούσας μὲ βαρέα παραπετάσματα (κουρτίνας), βελούδινα καθίσματα καὶ πλῆθος ἀκροατῶν δὲν ἀκούεται εὐκόλως ἡ φωνὴ τοῦ ὁμιλοῦντος, ὅπως ἀντιθέτως συμβαίνει εἰς μίαν ἐκκλησίαν ἢ εἰς μίαν μεγάλην αἴθουσαν ἐπιστρωμένην μὲ μάρμαρα. Εἰς τὴν τελευταίαν ὅμως περίπτωσιν ὁ ἦχος συντηρεῖται πολὺ καὶ ἐπέρχεται σύγχυσις τῶν νέων συλλαβῶν ἢ καὶ λέξεων πρὸς τὰς προηγουμένας, ἡ *αἴθουσα μετηχεῖ*, ὁπότε μόνον βραδεῖα ὁμιλία ἢ βραδεῖα μουσικὴ εἶναι ἀνεκτή. Συνεπῶς, κάθε αἴθουσα, ὅπου θὰ ὑπάρξη ἠχητικὴ εἰδικὴ ἀπόδοσις, πρέπει καταλλήλως νὰ ὑπολογίζεται καὶ νὰ διορθώνεται ἠχητικῶς μὲ ὡρισμένας ἐπικαλύψεις τῶν τοίχων ἢ τῆς ὀροφῆς οὕτως, ὥστε νὰ δημιουργηθῆ ἡ ἀρίστη μετήχησις, ποὺ διευκολύνει τὸν ἀκροατὴν μὲ τὴν καθαρότητα τῶν συλλαβῶν καὶ δὲν τὸν κουράζει ἡ προσπάθειά του εἴτε νὰ διαχωρίση τὰς συλλαβὰς εἴτε νὰ τὰς ἀκούση, ὅταν μάλιστα ὁ ὁμιλητὴς δὲν ἔχη μεγάλην ἔντασιν εἰς τὴν φωνήν του. Εἰδικοὶ τεχνικοὶ εἶναι ἀπαραίτητοι σύμβουλοι εἰς τοὺς κατασκευαστὰς μηχανικοὺς εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν ἠχητικῶν θαλάμων τῶν ραδιοφωνικῶν ἐκπομπῶν ἢ τῶν μεγάλων αἰθουσῶν διαλέξεων, συναυλιῶν, θεάτρων ἢ μεγάλων αἰθουσῶν τραπεζῶν, ὅπου κυκλοφοροῦν πολλοὶ ἄνθρωποι, ἐργάζονται ὑπάλληλοι, μηχαναὶ κ.ο.κ.

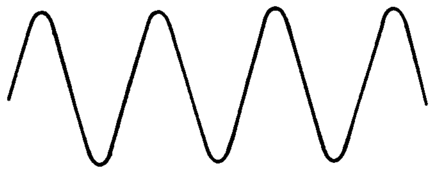
18 · 2 Εἴδη ἤχων.

Εἰς πλείστας περιπτώσεις ἕνας ἦχος δὲν ὁμοιάζει ἀκουστικῶς μὲ ἕνα ἄλλον, ὅπως π.χ. ἦχος ἀπὸ διαπασῶν μὲ σφύριγμα ἢ μὲ τὴν βοὴν τῶν ὑδάτων ἑνὸς καταρράκτου ἢ μὲ κτύπον εἰς τὴν τράπεζαν. Δυνάμεθα ὅμως νὰ καταγράψωμεν τοὺς ἤχους, ὁπότε μᾶς εἶναι εὔκολον νὰ διαπιστώσωμεν ἀντικειμενικῶς πλέον, ποῖα εἶναι τὰ χαρακτηριστικὰ ἐκεῖνα, ποὺ τοὺς διαφοροποιοῦν.

Συνήθως παράγομεν τοὺς ἤχους ἔμπροσθεν μιᾶς συσκευῆς, ποὺ καταλήγει εἰς εἰδικὴν λεπτὴν ἀκίδα, ἡ ὁποία γράφει ἐπὶ χάρτου κινουμένου μὲ ὡρισμένην ταχύτητα (καταγραφικὴ μέθοδος, μηχανικὴ ἢ ἠλεκτρική). Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον μελετῶντες τὰ διαγράμματα, ποὺ μᾶς δίδουν οἱ διάφοροι ἦχοι, εἶναι δυνατὸν νὰ τοὺς χωρίσωμεν εἰς τέσσαρα κύρια εἴδη :

α) *Τόνος*. Ὁ τόνος εἶναι καθαρός, ἁπλοῦς ἦχος, χωρὶς συμπαραγωγὴν ἄλλων ἀκουστικῶς ἀναλόγων του, ἤτοι τῶν *ἁρμονικῶν* αὐτοῦ. (Ὑπενθυμίζομεν ὅτι διὰ μίαν δοθεῖσαν συχνότητα ταλαντώσεων αἱ ἁρμονικαὶ αὐτῆς ἔχουν συχνότητα δύο, τρεῖς κ.λπ. φορὰς μεγαλυτέραν). Ἑπομένως, ὁ τόνος, ὅπως π.χ. ὁ ἦχος ἀπὸ ἕνα διαπασῶν, ἀντιστοιχεῖ πρὸς μίαν, καὶ μόνον μίαν, συχνότητα, δηλαδὴ δὲν συνοδεύεται ἀπὸ ἄλλους ἤχους, δὲν ἔχει οἱανδήποτε πρόσμιξιν, δὲν ἔχει *χροιάν*.

Λόγω αὐτῆς τῆς καθαρότητος δύο τόνοι τῆς αὐτῆς βεβαίως συχνότητος δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ διαχωρισθοῦν. Τὸ οὖς τοῦ ἀνθρώπου δὲν ἔχει οὐδὲν στοιχεῖον διὰ νὰ δυνηθῇ νὰ τοὺς διαχωρίσῃ, ἀρκεῖ τὸ πλάτος τῆς ταλαντώσεως νὰ εἶναι τὸ αὐτό, δηλαδὴ ὁ ἕνας νὰ μὴ εἶναι μικροτέρου πλάτους ἀπὸ τὸν ἄλλον, διότι τότε ἀκούεται ἀσθενέστερος (σχ. 18·2α), ὡς ἦχος μικροτέρας γενικῶς ἐνεργείας.



Σχ. 18 · 2 α.
Διαπασῶν διεθνὲς 440 παλμῶν ἀνὰ sec (καθαρῶς ἡμιτονοειδὴς καμπύλη).

β) *Φθόγγος*. Ὁ φθόγγος εἶναι πολὺ συνήθης σύνθετος ἦχος καὶ χαρακτηρίζεται ἀπὸ συχνότητα, ἡ ὁποία συνοδεύεται ὑπὸ τῶν ἁρμονικῶν συχνοτήτων της καὶ ἑπομένως ἔχει *χροιάν, ποιότητα*, ποὺ δίδει εἰς τὸ οὖς τὴν δυνατότητα νὰ διακρίνῃ ἕνα φθόγγον ἀπὸ ἕνα ἄλλον τῆς αὐτῆς συχνότητος π.χ. τὸ la τοῦ βιολιοῦ ἀπὸ τὸ la τοῦ κλαρίνου, ἢ τὴν ὁμιλίαν ἑνὸς γνωστοῦ μας ἀπὸ ἑνὸς ἄλλου, ὅταν τοὺς ἀκούωμεν, χωρὶς νὰ τοὺς βλέπωμεν (π.χ. ἀπὸ πλάκα γραμμοφώνου ἢ ἀπὸ μαγνητόφωνον). Ἐὰν ὁ φθόγγος καταγραφῇ, δίδει καμπύλην, ὅπως φαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 18·2β. Βλέπομεν ὅτι ἡ καταγραφομένη καμπύλη δὲν εἶναι *ἁπλῆ* ἁρμονική, ἀλλὰ σύνθετος, ἀποτελουμένη ἀπὸ μίαν βασικὴν (θεμελιώδη) μὲ προσθέτους ἁρμονικὰς διαφόρων πλατῶν.

γ) *Θόρυβος*. Ὁ θόρυβος εἶναι ἦχος μὲ πολὺ μεγάλην ποικιλίαν (τυχαίων) συχνοτήτων, ὅπου δὲν κυριαρχεῖ καμμία καὶ δι᾽ αὐτὸ τὸ οὖς τοῦ ἀνθρώπου συνήθως δὲν τὸν προσέχει, ἀλλὰ παρὰ ταῦτα μᾶς κουράζει (σχ. 18 · 2γ).

Σχ. 18 · 2β.
Διαγράμματα φθόγγων τῆς αὐτῆς συχνότητος καὶ πλάτους, ποὺ διαφέρουν κατὰ τὴν χροιάν.

Σχ. 18 · 2γ.

Ὁ θόρυβος εἶναι ἡ πληγὴ τῶν μεγάλων πόλεων, καταβάλλονται δὲ πολλαὶ προσπάθειαι μειώσεώς του. Ἀπαγορεύονται π.χ. αἱ σειρῆνες (κλάξον) καὶ αἱ ἐξατμίσεις τῶν αὐτοκινήτων χωρὶς σιωπητῆρας, ἡ ἐγκατάστασις βιομηχανιῶν, ποὺ σφυροκοποῦν ἢ λειοτριβοῦν ὑλικά. Ἀκόμη κατασκευάζονται διὰ τὰ γραφεῖα τῶν μελετητῶν εἰδικαὶ διπλαῖ θύραι ἐπεστρωμέναι δι' ἀφρώδους πλαστικοῦ, διπλοῖ ὑαλοπίνακες καὶ μαλακὰ δάπεδα διὰ τὰ ἀναγνωστήρια τῶν βιβλιοθηκῶν κ.ο.κ. Τέλος,

δ) *Κρότος:* Κρότος καλεῖται ἦχος βραχείας διαρκείας, χωρὶς χαρακτηριστικὴν συχνότητα, ὅπως ἕνα εἶδος ἐκρήξεως (σχ. 18 · 2δ).

Σχ. 18 · 2δ.

Παρὰ ταῦτα ἕνας κρότος συγκρινόμενος μὲ ἕνα ἄλλον δύναται νὰ μᾶς δώση ἕνα αἴσθημα, ποὺ νὰ μᾶς ἐπιτρέψη νὰ τὸν χαρακτηρίσωμεν ὡς *ὀξύτερον* ἀπὸ τὸν ἄλλον. Π.χ. κτυποῦμεν μὲ τὸ μαχαίρι ἕνα πιάτο καὶ μίαν σανίδα, εἶναι μᾶλλον βέβαιον ὅτι τὸ πιάτο θὰ ἠχήση ὀξύτερον, δηλαδὴ αὐτὸς ὁ κρότος θὰ περιέχη μῖγμα ἀπὸ συχνότητας μεγαλυτέρας κατὰ μέσον ὅρον, ἀπὸ ὅσας πιθανῶς θὰ παραχθοῦν κατὰ τὸ κτύπημα τῆς σανίδος.

Γενικῶς, ἀπολύτως δὲν δυνάμεθα νὰ διακρίνωμεν τὰ 4 εἴδη τῶν ἤχων, ποὺ ἀνεφέραμεν, διότι ὑπάρχει μέγα πλῆθος ἤχων, τῶν ὁποίων ἡ κατάταξις δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ γίνῃ, ὅπως π.χ. ὁ ἦχος τυμπάνου, ὅπου ἐκτὸς τοῦ κρότου ἀκούεται καὶ φθόγγος ἢ ὁ ἦχος μιᾶς πολυστρόφου μηχανῆς, ὁ ὁποῖος εἶναι ἀνάμικτος θόρυβος μὲ φθόγγον ἢ ἀκόμη ὁ θόρυβος, ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ κρότους, ὅταν π.χ. ἕνα φορτηγὸν ἀδειάζῃ τὸ χαλίκι ποὺ μεταφέρει, ἢ ὁ κρότος περιέχων καὶ τόνον κατὰ τὸ κτύπημα μὲ σφυράκι ἑνὸς διαπασῶν. Εἰς τὴν τελευταίαν ὅμως περίπτωσιν ὁ κρότος σβέννυται ταχέως καὶ συνεχίζεται ὁ τόνος τοῦ παλλομένου διαπασῶν.

18 · 3 Ἀντικειμενικὰ καὶ ὑποκειμενικὰ γνωρίσματα τῶν ἤχων.

Ὅπως ἀνεφέραμεν εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον, δυνάμεθα νὰ διαχωρίσωμεν τοὺς ἤχους εἰς 4 βασικὰς κατηγορίας στηριζόμενοι εἰς ὡρισμένα γνωρίσματα τῶν ἠχητικῶν κυμάτων καὶ γενικῶς τῶν ταλαντώσεων τῆς πηγῆς. Αὐτὰ τὰ χαρακτηριστικὰ εἶναι δυνατὸν νὰ τὰ ἀναγνωρίσῃ καὶ μελετητὴς στερούμενος τῆς ἀκοῆς ἢ μελετηταὶ ἔχοντες διαφόρους ἀκουστικὰς ἀντιλήψεις. Ἄλλωστε ἡ ἀκοὴ εἶναι αἴσθησις ἰδιαιτέρα εἰς κάθε ἄνθρωπον καὶ κανεὶς δὲν γνωρίζει πῶς ἀκούεται ἀπὸ ἕνα ἄλλον, ὁ ἦχος ποὺ ἀκούει αὐτός. Θὰ ἔπρεπε ὁ κάθε ἄνθρωπος διὰ τοῦ μηχανισμοῦ τοῦ ἐγκεφάλου του νὰ ἀντιληφθῇ τὸν ἦχον μίαν φορὰν διὰ τοῦ ἰδικοῦ του ὠτὸς καὶ μίαν φορὰν χρησιμοποιῶν οὖς τοῦ ἄλλου, ὁπότε θὰ συνέκρινε τὰς δύο ἐντυπώσεις του. Ὑπάρχουν λοιπὸν γνωρίσματα *ἀντικειμενικὰ* ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴν ἀκοὴν καὶ εἰς αὐτὰ ἀντιστοιχοῦν ἄλλα, τὰ *ὑποκειμενικά*, ἐξαρτώμενα κάθε φορὰν ἀπὸ τὴν φυσιολογικὴν ἢ μὴ κατάστασιν τοῦ ἀκροατοῦ.

Τὰ χαρακτηριστικὰ αὐτὰ κάθε ἤχου, καὶ μάλιστα ἤχου εὐχαρίστου εἰς τὸ οὖς, εἶναι τὰ γνωστά μας ἀπὸ τὰ φαινόμενα τῶν ταλαντώσεων (καὶ κυμάτων) καὶ εἶναι τρία: α) *συχνότης*, β) *πλάτος* καὶ γ) *μορφὴ τῆς ταλαντώσεως* (ἁπλῆ ἢ σύνθετος).

Εἰς τὰ τρία αὐτὰ χαρακτηριστικὰ κάθε ταλαντώσεως ἑνὸς ὑλικοῦ σώματος (ἢ κυμάνσεως ὑλικοῦ μέσου) ἀντιστοιχοῦν ἀκουστικῶς, δι' ἄνθρωπον φυσιολογικῆς ἀκοῆς, τὰ ἑξῆς τρία γνωρίσματα τοῦ φθόγγου: α) ἡ *ὀξύτης*, β) ἡ *ἔντασις* ἢ ὀρθότερον ἡ *ἀκουστότης* καὶ γ) ἡ *χροιὰ* ἢ τὸ *ποιὸν* τοῦ ἀκουομένου ἤχου. Συνεπῶς δι' ἕνα κωφὸν αἱ ἐκφράσεις τῆς Μουσικῆς, ὀξὺς ἢ βαρὺς ἦχος (ἄλλως ὑψηλὸς ἢ χαμηλός), ἔντονος ἢ ἀσθενὴς καὶ γλυκὺς ἢ μεταλλικὸς δὲν ἔχουν προφανῶς κανὲν νόημα. Τουναντίον, ὅταν τοῦ δείξωμεν τὰ διαγράμματα (σχ. 18·2β) καὶ μετρήση τὰ ἀντίστοιχα ἀντικειμενικὰ μεγέθη, θὰ ἀντιληφθῇ πλήρως εἰς ποίας διαφορὰς στηριζόμεθα διὰ νὰ διατυπώσωμεν τὰς ὑποκειμενικὰς γνώμας. Γράφομεν ὅθεν:

Χαρακτηριστικά.

Ἀντικειμενικὰ

1) *Συχνότης:* Εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν ταλαντώσεων ἀνὰ sec καὶ δύναται νὰ μετρηθῇ μὲ διαφόρους μεθόδους, ὅπως ἡ καταγραφικὴ (δι' ἐγγραφῆς τῆς ταλαντώσεως ἐπὶ εἰδικοῦ χάρτου ἢ φωτογραφήσεώς της).

2) *Πλάτος:* Ὁρίζεται ὡς ἡ μεγίστη ἀπομάκρυνσις τοῦ ταλαντευομένου σημείου ἀπὸ τὴν θέσιν ἠρεμίας αὐτοῦ.

Εἰς τὸ μεγαλύτερον πλάτος (y_0) ἀντιστοιχεῖ μεγαλυτέρα ἐνέργεια ταλαντώσεως Ε, ἐφ' ὅσον ἡ συχνότης μένη σταθερὰ (Ε ἀνάλογος τοῦ y_0^2).

Ἐπειδὴ τὸ πλάτος μιᾶς ταλαντώσεως εἰς *ἠχητικὴν* πηγὴν ἢ εἰς κῦμα δύναται νὰ λάβη πολλὰς τιμὰς ἀπὸ πολὺ μικρὸν ἕως πολὺ μέγα (πολλὰ ἑκατομμύρια φοράς), χρησιμοποιεῖται μία λογαριθμικὴ κλῖμαξ (10^{α}) ἀναλογιῶν μὲ μονάδα τὸ decibel (10^{α}) καὶ οὕτω συντομεύεται ἡ ἀρίθμησις. Π.χ. ἐνισχύομεν ἕνα φθόγγον βιολιοῦ μέσω ἠλεκτρονικοῦ ἐνισχυτοῦ κατὰ 1000 φοράς, ἄρα ὁ λογάριθμος εἶναι

Ὑποκειμενικὰ

1) *Ὀξύτης ἢ ὕψος:* Ἠχητικὸν αἴσθημα, ποὺ δημιουργεῖται ἀπὸ τοὺς 20 ἕως τοὺς 20 000 περίπου Hz. Εἰς μεγαλυτέραν ἡλικίαν τὸ ἀνώτερον ὅριον γίνεται περίπου 10 000 ἕως 12 000 Hz, δηλαδὴ πέραν τούτου ὁ ἡλικιωμένος εἶναι κωφός. Μικρᾶς συχνότητος ἦχοι καλοῦνται *βαρεῖς* ἢ *χαμηλοὶ* (μπάσσοι).

2) *Ἔντασις* ἢ ὀρθότερον ἀκουστότης τοῦ ἤχου. Ἡ ἀντίληψις ἑνὸς ἤχου ἀρχίζει, ὅταν τὸ πλάτος τῆς ταλαντώσεως ἐντὸς τοῦ ὠτὸς ὑπερβῇ ἕνα ὡρισμένον ὅριον, ποὺ ὀνομάζεται *κατώφλιον* ἀκουστότητος καὶ συνεχίζεται, ἕως ὅτου ὁ ἦχος γίνη τόσον ἰσχυρός, ὥστε τὸ οὖς μας νὰ πονέση (ὅριον πόνου). Μετροῦμεν τὴν ἀκουστότητα μὲ εἰδικὰς μονάδας *Φών*. Οὕτως, ἀκουστότητα 10 φὼν ἔχει τὸ τὶκ-τὰκ ἑνὸς μικροῦ ὡρολογίου, 30 φὼν ὁ θόρυβος ἑνὸς μικροῦ δρόμου, 50 μία συνήθης διάλεξις, 80 ὁ θόρυβος ἑνὸς δρόμου μεγαλοπόλεως, 110 ἡ ἀκρόασις μιᾶς μεγάλης ὀρχήστρας ἀπὸ τὴν πρώτην σειρὰν τοῦ θεάτρου, ἐνῶ ἀπὸ 120 ἕως 130 φὼν ἀρχίζει τὸ αἴσθημα τοῦ πόνου εἰς τὰ ὦτα μας: ὅταν π.χ. σταθῶμεν ἔμπροσθεν ἑνὸς

α = 3 καὶ τὰ decibel 30. Ἐνίσχυσις 60 decibel θὰ σημαίνῃ λογάριθμον α = 6, ἤτοι ἐνίσχυσιν 1 000 000 φοράς.

3) *Μορφὴ τῆς ταλαντώσεως* (ἁπλῆ, σύνθετος ἐξ ἁρμονικῶν ἢ τυχαίων).

Ὡς εἶναι γνωστόν, ἡ καταγραφὴ μιᾶς ἠχητικῆς ταλαντώσεως δίδει τὴν καμπύλην τῆς ἁπλῆς ἁρμονικῆς, ὅταν ἡ ταλάντωσις εἶναι μιᾶς καὶ μόνης συχνότητος καὶ πλάτους.

Συνήθως ὅμως ἡ ταλάντωσις εἶναι σύνθετος καὶ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὴν θεμελιώδη (ἡ ὁποία εἶναι κατὰ τὸ πλεῖστον καὶ ἡ ἐντατικωτέρα) καὶ τὰς ἁρμονικὰς πρὸς αὐτήν, ποὺ ἐπηρεάζουν τὴν ἁπλότητα τῆς καταγραφομένης καμπύλης. Ἑπομένως ἡ ταλάντωσις εἶναι μῖγμα τῆς θεμελιώδους καὶ τῶν ἁρμονικῶν πρὸς αὐτήν· τοῦτο δὲ δύναται νὰ δειχθῇ καὶ μὲ τὴν ἀνάλυσιν τῆς ταλαντώσεως τόσον μαθηματικῶς ὅσον καὶ πειραματικῶς (ἠλεκτρονικοὶ ἀναλύται συνθέτου ταλαντώσεως εἰς ἁπλᾶς συνιστώσας). Μία ἐνισχυτικὴ συσκευὴ δὲν πρέπει νὰ *παραμορφώνῃ* τὴν μορφὴν τῆς ταλαντώσεως, τὴν ὁποίαν πρόκειται νὰ ἐνισχύσῃ, διότι ἄλλως καταστρέφεται ἡ *ἠχητικὴ πιστότης* (fidelity).

μεγάλου ἀεροπλάνου, ποὺ ἀπογειώνεται (κίνδυνος κωφώσεως).

Ἡ κλῖμαξ ἀκουστότητος εἰς φὼν εἶναι λογαριθμικὴ καὶ ἀντιστοιχεῖ ὑπὸ ὡρισμένας προϋποθέσεις (ἦχος 1000 Hz) εἰς τὴν ἀντικειμενικὴν λογαριθμικὴν κλίμακα τῶν Decibel.

3) *Χροιὰ - ποιόν*. Εἰς τὴν φύσιν σπανιώτατα συναντᾶται καθαρὸς ἁπλοῦς ἦχος, δηλ. τόνος. Ὡς ἐκ τούτου τὸ οὖς μας ἀκούει συνθέτους ἤχους μίγματα μιᾶς συχνότητος καὶ τῶν ἁρμονικῶν πρὸς αὐτὴν ἢ καὶ ἄλλων συχνοτήτων, ποὺ δυνατὸν νὰ μὴ εἶναι ἁρμονικαί, ἤτοι νὰ μὴ ἔχουν συχνότητας ἀκεραίως πολλαπλασίας τῆς βασικῆς (τῆς θεμελιώδους) συχνότητος.

Τὸ οὖς λοιπὸν κάμνει ἕνα εἶδος ἀναλύσεως αὐτοῦ τοῦ μίγματος καὶ διακρίνει μὲν τὸν βασικὸν ἦχον (π.χ. φλάουτο la = 440 Hz) ἀκούει ὅμως καὶ τοὺς συνοδεύοντας αὐτὸν ἁρμονικοὺς (ἢ τυχὸν καὶ μὴ ἁρμονικούς). Ἀναλόγως τώρα τοῦ πόσοι ἁρμονικοὶ καὶ ποῖοι ἁρμονικοί, ἀλλὰ καὶ ποίου πλάτους ἁρμονικοὶ συμπαράγονται μὲ τὸν βασικόν, *χρωματίζεται* ὁ ἀκουόμενος ἦχος καὶ διακρίνεται ἀπὸ ἄλλον τῆς αὐτῆς βασικῆς συχνότητος (π.χ. ἀπὸ τὸ la τῆς κιθάρας).

Ἡ χροιὰ ἢ τὸ ποιὸν τοῦ ἤχου εἶναι δύσκολον νὰ διατηρηθῇ, ὅταν ὁ ἦχος ἐνισχύεται καὶ δι' αὐτὸ οἱ ἐνισχυταὶ «ὑψηλῆς πιστότητος», δηλ. δίχως παραμόρφωσιν, εἶναι συσκευαὶ ὄχι εὐθηναί.

18 · 4 Ἠχητικαὶ πηγαί. Χορδαί. Σωλῆνες.

Δύο κύριαι ἠχητικαὶ πηγαί, τῶν ὁποίων ἡ πειραματικὴ μελέτη δὲν εἶναι δύσκολος, ἐνῶ ἡ ἀκρόασις εἶναι εὐχάριστος, μᾶς ἔγιναν γνωσταὶ ἀπὸ μικρᾶς ἡλικίας καὶ εἶναι αἱ *χορδαὶ* (λύρα, βιολί, κιθάρα) καὶ οἱ *σωλῆνες* (κλαρίνο, φλογέρα, σάλπιγξ).

1) Χορδαὶ καὶ Ἀντηχεῖα περιοχῆς συχνοτήτων.

Αἱ χορδαὶ εἶναι κυκλικῆς διατομῆς, κατασκευάζονται ἀπὸ μέταλλον ἢ ἔντερον ἢ ἄλλο ὑλικόν, ποὺ δύναται νὰ τεντωθῆ πολὺ χωρὶς νὰ σπάση· παρουσιάζουν δὲ ἐλαστικότητα καὶ ἑπομένως ἰσχυρὰς δυνάμεις ἐπαναφορᾶς εἰς τὴν θέσιν τῆς ἰσορροπίας των, ὅταν ἡμεῖς εἴτε μὲ τὰ δάκτυλά μας (τσίμπημα: ἅρπα, κιθάρα), εἴτε μὲ κτύπημα (πέννα: μαντολῖνο, πλῆκτρο: πιάνο), εἴτε μὲ δοξάρι (τρίχες μὲ κολοφώνιον, ποὺ ἐνεργεῖ ὡσὰν ψιλὴ λίμα ἐπὶ τῆς χορδῆς: βιολὶ) προσφέρωμεν ἐνέργειαν, ὥστε νὰ ταλαντωθοῦν.

Αἱ χορδαὶ τοποθετοῦνται ἐπάνω εἰς κατάλληλα στηρίγματα καὶ συστήματα τάσεως αὐτῶν, ὅλα δὲ αὐτὰ ἐπὶ ξυλίνου κοίλου κατασκευάσματος, ποὺ δρᾶ: α) ὡς ἀντιπέμπουσα τὸν ἦχον ἐπιφάνεια καὶ β) ὡς κοιλότης ἀέρος ἐνισχυτικὴ τῶν ἤχων, ποὺ παρόγονται.

Τὸ ξύλινον αὐτὸ κατασκεύασμα (ἕνα ξύλινον κυτίον μὲ ὀπὰς εἰδικοῦ σχήματος διὰ κάθε μουσικὸν ὄργανον) ὀνομάζεται *ἀντηχεῖον περιοχῆς συχνοτήτων* καὶ διὰ τοῦ φαινομένου τοῦ Συντονισμοῦ (παράγρ. 17 · 4) εὐνοοῦνται περίπου ὅλοι οἱ φθόγγοι, ποὺ παράγουν αἱ χορδαὶ τοῦ ὀργάνου. Ὅταν οἱ φθόγγοι εἶναι χαμηλοί, δηλαδὴ ὅταν ἔχωμεν συχνότητας μικρὰς (μπάσσα), πρέπει τὰ ἀντηχεῖα νὰ εἶναι ὀγκώδη καὶ ἐκτεταμένα ὅπως εἰς τὴν περίπτωσιν τῆς μπασσαβιόλας ἢ τοῦ βιολοντσέλου. Ἀντιθέτως, εἰς ὄργανα παράγοντα ὑψηλὰς νότας (μεγάλας συχνότητας) τὰ ἀντηχεῖα εἶναι μικρὰ καὶ περιωρισμένα π.χ. εἰς τὰς λύρας.

Ἡ χορδή, ὅταν τεντωθῆ καλῶς καὶ διεγερθῆ, παράγει στάσιμα κύματα, δεδομένου ὅτι ἔχει δύο ἄκρα στερεωμένα καὶ ὁ τυχὸν κυματισμὸς αὐτῆς ἀνακλᾶται εἰς αὐτὰ τὰ ἄκρα. Εἶναι εὔκολον μὲ ταχυτάτην κινηματογραφικὴν λῆψιν νὰ παρατηρήσωμεν τὰς ταλαντώσεις τῆς χορδῆς, καί, ἐπειδὴ ὁπωσδήποτε ἔχει τὰ ἄκρα της ἀκίνητα, εἶναι δυνατὰ τὰ ἀκόλουθα σχήματα ἀκεραίου ἀριθμοῦ στασίμων κυμάτων:

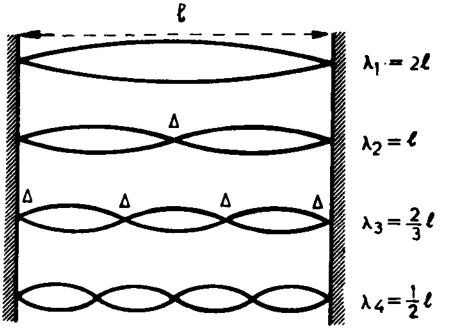
βασικὴ συχνότης, θεμελιώδης λ_1

2α ἁρμονική της λ_2

3η ἁρμονική της λ_3 κ.ο.κ.

Δ = δεσμοὶ κινήσεως τῶν στασίμων κυμάτων (σχ. 18 · 4 α).

Μὲ ἄλλους λόγους ἡ χορδὴ παράγει φθόγγους μὲ χροιάν, ποὺ ὀφείλεται εἰς ὅλην τὴν σειρὰν τῶν συχνοτήτων τῶν ἁρμονικῶν πρὸς τὴν θεμελιώδη συχνότητα, ἡ ὁποία ἀντιστοιχεῖ εἰς ἕνα στάσιμον κῦμα ἴσον πρὸς ὅλον τὸ μῆκος τῆς χορδῆς (ὑπενθυμίζομεν, «πρῶτος ἁρμονικὸς» δὲν νοεῖται, διότι πρῶτος εἶναι ὁ θεμελιώδης).



Σχ. 18 · 4 α.

Οἱ νόμοι τῆς παλλομένης χορδῆς εἶναι οἱ ἑπόμενοι τέσσαρες, ἤτοι ἡ συχνότης ν τοῦ παραγομένου θεμελιώδους φθόγγου εἶναι:

α) Ἀνάλογος τῆς τετραγωνικῆς ρίζης τῆς δυνάμεως F, ποὺ τὴν τείνει.

β) Ἀντιστρόφως ἀνάλογος τῆς τετραγωνικῆς ρίζης τῆς πυκνότητος ρ τοῦ ὑλικοῦ της.

γ) Ἀντιστρόφως ἀνάλογος τῆς διαμέτρου αὐτῆς D καὶ

δ) ἀντιστρόφως ἀνάλογος τοῦ μήκους αὐτῆς L:

$$\nu_\theta = \frac{1}{L \cdot D}\sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \rho}} \qquad (\pi = 3{,}14)$$

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα.

Χορδὴ ἐκ χάλυβος πυκνότητος 7,8 g/cm³ μήκους 100 cm, διαμέτρου 0,05 cm, τείνεται μὲ δύναμιν 15 kp. Ποία ἡ συχνότης τοῦ θεμελιώδους φθόγγου καὶ ποία ἡ τῶν ἁρμονικῶν αὐτῆς;

Λύσις:

$$\nu_\theta = \frac{1}{100 \times 0{,}05}\sqrt{\frac{15 \times 981\,000}{3{,}14 \times 7{,}8}} = 150 \text{ Hz}$$ καὶ τὰ ἀκέραια πολλαπλάσια αὐτῆς.

(Λύσις μὲ μονάδας C, G, S., 15 kp = 15 × 981 000 dyne).

Συμπεραίνομεν ὅθεν ὅτι γενικῶς μία χορδὴ ἠχεῖ τόσον ὀξύτερον, ὅσον περισσότερον τείνομεν αὐτήν, ὅσον ἐλαφρότερον εἶναι τὸ ὑλικόν της καὶ τέλος ὅσον λεπτοτέρα καὶ βραχυτέρα εἶναι.

2) Ἠχητικοὶ σωλῆνες. Ἀντηχεῖα ὡρισμένης συχνότητος. Φίλτρα.

Οἱ ἠχητικοὶ σωλῆνες εἶναι συνήθως στενόμακροι ὄγκοι ἀέρος, ποὺ διεγειρόμενοι πάλλονται παράγοντες ἦχον. Ἑπομένως βασικὴν σημασίαν ἔχει *ὁ ἀὴρ καὶ τὸ σχῆμα τοῦ ὄγκου* καὶ ὄχι τὸ ὑλικὸν ἐκ τοῦ ὁποίου εἶναι κατεσκευασμένος ὁ σωλήν. Παρὰ ταῦτα δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ ἀποκλεισθῇ ἡ παρουσία τῶν ταλαντώσεων τοῦ ὑλικοῦ καὶ ὡς ἐκ τούτου δύο ἴδια ὄργανα, π.χ. δύο φλάουτα κατεσκευασμένα τὸ μὲν ἕνα ἐκ ξύλου τὸ δὲ ἄλλο ἐξ ἀργύρου ἔχουν διαφορετικὴν μουσικὴν ἀπόδοσιν ἔστω καὶ δυσδιάκριτον.

Οἱ ἠχητικοὶ σωλῆνες ἀποτελοῦν, ὡς κοιλότητες πλήρεις ἀέρος, *ἀντηχεῖα* συντονιζόμενα εἰς μίαν θεμελιώδη συχνότητα καὶ τὰς ἁρμονικὰς πρὸς αὐτήν. Ἀντηχεῖα, ποὺ νὰ συνηχοῦν μόνον εἰς τὴν θεμελιώδη, ἔχουν εἰδικὴν κατασκευὴν ὅπως π.χ. τὰ τοῦ Helmholtz (σχ. 18 · 4 β), καὶ μὲ αὐτὰ ἀναλύομεν ἄλλοτε τοὺς συνθέτους ἤχους ὡς ἑξῆς: Ἐμπρὸς εἰς μίαν σειρὰν ἀπὸ ἀντηχεῖα παράγομεν τὸν ἦχον καὶ δι' ὅσα βοήσουν καὶ δώσουν σῆμα εἰς εἰδικοὺς καταγραφεῖς, σημαίνει ὅτι ὁ ἀντίστοιχος πρὸς αὐτὰ ἦχος ὑπάρχει εἰς τὸν σύνθετον ἦχον, ποὺ ἠθελήσαμεν νὰ ἀναλύσωμεν. Σήμερον χρησιμοποιοῦμεν μικρόφωνα ὑψηλῆς πιστότητος, ποὺ μᾶς δίδουν ἠλεκτρικὰς διαταραχὰς ἀναλόγους πρὸς τὸν ἦχον καὶ ἔπειτα μὲ διάφορα ἠλεκτρικὰ φίλτρα, τὰ ὁποῖα συντονίζονται εἰς ὡρισμένας συχνότητας ἠλεκτρικῶν ρευμάτων, διαχωρίζομεν τὸν σύνθετον ἦχον εἰς τοὺς συνιστῶντας αὐτὸν ἁπλοῦς ἤχους καὶ καταγράφομεν τὰς καμπύλας των (ἁρμονικοὶ ἠλεκτρονικοὶ ἀναλυταὶ ταλαντώσεων).

Σχ. 18 · 4 β.

Οἱ ἠχητικοὶ σωλῆνες εἶναι δύο κατηγοριῶν:

α) Οἱ *κλειστοὶ* κατὰ τὸ ἕνα ἄκρον, ὅπως μία μακρόστενος σφυρίκτρα ἢ ἡ κοιλότης ἑνὸς κλειδιοῦ καὶ

β) οἱ *ἀνοικτοί*, ὅπως ἡ φλογέρα, ἡ σάλπιξ, ποὺ εἶναι καὶ οἱ περισσότερον χρησιμοποιούμενοι.

Οἱ ἀνοικτοὶ σωλῆνες ὁμοιάζουν μὲ τὰς χορδάς, δηλαδὴ παράγουν ἕνα θεμελιώδη ἦχον, ποὺ δύναται νὰ συνοδεύεται ἀπὸ ὅλην τὴν σειρὰν τῶν ἁρμονικῶν, ἐνῶ οἱ κλειστοὶ συμπαράγουν *μόνον* τοὺς ἁρμονικοὺς τῆς περιττῆς τάξεως, δηλαδὴ 3ον, 5ον, 7ον κ.ο.κ.

Οἱ νόμοι τῶν ἠχητικῶν σωλήνων ἔχουν ὡς ἑξῆς:

Ἡ συχνότης τοῦ θεμελιώδους ἤχου ἑνὸς ἠχητικοῦ σωλῆνος εἶναι:

α) Ἀνάλογος τῆς ταχύτητος τοῦ ἤχου εἰς τὸ ἐντὸς τοῦ σωλῆνος ἀέριον (διὰ τὸν ἀέρα, 340 m/sec).

β) Ἀντιστρόφως ἀνάλογος τοῦ διπλασίου τοῦ μήκους αὐτοῦ διὰ τὸν ἀνοικτὸν καὶ τοῦ τετραπλασίου τοῦ μήκους διὰ τὸν κλειστόν.

Ἑπομένως:

c = ταχύτης τοῦ ἤχου

L = μῆκος τοῦ σωλῆνος

$$\nu_\theta = \frac{c}{4L} \text{ (κλειστὸς)} \qquad \text{καὶ} \qquad \nu_\theta = \frac{c}{2L} \text{ (ἀνοικτὸς)}$$

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα.

Προσκοπικὴ σάλπιγξ ἀνοικτὴ διεγείρεται μὲ φύσημα εἰς τὸ στόμιόν της διὰ μέσου τῆς σχισμῆς τῶν χειλέων τοῦ σαλπιγκτοῦ, ὁπότε ὁ ἀήρ της ἠχεῖ. Ἐὰν τὸ μῆκος εἶναι 1,2 m, ὅταν ξετυλιχθῇ, ποία ἡ θεμελιώδης συχνότης καὶ οἱ ἁρμονικοί της, ποὺ δύναται ὁ σαλπιγκτὴς καταλλήλως νὰ παραγάγῃ ;

Λύσις:

$$\nu_\theta = \frac{340}{2 \times 1{,}2} = 140 \text{ Hz, αἱ δὲ ἁρμονικαὶ τῆς συχνότητος:}$$

280, 420, 560, 700, 840, 980 Hz......

Παρατήρησις: Ὁ σαλπιγκτὴς *δὲν* δύναται νὰ παίξῃ οἱασδήποτε νότας τοῦ δοθοῦν παρὰ μόνον ἐκείνας, ποὺ ἀνήκουν εἰς τὴν σειρὰν τῶν ἤχων τῆς σάλπιγγος. Αὐτὸ ὅμως δὲν συμβαίνει εἰς τὴν φλογέραν ἢ εἰς τὸ κλαρίνον, ὅπου ὑπάρχουν ὀπαὶ κατὰ μῆκος τοῦ σωλῆνος καὶ ρυθμίζουν τὰς ταλαντώσεις ἐντὸς αὐτοῦ, ἄλλωστε αἱ νόται, δηλ. οἱ ἦχοι τῆς μουσικῆς κλίμακος, δὲν εἶναι τυχαῖαι, ἀλλὰ ἔχουν συχνότητας μὲ ὡρισμένας ἁπλᾶς ἀναλογίας μεταξύ των. Π.χ.:

do	re	mi	fa	sol	la	si	do
262	293	330	350	392	440	494	524
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

18 · 5 Ὑπέρηχοι. Ἐφαρμογαὶ αὐτῶν.

Ὅπως προηγουμένως ἀνεφέραμεν, αἱ ἀκουσταὶ συχνότητες ἀπὸ νεαρὸν καλῆς ἀκοῆς ἄνθρωπον ἀρχίζουν ἀπὸ τὰ 20 Hz καὶ φθάνουν τὸ πολὺ τὰ 20 000 Hz. Ἑπομένως ἦχοι συχνότητος κάτω τῶν 20 Hz καὶ πέραν 20 kHz δὲν εἶναι ἀκουστοὶ ἀπὸ τὸν ἄνθρωπον. Οἱ ἄνω τῶν 20 kHz καλοῦνται *ὑπέρηχοι*, ἐνῶ ταλαντώσεις κάτω τῶν 20 Hz ὀνομάζονται *ὑπόηχοι* καὶ δὲν παρουσιάζουν ἰδιαίτερον ἐνδιαφέρον.

Παρατήρησις : Οἱ ὑπέρηχοι *δὲν πρέπει* νὰ συγχέωνται μὲ τὰς *ὑπερηχητικὰς ταχύτητας*, διότι οὕτως ὀνομάζονται ταχύτητες εἰς τὸν ἀέρα ἀνώτεραι τῆς ταχύτητος τοῦ ἤχου, ποὺ εἶναι 340 m/sec ἢ περίπου 1 200 km/h. Ἡ ταχύτης αὐτὴ θεωρεῖται ὡς βάσις κλίμακος ἀναλογίας Μὰχ (Mach). Συνεπῶς ἀεροπλάνον κινούμενον μὲ ταχύτητα 1 800 km/h ἔχει ὑπερηχητικὴν ταχύτητα 1,5 Μάχ.

Ὑπερήχους δυνάμεθα νὰ παράγωμεν εὐκόλως μὲ ἠλεκτρικὰς μεθόδους, ἐνῶ ἀντιθέτως παράγονται μᾶλλον δυσκόλως μὲ μικρὰς τὸ μέγεθος σφυρίκτρας, ποὺ χρησιμοποιοῦνται διὰ πειράματα ἀκουστικῆς ἐπὶ ζώων. Πράγματι πολλὰ ζῶα ἀντιλαμβάνονται τοὺς ὑπερήχους μέχρι 30 000 Hz καὶ ἄλλα ὅπως αἱ νυχτερίδες δύνανται καὶ νὰ τοὺς παράγουν. Αἱ νυκτερίδες ἔχουν εἰδικὰς σκληρὰς κόγχας (κοιλότητας ἢ διαφράγματα), ὅπου παράγονται κατευθυνόμενοι ὑπέρηχοι μέχρι 100 000 Hz. Τοὺς ὑπερήχους αὐτοὺς τοὺς ἐκπέμπουν κατὰ βραχέα διαστήματα καὶ ὄχι συνεχῶς, ὁπότε, ἂν ὑπάρξη πρὸ αὐτῶν ἐμπόδιον, γίνεται ἀνάκλασις καὶ ἐπιστρέφουν ὡς ἠχώ. Ἡ νυκτερὶς τοὺς ἀκούει καὶ πετᾶ καταλλήλως, ὥστε νὰ μὴ προσκρούση εἰς τὸ ἐμπόδιον (ἀκουστικὴ ἀνίχνευσις ἐμποδίων ἀνάλογος πρὸς τὴν διὰ τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων radar).

Ἡ συνήθης μέθοδος παραγωγῆς ὑπερήχων εἶναι ἡ πιεζοηλεκτρική. Ὑπάρχουν κρύσταλλοι ὅπως ὁ χαλαζίας (SiO_2) ἢ νεώτερα κεραμεικὰ ὑλικὰ μὲ βαριοτιτάνιον, ποὺ εἰς κατάλληλον σχῆμα, ὅταν τροφοδοτηθοῦν (ὡσὰν στρῶμα μεταξὺ μεταλλικῶν ὁπλισμῶν) μὲ ἐναλλασσόμενον ρεῦμα ὑψηλῆς συχνότητος, ταλαντεύονται, τρέμουν καὶ γίνονται πομποὶ ὑπερήχων. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον μὲ μίαν γεννήτριαν ἠλεκτρικοῦ ἐναλλασσομένου ρεύματος ὑψηλῶν συχνοτήτων καὶ μὲ κατάλληλον κρύσταλλον δημιουργοῦμεν ἐντόνους ὑπερήχους, ἰδίως, ὅταν τοὺς διαδίδωμεν εἰς ὑγρόν, διότι εἰς τὸν ἀέρα ἀπορροφοῦνται εὐκόλως. Ἀντιστρόφως, ὅταν ὁ κρύσταλλος ἀναγκασθῆ νὰ ταλαντεύεται, τότε παράγει ἠλεκτρικὸν ρεῦμα μεταβαλλόμενον. Αὐτὸ ἐνισχύεται καὶ καταλήγει ἢ εἰς μεγάφωνον (περίπτωσις κρυσταλλικοῦ ἠλεκτροφώνου) ἢ εἰς εἰδικὴν καταγραφικὴν διάταξιν, ὅταν ἡ ταλάντωσις εἶναι ὑπερηχητική.

Οἱ ὑπέρηχοι παραγόμενοι καὶ κατευθυνόμενοι ἐντὸς τοῦ ὕδατος (θαλάσσης) καὶ μάλιστα ὅταν δὲν εἶναι πολὺ ὑψηλῆς συχνότητος (κάτω τῶν 40 kHz) δύνανται νὰ προχωρήσουν χωρὶς ἔντονον ἀπορρόφησιν ἐπὶ ἀρκετὰ χιλιόμετρα. Ἑπομένως, ἂν σταλοῦν ἀπὸ ἕνα πλοῖον πρὸς τὸν βυθόν, ἐκεῖ δὲ ἀνακλασθοῦν καὶ γυρίσουν κατακορύφως πάλιν εἰς τὸ πλοῖον, ποὺ τοὺς παρήγαγεν, εἶναι δυνατὸν νὰ προσδιορισθῇ ἀπὸ τὸν χρόνον ἐκπομπῆς - ἀφίξεως τὸ βάθος τῆς θαλάσσης (Ἠχοβολιστικὸν μηχάνημα). Ἐὰν χρησιμοποιηθοῦν κατὰ τὴν ὁριζοντίαν διεύθυνσιν εἰς βάθος ὀλίγων μέτρων, τότε, ἂν ἐπιστρέψουν, θὰ μᾶς δώσουν ἐνδείξεις διὰ τυχὸν παγόβουνα, ὑφάλους ἢ ἄλλο πλοῖον ἀόρατον λόγω ὁμίχλης ἢ ὑποβρύχιον ἢ ἀκόμη διὰ συγκεντρωμένους ἰχθῦς (ἁλιεία μὲ ἀνίχνευσιν δι' ὑπερήχων).

Οἱ ὑπέρηχοι διαβιβαζόμενοι ἐντὸς μετάλλου, ποὺ τυχὸν ἔχει σχισμάς, ραγίσματα, κοιλότητας, παθαίνουν ἀνακλάσεις ἢ διαθλάσεις, διότι καθ' ὁδὸν εὑρίσκουν ὑλικὰ διαφόρων ταχυτήτων (εἰς τὸν ἀέρα 340 m/sec, εἰς τὸ ὕδωρ 1 480 m/sec καὶ εἰς τὸν χάλυβα 5 000 m/sec), ὁπότε μᾶς δίδουν ἐνδείξεις ἂν τὸ ὑλικὸν π.χ. ἑνὸς ἄξονος εἶναι ὁμοιογενὲς καὶ δι' αὐτὸ χρησιμοποιοῦνται εἰς τὰ ἐργοστάσια ὡς μέσον ἐλέγχου ποιότητος καὶ σφαλμάτων κατασκευῆς ἢ βλαβῶν μετάλλων, ὑάλων κ.λπ.

Ἐκτὸς τούτου οἱ ὑπέρηχοι προκαλοῦν ζωηρὰς διαταραχάς, ποὺ ἀναγκάζουν ὑγρὰ μὴ μιγνυόμενα νὰ ἀναμιχθοῦν εἰς πολὺ ὁμοιογενὲς γαλάκτωμα, ὅπως π.χ. ὕδωρ μὲ ἔλαιον ἢ λίπος ἢ ἅλατα μὲ ζελατίνα κ.λπ. Ἡ ἰδιότης αὐτὴ μᾶς ἐξυπηρετεῖ εἰς τὴν κατασκευὴν ὑπερηχητικῶν πλυντηρίων τῶν ἐργοστασίων, τῶν μηχανῶν παρασκευῆς βερνικίων, φωτογραφικῶν γαλακτωμάτων κ.ο.κ. Ἰατρικῶς οἱ ὑπέρηχοι χρησιμοποιοῦνται διὰ τὰς ρευματικὰς παθήσεις (προκαλοῦν θέρμανσιν)· ὅταν ὅμως εἶναι ἰσχυροί, φονεύουν μὲν τοὺς μικροοργανισμούς, ἀλλὰ καταστρέφουν τὰ αἱμοσφαίρια τοῦ αἵματος. Εἶναι πάντως δυνατὸν νὰ κάνουν ἀποστείρωσιν ὑγρῶν ὅπως τὸ γάλα καὶ χρησιμεύουν πρὸς τοῦτο εἰς τὰς μεγάλας ἐγκαταστάσεις τῶν ἐργοστασίων τροφίμων καὶ κονσερβῶν.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1) Τί νοοῦμεν διὰ τοῦ ὅρου μᾶζα καὶ ποῖαι αἱ συνήθεις μονάδες μετρήσεως αὐτῆς;

2) Τὸ πρότυπον χιλιόγραμμον μεταφερόμενον ἐπὶ τῆς Σελήνης ἐξακολουθεῖ νὰ ἔχῃ μᾶζαν 1 kg καὶ βάρος 1 kp;

3) Πῶς μετροῦμεν τὰς δυνάμεις;

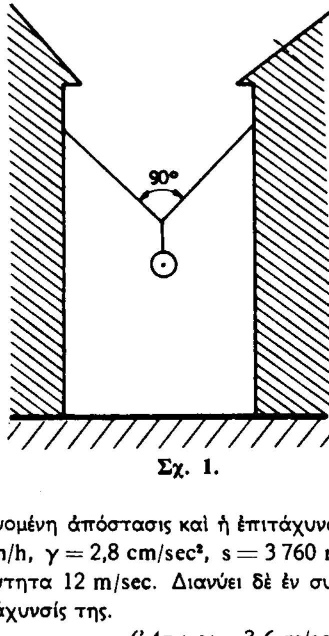
4) Νὰ δειχθῆ ὅτι τρεῖς δυνάμεις ἴσαι, ἐνεργοῦσαι ἐπὶ ἑνὸς ὑλικοῦ σημείου καὶ σχηματίζουσαι ἀνὰ δύο γωνίαν 120°, ἰσορροποῦν.

5) Δύο δυνάμεις ἐπενεργοῦσαι κατ' ὀρθὴν γωνίαν ἔχουν συνισταμένην 10 kp. Ἐὰν ἡ μία τῶν δύο τούτων δυνάμεων εἶναι 6 kp, νὰ ὑπολογισθῆ ἡ ἄλλη δύναμις.

(*Ἀπ.*: 8 kp)

6) Λαμπτὴρ φωτισμοῦ ὁδοῦ βάρους 10 kp ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ μέσον σχοινίου εἰς τρόπον, ὥστε τοῦτο καμπτόμενον νὰ σχηματίζῃ γωνίαν 90°. Νὰ προσδιορισθῆ ἡ δύναμις (τάσις) ἐπὶ ἑκάστου τμήματος τοῦ σχοινίου (σχ. 1).

(*Ἀπ.*: F = 7 kp)



Σχ. 1.

7) Ἀπὸ εὐθυγράμμως καὶ ὁμαλῶς κινουμένου ὀχήματος, ἐκσφενδονίζεται κατακορύφως καὶ πρὸς τὰ ἄνω σῶμα. Ποῦ θὰ πέσῃ τοῦτο; Ἐπὶ τοῦ ὀχήματος; Ὄπισθεν ἢ ἔμπροσθεν αὐτοῦ; Ἡ ἀντίστασις τοῦ ἀέρος θεωρεῖται ἀμελητέα.

8) Ἡ ταχύτης κινητοῦ αὐξάνεται ὁμαλῶς ἀπὸ 30 km/h εἰς 60 km/h ἐντὸς 5 min. Νὰ προσδιορισθοῦν ἡ μέση ταχύτης, ἡ διανυομένη ἀπόστασις καὶ ἡ ἐπιτάχυνσις.

(*Ἀπ.*: $\upsilon = 45$ km/h, $\gamma = 2{,}8$ cm/sec^2, s = 3 760 m).

9) Αὐτοκινητάμαξα ἔχει ἀρχικὴν ταχύτητα 12 m/sec. Διανύει δὲ ἐν συνεχείᾳ 300 m ἐντὸς 10 sec. Νὰ εὑρεθῆ ἡ ἐπιτάχυνσίς της.

(*Ἀπ.*: $\gamma = 3{,}6$ m/sec^2)

10) Αὐτοκίνητον ἐκκινεῖ μὲ ὁμαλῶς ἐπιταχυνομένην κίνησιν καὶ διανύει 612,5 m ἀποκτᾶ τελικὴν ταχύτητα 35 m/sec. Ἔπειτα ἀρχίζει νὰ ἐπιβραδύνεται καὶ σταματᾶ μετὰ 35 sec. Ζητεῖται ὁ ὁλικὸς χρόνος διαδρομῆς καὶ τὸ ὁλικὸν διάστημα κινήσεώς του.

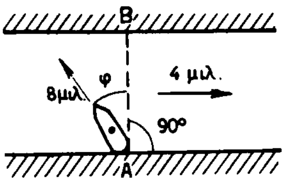
(*Ἀπ.*: t = 70 sec, s = 1 225 m)

11) Σφόνδυλος διαμέτρου 1 m στέφεται ὑπὸ συχνότητα 80 στρ/min. Νὰ ὑπολογισθοῦν: α) ἡ γωνιακὴ ταχύτης, β) ἡ γραμμικὴ ταχύτης, γ) ἡ κεντρομόλος ἐπιτάχυνσις ἑνὸς σημείου εὑρισκομένου ἐπὶ τῆς περιφερείας τοῦ σπονδύλου.

(*Ἀπ.*: $\omega = 8{,}37$ rad/sec, $\upsilon = 4{,}18$ m/sec, $\gamma = 35{,}029$ m/sec^2)

12) Πλοῖον διασχίζει ποταμὸν διὰ νὰ φθάση εἰς τὸ ἀπέναντι σημεῖον τῆς ἄλλης ὄχθης B. Πρὸς ποίαν διεύθυνσιν πρέπει νὰ τηρῆται ἡ πρῷρα διὰ νὰ φθάση τὸ ἀπέναντι σημεῖον, ὅταν ὁ ποταμὸς ἔχη ρεῦμα ταχύτητος 4 μιλίων τὴν ὥρα καὶ τὸ πλοῖον κινῆται μὲ διπλασίαν αὐτοῦ ταχύτητα (σχ. 2).

('Απ.: $\varphi = 30^\circ$)



Σχ. 2.

13) Ποία ἡ θεμελιώδης ἐξίσωσις τῆς Δυναμικῆς καὶ πῶς γράφεται αὐτὴ βάσει τῆς ὁρμῆς;

14) Ποῖοι εἶναι οἱ δύο παράγοντες, οἱ ὁποῖοι καθορίζουν τὸ βάρος ἑνὸς σώματος;

15) Μᾶζα 2 kg ὑφίσταται ἐπιβράδυνσιν 0,1 m/sec². Ποία δύναμις ἐνεργεῖ ἐπ' αὐτῆς, εἰς μονάδας τῶν συστημάτων C, G, S, καὶ M, K, S,;

('Απ.: $F = 2 \cdot 10^4$ dyn, $F = 0{,}2$ N)

16) Μᾶζα 12 kg, ἐπὶ τῆς ὁποίας ἐνεργεῖ δύναμις, ὑφίσταται ἐπιτάχυνσιν 4 cm/sec². Πόση εἶναι ἡ δύναμις εἰς kp ($g = 9{,}81$ m/sec²).

('Απ.: $F = 0{,}049$ kp)

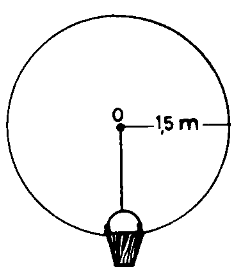
17) Σῶμα μάζης 300 kg κινεῖται ὁριζοντίως καὶ ὁμαλῶς μὲ ταχύτητα 10^3 cm/sec. Πόση γίνεται ἡ ταχύτης αὐτοῦ μετὰ πάροδον 100 sec, ὅταν κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς κινήσεως ἐπενεργήση δύναμις $4{,}5 \cdot 10^7$ dyn;

('Απ.: $\upsilon = 16000$ cm/sec)

18) Σφαῖρα μάζης 1 kg εἶναι προσδεδεμένη εἰς σχοινίον καὶ διαγράφει κύκλον ὁριζόντιον ἀκτῖνος 1 m. Πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ συχνότης κινήσεως τῆς σφαίρας, ὅταν ἡ ὁριζοντία δύναμις ἡ ἐπενεργοῦσα ἐπὶ τοῦσχοινίου εἶναι 10 kp;

19) Δοχεῖον περιέχον ὕδωρ μάζης 5 kg ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ ἄκρου νήματος. Ἡ ἐλευθέρα ἐπιφάνεια τοῦ ὕδατος ἀπέχει ἀπὸ τοῦ κέντρου 0 περιστροφῆς 1,5 m. Ποία πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἐλαχίστη ταχύτης περιστροφῆς ἐπὶ κατακορύφου ἐπιπέδου διὰ νὰ μὴ πίπτη τὸ ὕδωρ ($g = 10$ m/sec²) (σχ. 3).

('Απ.: $\upsilon_{op} = 3{,}87$ m/sec)



Σχ. 3.

20) Ἄνθρωπος ἔχει μᾶζαν 70 kg καὶ εὑρίσκεται ἐντὸς ἀνελκυστῆρος, ὁ ὁποῖος ἀνέρχεται μὲ ἐπιτάχυνσιν 2,5 m/sec². Πόση εἶναι ἡ δύναμις, τὴν ὁποίαν ἀσκεῖ τὸ δάπεδον ἐπὶ τοῦ ἀνθρώπου ($g = 10$ m/sec²);

($F = 875$ N)

21) Τί καλοῦμεν ἐνέργειαν καὶ ὑπὸ ποίας μορφὰς ἐμφανίζεται ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια;

22) Τί καλοῦμεν ἰσχύν; Ποία ἡ σχέσις της μὲ τὴν ταχύτητα;

23) Δύναμις 5 kp μετατοπίζει τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς της εἰς ἀπόστασιν 10 m κατὰ τὴν ἰδίαν διεύθυνσιν αὐτῆς. Νὰ ὑπολογισθῆ τὸ παραγόμενον ἔργον εἰς erg καὶ εἰς Joule.

('Απ.: $A = 490{,}5 \cdot 10^7$ erg $= 490{,}5$ Joule)

24) Νὰ ὑπολογισθῇ τὸ ἔργον τὸ ἀπαιτούμενον διὰ τὴν ἀνύψωσιν 800 λίτρων ὕδατος ἀπὸ φρέατος βάθους 7 m.

('*Απ.*: A = 5600 kp · m)

25) Εἰς πόσον χρόνον ποδηλάτης συνολικοῦ βάρους 80 kp μετὰ τοῦ ποδηλάτου αὐτοῦ διανύει ἀνωφερικὸν δρόμον παρουσιάζοντα διαφορὰν ὕψους 120 m, ὅταν ἀποδίδη ἰσχὺν 1/5 HP;

('*Απ.*: t = 640 sec)

26) Σφυρὶ μάζης2 kg κινούμενον μὲ ταχύτητα 15 m/sec ἀναγκάζει ἧλον νὰ εἰσχωρήσῃ κατὰ 12,5 cm εἰς τεμάχιον ξύλου. Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ μέση δύναμις ἡ ἀσκουμένη ἐπὶ τοῦ καρφίου, ὅταν τὸ κτύπημα διαρκῇ 1/50 sec ($g = 10$ m/sec^2).

('*Απ.*: F = 900 kp)

27) Τροχὸς ποδηλάτου δυσκόλως ἰσορροπεῖ, ἐὰν ἀφεθῇ ἐλεύθερος ὄρθιος. Διατί δὲν πίπτει, ὅταν κυλίεται ἐπὶ τοῦ ἐδάφους;

28) Οἱ σωλῆνες τῶν πυροβόλων φέρουν εἰς τὴν ἐσωτερικὴν ἐπιφάνειάν των ἑλικώσεις, διὰ νὰ ἀποκτᾷ τὸ ἐξερχόμενον βλῆμα περιστροφικὴν κίνησιν. Εἰς τί χρησιμεύει ἡ περιστροφὴ τοῦ βλήματος;

29) Πῶς δυνάμεθα νὰ μειώσωμεν τὴν τριβὴν ὀλισθήσεως;

30) Διὰ ποῖον λόγον εἰς τὰ ἕδρανα τῶν στρεφομένων ἀξόνων χρησιμοποιοῦμεν ἐνσφαίρους τριβεῖς (ρουλεμάν);

31) Τί ἐννοοῦμεν διὰ τοῦ ὅρου *ὅριον ἐλαστικότητος* καὶ τί συμβαίνει, ὅταν ὑπερβαίνωμεν τὸ ὅριον αὐτό;

32) Δύναμις 10 kp σύρει σῶμα μάζης 10 Τ.Μ. ἐπὶ ὁριζοντίου ἐδάφους. Ὁ συντελεστὴς τριβῆς ὀλισθήσεως εἶναι $\eta = 0{,}04$. Τί κίνησις προκύπτει ($g = 10$ m/sec^2);

('*Απ.*: $\gamma = 0{,}6$ m/sec^2)

33) Σῶμα μάζης 20 gr, ἐπὶ τοῦ ὁποίου ἐνεργεῖ σταθερὰ δύναμις 800 dyn, διανύει ἐντὸς 4 sec ἐπὶ ὁριζοντίου ἐδάφους διάστημα 200 cm. Πόση εἶναι ἡ τριβή του;

('*Απ.*: T = 300 dyn)

34) Αὐτοκίνητον κινούμενον ἐπὶ ὁριζοντίου ἐδάφους ὑφίσταται πέδησιν καὶ διανύει διάστημα 40 m διὰ νὰ ἠρεμήσῃ. 'Ἐὰν δεχθῶμεν συντελεστὴν τριβῆς ὀλισθήσεως $\eta = 0{,}5$, πόση εἶναι ἡ ἀρχικὴ ταχύτης καὶ ἡ ἐπιβράδυνσις κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς πεδήσεως ($g = 10$ m/sec^2);

('*Απ.*: $\upsilon_0 = 20$ m/sec, $\gamma = 5$ m/sec^2)

35) Ράβδος ἐκ σιδήρου μήκους 4 m καὶ τομῆς 1 cm^2 ἐπιμηκύνεται κατὰ 0,46 mm διὰ φορτίου 100 kp. Πόσον τὸ μέτρον ἐλαστικότητος τοῦ σιδήρου εἰς kp/mm^2 καὶ dyn/cm^2;

('*Απ.*: $E = 87 \cdot 10^2$ kp/mm^2 $= 8{,}5 \cdot 10^{11}$ dyn/cm^2)

36) Διατί ἡ ψαλὶς τῶν φανοποιῶν ἔχει μακρὰς λαβὰς καὶ βραχείας λεπίδας, ἡ δὲ ψαλὶς τῶν ραπτῶν ἀκριβῶς τὰ ἀντίθετα;

37) Διὰ νὰ ἐξαγάγωμεν ἧλον ἀπὸ τεμάχιον ξύλου ἀπαιτεῖται δύναμις 100 kp. Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ δύναμις ἡ ἀπαιτουμένη διὰ τὴν ἐξαγωγὴν τοῦ ἥλου μὲ κατάλληλον ἐξολκέα, τοῦ ὁποίου τὸ ὑπομόχλιον ἀπέχει 4 cm ἀπὸ τοῦ ἥλου καὶ ἡ λαβὴ 20 cm ἀπὸ τοῦ ὑπομοχλίου.

('*Απ.*: F = 63,5 kp)

38) Μεταθετὴ τροχαλία ζυγίζει μετὰ τῆς τροχαλιοθήκης 2 kp. Πόση πρέπει νὰ εἶναι ἡ ἐλαχίστη δύναμις διὰ νὰ ἀνυψώσῃ φορτίον 125 kg, ὅταν ἡ τριβὴ εἶναι ἀμελητέα;

(*Ἀπ.*: $F = 63{,}5$ kp)

39) Ἀναφέρατε διαφόρους πρακτικὰς ἐφαρμογὰς τῆς ἀρχῆς τῶν συγκοινωνούντων δοχείων.

40) Πῶς διατυποῦται ἡ ἀρχὴ τοῦ Ἀρχιμήδους καὶ ποίας ἐφαρμογὰς ἔχει αὐτή;

41) Ποία εἶναι ἡ συνθήκη διὰ τὴν ἰσορροπίαν σώματος ἐπιπλέοντος ἐντὸς ὑγροῦ;

42) Διὰ ποῖον σκοπὸν χρησιμεύουν τὰ πυκνόμετρα; Πῶς ταῦτα κατασκευάζονται καὶ πῶς διακρίνονται ἀναλόγως τοῦ εἴδους τῆς βαθμολογίας των;

43) Ἡ πυκνότης τοῦ θαλασσίου ὕδατος εἶναι $1{,}03\ g/cm^3$. Νὰ καθορισθῇ ὁ ἀριθμὸς τῶν κυβικῶν μέτρων τοῦ ἐκτοπιζομένου θαλασίου ὕδατος ὑπὸ πλοίου ἐκτοπίσματος 5 000 ton.

(*Ἀπ.*: $V = 4{,}86 \cdot 10^3\ m^3$)

44) Ἡ ἄνωσις, τὴν ὁποίαν ὑφίσταται σῶμα εἰς τὸ ὕδωρ, εἶναι 0,065 kp. Πόση ἡ ἄνωσις τοῦ αὐτοῦ σώματος, ὅταν βυθίζεται εἰς οἰνόπνευμα πυκνότητος $0{,}8\ g/cm^3$ καὶ εἰς ὑδράργυρον πυκνότητος $13{,}6\ g/cm^3$;

(*Ἀπ.*: $A_1 = 0{,}052$ kp, $A_2 = 0{,}884$ kp)

45) Εἰς τί χρησιμεύουν τὰ βαρόμετρα καὶ ποῖοι οἱ συνήθεις ἐν χρήσει τύποι βαρομέτρου;

46) Εἰς τί χρησιμεύουν τὰ μανόμετρα καὶ ποῖοι οἱ συνηθέστεροι τύποι αὐτῶν;

47) Πῶς ὁρίζεται ἡ ἄνωσις τῶν ἀερίων καὶ ποίας ἐφαρμογὰς ἔχει αὐτή;[1]

48) Πῶς λειτουργοῦν αἱ ὑδραντλίαι καὶ ποῖοι οἱ συνηθέστεροι τύποι αὐτῶν;

49) Φυσαλλὶς ἀέρος ὑψουμένη ἐκ τοῦ πυθμένος μιᾶς λίμνης μέχρι τῆς ἐπιφανείας αὐτῆς αὐξάνει τὸν ὄγκον της ἀπὸ $2\ cm^3$ εἰς $5\ cm^3$. Ὑπολογίσατε τὸ βάθος τῆς λίμνης.

(*Ἀπ.*: $h = 15{,}5$ m)

50) Τί καλοῦμεν γραμμὰς ροῆς καὶ ποία ἡ σχέσις μεταξὺ τῆς πυκνότητος γραμμῶν ροῆς καὶ τῆς ταχύτητος ροῆς εἰς πεδίον νηματικῆς ροῆς;

51) Ποῖον τὸ περιεχόμενον τοῦ νόμου τοῦ Bernoulli καὶ ποία ἡ ἀναλυτικὴ διατύπωσις αὐτοῦ;

52) Δώσατε μερικὰ παραδείγματα, τὰ ὁποῖα νὰ ἐξηγοῦνται ἐπὶ τῇ βάσει τοῦ νόμου τοῦ Bernoulli.

53) Τί νοοῦμεν διὰ τοῦ ὅρου *ἐσωτερικὴ τριβή;*

54) Τί καλοῦμεν ἀεροδυναμικὴν μορφὴν σώματος; Ἐξηγήσατε διὰ ποῖον λόγον ἡ μορφὴ αὐτὴ παρουσιάζει ἐλαχίστην ἀντίστασιν.

55) Πῶς συμπεριφέρεται ὑγρὸν ἐντὸς τριχοειδοῦς σωλῆνος;

56) Τί νοοῦμεν διὰ τοῦ ὅρου *διάχυσις;* Δώσατε παραδείγματα διαχύσεως.

57) Τί νοοῦμεν διὰ τῶν ὅρων ὤσμωσις, ὠσμωτικὴ πίεσις;

58) Δώσατε ὡρισμένα παραδείγματα ὠσμώσεως καὶ ποίαν βιολογικὴν σημασίαν ἔχουν.

59) 'Εξηγήσατε, διατί ἡ σταφὶς διογκοῦται ἐντὸς καθαροῦ ὕδατος καὶ συρρικνοῦται ἐντὸς πυκνοῦ σιροπίου.

60) Τί καλοῦμεν θερμόμετρα μεγίστου καὶ ἐλαχίστου; Τί εἴδους θερμόμετρον εἶναι τὸ ἰατρικόν;

61) Περιγράψατε τὰ διαφόρου τύπου μὴ ὑδραργυρικὰ θερμόμετρα.

62) 'Επὶ ποίας ἀρχῆς στηρίζεται ἡ λειτουργία τῶν μεταλλικῶν θερμομέτρων. Περιγράψατε ἕνα θερμόμετρον αὐτοῦ τοῦ εἴδους.

63) Ένας βαθμὸς Κελσίου εἶναι ἴσος πρὸς ἕνα βαθμὸν Κέλβιν;

64) Νὰ μετατραποῦν αἱ ἐνδείξεις θερμοκρασιῶν 70° F, 84° F, 98° F, 110° F εἰς βαθμοὺς Κελσίου.

('*Απ*.: α' 21,1° C. β' 28,9° C. γ' 36,7° C. δ' 48,3° C)

65) Ποίαν ἀνωμαλίαν παρουσιάζει τὸ ὕδωρ κατὰ τὴν θέρμανσίν του ἀπὸ 0° C ἕως 100° C; Τί συμπέρασμα συνάγεται διὰ τὸν συντελεστὴν διαστολῆς τοῦ ὕδατος;

66) Τί νοοῦμεν διὰ τοῦ ὅρου *ἐξίσωσις τῶν τελείων ἀερίων;* Πῶς εὑρίσκεται αὐτὴ ὑπὸ τὴν κοινὴν μορφήν της καὶ ποίαν ἐφαρμογὴν ἔχει;

67) Ποίας μεταβολὰς ὑφίστανται τὰ τέλεια ἀέρια;

68) Μέχρι ποίας θερμοκρασίας πρέπει νὰ θερμανθῇ ἀερία μᾶζα θερμοκρασίας 17° C διὰ νὰ διπλασιασθῇ ὁ ὄγκος αὐτῆς ὑπὸ σταθερὰν πίεσιν;

('*Απ*.: $\theta = 307°$ C)

69) Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ μᾶζα ἀέρος, ἡ ὁποία καταλαμβάνει ὄγκον 20 λίτρων ὑπὸ θερμοκρασίαν 0° C καὶ πίεσιν 100 at. (Μᾶζα 1 λίτρου ἀέρος ὑπὸ κανονικὰς συνθήκας = 1,293 g).

('*Απ*.: M = 2,5 kg)

70) Δώσατε τὸν ὁρισμὸν τῆς εἰδικῆς θερμότητος· μὲ ποίαν μονάδα ἐκφράζεται αὐτή;

71) Πῶς ὁρίζεται ἡ θερμοχωρητικότης σώματος;

72) Ποία θερμοκρασία ἀποκαθίσταται, ὅταν ἀναμιγνύωμεν 200 g ὕδατος θερμοκρασίας 10° C μετὰ 500 g ὕδατος θερμοκρασίας 45° C;

('*Απ*.: $\theta = 35°$ C)

73) Ποῖοι οἱ νόμοι τῆς τήξεως καὶ πήξεως;

74) Ποίαν ἀνωμαλίαν παρουσιάζει ὁ πάγος καὶ ποίαν σημασίαν ἔχει αὐτὴ ἐπὶ τῆς οἰκονομίας τῆς Φύσεως;

75) Τί νοοῦμεν διὰ τῶν ὅρων τάσις καὶ μεγίστη τάσις ἀτμοῦ;

76) Πῶς γίνεται ἡ ἀπόσταξις καὶ ποῖαι αἱ πρακτικαὶ ἐφαρμογαὶ αὐτῆς;

77) Νὰ ὑπολογισθῇ ἡ τελικὴ θερμοκρασία κατὰ τὴν ἀνάμιξιν 150 g πάγου 0° C πρὸς 300 g ὕδατος 50° C (θερμότης τήξεως πάγου = 80 cal/g).

('*Απ*.: 6,6° C)

78) Ποῖον ποσὸν θερμότητος ἀποδίδεται ὑπὸ 20 g ἀτμοῦ θερμοκρασίας 100° C, ὅταν ὑγροποιῆται καὶ ψύχεται μέχρις 20° C; (Θερμότης ἐξαερώσεως ὕδατος εἰς 100° C = 540 cal/g).

('*Απ*.: Q = 12400 cal)

79) 'Αναφέρατε μερικὰ ὑλικά, τὰ ὁποῖα πωλοῦνται εἰς τὸ ἐμπόριον καὶ χρησιμοποιοῦνται πρὸς θερμικὴν μόνωσιν τῶν οἰκιῶν.

80) Πόση ἰσχὺς εἰς ἵππους ἀπαιτεῖται διὰ τὴν τῆξιν 60 g πάγου 0° C ἐντὸς 15';

(*'Απ.*: N $\simeq$ 0,03 HP)

ΘΕΜΑΤΑ ΣΚΕΨΕΩΣ

1) Ὁ καπνὸς ἑνὸς πλοίου ἀνεβαίνει κατακορύφως, ὅταν αὐτὸ ἀκινητῇ εἰς καιρὸν ἀπνοίας. Ποία περίπου θὰ εἶναι ἡ διεύθυνσις τοῦ καπνοῦ:

α) Ὅταν τὸ πλοῖον κινῆται πρὸς βορρᾶν πάλιν μὲ ἄπνοιαν καὶ

β) ὅταν κινῆται πρὸς βορρᾶν μὲ μέτριον ἀνατολικὸν ἄνεμον;

(Σύνθεσις διανυσμάτων)

2) Ἔστω ὅτι βρέχει κατακορύφως, ἐνῷ ἐπικρατεῖ ἄπνοια· ἡμεῖς βαδίζομεν κρατοῦντες τὴν ὀμπρέλλαν ἀνοικτὴν μὲ ἄξονα κατακόρυφον. Εἶναι σωστὴ ἡ θέσις τῆς ὀμπρέλλας, ὥστε νὰ ἔχωμεν τὴν μεγαλυτέραν προφύλαξιν ἔναντι τῆς βροχῆς;

(Σύνθεσις διανυσμάτων)

3) Εἰς τὰ παραμύθια λέγεται ὅτι ἕνας κυνηγὸς ἐβούλιαξε εἰς τέλμα, ὁπότε ἔσυρε πρὸς τὰ ἄνω μὲ τὰ χέρια του τὰ μαλλιά του καὶ οὕτω ἀνεσύρθη ἀπὸ τὸν βοῦρκο. Ἐπιτυγχάνεται πράγματι τοῦτο καὶ διατί σώζεται ὁ κυνηγός, ὅταν κάποιος ἀπὸ μίαν βάρκαν τὸν σηκώση πιάνοντάς τον ἀπὸ τὰ μαλλιά του;

(Γ' ἀξίωμα Νεύτωνος)

4) Εἰς τὰ παραμύθια ἕνας σιδηρόφρακτος ἱππότης ἤθελε νὰ περάση ἕνα χανδάκι. Τότε ἔρριψεν εἰς τὸ ἀπέναντι μέρος ἕνα μαγνήτην καὶ ὁ μαγνήτης, κατὰ τὸ παραμύθι, τὸν ἐτράβηξε. Δύναται τοῦτο νὰ συμβῇ ἢ ὄχι καὶ διατί;

(Γ' ἀξίωμα Νεύτωνος)

5) Ἐπάνω εἰς λείαν τράπεζαν ἁπλώνει ἕνας σερβιτόρος μίαν καινουργῆ πετσέταν καὶ τοποθετεῖ ἕνα σερβίτσιο. Ἔπειτα τραβᾶ τὴν πετσέταν, καὶ τὸ σερβίτσιο ἢ μένει εἰς τὴν τράπεζαν ἢ συμπαρασύρεται. Πότε γίνεται τὸ ἕνα καὶ πότε τὸ ἄλλο;

('Αξίωμα ἀδρανείας)

6) Ἕνα σῶμα βαλλόμενον πρὸς τὰ ἄνω φθάνει εἰς τὸ μέγιστον ὕψος του. Ἔχει ἐκεῖ ἐπιτάχυνσιν γ; Ἢ ἄλλως, ὅταν ἡ ταχύτης υ εἶναι μηδέν, εἶναι καὶ ἡ ἐπιτάχυνσις μηδέν; Ἢ ἀκόμη, ὅταν τὸ αὐτοκίνητον φρενάρη καὶ σταματᾶ, ὑπάρχει γ καὶ διατί;

(Δυναμικὴ κατάστασις)

7) Κατὰ τί διαφέρει ἡ ταχύτης καὶ ἡ ἐπιτάχυνσις σώματος, ποὺ ἐβλήθη καὶ ἔφθασε εἰς τὸ μέγιστον ὕψος, ἀπὸ τὴν ταχύτητα καὶ ἐπιτάχυνσιν ἑνὸς σώματος, ποὺ στέκεται ἐπάνω εἰς τὴν τράπεζαν; Εἶναι τὸ υ καὶ γ μηδέν;

(Στατικὴ καὶ δυναμικὴ κατάστασις)

8) Εἰς σύγκρουσιν δύο αὐτοκινήτων ὁ ἕνας ὁδηγὸς ἐσώθη, διότι ἦταν δεμένος μὲ ζώνην εἰς τὸ κάθισμά του καὶ ὁ ἄλλος, διότι ξαφνικὰ ἐμπρὸς εἰς τὸ στῆθος του φούσκωσε ἕνα μεγάλο μπαλλόνι. Τί κοινὸ ὑπάρχει;

(Συσχέτισις ὁρμῆς καὶ δυνάμεως, αὔξησις χρόνου μηδενισμοῦ τῆς ὁρμῆς)

9) Ἀνερχόμεθα πεζῇ ἕνα ἀνήφορον σύροντες καὶ τὸ ποδήλατόν μας καὶ ἐπα-

ναλαμβάνομεν τὸ αὐτὸ συντομώτερον ἐπιβαίνοντες τοῦ ποδηλάτου μας. Διατί κοπιάζομεν περισσότερον κατὰ τὴν δευτέραν περίπτωσιν;

('Εργον καὶ ἰσχύς)

10) Ἕνα αὐτοκίνητον σύρει ἐπὶ ὁριζοντίας εὐθυγράμμου ὁδοῦ ἕνα τροχόσπιτον. Εἶναι πάντοτε τεντωμένον τὸ σχοινί, ποὺ τὰ συνδέει; Μὲ τὴν ἰδίαν τάσιν; Πότε εἶναι ἡ μεγαλυτέρα, πότε μηδενικὴ καὶ πότε ἀναστρέφεται, δηλαδὴ τὸ τροχόσπιτον σπρώχνει τὸ αὐτοκίνητο ὅταν ἀντὶ σχοινίου ἔχομεν «μπάρα».

('Αξιώματα Νεύτωνος)

11) Ξεκινᾶ ἕνα ἀεροπλάνον Jet καὶ κάθε ἐπιβάτης αἰσθάνεται τὸν ἑαυτόν του νὰ πιέζῃ ἔντονα τὴν ράχιν τοῦ καθίσματός του. Κάποιος ὅμως μᾶς λέγει ὅτι τὸ κάθισμα συμπιέζεται ἐπάνω του. Ποῖος καὶ ἀπὸ ποίαν ἄποψιν ἔχει δίκαιον;

('Αξιώματα Νεύτωνος, σύστημα ἀναφορᾶς)

12) Ἕνας πωλητὴς φρούτων πωλεῖ χρησιμοποιῶν σιδηρᾶ σταθμὰ καὶ τοποθετεῖ εἰς ἕνα ράφι ἐπάνω ἀπὸ τὴν ζυγαριὰν ἕνα μαγνήτην. Ἐξαπατᾶ τὸν ἀγοραστὴν ἢ ὄχι;

(Συνδυασμὸς γηΐνου καὶ ἑτέρου πεδίου)

13) Ποῖα τὰ πλεονεκτήματα καὶ μειονεκτήματα, ὅταν χρησιμοποιῆται ποδήλατον ἢ μοτοσυκλέττα μὲ χονδρὰ ὀγκώδη ἐλαστικά, δηλαδὴ μεγάλης ροπῆς ἀδρανείας;

(Στροφορμή)

14) Δύο αὐτοκίνητα Α καὶ Β ὅμοια ἐξωτερικῶς ξεκινοῦν συγχρόνως καὶ ἀποκτοῦν ταχύτητα 80 km/h τὸ μὲν Α ἐντὸς 10 λεπτῶν τὸ δὲ Β ἐντὸς 15 λεπτῶν. Ποῖον ἔχει ἰσχυροτέραν μηχανήν; Ποῖα τὰ πλεονεκτήματα τοῦ Α ἔναντι τοῦ Β;

('Υπὸ ὁμοίαν ἐσωτερικὴν ἀντίστασιν συσχέτισις ἰσχύος πρὸς ἐπιτάχυνσιν)

15) Διατί ἕνα ἐλατήριον εἰς κανταράκι, ὅταν τὸ τραβήξωμεν πολύ, μένει ἀνοικτόν, ἐνῷ ἕνα ξυραφάκι, ὅταν τὸ κάμψωμεν σπάζει;

("Ορια ἐλαστικότητος καὶ θραύσεως)

16) Εἰς τὸν δίσκον ζυγοῦ τοποθετοῦμεν ἕνα ποτήριον ὕδατος καὶ τὸ ἰσορροποῦμεν μὲ σταθμά. Ἐξαρτῶμεν ἐκ νήματος τὰ κλειδιά μας καὶ κρατῶμεν αὐτὰ βυθισμένα μέχρι τοῦ μέσου τοῦ ποτηρίου. Τί θὰ δείξῃ ὁ ζυγός;

Ἡ ἔνδειξις θὰ εἶναι διαφορετική, ὅταν τὰ ἀκουμβήσωμεν ἐπὶ τοῦ πυθμένος;

("Ανωσις καὶ Βάρος)

17) Τοποθετοῦμεν εἰς τὸν ζυγὸν φιάλην κλειστὴν μὲ μίαν μέλισσαν ἐντὸς αὐτῆς καὶ ἰσορροποῦμεν μὲ σταθμά. Πῶς μεταβάλλεται ἡ ἰσορροπία τοῦ ζυγοῦ, ὅταν ἡ μέλισσα λάβῃ διαφόρους θέσεις ἐντὸς τῆς φιάλης, π.χ. κάθεται εἰς τὸν πυθμένα ἢ εἰς τὸ τοίχωμα ἢ εἰς τὸ πῶμα ἀνάποδα, καὶ τί γίνεται καθ' ὃν χρόνον ἵπταται πρὸς τὰ ἄνω ἢ πρὸς τὰ κάτω;

(Μελετήσατε θέσιν κέντρου βάρους φιάλης. Μετακίνησις κέντρου βάρους δὲν προκαλεῖται ἀπὸ ἐσωτερικὰς δυνάμεις, ὅταν ἡ μέλισσα ἀνέρχεται ἢ κατέρχεται, πρβλ. ἐρωτήσεις 55 καὶ 60).

18) Ἐντὸς κολυμβητικῆς δεξαμενῆς ὑπάρχει μία βάρκα καὶ ἐντὸς αὐτῆς μεγάλη καὶ πολὺ βαρειὰ πέτρα. Ἐὰν ἡ πέτρα ἀφαιρεθῇ καὶ βυθισθῇ εἰς τὸν πυθμένα, ἀνεβαίνει ἢ κατεβαίνει ἡ στάθμη τοῦ ὕδατος τῆς δεξαμενῆς;

(Κατεβαίνει, ἐκτόπισμα βάρκας καὶ πέτρας)

19) Δοχεῖον ὕδατος θερμαίνεται πανταχόθεν ὁμοιομόρφως ἐντὸς φούρνου. Τὸ ὕδωρ θὰ ἀρχίση νὰ βράζη ἀπὸ τὸν πυθμένα ἢ ἀπὸ τὴν ἐπιφάνειαν;

(Βρασμός, σχηματισμὸς φυσαλλίδων)

20) Εἶναι δυνατὸν τὸ ὕδωρ νὰ βράζη εἰς τὰ ἐπιφανειακὰ στρώματα καὶ νὰ παγώνη συγχρόνως εἰς τὸν πυθμένα;

(Βρασμὸς ὑπὸ μικρὰν πίεσιν)

21) Διατί κρυώνομεν, ὅταν ἱδρωμένοι ἐκτεθῶμεν εἰς ρεῦμα;

('Εξάτμισις)

22) Λέγουν ὅτι τὸ ὕδωρ γίνεται ἀτμὸς μόνον εἰς τοὺς 100° C καὶ ὕδωρ ὑγρὸν δὲν ὑπάρχει κάτω ἀπὸ τοὺς 0° C. Εἶναι σωσταὶ αἱ ἐκφράσεις αὐταί;

("Οχι, διατί;)

23) 'Ακούομεν ὅτι τὰ πτητικὰ ὑγρὰ ἔχουν ὑψηλὸν βαθμὸν ζέσεως καὶ ὅτι μειοῦντες τὸν ὄγκον κεκορεσμένων ἀτμῶν αὐξάνομεν τὴν πίεσίν των. Εἶναι σωσταὶ αἱ ἐκφράσεις;

("Οχι, διατί;)

24) "Εστω ὅτι ἕνα αὐγὸν γίνεται «σφιχτὸ» εἰς θερμοκρασίαν 93° C. Δυνάμεθα νὰ βράσωμεν αὐγὰ εἰς τὴν κορυφὴν τοῦ 'Ολύμπου (3000 m) ἐντὸς ἀνοικτοῦ δοχείου; "Αν ὄχι τί πρέπει νὰ χρησιμοποιήσωμεν;

(Μεταβολὴ σ. ζέσεως ὑπὸ ἠλαττ. πίεσιν $\simeq$ 3,3° C ἀνὰ 1000 m ὕψος)

25) Διατί μία σταγόνα ὕδατος ἐπάνω εἰς θερμὸν «μάτι» κουζίνας δὲν ἐξατμίζεται ἀμέσως, ἀλλὰ κινεῖται δεξιά - ἀριστερά;

('Αγωγιμότης ἀερίου)

26) 'Ωφελεῖ νὰ βάψωμεν τὰ σώματα τοῦ καλοριφὲρ μαῦρα μὰτ ἢ ἄσπρα στιλπνά; 'Ωφελεῖ νὰ τὰ περιβάλωμεν μὲ πλέγμα; 'Ωφελεῖ νὰ ὑψώσωμεν τὴν θερμοκρασίαν τοῦ λέβητος ἢ νὰ τὴν κρατήσωμεν χαμηλοτέραν ἐπὶ μεγαλύτερον χρόνον;

('Ακτινοβολία)

27) Διατί οἱ παγετῶνες τῶν ὑψηλῶν ὀρέων κινοῦνται βραδέως πρὸς τὰς κοιλάδας; Διατί ἰσχυρὸς ἦχος προκαλεῖ χιονοστιβάδα;

(Τῆξις, ταλάντωσις)

28) Διατί ἕνας ποὺ τραγουδᾶ ἐντὸς δωματίου μὲ πλακάκια (λουτρό) διαπιστώνει μεγάλην ἔντασιν φωνῆς;

('Απορρόφησις - ἀνάκλασις, μετήχησις)

29) Διατί ἐντὸς ἐκκλησίας δὲν ἀκούεται εὐκρινῶς ταχεῖα ἀλληλουχία φθόγγων ἢ ὁμιλίας;

('Ως προηγουμένως)

30) "Ενας ἐργάτης κτυπᾶ μὲ σφυρὶ τὸ τέρμα ἑνὸς μακροῦ τμήματος σιδηροτροχιᾶς. Πόσας φορὰς ἀκούει τὸ κτύπημα ἕνας ἄλλος ἐργάτης εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς σιδηροτροχιᾶς; ('Αμελητέα ἡ ἠχώ).

(Τουλάχιστον δύο· ποικίλοι τρόποι διαδόσεως ἠχητικῆς ἐνεργείας)

31) Διατί, ὅταν κλείσωμεν ἀποτόμως στρόφιγγα ὕδατος, ποὺ ρέει μὲ ὁρμήν, ἀκούομεν ἕνα κτύπημα;

('Υδραυλικὸς κριός, κιν. ἐνέργεια)

32) Διατί οἱ σωλῆνες ροῆς ὑγροῦ π.χ. καλοριφὲρ ὕδατος δὲν πρέπει νὰ σχηματίζουν πολλὰς γωνίας, ζίγκ - ζὰγκ ἢ νὰ ἔχουν αὐξομειώσεις διατομῶν;

(Bernoulli)

33) Διατί δύο φελλοὶ ἢ σπίρτα ἐπιπλέοντα εἰς ὕδωρ, ὅταν τυχαίως πλησιάσουν ἄλληλα, προσκολλῶνται;

('Επιφανειακὴ τάσις)

34) 'Αντὶ νὰ τρέχη ἐλεύθερα τὸ ὕδωρ τῆς βροχῆς ἀπὸ τὸ λούκι τῆς ταράτσας καὶ μὲ τὸν ἄνεμον νὰ καταβρέχη τοὺς τοίχους, μᾶς συμβουλεύουν νὰ περάσωμεν μέσα ἀπὸ τὸ λούκι μίαν χονδρὴν ἀνοξείδωτον ἅλυσον κρεμασμένην ἕως τὸ ἔδαφος, ὁπότε τὸ ὕδωρ θὰ κατέρχεται ἤρεμα περιβρέχον τὴν ἅλυσον ὡσὰν νὰ ρέη μέσω σωλῆνος. Εἶναι σωστό; διατί;

(Συνοχή, συνάφεια ἐπιφ. τάσις)

35) Ἕνας παντοπώλης ἀνοίγει μίαν καινουργῆ διπλωμένην χαρτοσακκούλα κινῶν αὐτὴν ταχέως (ἀπότομα) εἰς τὸν ἀέρα, ἀντὶ νὰ προσπαθῆ νὰ τὴν ἀνοίξη φυσῶντας ἀνάμεσα στὰ φύλλα τοῦ χάρτου.

(Bernoulli)

36) Διατί τὰ κεράσια ἢ ἄλλα παρόμοια φροῦτα σκάζουν, ὅταν μείνουν ἐπὶ πολλὴν ὥραν εἰς καθαρὸν ὕδωρ;

('Ωσμωτικὴ πίεσις)

37) Εἰς βορεινὸν παράθυρον δυνάμεθα νὰ τοποθετήσωμεν εἴτε διπλᾶ παράλληλα τζάμια ἢ ἕνα μόνον ἀλλὰ παχύτερον. Πότε καὶ διατί ὑπάρχει καλυτέρα μόνωσις ἔναντι τοῦ ψυχροῦ ἀνέμου;

('Αγωγιμότης ἀερίων)

38) Ἕνα αὐτοκίνητον ἔχει μαύρην σκεπὴν ἢ μία ταράτσα ἔχει γκρίζας πλάκας. Ποίαν ὠφέλειαν θὰ ἔχωμεν, ἂν τὰ βάψωμεν τὸ θέρος μὲ στιλπνὸν ἀλουμινόχρωμα;

('Ακτινοβολία, ἀπορρόφησις)

39) Διατί εἰς βεράνταν κλειστὴν μὲ ὑαλοπίνακας ἢ ἐντὸς κλειστοῦ αὐτοκινήτου ζεσταινόμεθα πολὺ τὸ θέρος;

(Εἴσοδος φωτός, δύσκολος ἔξοδος θερμότητος)

40) 'Αγρότης σύρει ἕνα ζῶον μὲ σχοινὶ καὶ αὐτὸ μὲ τὰ πόδια του ἐμπρὸς ἀντιδρᾶ, ὥστε κάποιαν στιγμὴν καὶ οἱ δύο ἀκινητοῦν. Δύνασθε νὰ σχεδιάσετε τὰς ἀνὰ δύο δυνάμεις δράσεως-ἀντιδράσεως, ποὺ ὑφίστανται τώρα ἐν σχέσει πρὸς ἐκείνας, ποὺ ὑπῆρχον χωρὶς τὸν σύνδεσμον ἀγρότου - ζώου; (σχ. 4)

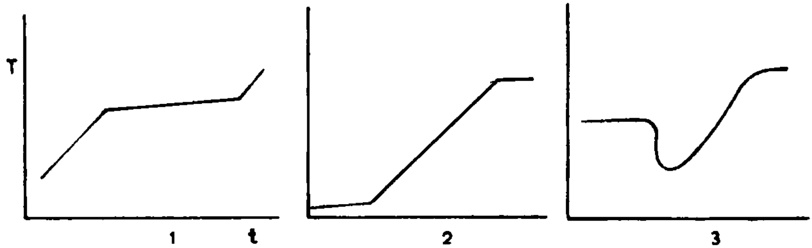
(Γ' 'Αξίωμα Νεύτωνος)

Σχ. 4.

41) Διατί ἕνα αὐτοκίνητον δυνατὸν νὰ τρέμη εἰς τὰ 60 km/h, ἐνῶ μὲ μεγαλυτέραν ταχύτητα κινεῖται ἠρεμώτερον;

(Συντονισμός)

42) Βλέπω ἕνα διάγραμμα θερμοκρασίας T πρὸς χρόνον t ὡς τὰ ἀκόλουθα σχήματα 1, 2, 3 (σχ. 5). Τί δύναται νὰ δηλώνῃ; θέρμανσιν, ἀλλαγὴν τάσεως, ψῦξιν κ.λπ;



Σχ. 5.

43) Ἡ Γῆ τὸν χειμῶνα εὑρίσκεται πλησιέστερον (r) πρὸς τὸν Ἥλιον παρὰ τὸ θέρος. Τὸν χειμῶνα ἡ ταχύτης της (υ) ἐπὶ τῆς τροχιᾶς της εἶναι μεγαλυτέρα ἢ ἔχει τροχιακὴν στροφορμὴν (mυr) ἀμετάβλητον καὶ διατί;

(Στροφορμή, Νόμοι Κεπλέρου)

44) Διατί μία σβούρα στρεφομένη καὶ πλαγίως τοποθετημένη ὡς πρὸς τὸ ἔδαφος δὲν πίπτει, καίτοι τὸ βάρος της πρέπει νὰ τὴν ἀνατρέψῃ;

(Γυροσκοπικὴ ἀντίδρασις, διατήρησις στροφορμῆς Spin)

45) Λέγεται ὅτι ὁ Γάλλος φυσικὸς J. Perrin ἀστειευόμενος ἔδωσε νὰ τοῦ μεταφέρουν μίαν βαλίτσα μὲ ἐντὸς αὐτῆς στρεφομένην μίαν μεγάλην σβούραν μὲ ἄξονα ὁριζόντιον. Καὶ ἐφ' ὅσον ἡ μεταφορὰ γινόταν εὐθυγράμμως, δὲν συνέβη τίποτε, μόλις ὅμως ὁ μεταφορεὺς ἔστρεψε εἰς τὴν γωνίαν τοῦ δρόμου, ἔφυγε ἡ βαλίτσα ἀπὸ τὰ χέρια του. Διατί;

(βλ. προηγουμένην ἐρώτησιν)

46) Διατί ἕνας χαλύβδινος ἧλος, ὅταν πυροβοληθῇ μὲ κατάλληλον πιστόλι ἐπαφῆς, χώνεται εὔκολα εἰς τὸ μπετόν, χωρὶς νὰ τὸ θρυμματίζῃ; Διατί, ὅταν ἡ ἥλωσις γίνεται μὲ σφυρὶ συνήθως τὸ μπετὸν ἢ καταστρέφεται ἢ ξεφλουδίζει;

(Ταχεῖα μεταβολὴ ὁρμῆς, κρουστικὴ δύναμις ἐφ' ἅπαξ)

47) Διατί εἰς τὴν πυρηνικὴν Φυσικὴν καὶ γενικῶς ὅπου ἔχομεν φαινόμενα λαμβάνοντα χώραν μεταξὺ ὀλίγων καὶ ὄχι πολλῶν σωματιδίων δὲν ἰσχύει ἡ Θερμοδυναμικὴ (οὔτε καὶ ἡ ἔννοια τῆς θερμοκρασίας);

(Κινητικὴ θεωρία στατιστική)

48) Ἔχομεν δοχεῖον κλειστὸν χωριζόμενον εἰς δύο ἴσα μέρη μὲ λεπτὴν μεμβράνην. Τὸ ἕνα μέρος περιέχει ὑδρογόνον, τὸ ἄλλο ἥλιον. Θραύεται κάποτε ἡ μεμβράνη, τότε τί συμβαίνει; Αὐξάνει ἡ ἐντροπία; Τί θὰ συμβῇ, ὅταν ἀντὶ ὑδρογόνου ἀμφότερα τὰ μέρη περιέχουν ἥλιον;

('Ανοικτὴ μεταβολή, ἀντιστρεπτότης)

49) Μία ἀσφαλιστικὴ ἑταιρία ἔχει ὁρίσει χαμηλὰ ἀσφάλιστρα πυρκαϊᾶς εἰς μεγάλην πόλιν καὶ μεγαλύτερα ἀσφάλιστρα εἰς μικράν. Ποῦ εἶναι περισσότερον γνωστὴ ἡ πιθανότης νὰ καῇ ἕνα τυχὸν σπίτι;

(Στατιστική, πιθανότης, βεβαιότης εἰς μέγα πλῆθος)

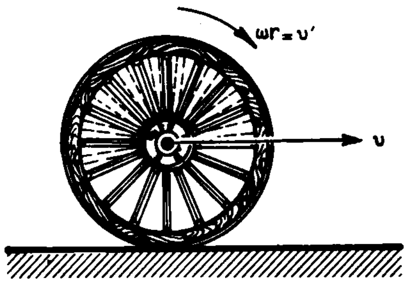
50) Δύναται νὰ ψυχθῇ ἡ κουζίνα τοῦ σπιτιοῦ (κλειστὸ δωμάτιο), ἂν ἀφήσωμεν νὰ λειτουργῇ τὸ ψυγεῖον μὲ τὴν πόρτα του ἀνοικτήν;

('Ο συμπιεστής του θερμαίνει τὸ δωμάτιον)

51) Διατί ἡ τριβὴ ὡς δύναμις δὲν ἔχει δυνατότητα νὰ παράγῃ ἀποταμιεύσιμον ἔργον;

(Ἔργον τριβῆς πάντοτε θερμότης)

52) Ὅταν ἕνα ὄχημα κινῆται, αἱ ἀκτῖνες τῶν τροχῶν του φαίνονται πολλάκις συγκεχυμέναι (ἡνωμέναι), ὅταν εὑρίσκωνται ἄνω, παρὰ ὅταν περνοῦν κοντὰ ἀπὸ τὸ ἔδαφος (σχ. 6). Διατί;



Σχ. 6.
Κάτω, ἀφαίρεσις ταχυτήτων υ καὶ υ'.

53) Διὰ νὰ θερμάνωμεν ταχέως ἕνα ὑγρὸν θέτομεν ἁπλῶς τὸ δοχεῖον ποὺ τὸ περιέχει ἐπὶ θερμῆς πλακὸς (μάτι κουζίνας). 'Εὰν θέλωμεν νὰ τὸ ψύξωμεν ταχέως, ἀρκεῖ νὰ τεθῇ ἁπλῶς τὸ δοχεῖον ἐπὶ ψυχρᾶς πλακὸς (π.χ. πάγου);

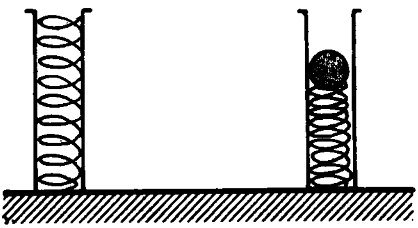
(Ὄχι, τὸ ψυχρὸν ὕδωρ κατακάθεται, πρέπει νὰ ἀνακινῆται)

54) Διατί αἱ καπνοδόχοι τῶν ἐργοστασίων εἶναι ὑψηλαὶ καὶ διατί προτιμᾶται τὸ κτίσιμόν των μὲ τοῦβλα;

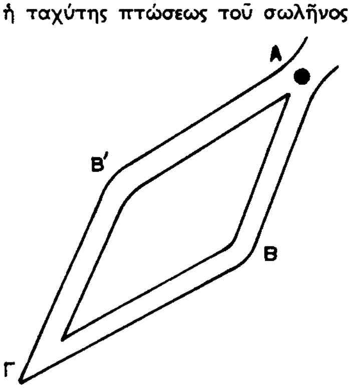
('Ανοδικὴ στήλη θερμοῦ ἀερίου, ἀγωγιμότης)

55) 'Εντὸς κλειστοῦ σωλῆνος ἐγκλείεται μία μέλισσα, ἡ ὁποία κάθεται εἰς τὸν πυθμένα. 'Αφίνομεν τὸν σωλῆνα νὰ πέσῃ ἐλευθέρως κατακορύφως. Ὑπάρχει περίπτωσις, ὅταν πετᾷ ἡ μέλισσα, νὰ ἐπηρεασθῇ ἡ ταχύτης πτώσεως τοῦ σωλῆνος;

('Εὰν πετᾷ πρὸς τὰ ἄνω, τότε γίνεται στιγμιαίως μετακίνησις πρὸς τὰ ἄνω τοῦ κέντρου βάρους, ὁπότε ὤθησις πρὸς τὰ κάτω τοῦ σωλῆνος καὶ ἀντιθέτως, πρβλ. ἐρωτήσεις 17 καὶ 60)



Σχ. 7.



Σχ. 8.

56) 'Εντὸς σωλῆνος ὑπάρχει ἐλατήριον πληροῦν αὐτόν. Τοποθετοῦμεν μίαν σφαῖραν καὶ τὸ ἐλατήριον μαζεύει εἰς τὸ ἥμισύ του. 'Αφίνομεν: α) τὸν σωλῆνα νὰ πέσῃ ἐλευθέρως κατακορύφως, β) νὰ ὀλισθήσῃ εἰς κεκλιμένον ἐπίπεδον γωνίας 30°. Τί θὰ συμβῇ μὲ τὴν σφαῖραν εἰς τὰς δύο περιπτώσεις (σχ. 7);

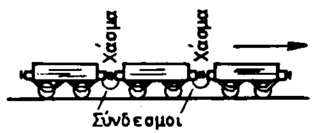
('Η συμπίεσις τοῦ ἐλατηρίου ὑπὸ τῆς σφαίρας μειοῦται, ἡ τάσις τοῦ ἐλατηρίου τὴν ἐκτινάσσει: α' πρὸς τὰ ἄνω, β' βολὴ ὑπὸ γωνίαν)

57) Μία σφαῖρα δύναται νὰ *κυλισθῇ* ἐντὸς τῆς μιᾶς ἢ τῆς ἄλλης διαδρομῆς τοῦ κεκλιμένου ρομβοειδοῦς δοχείου. Ποία διαδρομὴ ἄραγε εἶναι χρονικῶς συντομωτέρα, ἡ ΑΒ'Γ ἢ ἡ ΑΒΓ (ΑΒ' = Β'Γ = ΓΒ = ΒΑ) (σχ. 8);

(Συντομωτέρα ἡ ΑΒΓ, διότι ἡ σφαῖρα ἀποκτᾶ εἰς τὸ Β μεγαλυτέραν ταχύτητα παρὰ εἰς τὸ Β', ἡ ὁποία τὴν προωθεῖ κατὰ τὴν διαδρομὴν ΒΓ)

58) Διατί, ὅταν ἕνα ταχέως κινούμενον αὐτοκίνητον φρενάρῃ ἀποτόμως, τὸ πρόσθιόν του μέρος κλίνει πρὸς τὰ κάτω;

('Αδράνεια, κέντρον βάρους ὑψηλότερον τῶν σημείων πεδήσεως, τριβὴ ἐδάφους)



Σχ. 9.

59) Μία ἀτμομηχανὴ τραίνου δυσκολεύεται νὰ ἐκκινήσῃ τὸν συρμόν. Τότε μᾶς λέγει ὁ ὁδηγὸς θὰ «κάνωμεν» ὀλίγον ὄπισθεν καὶ ἔπειτα ἐμπρός. Τί θὰ συμβῇ; διευκολύνεται ἡ ἐκκίνησις ἢ ὄχι;

(Ναί, κροῦσις καὶ διάδοσις αὐτῆς κατὰ μῆκος τοῦ συρμοῦ ὠφελεῖ, κατανίκησις στατικῆς τριβῆς ἰδίως τοῦ πρώτου βαγονίου) (σχ. 9).

60) Ἕνα φορτηγὸν αὐτοκίνητον μεταφέρει μέγα κιβώτιον, ποὺ περιέχει ζωντανὰ πτηνά. Κάθε τόσον ὁ ὁδηγὸς κτυπᾶ τὰ τοιχώματα τοῦ κιβωτίου, τὰ καθισμένα πουλιὰ τρομάζουν καὶ πετοῦν ἀτάκτως, ὁπότε ὁ ὁδηγὸς διατείνεται ὅτι τὸ φορτηγὸν—ἔστω καὶ βραχυχρονίως—ἐλαφρύνει, ἐφ' ὅσον τὰ πουλιὰ αἰωροῦνται. Εἶναι σωστόν;

(βλ. ἐρώτησιν 55)

61) Ὅταν τεμάχιον πάγου τεθῇ εἰς δοχεῖον, ποὺ περιέχει ἁλμυρὸν ὕδωρ, γίνεται ψυχρότερον;

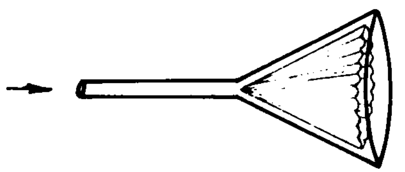
(Διάλυσις - ἀραίωσις ἅλατος, ψῦξις)

62) Κατὰ τὸ φρενάρισμα τοῦ αὐτοκινήτου ποία ἄραγε ἐξωτερικὴ δύναμις τὸ ἐπιβραδύνει, ἐφ' ὅσον κάποια δύναμις πρέπει νὰ ἀντιδρᾶ ἐκ τῶν ἔξω, ἄλλως ἕνα κινούμενον σῶμα *δὲν* ἐπιβραδύνεται παρὰ μόνον μὲ λειτουργίαν πυραύλου.

('Η τριβὴ ἀπὸ τὸ ἔδαφος)

63) Ἔχομεν ὑάλινον χωνίον καὶ μέσα ἕνα πτυχωτὸν χάρτινον φίλτρον. Τὸ φυσῶμεν, θὰ πεταχθῇ ἄραγε τὸ φίλτρον; (σχ. 10).

(Ὄχι, Bernoulli· εἰς τὰς πτυχὰς ὑποπίεσις, ἐνῷ εἰς τὸ κοίλωμα ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεσις)


Σχ. 10.

64) Εἰς θερμοκρασίαν 20° C ἐντὸς δωματίου ὑπάρχει ὑγρασία 40 %, ἐνῷ ἔξω εἰς τὴν ἀτμόσφαιραν ἡ θερμοκρασία εἶναι 0° C καὶ ἡ ὑγρασία 80 %. 'Ανοίγομεν τὸ παράθυρον· πρὸς ποίαν διεύθυνσιν θὰ μετακινηθοῦν οἱ ὑδρατμοί;

(Τάσις ἀτμῶν 0° C 4,6 Torr, 20° C 17,6 Torr)

65) Εἰς δοχεῖον περιέχον ὕδωρ ὁ βρασμὸς αὐτοῦ γίνεται ὁμαλώτερος (πολλαὶ πυκναὶ φυσαλλίδες), ὅταν ρίψωμεν ἐντὸς αὐτοῦ ποσότητα ὑαλίνων χανδρῶν. Διατί;

('Επίδρασις ἀερίων κέντρων)

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΝ

(Οἱ ἀριθμοὶ ἀναφέρονται εἰς σελίδας)