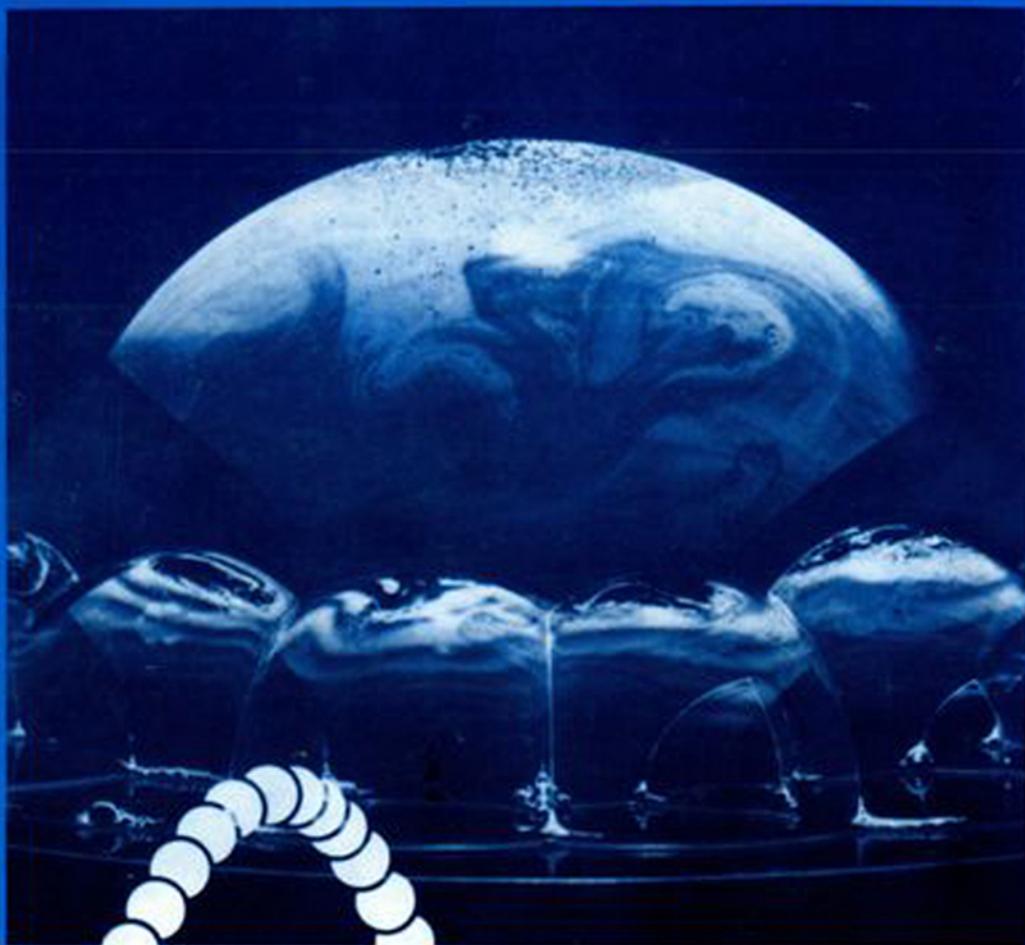




Εργαστηριακός Οδηγός

PSSC ΦΥΣΙΚΗ



Έκτη έκδοση

HABER-SCHAIM
DODGE
WALTER



1954

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ

Εργαστηριακός Οδηγός
PSSC **ΦΥΣΙΚΗ**

Έκτη έκδοση

Απόδοση στα ελληνικά:
ΝΙΚΟΣ Σ. ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ
ΦΥΣΙΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ
1993



Απόδοση στα ελληνικά από την αγγλική έκδοση του βιβλίου Laboratory Guide PSSC PHYSICS (έκτη έκδοση)

Copyright © 1992 Ίδρυμα Ευγενίδου για την ελληνική μετάφραση

Copyright © 1986, 1981, 1976, and 1971 by D. C. Heath and Company

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publisher.

Πρόλογος Ιδρύματος Ευγενίδου

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

Χαρακτηριστικό είναι ότι το πρώτο βιβλίο, από τα υπερτριακότα που έχει ήδη συγγράψει και εκδόσει μέχρι σήμερα, ήταν η προσαρμογή στα ελληνικά του βιβλίου του R. Cluzel «Les Mathématiques en 1re Année d' apprenitissage», από τον αείμνηστο καθηγητή των μαθηματικών του ΕΜΠ Νικ. Κρητικό. Με το βιβλίο εκείνο προστίγγισαν τη μαθηματική σκέψη και αντελήφθησαν τη σημασία των μαθηματικών για τα τεχνικά μαθήματα γενιές ολόκληρες μαθητών των τότε κατωτέρων Τεχνικών Σχολών.

Ακολούθησε η μετάφραση των βιβλίων: Ιατρικός οδηγός για πλοία, Οδηγός ασφάλειας δεξαμενοπλοίων, Πυρόσβεση - Πυροπροστασία και Πυρασφάλεια στα πλοία, Πρόληψη ατυχημάτων επί του πλοίου «εν πλω» και «εν δρυμώ» και Ωκεανογραφία, εγχειρίδια μη καθαρώς διδακτικά αλλά απαραίτητα για τους ναυτιλλομένους.

Η Φυσική, μαζί με τη Χημεία και τα Μαθηματικά, είναι οι Επιστήμες στις οποίες θεμελιώνονται, χωρίς υπερβολή, δόλοι οι κλάδοι της Τεχνολογίας. Η ανάπτυξη νέων γνώσεων στη Φυσική οδηγεί αργά ή γρήγορα στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εφαρμογών. Έτσι, η κατασκευή και λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών, γεννητριών και κινητήρων βασίζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό, ενώ οι μηχανές εσωτερικής καύσεως προϋποθέτουν γνώσεις Θερμοδυναμικής.

Το Ίδρυμα Ευγενίδου, στην προσπάθεια που καταβάllει επί δεκαετίες με τις εκδόσεις του για την άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, απεφάσισε να προβεί στη μετάφραση και ενός εξωσχολικού βιβλίου Φυσικής διεθνούς ακτινοβολίας.

Η μακρόχρονη εκδοτική πείρα του Ιδρύματος επέτρεψε την επιλογή του παρουσιαζόμενου βιβλίου Φυσικής, του οποίου οι συνεχείς βελτιώσεις από τη χρήση του στην πράξη, εγγυώνται την ποιότητά του. Βασικό προτέρημα του βιβλίου είναι ότι η γραπτή έκθεση της ύλης γίνεται σε ύφος ζωντανό, που διεγείρει το ενδιαφέρον και ευχαριστεί το μαθητή, σαν ένας ζωηρός προφορικός λόγος ταιριαστός με την ηλικία του. Εξάλλου, η προσέγγιση, η ξεκάθαρη και κυριολεκτούσα γλωσσική διατύπωση διδάσκουν σιγά-σιγά το μαθητή να εκφράζει τη σκέψη του με τη γλώσσα της επιστήμης και προάγουν τη διανοητική του μόρφωση.

Το I.E. πιστεύει ότι η χρησιμότητα του βιβλίου αυτού δεν περιορίζεται μόνο στους μαθητές και σπουδαστές, αλλά επεκτείνεται και σε όσους διδάσκουν το σχετικό μάθημα, παρά το γεγονός ότι τα περιεχόμενά του δεν συμπίπτουν με το επίσημο αναλυτικό πρόγραμμα ύλης του μαθήματος στα σχολεία μας.

Ως συμπλήρωμα για την προσφοράτερη διδασκαλία του μαθήματος, αλλά και ως βοήθημα για την πληρέστερη κατανόηση του περιεχομένου του από τους μαθητές, το Ίδρυμα μετέφρασε και τα βοηθητικά βιβλία, που συνοδεύουν το διδακτικό, δηλαδή:

- α) Το βιβλίο του Καθηγητή (Teacher's Resource Book).
- β) Τον Εργαστηριακό Οδηγό (Laboratory Guide).
- γ) Τις Ασκήσεις Εμπεδώσεως (Tests).

Το Ίδρυμα Ευγενίδου πιστεύει ότι με την ολοκληρωμένη αυτή σειρά βιβλίων, αλλά κυρίως με την πολύτιμη θοήθεια και εργάδη προσπάθεια των διδασκόντων, θα αξιολογηθεί τελικώς θετικά η πειραματική εισαγωγή του βιβλίου ^{PSSC} Φυσική στα Λύκεια της χώρας για το καλό της εκπαιδεύσεως.

Το Ίδρυμα ευχαριστεί τον εκδοτικό οίκο D.C. HEATH AND COMPANY για την παραχώρηση των δικαιωμάτων μεταφράσεως.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ. Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς. Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταράτης Παλαιοκρασάς, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Σωτήριος Γκλαΐδης, Σχολικός σύμβουλος Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσεως ειδικότητας Π.Ε.17.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του ίδρυμάτος **Κων. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν.μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ. **Άγγελος Καλεγεράς** (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ. **Δημήτριος Νιάνιας** (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ. **Μιχαήλ Σπετσιέρης** (1956-1959). **Νικόλαος Βασιώτης** (1960-1967). **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ. **Παναγιώτης Χατζηιωάννου** (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ. **Αλέξανδρος Ι. Παππάς** (1955-1983) Καθηγ. ΕΜΠ. **Χρυσόστομος Καθουνίδης** (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ. **Γεώργιος Ρούσσος** (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ. **Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου** (1982-1984) Δρ. Μηχανολόγος-Μηχανικός. **Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου** (1985-1988) Μηχανολόγος, Γεν. Διευθυντής Σιβίτανιδείου Σχολής. **Γεώργιος Σταματίου** (1988-1990) Σχολ. σύμβουλος.

Πρόλογος

Το εργαστηριακό πρόγραμμα PSSC πάντοτε προσπαθούσε να χρησιμοποιεί στο σχεδιασμό του εργαστηριακού εξοπλισμού του, απλά και μαζικής παραγωγής όργανα. Τελευταία, στην κατηγορία αυτή έχουν συμπεριληφθεί και οι υψηλής τεχνολογίας ηλεκτρονικές διατάξεις. Αυτή η εξέλιξη εμφανίζεται με δύο τρόπους στην παρούσα έκδοση του Εργαστηριακού Οδηγού. Αρχικά, τα πειράματα που γίνονται με τη χρήση του ηλεκτρικού χρονομετρητή μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση φωτοπύλης και όλοι οι υπολογισμοί να περάσουν απενθείας στο μικροϋπολογιστή για επεξεργασία. Επιπροσθέτως, υπάρχουν τρία νέα πειράματα που χρησιμοποιούν βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως ολοκληρωμένα κυκλώματα, σε συνάρτηση με το καινούριο κεφάλαιο 13, «Λογικές πύλες και δυαδική πρόσθεση».

Άλλα πειράματα έχουν αναθεωρηθεί, και λόγω της αναδιαρθρώσεως της ύλης στο βιβλίο του μαθητή αλλά και λόγω της εμπειρίας που αποκτήθηκε.

Ευχαριστίες

Είμαστε υποχρεωμένοι στον καθηγητή Hal Mahon για τη σχεδίαση της φωτοπύλης και του σχετικού προγράμματος του υπολογιστή, και στον Stephen Mc Kaughan για τις χρήσιμες υποδείξεις του. Επίσης επιθυμούμε να ευχαριστήσουμε τον Eduard A. Shore για τη φωτογράφιση των νέων πειραματικών διατάξεων.

*Uri Haber Schaim
John H. Dodge
James A. Walter
Ιούνιος 1985*

Για το μαθητή

Η εργασία στο εργαστήριο μπορεί να είναι χαρά και πρόκληση. Για να βοηθηθείς στην εργασία σου στο εργαστήριο, ο **Εργαστηριακός Οδηγός** θα σου εξηγεί το σκοπό του κάθε πειράματος και θα σου δίνει τεχνικές υποδείξεις, αλλά θα αφήνει εσένα να σκέψεσαι και να πράπτεις. Παντού σ' αυτόν τον **Εργαστηριακό Οδηγό** θα συναντάς πολλές ερωτήσεις. Για να απαντήσεις σ' αυτές, ορισμένες φορές απαιτείται να σκεφθείς τι έχεις κάνει προηγουμένως ή να κάνεις κάποιους σύντομους υπολογισμούς. Κάποιες φορές θα σου ξητηθεί και πρόσθετη πειραματική εργασία. Εξαρτάται από σένα να αποφασίσεις τι θα κάνεις στην κάθε περίπτωση.

Χρήσιμες είναι οι καλές συνήθειες εργασίας. Πάντοτε να έχεσαι προετοιμασμένος στο εργαστήριο. Για παράδειγμα, διάβασε το πείραμα πριν έλθεις στο εργαστήριο, έτσι ώστε να ξέρεις σαφώς τι θα κάνεις. Όπου προβλέπεται, χαράκωσε τις στήλες του πίνακα μετρήσεων, για τα πειραματικά δεδομένα που αναμένεις να έχεις.

Κράτησε σαφείς σημειώσεις για το πείραμα, καθώς το εκτελείς. Έτσι, θα έχεις στοιχεία αναφοράς, όταν σου χρειαστούν, και ικανοποιητικές πληροφορίες για ό,τι έχεις κάνει. Συχνά τις μετρήσεις σου θα ακολουθούν υπολογισμοί και διαγράμματα. Για να είσαι σίγουρος ότι δεν παρέλειψες κάτι, είναι χρήσιμο να ολοκληρώνεις τους υπολογισμούς για το κάθε τμήμα των δεδομένων και να μην αφήνεις όλους τους υπολογισμούς για το τέλος.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπου απαιτείται, επανάλαβε τις μετρήσεις σου πολλές φορές. Οι πολλές μετρήσεις είναι καλύτερες από τη μία. Μόνος σου θα αποφασίσεις πότε απαιτούνται περισσότερες μετρήσεις.

Για πολλά από τα πειράματα χρειάζεται ομαδική εργασία. Συζήτησε τα αποτελέσματα με τα άλλα μέλη της ομάδας. Θα αφεληθείς περισσότερο εργαζόμενος ομαδικά για την ανάλυση του πειράματος, παρά κάνοντάς τη μόνος σου.

Πιθανώς να μην μπορέσεις να τελειώσεις στον καθορισμένο χρόνο όλα τα μέρη ενός πειράματος. Μην στεναχωρίσαι. Θα κερδίσεις περισσότερα αν ολοκληρώνεις σωστά τα μισά από τα προτεινόμενα στο πείραμα, παρά αν τα κάνεις όλα και επιπλόαια. Συχνά, μέρος της επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων μπορεί να γίνει στο σπίτι.

Η πειραματική διάταξη στα περισσότερα πειράματα είναι απλή. Έτσι, μπορείς και εσύ να κάνεις μια παρόμοια διάταξη για περαιτέρω πειραματική εργασία στο σπίτι.

Πίνακας Περιεχομένων

Πείραμα	1	Κίνηση: Ταχύτητα και επιτάχυνση.....	1
		1α Κίνηση: Ταχύτητα και επιτάχυνση (χρησιμοποιώντας χαρτοταινία και ηλεκτρικό μετρητή)	4
		2 Πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα, όταν η δύναμη είναι σταθερή*	6
		3 Η εξάρτηση της επιταχύνσεως από τη δύναμη και τη μάζα*	9
		4 Μάζα αδράνειας και μάζα βαρύτητας	11
		5 Δράση δυνάμεων που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία*	14
		6 Κεντρομόλος δύναμη	16
		7 Δυνάμεις κατά την κίνηση βλήματος	19
		8 Τριβή μεταξύ στερεών σωμάτων*	22
		9 Μεταβολή της ορμής σε μια έκρηξη	24
		10 Κρούση σε δύο διαστάσεις	26
		11 Ρίχνοντας μια μπάλα μπέιζμπολ	30
		12 Ελαστικές και μη ελαστικές κρούσεις	31
		13 Μεταβολές της δυναμικής ενέργειας	33
		14 Ηλεκτρισμένα αντικείμενα	35
		15 Ηλεκτροστατική επαγωγή	36
		16 Η δύναμη μεταξύ δύο φορτισμένων σφαιρών	38
		17 Μέτρηση μικρών ηλεκτρικών δυνάμεων	42
		18 Το πείραμα του Millikan	44
		19 Ηλεκτρικό έργο και μεταβολές στην εσωτερική ενέργεια	46
		20 Είσοδος και έξοδος (τάση εισόδου και τάση εξόδου)	49
		21 Δύο λογικές πύλες	53
		22 Συμπληρωματικές λογικές πύλες	57
		23 Εκτροπή ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα	59
		24 Το μαγνητικό πεδίο φεύγματος	63
		25 Η μέτρηση μαγνητικού πεδίου στις θεμελιώδεις μονάδες	65
		26 Η μάζα του ηλεκτρονίου	68
		26α Η μάζα του ηλεκτρονίου (χρησιμοποιώντας ηλεκτρονική λυχνία κενού)	71
		27 Το μαγνητικό πεδίο της γης	75
		28 Ανάκλαση	78
		29 Διάθλαση	80
		30 Είδωλα που σχηματίζονται σε επίπεδο καθρέφτη	82
		31 Είδωλα που σχηματίζονται από φακούς	84
		32 Η ένταση φωτεινής ροής ως συνάρτηση της αποστάσεως	86
		33 Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	89
		34 Το σωματιδιακό μοντέλο των Νεύτωνα για τη διάθλαση του φωτός	93
		35 Κύματα σε σπειροειδές ελατήριο	95
		36 Παλμοί στη συσκευή παραγωγής κυματισμών	97
		37 Περιοδικά κύματα	99
		38 Διάθλαση κυμάτων	101
		39 Κύματα και εμπόδια	103
		40 Κύματα από δυο σημειακές πηγές	105
		41 Συμβολή και φάση	106
		42 Το πείραμα του Young	107
		43 Το φάσμα του υδρογόνου και η σταθερά του Planck	110
Παράρτημα	1	Σημαντικά ψηφία.....	113
		2 Ανάλυση ενός πειράματος.....	117

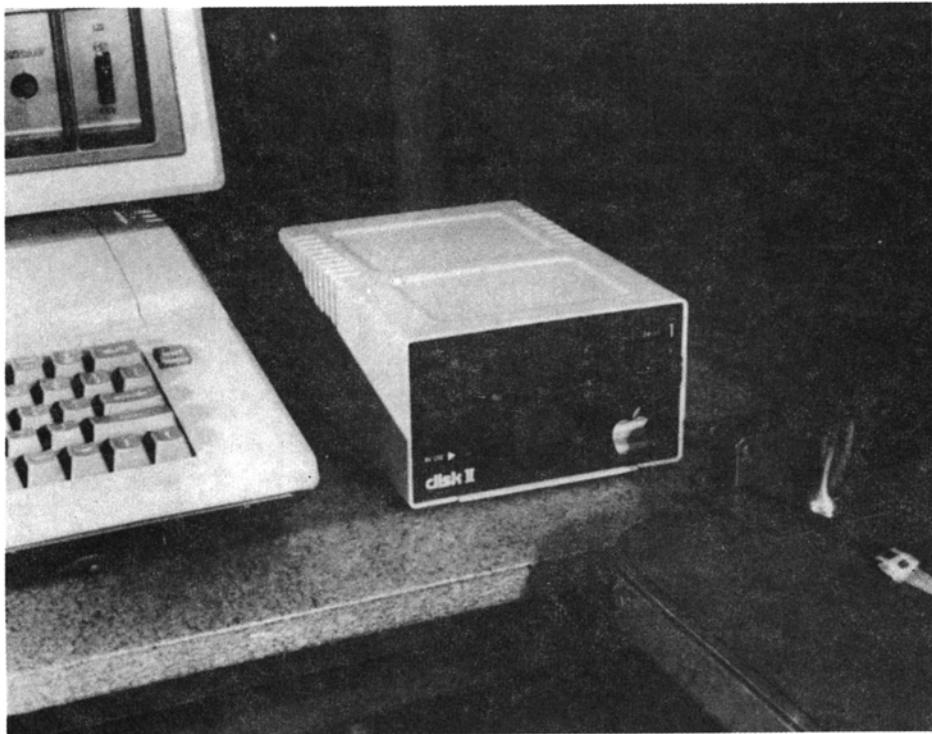
1

Κίνηση: Ταχύτητα και επιτάχυνση

Η πειραματική μελέτη της κινήσεως απαιτεί τη λήψη μεγάλου αριθμού μετρήσεων και κατόπιν τους συνήθεις αριθμητικούς υπολογισμούς των δεδομένων που προκύπτουν. Το να κάνουμε αυτούς τους υπολογισμούς με το χέρι, είναι κονιαστικό και χρονοβόρο. Αν όμως γνωρίζομε το χειρισμό μικρούπολογιστή, μπορούμε με ευκολία να επεξεργασθούμε σε μικρό χρόνο σημαντικό αριθμό πειραματικών δεδομένων, που προκύπτουν από διαδοχικές μετρήσεις.

Στο πείραμα αυτό θα ερευνήσεις την κίνηση του χεριού σου, καθώς τραβά μια ταινία. Θα καταγράψεις και θα επεξεργασθείς μερικά από τα πειραματικά δεδομένα μόνος σου. Ο μικρούπολογιστής θα κάνει ταυτοχρόνως τους ίδιους χειρισμούς. Όταν εσύ και ο υπολογιστής πάρετε τις ίδιες απαντήσεις, θα είσαι βέβαιος πλέον ότι γνωρίζεις πώς να καταγράφεις και να αναλύεις πειραματικά δεδομένα μόνος σου. Θα έχεις επίσης αποκτήσει εμπιστοσύνη στον υπολογιστή, ώστε να εργάζεται για σένα σε μελλοντικά πειράματα.

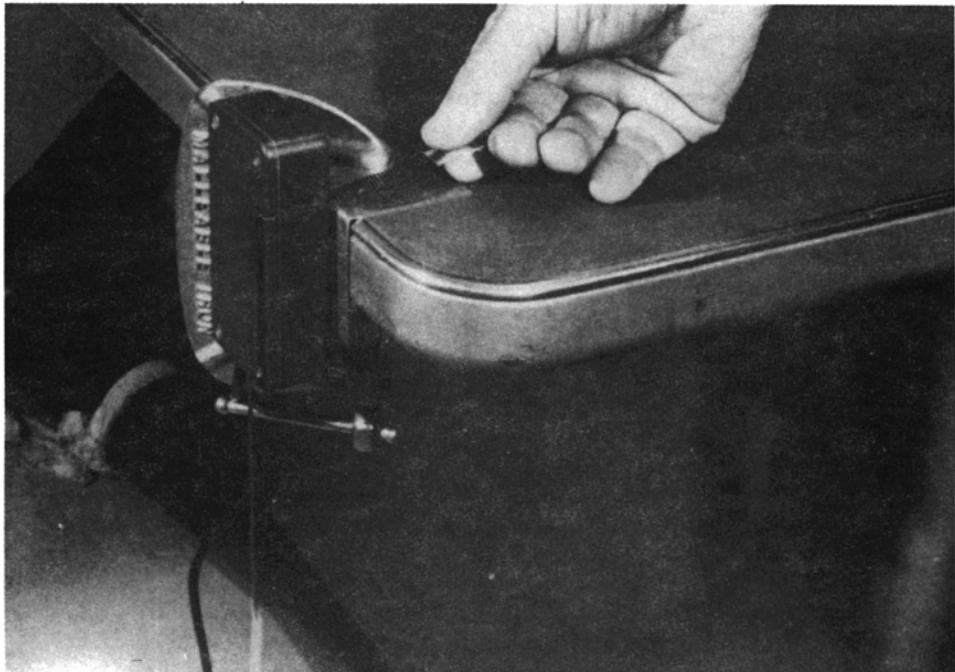
Ο εργαστηριακός εξοπλισμός γι' αυτό το πείραμα είναι μια κατάλληλα σημαδεμένη ταινία και μια φωτοπύλη συνδεδεμένη στον υπολογιστή (σχ. 1-1). Εξέτασε την ταινία. Έχει σκοτεινές και φωτεινές ραβδώσεις ίσου πλάτους. Οι φωτεινές ραβδώσεις είναι διαφανείς, όχι όμως και οι σκοτεινές.



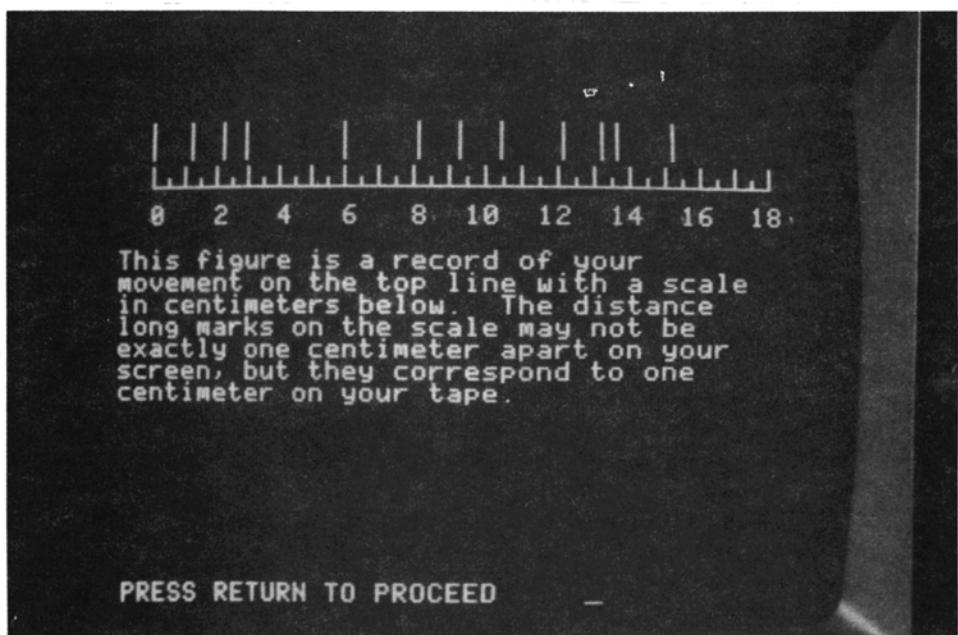
Σχήμα 1-1

Άποψη του υπολογιστή και της φωτοπύλης.

Η φωτοπύλη περιέχει μια φωτεινή πηγή (στην πραγματικότητα υπεριώδους φωτός, αλλά αυτό δεν είναι σημαντικό για το πείραμά μας) και έναν ανιχνευτή (σχ. 1-2). Όταν μια διαφανής ράβδωση περνά μεταξύ της φωτεινής πηγής και του ανιχνευτή, το φως φθάνει στον ανιχνευτή. Ενώ, όταν μια αδιαφανής ράβδωση παρεμβάλλεται, το φως διακόπτεται. Ο υπολογιστής είναι προγραμματισμένος να μετρά τον αριθμό των φωτεινών παλμών σε ορισμένο χρόνο. Πολλαπλασιάζει στη συνέχεια τον αριθμό των παλμών με την απόσταση μεταξύ



Σχήμα 1-2 Φωτογραφία της φωτοπύλης με την ταινία.



Σχήμα 1-3

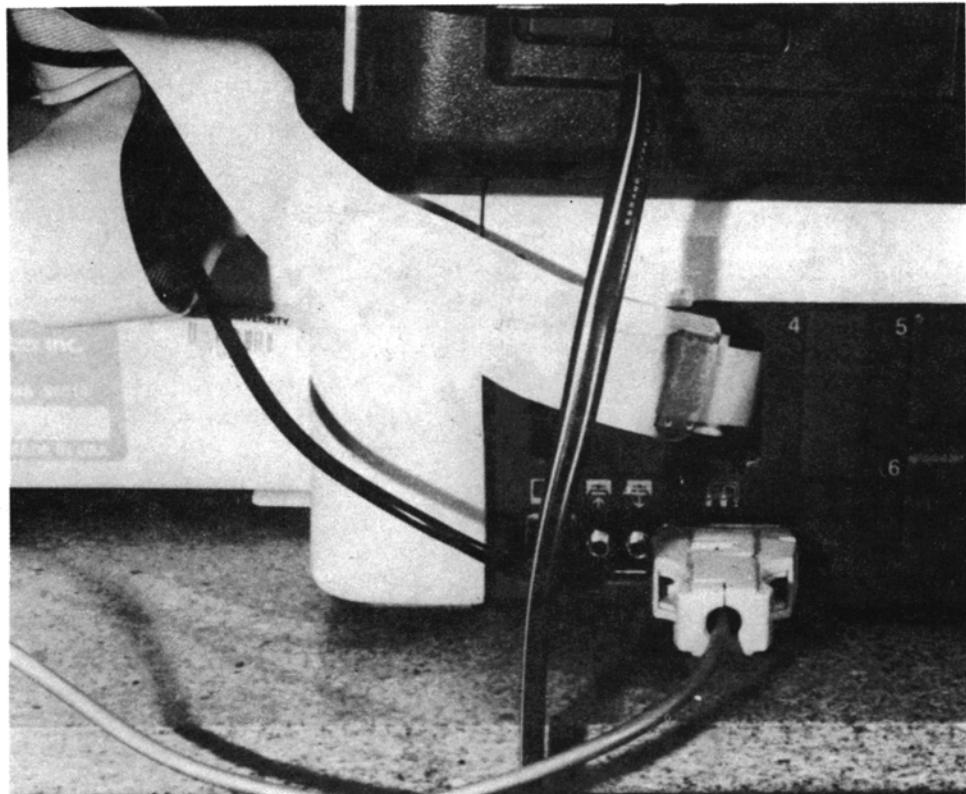
Η απεικόνιση της κινήσεως στην οθόνη του υπολογιστή. Οι κάθετες ράβδοι στο επάνω μέρος είναι η καταγραφή της κινήσεώς σου, σε αντιστοιχία με την κλίμακα (σε cm) από κάτω. Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών αριθμών στην κλίμακα αυτή δεν είναι ακριβώς ένα εκατοστόμετρο στην οθόνη, αλλά αντιστοιχεί σε ένα εκατοστόμετρο στην ταινία σου.

των διαδοχικών διαφανών ραβδώσεων της ταινίας και δρίσκει την απόσταση που καλύπτεται στη μονάδα του χρόνου. Τα πρώτα 15 cm της κινήσεώς σου παριστάνονται γραφικά από τον υπολογιστή, έτσι που να μπορείς να τα μετρήσεις μόνος σου στην οθόνη (σχ. 1-3).

Για να αρχίσεις το πείραμα, σύνδεσε τη φωτοπύλη στον υπολογιστή, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-4. Χρησιμοποιήσε ταινία μήκους 17-18 cm. Θα διευκολυνθείς, αν κολλήσεις ένα κομμάτι σελοτέπ στο ένα άκρο της ταινίας, έτσι ώστε να γνωρίζεις ακριβώς από πού αρχίζεις τη μέτρηση.

Πριν θέσεις σε λειτουργία τον υπολογιστή, εξασκήσου για λίγο τραβώντας την ταινία διά μέσου της φωτοπύλης με τυχαίες κινήσεις, λ.χ. γρηγορότερα στην αρχή και αργότερα στο τέλος ή αργά - γρήγορα - αργά. Αυτό θα καταστήσει την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων περισσότερο ενδιαφέρουσα και χρήσιμη.

Όταν θα είσαι έτοιμος, τοποθέτησε τη δισκέτα στη μονάδα οδηγού δισκέτας (disk drive) και άνοιξε την οθόνη και τον υπολογιστή. Όλες οι περαιτέρω υποδείξεις και ερωτήσεις θα εμφανισθούν πλέον στην οθόνη.



Σχήμα 1-4

Η πίσω πλευρά του υπολογιστή με την καλωδίωση διασυνδέσεως (interface).

1α

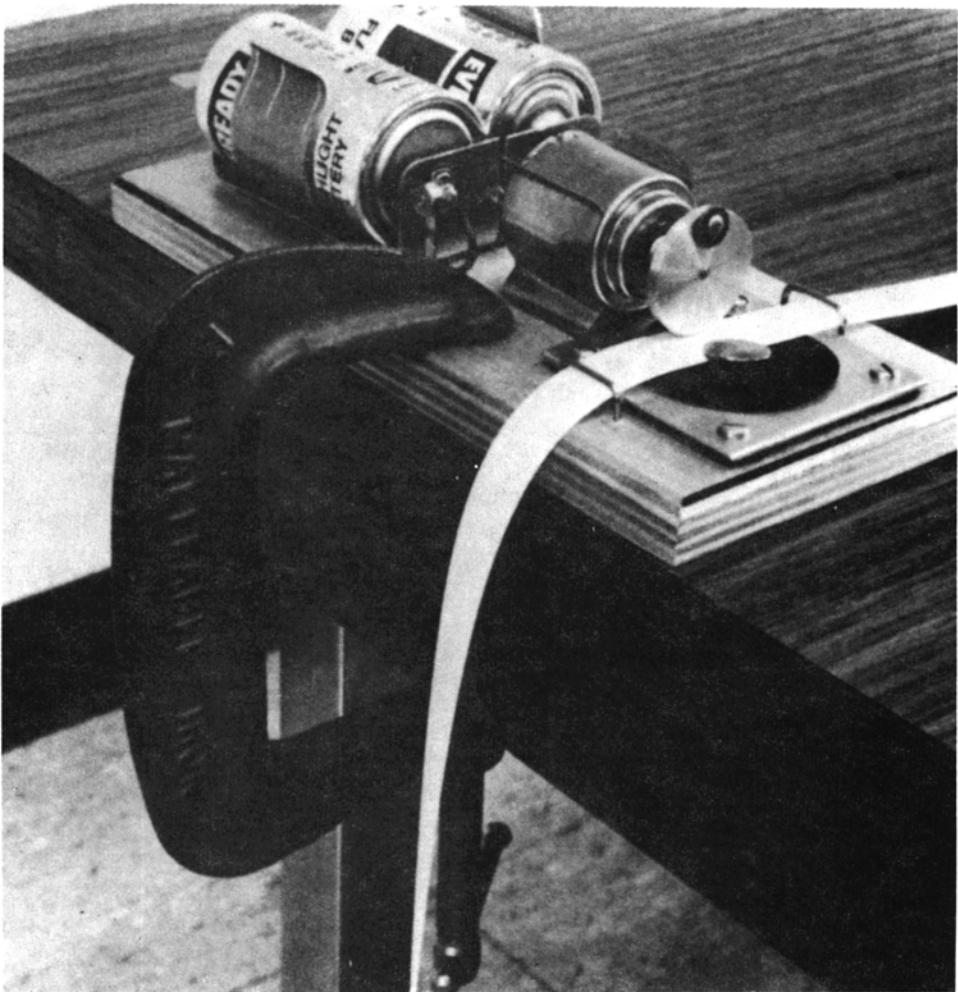
Κίνηση: ταχύτητα και επιτάχυνση (χρησιμοποιώντας χαρτοταινία και ηλεκτρικό χρονομετρητή)

Για να μελετήσουμε την κίνηση ενός κινητού απαιτείται η καταγραφή των διαδοχικών θέσεών του, κατά προτίμηση σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Με μια τέτοια καταγραφή μπορείς να μελετήσεις κάθε τυχαία κίνηση, π.χ. τη σκόπιμα άτακτη (τυχαία) κίνηση του χεριού σου. Μια τέτοια κίνηση είναι ειδικά κατάλληλη για να κατασκευάσεις τα διαγράμματα θέσεως-χρόνου, ταχύτητας-χρόνου και επιταχύνσεως-χρόνου και έτσι να δειχθεί η σχέση των παραπάνω μεγεθών με το χρόνο.

Τοποθέτησε τον ηλεκτρικό χρονομετρητή στο τραπέζι πειραμάτων όπως φαίνεται στο σχήμα 1α-1. Κράτησε με το χέρι σου την άκρη μιας χαρτοταινίας μήκους 40-50 cm και τράβα την γρήγορα και άτακτα, καθώς ο συμμαθητής σου, που κάνετε μαζί το πείραμα, χειρίζεται τον ηλεκτρικό χρονομετρητή.

Έλεγξε τις αναγραφές στη χαρτοταινία σου και κράτησε για ανάλυση ένα

Σχήμα 1α-1



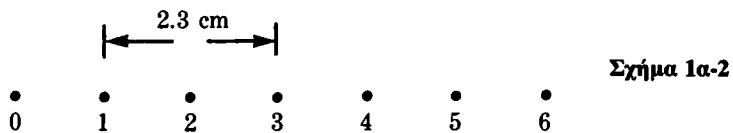
της με δεκαπέντε περίπου κουκίδες, στο οποίο όμως τα διαστήματα μεταξύ των κουκίδων δεν έχουν καμιά κανονικότητα.

Ο κινητήρας του ηλεκτρικού χρονομετρητή περιστρέφεται με σταθερό σχεδόν αριθμό στροφών ανά δευτερόλεπτο, γράφοντας στη χαρτοταινία μια κουκίδα σε κάθε περιστροφή του. Μπορείς να πάρεις το διάστημα μεταξύ των κουκίδων ως μονάδα χρόνου, που ονομάζεις ένα «τικ» (κτύπο).

Στο τμήμα της χαρτοταινίας που έχεις ξεχωρίσει, ονόμασε ως κουκίδα μηδέν την πρώτη, στο αριστερό της άκρο. Κατόπιν, αφού κατασκευάσεις πίνακα τιμών με τη θέση της κάθε κουκίδας (δηλαδή την απόστασή της από την κουκίδα μηδέν), σχεδίασε το διάγραμμα διαστήματος-χρόνου.

- Αφού εκλέξεις το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο κουκίδων ως μονάδα χρόνου ενός «τικ», μπορείς να πεις τι παριστάνει η απόσταση μεταξύ δύο οποιωνδήποτε γειτονικών σημείων;
- Ρίχνοντας μια ματιά στη χαρτοταινία, μπορείς να δρεις πού η ταχύτητα του χεριού σου είναι η μέγιστη και πού είναι η ελάχιστη;

Μπορείς να πάρεις μια κατά προσέγγιση τιμή της ταχύτητας απευθείας από τη χαρτοταινία, δρίσκοντας τη μέση ταχύτητα στο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τικ. Αυτή η μέση ταχύτητα είναι προσέγγιση της στιγμαίας ταχύτητας στο μέσο του μετρούμενου χρονικού διαστήματος. Για παράδειγμα, η μέση ταχύτητα μεταξύ των χρόνων $t=1$ και $t=3$ στο σχήμα 1a-2 είναι $2,3 \text{ cm}/2$ τικ ή $1,2 \text{ cm}/\text{τικ}$. Αυτή είναι μια προσέγγιση της στιγμαίας ταχύτητας κατά τη χρονική στιγμή $t=2$ τικ. (Για να δρεις την ταχύτητα στο χρόνο $t=0$, πρέπει να πας ένα τικ αριστερά, πριν από την κουκίδα μηδέν).



Μπορείς να επαληθεύσεις αυτή την προσέγγιση για λίγα σημεία, υπολογίζοντας γραφικά την κλίση στα αντίστοιχα σημεία στο διάγραμμα θέσεως-χρόνου.

- Πόσο πολύ συμφωνούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα που δρήκες με τους δύο αυτούς τρόπους;

Με βάση το διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου σχεδίασε το διάγραμμα θέσεως-χρόνου, μετρώντας το εμβαδό της επιφάνειας μεταξύ της καμπύλης ταχύτητας-χρόνου και του άξονα του χρόνου. Όρισε για $t=0$, η θέση να έχει συντεταγμένες μηδέν.

- Πόσο συμφωνούν οι μετατοπίσεις που βρήκες με τον τρόπο αυτό, δηλαδή με τη μέτρηση του εμβαδού που περικλείεται κάτω από την καμπύλη ταχύτητας-χρόνου με τις μετατοπίσεις που μέτρησες απευθείας στη χαρτοταινία; (Σύγκρινε επίσης τα δύο αυτά διαγράμματα, βάζοντας το ένα επάνω στο άλλο).
- Ξανακοιτάζοντας στη χαρτοταινία σου, μπορείς να μαντέψεις πού η επιτάχυνση ήταν η μέγιστη και πού ήταν η ελάχιστη;

Με βάση το διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου σχεδίασε το διάγραμμα επιταχύνσεως-χρόνου.

- Πόσο καλή ήταν η προηγούμενη υπόθεσή σου για τις χρονικές στιγμές της μέγιστης και της ελάχιστης επιταχύνσεως;

2

Πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα, όταν η δύναμη είναι σταθερή*

Από την καθημερινή εμπειρία γνωρίζεις ποιοτικά ότι πρέπει να ασκήσεις δύναμη, για να κινήσεις ένα σώμα που είναι ακίνητο ή για να μεταβάλεις την ταχύτητά του όταν κινείται. Μπορείς τώρα με το πείραμα αυτό να ερευνήσεις και την ποσοτική σχέση μεταξύ της μεταβολής της ταχύτητας και της δυνάμεως που ασκείται.

Το πείραμα εκτελείται πολύ καλά σε λείο, οριζόντιο τραπέζι, μήκους δύο μέτρων περίπου. Αν είναι απαραίτητο, οριζόντιωσε το τραπέζι με μικρά υποστηρίγματα κάτω από τα πόδια του και έλεγχε την οριζοντιότητα με αλφάδι (αεροστάθμη). Τα τούβλα που χρησιμοποιούνται, επειδή τρίβονται εύκολα και για να μη γεμίσει το τραπέζι με τρίμματα, καλό είναι να τυλιχθούν με αλουμινόχαρτο ή χαρτί περιτυλίγματος. Τέλος βεβαιώσου ότι έχεις στερεώσει καλά το εμπόδιο στην άκρη του τραπέζιού, ώστε να μπορεί να σταματήσει το αμαξάκι.

Πριν αρχίσεις το πείραμα, για να δρεις πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα, όταν ασκείται σταθερή δύναμη, πρέπει να βεβαιωθείς ότι το αμαξάκι κινείται με σταθερή περίπου ταχύτητα, όταν δεν το σύρεις. Φόρτωσε το αμαξάκι με δύο τούβλα και γράψε αρκετές δοκιμαστικές χαρτοταινίες στον ηλεκτρικό χρονομετρητή, δίνοντας στο αμαξάκι διαφορετικές αρχικές αθήσεις. Παρατήρησε προσεκτικά τις γραμμένες ταινίας.

- Η ταχύτητα είναι, λιγο-πολύ, σταθερή, όταν το αμαξάκι κινείται (για μεγάλες διαδρομές) αργά ή όταν κινείται γρήγορα;

Το αμαξάκι, φορτωμένο με τα τούβλα και κινούμενο σε ρόδες, μπορεί να συρθεί με το χέρι με σταθερή ταχύτητα. Για να είμαστε βέβαιοι ότι αυτή η δύναμη είναι σταθερή, την ασκούμε διά μέσου λάστιχου, που παραμένει τεντωμένο σε σταθερό μήκος, καθώς το αμαξάκι κινείται (σχ. 2-1).

- Γιατί ο μαθητής, που τραβά το αμαξάκι του σχήματος 2-1, δεν το ακουμπά;

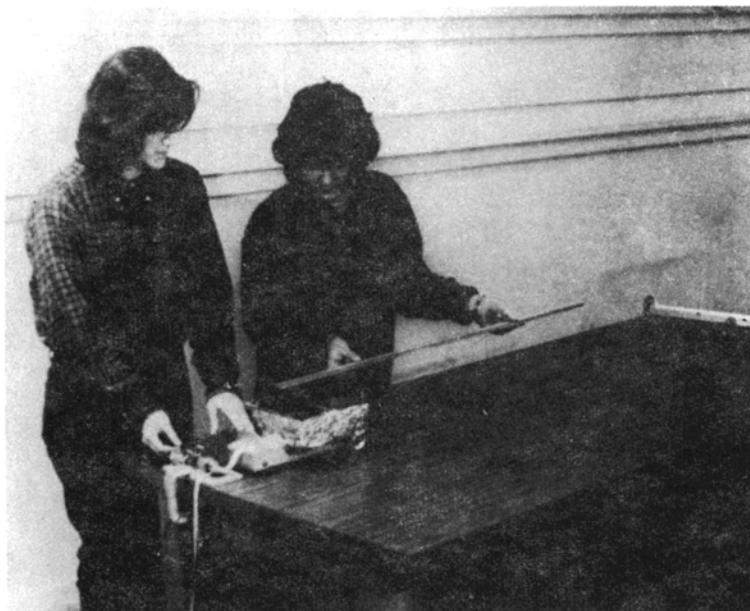
Καθώς κινείται το αμαξάκι, τραβά μία λωρίδα χαρτοταινίας κάτω από το πλήκτρο ηλεκτρικού χρονομετρητή, που είναι στερεωμένος στην άκρη του τραπέζιού πειραμάτων. Από αυτές τις ταινίες μπορείς κατόπιν να δρεις την ταχύτητα σε διαφορετικά σημεία μιας διαδρομής και έτσι να κατασκευάσεις, για το αμαξάκι αυτό, την καμπύλη της ταχύτητας ως συνάρτηση του χρόνου.

Τώρα μπορεί να μελετήσεις το αποτέλεσμα της σταθερής δυνάμεως έλξεως του λάστιχου στην κίνηση του αμαξιού. Στερεώσε τη μία άκρη του λαστιχένιου βρόχου στο αμαξάκι, όπως φαίνεται στο σχήμα 2-2. Αγκίστρωσε την άλλη άκρη

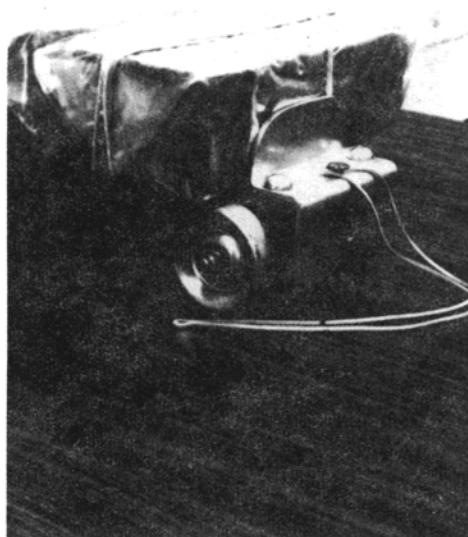
* Όταν κάνεις αυτό το πείραμα χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων, αντικατάστησε τη χαρτοταινία με την ταινία με τις ραβδώσεις και τον ηλεκτρικό χρονομετρητή με τη φωτοτύλη, όπως περιγράφεται στο πείραμα 1. Όλες οι συμπληρωματικές οδηγίες προβλέπονται από το πρόγραμμα στη δισκέτα.

του βρόχου στην άκρη ενός κανόνα (χάρακα). Καθώς ο συμμαθητής σου κρατά το αμαξάκι, κίνησε τον κανόνα παράλληλα προς αυτό, ώστε να τεντωθεί το λάστιχο σε ένα ορισμένο μήκος π.χ. 10 με 20 cm (ανάλογα με το μήκος του τραπεζιού πειραμάτων και της ελαστικότητας του λάστιχου). Ο συμμαθητής σου βάζει στη συνέχεια σε λειτουργία το χρονομετρητή και λίγα δευτερόλεπτα αργότερα με δικό σου σήμα, αφήνει το αμαξάκι. Κινήσου τότε προς τα εμπρός σύροντάς το και προσέχοντας ώστε το λάστιχο να είναι τεντωμένο στα 10 cm ή όποιο άλλο μήκος δρισες αρχικά. Θα το επιτύχεις καλά, αφού κάνεις πρώτα μερικές δοκιμαστικές διαδρομές.

Τώρα, στερέωσε τη χαρτοταινία στο αμαξάκι, στο οποίο έχουν φορτωθεί δύο τούβλα και άπλωσε τη χαρτοταινία. Αν δεν μπορείς να κρατήσεις τεντωμέ-



Σχήμα 2-1



Σχήμα 2-2

νο το λάστιχο στο ορισμένο σταθερό μήκος για όλη τη διαδρομή, μη χρησιμοποιήσεις στους υπολογισμούς το τελευταίο κομμάτι της χαρτοταινίας. Με βάση αυτή τη χαρτοταινία σχεδίασε το διάγραμμα ταχύτητας-χρόνου (δες το πείραμα 1). Δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσεις όλες τις κουκίδες που γράφτηκαν στην ταινία, για να υπολογίσεις την ταχύτητα. Αντί γι' αυτό, χρησιμοποίησε ομάδες των δέκα κουκίδων για μία βολική μονάδα χρόνου, π.χ. μετρώντας την ταχύτητα σε μέτρα ανά δέκα τικ. Ανάλυσε μόνο αυτό το τμήμα της ταινίας, στο οποίο αντιστοιχεί το τμήμα της διαδρομής για το οποίο είσαι βέβαιος ότι η δύναμη που εφάρμοσες ήταν σταθερή.

- Τι συμπεραίνεις για την επιτάχυνση που προκαλείται από σταθερή δύναμη;
- Η δύναμη που εξάσκησες είναι η μοναδική δύναμη που ασκείται στο αμαξάκι;

Η εξάρτηση της επιταχύνσεως από τη δύναμη και τη μάζα*

3

Η επιτάχυνση που προκαλείται από σταθερή δύναμη είναι το αντικείμενο αυτού του πειράματος. Τώρα μπορείς να ερευνήσεις πώς διαφορετικές δυνάμεις επιταχύνουν μια δεδομένη μάζα και πώς μια δεδομένη δύναμη επιταχύνει διαφορετικές μάζες.

Επιτάχυνση που προκαλείται από διαφορετικές δυνάμεις

Χρησιμοποιώντας ένα, δύο, τρία και τέσσερα λάστιχα, επιτάχυνε διαδοχικά το φορτωμένο με τέσσερα τούβλα αιματάκι, παίρνοντας τις καταγραφές της κινήσεώς του στις αντίστοιχες χαρτοταπινίες. Εξασκήσου με μερικές δοκιμαστικές διαδομές για κάθε δύναμη (δηλαδή όταν το τραβάς χρησιμοποιώντας πρώτα ένα μόνο λάστιχο, μετά δύο λάστιχα κλπ.). Υπολόγισε την επιτάχυνση από την κάθε χαρτοταπινία και σχεδίασε το διάγραμμα επιταχύνσεως-δυνάμεως, όπου τη δύναμη αντιπροσωπεύει ο αριθμός των λάστιχων.

Επειδή, όπως γνωρίζεις από το προηγούμενο πείραμα, η επιτάχυνση παραμένει σταθερή, όταν η δύναμη (που την προκαλεί) είναι σταθερή, δεν είναι απαραίτητο να υπολογίσεις την επιτάχυνση για πολλά διαφορετικά διαστήματα στην ίδια διαδρομή. Έτσι, υπολόγισε την επιτάχυνση από τη μεταβολή της ταχύτητας στη διάρκεια δύο ίσων χρονικών διαστημάτων. Θα ήταν σκόπιμο να μην περιλάβεις ούτε τα διαστήματα στην αρχή της ταινίας, ούτε τα διαστήματα στο τέλος της, όπου είναι δύσκολο να παραμείνει η δύναμη σταθερή.

- Τι συμπεραίνεις από το διάγραμμά σου;
- Τι μπορείς να πεις για το πηλίκο "δύναμη προς επιτάχυνση", σ' αυτό το μέρος του πειράματος;
- Αν υποθέσουμε ότι δεν υπάρχει τριβή, θα μπορούσε η καμπύλη του διαγράμματος να διέρχεται από την αρχή των αξόνων;
- Από πού, σε σχέση με την αρχή των αξόνων, περιμένεις (τώρα) να διέλθει η καμπύλη του διαγράμματός σου;

Η επίδραση της μάζας στην επιτάχυνση που προκαλείται από σταθερή δύναμη

Χρησιμοποιώντας ένα μόνο λάστιχο, βρες την επιτάχυνση που αποκτά το αιματάκι, όταν είναι φορτωμένο με ένα, δύο, τρία, τέσσερα τούβλα.

* Όταν κάνεις αυτό το πείραμα χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων, αντικατάστησε τη χαρτοταπινία με την ταινία με τις φαδδώσεις και τον ηλεκτρικό χρονομετρητή με τη φωτοπύλη, όπως περιγράφεται στο πείραμα 1. Όλες οι συμπληρωματικές οδηγίες προβλέπονται από το πρόγραμμα στη δισκέτα.

Σχεδίασε το διάγραμμα του λόγου "δύναμη προς επιτάχυνση (F/a)" ως συνάρτηση του αριθμού των τούβλων. (Θυμήσου ότι σ' αυτό το πείραμα η δύναμη που ασκείται από το ένα τεντωμένο λαστιχένιο κορδόνι, λαμβάνεται ως η μονάδα δυνάμεως).

- Τι συμπεραίνεις από το διάγραμμά σου;
- Από το διάγραμμα που σχεδίασες, μπορείς να εκφράσεις τη μάζα του μικρού αμαξιού ως συνάρτηση μόνο της μάζας των τούβλων;
- Πώς μπορείς να βρεις τη μάζα ενός κομματιού από μολύβι ή μιας βαριάς πέτρας, χρησιμοποιώντας τη συσκευή του πειράματος; Δοκίμασέ το.

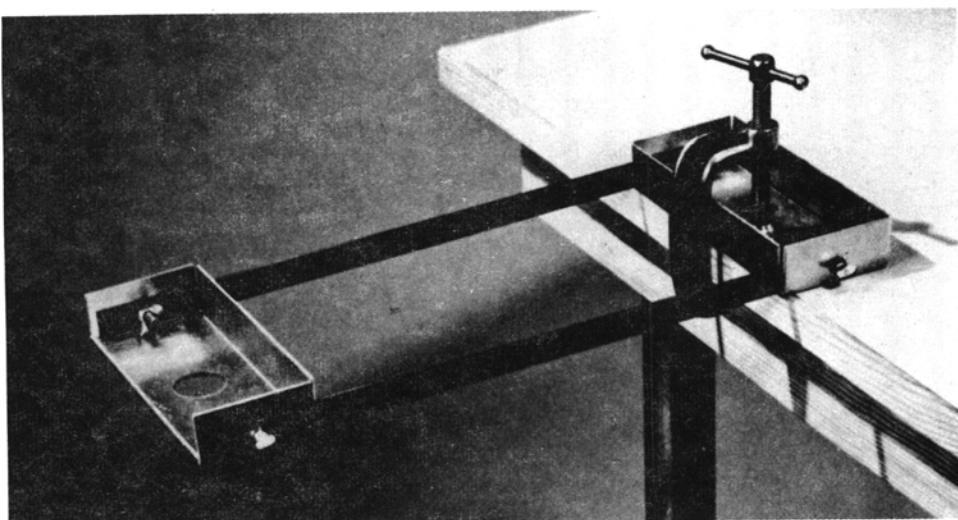
4

Μάζα αδράνειας και μάζα βαρύτητας

Ο λόγος «σταθερή δύναμη προς σταθερή επιτάχυνση» δεν είναι ο μοναδικός τρόπος προσδιορισμού της μάζας αδράνειας ενός σώματος. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί η περιοδική κίνηση δύο χαλυβδίνων ελασμάτων (σχ. 4-1). Έτσι, όταν ο δίσκος του σχήματος 4-1 τραβηγχθεί λίγο στο πλάι και κατόπιν αφεθεί ελεύθερος, τότε θα ταλαντωθεί οριζοντίως. Αλλά η περίοδος, δηλαδή ο χρόνος μιας πλήρους ταλαντώσεως, εξαρτάται από τη μάζα των σωμάτων που έχουν τοποθετηθεί στο δίσκο. Γι' αυτό το λόγο μια τέτοια συσκευή ονομάζεται **ζυγός αδράνειας**.

- Νομίζεις ότι η περίοδος του ζυγού αδράνειας είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη για τις μεγαλύτερες μάζες;

Σχήμα 4-1

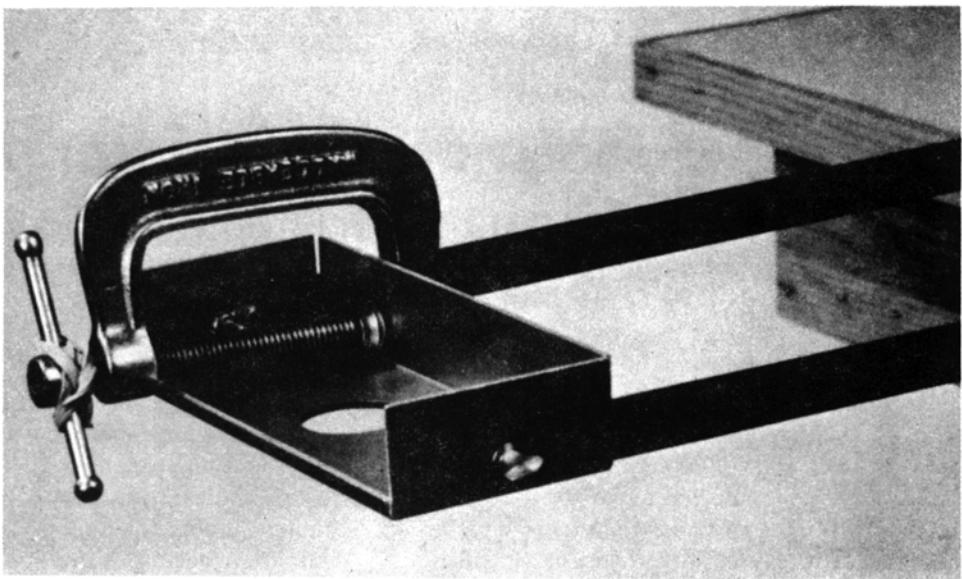


Βρες την ποσοτική σχέση μεταξύ της μάζας που έχει τοποθετηθεί στο ζυγό και της περιόδου της ταλαντώσεως, σχεδιάζοντας το διάγραμμα της περιόδου ως συνάρτηση της μάζας. Μπορείς να το κάνεις ως εξής:

Πρώτα προσδιόρισε την περίοδο του ζυγού άδειου, μετρώντας το χρόνο για όσες περισσότερες ταλαντώσεις μπορείς. Καθώς η περίοδος του ζυγού είναι πολύ μικρή, είναι δύσκολο να μετρήσεις τις ταλαντώσεις οπτικά. Γι' αυτό κράτησε ένα μικρό κομμάτι χαρτιού σε επαφή με το ένα από τα χαλύβδινα ελάσματα και μέτρησε τον αριθμό των κτύπων του χαρτιού, καθώς το αγγίζει το έλασμα. Ίσως είναι ευκολότερο να μετράς κατά ομάδες των τριών ή τεσσάρων ταλαντώσεων.

Πάρε έξι σχεδόν ίδια αντικείμενα ή μονάδες μάζας, λ.χ. έξι μεταλλικούς σφιγκτήρες (σχ. 4-2). Μέτρησε την περίοδο για μια, δυο, τρεις μονάδες μάζας

Σχήμα 4-2



επάνω στο ζυγό και με βάση αυτές τις μετρήσεις σχεδίασε το διάγραμμα της περιόδου ως συνάρτηση της μάζας του αριθμού των σφιγκτήρων στο ζυγό. Το διάγραμμα θα προσδιορίσει και την κλίμακα του ζυγού σου.

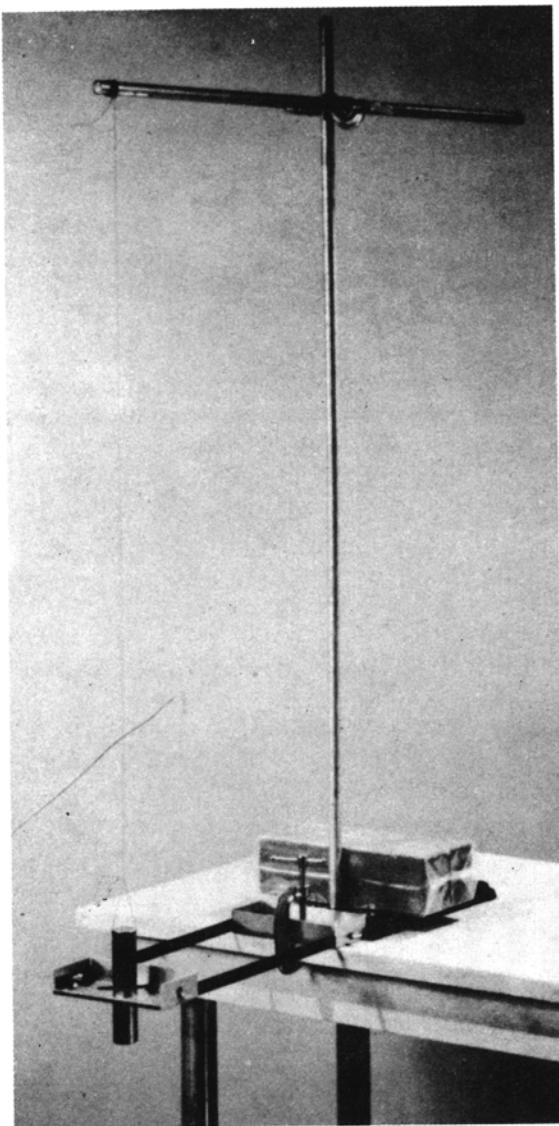
- Πόσες ταλαντώσεις πρέπει να χρονομετρήσεις και για πόσα δευτερόλεπτα για να είσαι βέβαιος ότι το σφάλμα σου δεν είναι μεγαλύτερο από 2%;
- Πως μπορείς να χρησιμοποιήσεις το ζυγό αυτό, για να βρεις συγκριτικά τη μάζα αδράνειας μιας πέτρας, για παράδειγμα;
- Μπορείς να βρεις τη μάζα **βαρύτητας** ενός σφιγκτήρα, χρησιμοποιώντας ένα συνήθη ζυγό εργαστηρίου.
- Ποια τιμή προβλέπεις για τη μάζα **βαρύτητας** της πέτρας από τις προηγούμενες μετρήσεις σου; Έλεγχε την πρόβλεψή σου, υπολογίζοντας τη μάζα βαρύτητας με ένα συνήθη ζυγό εργαστηρίου.
- Αν είχες βρεις παρόμοια αποτελέσματα με άλλα αντικείμενα, τι θα συμπέραινες σχετικά με τη μάζα βαρύτητας και τη μάζα αδράνειας; Είναι μεταξύ τους ίσες; Ανάλογες; Ανεξάρτητες;
- Πρέπει οι μονάδες μετρήσεως της μάζας αδράνειας να είναι οι ίδιες με τις μονάδες μετρήσεως της μάζας βαρύτητας;
- Πώς τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού θα μεταβάλλονται, αν το ίδιο πείραμα γινόταν στη Σελήνη;

Για να ελέγξεις, αν η βαρύτητα θα παίξει ρόλο ή όχι στη λειτουργία του ζυγού αδράνειας, τοποθέτησε επάνω του ένα σιδερένιο κύλινδρο. Στήριξε όρθιο τον κύλινδρο, περνώντας τον μέσα από την τρύπα του δίσκου, με τη βοήθεια ενός κομματιού σύρματος περασμένου εγκάρσια στην οπή που δρίσκεται στο μέσο του. Έτσι, ο κύλινδρος ακινητοποιείται στο δίσκο. Μέτρησε την περίοδο του φορτισμένου ζυγού.

Τώρα, ανασήκωσε σιγά τον κύλινδρο, έτσι που να μην ακουμπά στο δίσκο, και κράτησέ τον σ' αυτήν τη θέση κρεμασμένο με κλωστή από ορθοστάτη (σχ. 4-3).

- Πώς συγκρίνονται μεταξύ τους οι περίοδοι στις δύο αυτές περιπτώσεις;
- Παιζει ρόλο η βαρύτητα εδώ;

Σχήμα 4-3



5

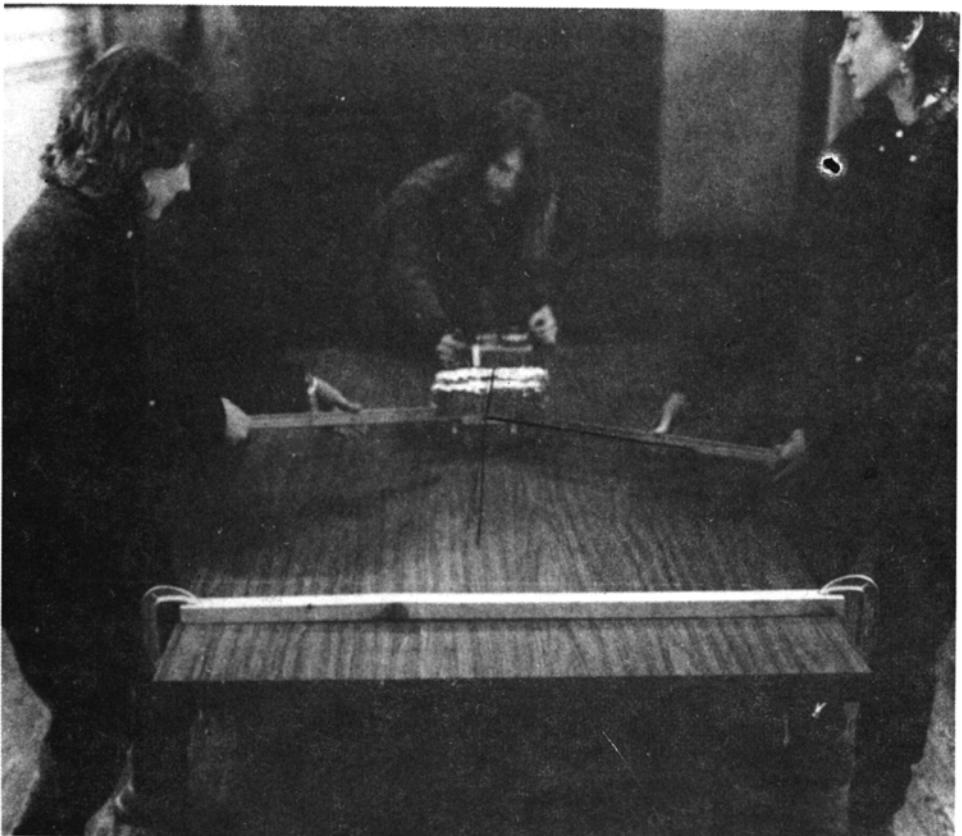
Δράση δυνάμεων που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία*

Ας υποθέσομε ότι ένα λάστιχο, τεντωμένο σε ορισμένο μήκος, επιταχύνει ένα αμαξάκι με επιτάχυνση a . Γνωρίζεις από προηγούμενα πειράματα ότι δύο τέτοια λάστιχα μαζί, παράλληλα μεταξύ τους, θα επιτάχυναν το αμαξάκι με διπλάσια επιτάχυνση ($2a$).

- Τι προβλέπεις για την επιτάχυνση που θα αποκτήσει το αμαξάκι, αν τα δύο λάστιχα είναι τεντωμένα το ίδιο, αλλά σε γωνία 45° το καθένα ως προς τον άξονα του αμαξιού (σχ. 5-1);

Έλεγχε την πρόβλεψή σου. Κάνε πρώτα μία διαδρομή σύροντας το αμαξάκι με ένα λάστιχο κατά μήκος του άξονά του. Μπορείς να κρατήσεις σταθερό το τέντωμα του λάστιχου, τεντώνοντας το κατά μήκος ενός χάρακα.

Σχήμα 5-1



* Όταν εκτελείς αυτό το πείραμα χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων, αντικατάστησε τη χαρτοταινία με την ταινία με τις φασόδεις και τον ηλεκτρικό χρονομετρητή με τη φωτοπύλη, όπως περιγράφεται στο πείραμα 1. Όλες οι συμπληρωματικές οδηγίες προβλέπονται από το πρόγραμμα στη δισκέτα.

Τέντωσε λοιπόν το λάστιχο 3-4 cm, πέρα από την ελεύθερη άκρη του χάρακα. Σημείωσε την ελεύθερη άκρη του χάρακα, κάνοντας ένα σημάδι με μαρκαδόρο επάνω στο λάστιχο.

Ετοίμασε από μία χαρτοταινία για το καθένα από τα λάστιχα, που έχουν τεντωθεί στο ίδιο μήκος. Αυτό θα σε διευκολύνει να βρεις πόσο ομοιόμορφα συμπεριφέρονται τα λάστιχα.

Τα σημάδια-οδηγοί, που υπάρχουν στο αμαξάκι, βοηθούν εσένα και το συμμαθητή σου να σχηματίσετε γωνίες 45° ως προς τον άξονά του, κατά τις επόμενες διαδρομές, ώσπου να βεβαιωθείτε για την επιδεξιότητά σας να διατηρείτε το λάστιχο τεντωμένο στο σωστό μήκος και στη σωστή γωνία, πριν αρχίσει ο καθένας από σας να γράφει τις χαρτοταινίες.

● Με βάση την ανάλυση των χαρτοταινιών, τι συμπεραίνεις για το συνολικό αποτέλεσμα δύο ίσου μέτρου δυνάμεων, που ασκούνται στο αμαξάκι, όταν μεταξύ τους σχηματίζουν γωνία 90° ;

● Ποιο προβλέπεις ότι θα είναι το αποτέλεσμα, όταν δύο ίσες δυνάμεις ασκούνται εκατέρωθεν του άξονα του κινητού, η κάθε μια τους σε γωνία 60° ως προς τον άξονα;

Γράψε μία εξίσωση για τη συνισταμένη δύναμη, όταν στο αμαξάκι ασκούνται δύο ίσες δυνάμεις, που η καθεμιά τους σχηματίζει γωνία α εκατέρωθεν του άξονα συμμετρίας του κινητού.

6

Κεντρομόλος δύναμη

Στην ευθύγραμμη κίνηση, κάθε σταθερή συνισταμένη δύναμη F που ασκείται σε σώμα μάζας m , το επιταχύνει με σταθερή επιτάχυνση a , σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα:

$$F = ma$$

Άρα γειτονιά είναι η ίδια σχέση, όταν το ίδιο σώμα κινείται σε κυκλική τροχιά με σταθερή κατά μέτρο ταχύτητα; Καθώς είδες στην παράγραφο 3-7 του βιβλίου, η κυκλική κίνηση με περίοδο T , σε περιφέρεια ακτίνας R , είναι μια επιταχυνόμενη κίνηση με επιτάχυνση:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

Τότε το μέτρο της δυνάμεως, που απαιτείται για να διατηρηθεί αυτή η κυκλική κίνηση, είναι:

$$F = \frac{4\pi^2 R m}{T^2}$$

Άρα γειτονιά είναι η ίδια μάζα, όπως η μάζα στην ευθύγραμμη κίνηση; Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι να δοθεί απάντηση σ' αυτό το ερώτημα. Επίσης, κατά την πειραματική διαδικασία, θα μάθεις μερικές γενικές μεθόδους έρευνας, για να δρίσκεις μαθηματικά σχέσεις που θα σου χρειαστούν σε επόμενα πειράματα.

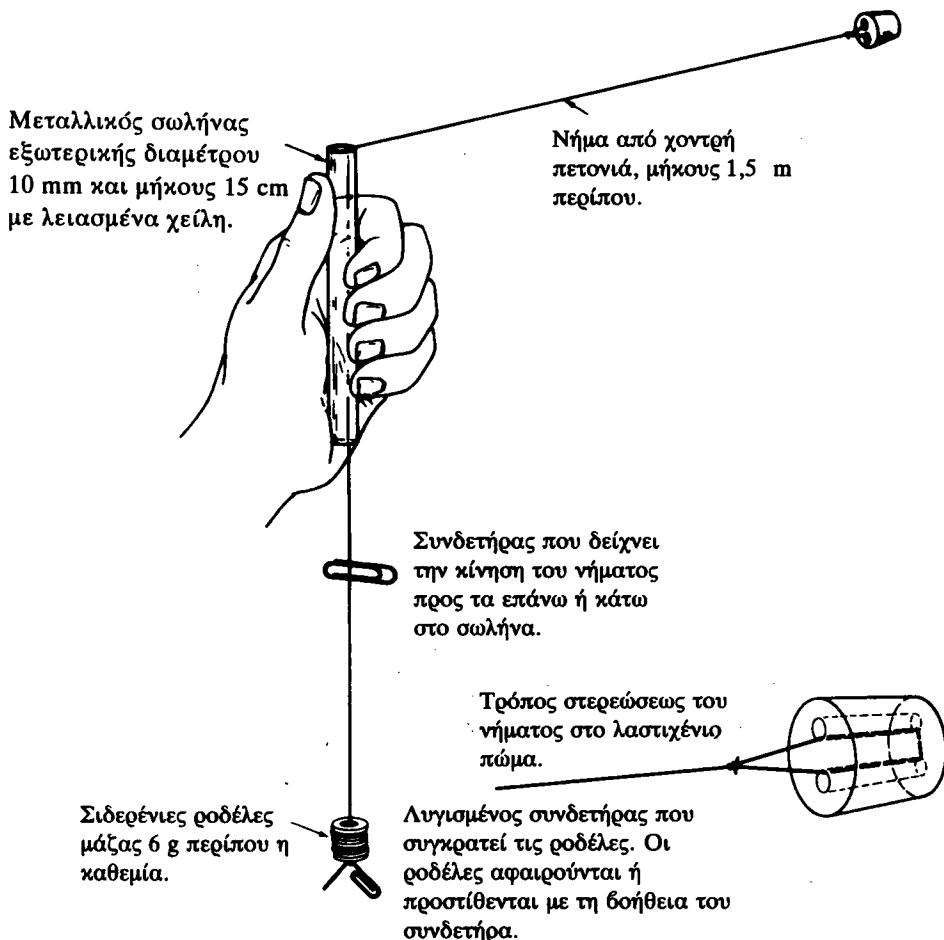
Η πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιήσεις φαίνεται στο σχήμα 6-1. Με αυτή μπορείς να μετρήσεις τη δύναμη, ενώ παρατηρείς την κίνηση. Καθώς ο μεταλλικός σωλήνας περιστρέφεται ανεπαίσθητα (διαγράφοντας μικρό κύκλο) επάνω από το κεφάλι σου, το ελαστικό πώμα που είναι δεμένο στην άκρη του νήματος (πετονιά), περιφέρεται σε οριζόντια κυκλική τροχιά. Το νήμα περνά μέσα από το σωλήνα και συγχρατείται με μερικές σιδερένιες ροδέλες χρεμασμένες στην κάτω άκρη του. Το βάρος αυτών των ροδελών, που ασκείται διά μέσου του νήματος, είναι η αναγκαία κεντρομόλος δύναμη που διατηρεί το ελαστικό πώμα σε κυκλική τροχιά. Πριν αρχίσεις τις μετρήσεις, πάρε μία γεύση από την πειραματική διάταξη. Έτσι, με μία μόνο ροδέλα στην άκρη του νήματος, για να κρατά το πώμα σε τροχιά, περιστρέψει το πώμα επάνω από το κεφάλι σου, κρατώντας (με το χέρι σου) το νήμα κάτω από το σωλήνα.

- Πρέπει να αυξήσεις τη δύναμη στο νήμα, όταν αυξάνεις την ταχύτητα του πώματος;
- Τι θα συμβεί, αν αφήσεις το νήμα;

Η μάζα του πώματος πρέπει να παραμείνει σταθερή, όσο διαρκεί το πειράμα. Πέρασε αρκετό νήμα από το επάνω μέρος του σωλήνα, ώστε να υπάρχει νήμα για περιφέρεια ακτίνας 0,40 m περίπου. Για να κρατήσεις την ακτίνα αυτή σταθερή, χρησιμοποίησε ως δείκτη ένα συνδετήρα, περνώντας τον στο

Λαστιχένιο πώμα με 2 τρύπες

Σχήμα 6-1



νήμα κάτω ακριβώς από το σωλήνα. (Ο συνδετήρας δεν πρέπει να ακουμπά στη βάση του σωλήνα). Μόλις τοποθετήσεις το συνδετήρα, μέτρησε το μήκος της ακτίνας προσεκτικά από το μέσο του πώματος μέχρι το χείλος του σωλήνα. Τέσσερις ή περισσότερες ροδέλες περασμένες στην άκρη του νήματος θα δημιουργήσουν μια επαρκή κεντρομόλο δύναμη. Πριν αρχίσεις τις μετρήσεις, εξασκήσου, περιστρέφοντας το πώμα έτσι, ώστε να διαγράφει τροχιά σε οριζόντιο επίπεδο.

Για να δρεις την περίοδο της περιστροφής του πώματος, ζήτησε από τον συμμαθητή σου, που κάνετε μάζι το πείραμα, να μετρήσει το χρόνο και τον αριθμό των περιστροφών, καθώς εσύ περιστρέφεις το πώμα. Με βάση το χρόνο και τον αριθμό των περιστροφών υπολόγισε την περίοδο.

Επανάλαβε το πείραμα με μεγαλύτερο αριθμό ροδελών και σύνταξε ένα πίνακα τιμών για τις διάφορες τιμές της δυνάμεως F (σε N) και της περιόδου T (σε s).

Έχεις δύο επιλογές, για να συγκρίνεις τα πειραματικά δεδομένα σου με την εξίσωση που διερευνάς. Αν η εξίσωση είναι σωστή, τότε το γινόμενο FT^2 θα είναι σταθερό για κάθε τιμή της F και ίσο με $4\pi^2 mR$. Την τιμή του γινομένου FT^2 μπορείς να την υπολογίσεις από τον πίνακα τιμών και να δρεις πόσο προσεγγίζουν τη μέση τιμή τους.

Μπορείς επίσης να υπολογίσεις το λόγο $\frac{1}{T^2}$ για κάθε τιμή της F και να κάνεις το διάγραμμα F ως προς $\frac{1}{T^2}$. (Δηλαδή να τοποθετήσεις το λόγο $\frac{1}{T^2}$ στον οριζόντιο άξονα). Αν η εξίσωση είναι σωστή, η καμπύλη του διαγράμματος

$$F = 4\pi^2 mR \cdot \frac{1}{T^2}$$

θα είναι ευθεία γραμμή, που διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Η κλίση της ευθείας θα είναι $4\pi^2 mR$. Μπορείς να επιλέξεις τον ένα ή τον άλλο τρόπο για να επαληθεύσεις με τις πειραματικές μετρήσεις σου τη θεωρία.

- Αν επιλέξεις τον τρόπο της μέσης τιμής του γινομένου FT^2 , πόσο επί τοις εκατό (%) είναι το σφάλμα σου, σε σύγκριση με τη θεωρητική τιμή της ποσότητας $4\pi^2 mR$;

- Αν επιλέξεις το διάγραμμα F ως προς $\frac{1}{T^2}$ πόσο επί τοις εκατό (%) είναι το σφάλμα στην κλίση της καμπύλης του διαγράμματός σου, σε σύγκριση με τη θεωρητική τιμή της ποσότητας $4\pi^2 mR$;

Για διαφορετικές τιμές της ακτίνας, το γινόμενο FT^2 θα είναι επίσης ανάλογο της ακτίνας. Έλεγχε αυτό το συμπέρασμα, κάνοντας μερικές μετρήσεις με διαφορετικές ακτίνες και κατασκευάζοντας το διάγραμμα FT^2 ως προς R.

- Πόσο επί τοις εκατό (%) είναι το σφάλμα στην τιμή της σταθερής αναλογίας που δρήκες, σε σύγκριση με τη θεωρητική τιμή της σταθερής αναλογίας;

Δυνάμεις κατά την κίνηση βλήματος

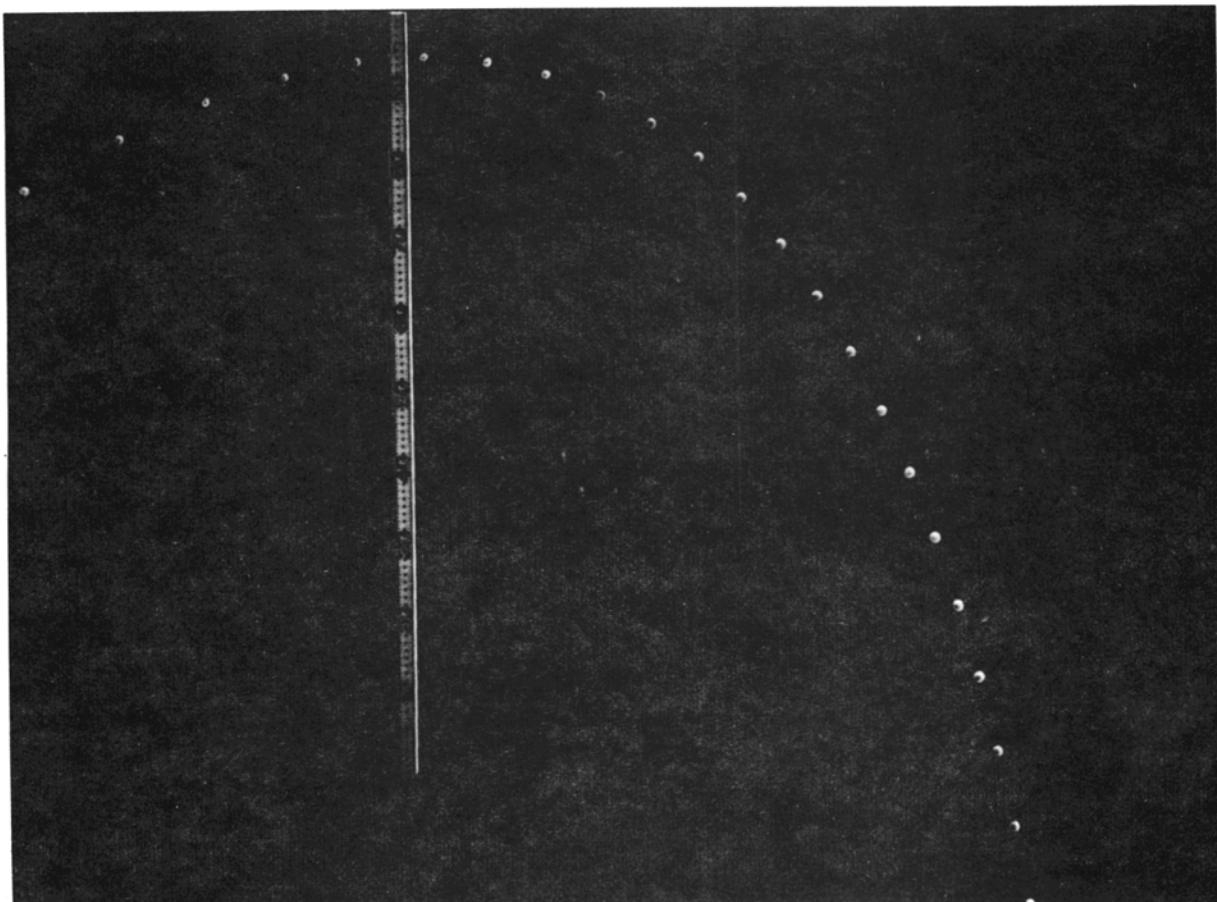
7

Το σχήμα 7-1 είναι χρονοφωτογραφία της κινήσεως βλήματος. Η φωτογραφία ελήφθη κατά τη δίψη μικρής σφαίρας στον αέρα, με γωνία 27° ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Ο χρόνος εκθέσεως μεταξύ δύο διαδοχικών φωτογραφήσεων ήταν $\frac{1}{30}$ s, ενώ η σφαίρα κινούνταν από τα αριστερά προς τα δεξιά στην εικόνα.

Εξέτασε τη φωτογραφία.

- Η οριζόντια ταχύτητα της σφαίρας είναι σταθερή;
- Τι μπορείς να συμπεράνεις για τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στη σφαίρα, αν η οριζόντια ταχύτητα δεν είναι σταθερή;

Αν αναλύσουμε τη φωτογραφία λεπτομερώς και δρούμε τις μεταβολές στην ταχύτητα που οφείλονται στη συνισταμένη δύναμη, θα μάθομε περισσότερα

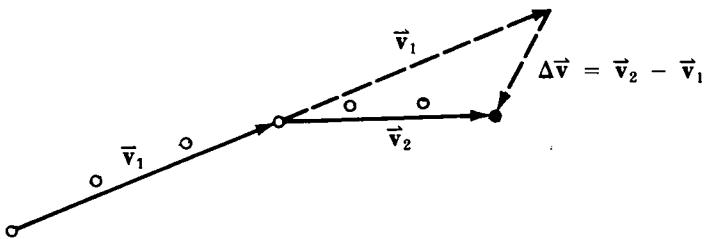


Σχήμα 7-1 Κλίμακα: 1 προς 10

για τις δυνάμεις που ασκούνται στη σφαίρα, από όσα μπορούμε να μάθομε με μία επιπόλαια εξέταση της φωτογραφίας.

Ανάλυσε τις μεταβολές της ταχύτητας, που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια διαδοχικών χρονικών διαστημάτων $0,1\text{ s}$ (τρία διαστήματα στη φωτογραφία), κατά τον ακόλουθο τρόπο: Τοποθέτησε ένα φύλλο διαφανούς χιλιοστομετρικού χαρτιού ή διαφανούς χαρτιού υχνογραφίας επάνω στη φωτογραφία και σημειώσε το κέντρο μάζας του κάθε ειδώλου της σφαίρας. Φέρε ευθείες γραμμές, που να ενώνουν κάθε τρίτο σημείο. Αυτές οι γραμμές απεικονίζουν τη μετατόπιση της σφαίρας κατά τη διάρκεια $0,1\text{ s}$ κάθε φορά. Είναι συνεπώς ένα μέτρο της μέσης ταχύτητας της σφαίρας κατά τη διάρκεια αυτών των ίσων χρονικών διαστημάτων. Μπορείς να δρεις τις μεταβολές της ταχύτητας σε καθένα από αυτά τα διαστήματα, με το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 7-2, όπου το διάνυσμα \vec{v}_1 έχει μετατοπισθεί στην προέκτασή του και έχει γραφεί με διακεκομένη γραμμή.

Σχήμα 7-2



- Η διεύθυνση της ταχύτητας μεταβάλλεται το ίδιο σε κάθε χρονικό διάστημα;
- Το μέτρο της ταχύτητας μεταβάλλεται το ίδιο;
- Τι συμπεραίνεις για τη διεύθυνση και το μέτρο της συνισταμένης δυνάμεως που ασκείται στη σφαίρα;

Για να δρούμε ποια άλλη δύναμη \vec{F}_r , εκτός από τη δύναμη βαρύτητας \vec{F}_g , ασκείται στη σφαίρα, αφαιρούμε τη μεταβολή $\Delta \vec{v}_g$ της ταχύτητας, που οφείλεται στη δύναμη της βαρύτητας, από την ολική μεταβολή $\Delta \vec{v}$ της ταχύτητας (σχ. 7-2). Η Δv_g είναι κατακόρυφη και έχει μέτρο:

$$\Delta v_g = g \Delta t = (9,8 \text{ m/s}^2)(0,1 \text{ s}) = 0,98 \text{ m/s}$$

Καθώς η μονάδα μας χρόνου είναι $0,1\text{ s}$, εκφράζουμε το μέτρο της μεταβολής της ταχύτητας Δv_g σε $\text{m}/0,1\text{ s}$, και: $\Delta v_g = 0,098 \text{ m}/0,1\text{ s}$. [Αυτό είναι ισοδύναμο με τη μετατροπή της μονάδας μετρήσεως του g από m/s^2 σε $\text{m}/(0,1\text{ s})^2$.] Η κλίμακα στο σχήμα 7-1 είναι 1 προς 10 . Έτσι, για να σχεδιάσουμε το $\Delta \vec{v}_g$ στο σχήμα, πρέπει να διαιρέσουμε το μήκος του διανύσματος δια 10 . Αφού το κάνεις αυτό, αφαιρεσε* το διάνυσμα $\Delta \vec{v}_g$ από το διάνυσμα $\Delta \vec{v}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 7-3. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το διάνυσμα $\Delta \vec{v}_r$, δηλαδή την απομένουσα συνιστώσα της διαφοράς της ταχύτητας.

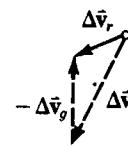
* Πρόσθεσε το διάνυσμα $-\Delta \vec{v}_g$ στο διάνυσμα $\Delta \vec{v}$ (σ.τ.μ.).

- Οι συνιστώσες $\Delta \vec{v}_r$ της ταχύτητας έχουν το ίδιο μέτρο;

- Ποια είναι είναι η διεύθυνσή τους;

Εξήγησε ποιοτικά τις ιδιότητες της δυνάμεως \vec{F}_r , που προκαλούν αυτές τις μεταβολές στο διάνυσμα $\Delta \vec{v}_r$ της ταχύτητας.

- Τι συμπεραίνεις για την πυκνότητα του βλήματος;

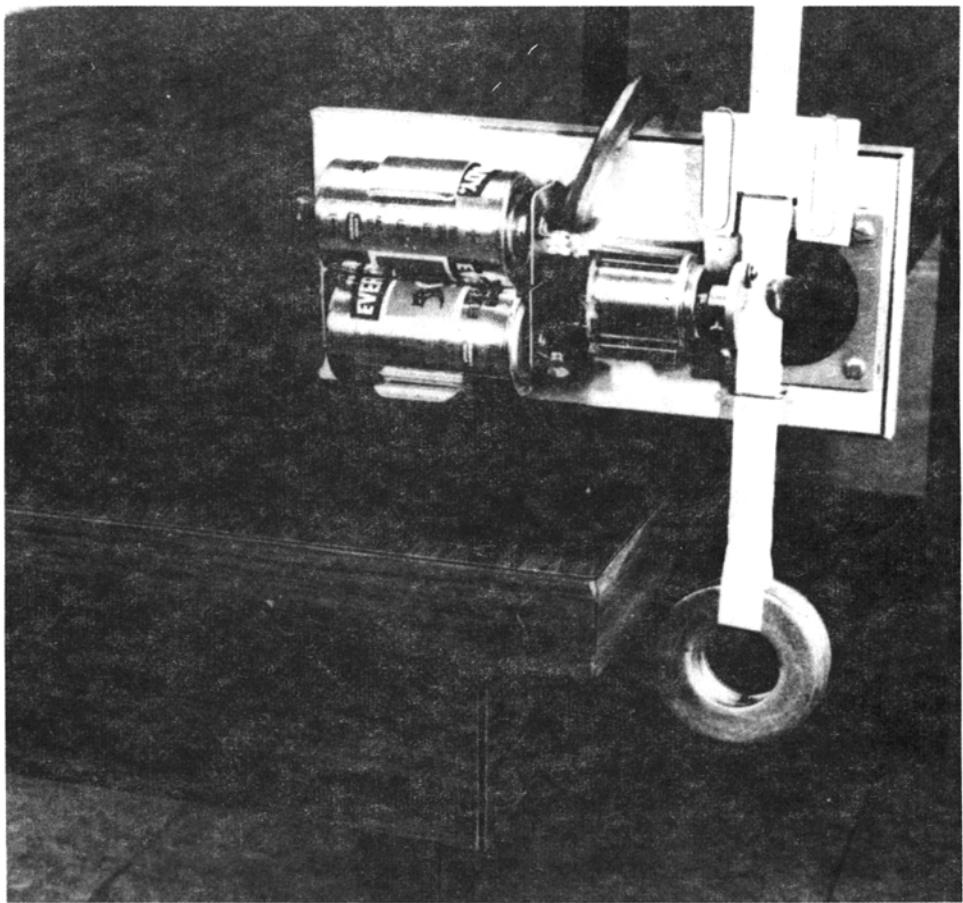


Σχήμα 7-3

8

Τριβή μεταξύ στερεών σωμάτων*

Η δύναμη τριβής μεταξύ ενός στερεού σώματος και του αέρα, μέσα στον οποίο κινείται, εξαρτάται από την ταχύτητα του σώματος. Αληθεύει όμως αυτό για τη δύναμη τριβής μεταξύ δύο στερεών σωμάτων; Μπορείς να απαντήσεις στην ερώτηση αυτή, αν εξετάσεις την τριβή κατά την κίνηση μιας χαρτοταινίας στον ηλεκτρικό χρονομετρητή, πρώτα ανάμεσα από τα δύο κομμάτια χαρτόνι και σε επαφή με αυτά και κατόπιν χωρίς αυτά, χρησιμοποιώντας την πειραματική διάταξη του σχήματος 8-1. Καλό είναι να στρώσεις ένα κομμάτι σκληρό χαρτόνι ή διπλωμένο ύφασμα στο πάτωμα για να το προστατεύσεις από πιθανή φθορά, κατά την πτώση του βάρους (δες το σχήμα 8-2). Έλεγχε να δεις αν τα δύο κομμάτια του χαρτονιού εφαπτονται αρκετά σφικτά με τη χαρτοταινία έτσι, που η κίνησή της να επιβραδύνεται εμφανώς, αλλά να μην είναι και τόσο σφικτά μεταξύ τους, ώστε να σταματούν τη χαρτοταινία.

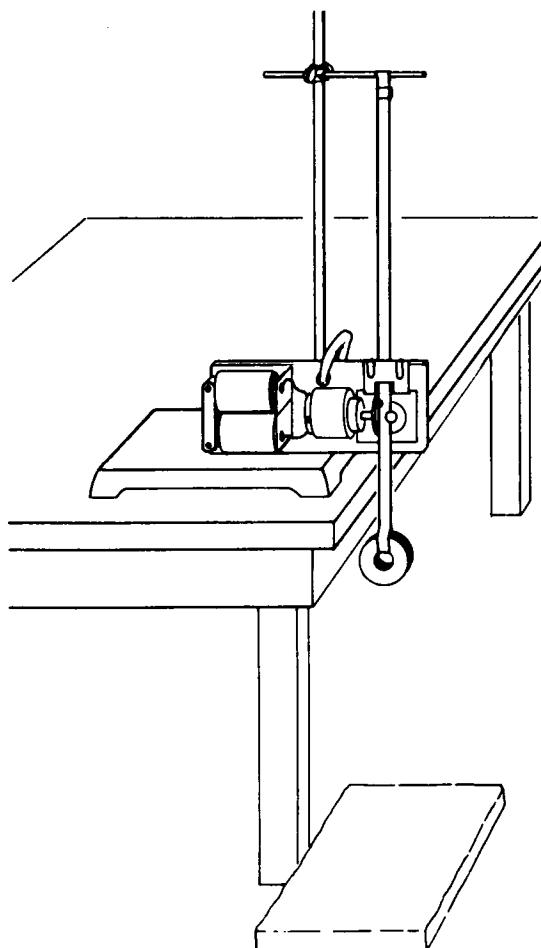


Σχήμα 8-1

Η χαρτοταινία συμπιέζεται μεταξύ δύο λεπτών, σκληρών κομματιών χαρτονιού, που συγκρατούνται μεταξύ τους με συνδετήρες και στηρίζονται με καρφίδες συρραπτικού στο χρονομετρητή.

* Όταν εκτελείς αυτό το πείραμα, χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων, αντικατάστησε τη χαρτοταινία με την ταινία με τις φαδώσεις και τον ηλεκτρικό χρονομετρητή με τη φωτοτύλη, όπως περιγράφεται στο πείραμα 1. Όλες οι συμπληρωματικές οδηγίες προβλέπονται από το πρόγραμμα στη δισκέτα.

Σχήμα 8-2



Άρχισε και πραγματοποίησε μια διαδρομή, αφού κόψεις τη χαρτοταινία λίγο πιο κάτω από το σημείο, όπου είναι στερεωμένη στο υποστήριγμά της.

- Υπόθεσε ότι η χαρτοταινία σύρεται δια μέσου του χρονομετρητή χωρίς καθόλου τριβή. Ποια θα ήταν η αναμενόμενη επιτάχυνσή της;
- Πώς θα επηρέαζε την επιτάχυνση μια σταθερή δύναμη τριβής;
- Πώς μια δύναμη τριβής, που αυξάνει με την ταχύτητα, θα επηρέαζε την επιτάχυνση;

Κάνε μια διαδρομή με τη χαρτοταινία να συμπιέζεται ανάμεσα στα δύο χαρτόνια και κατάρτισε το διάγραμμα της ταχύτητας, ως συνάρτηση του χρόνου.

- Η επιτάχυνση είναι σταθερή;
- Η δύναμη τριβής, που ασκείται στη χαρτοταινία, αυξάνεται με την ταχύτητα;

Σύγκρινε τα αποτελέσματά σου με τα αποτελέσματα των συμμαθητών σου. Επανάλαβε τη διαδρομή χωρίς τα χαρτόνια στη χαρτοταινία.

- Πιστεύεις ότι στην περίπτωση αυτή η δύναμη τριβής οφείλεται στο χρονομετρητή ή οφείλεται στον αέρα;

9

Μεταβολή της ορμής σε μια έκρηξη

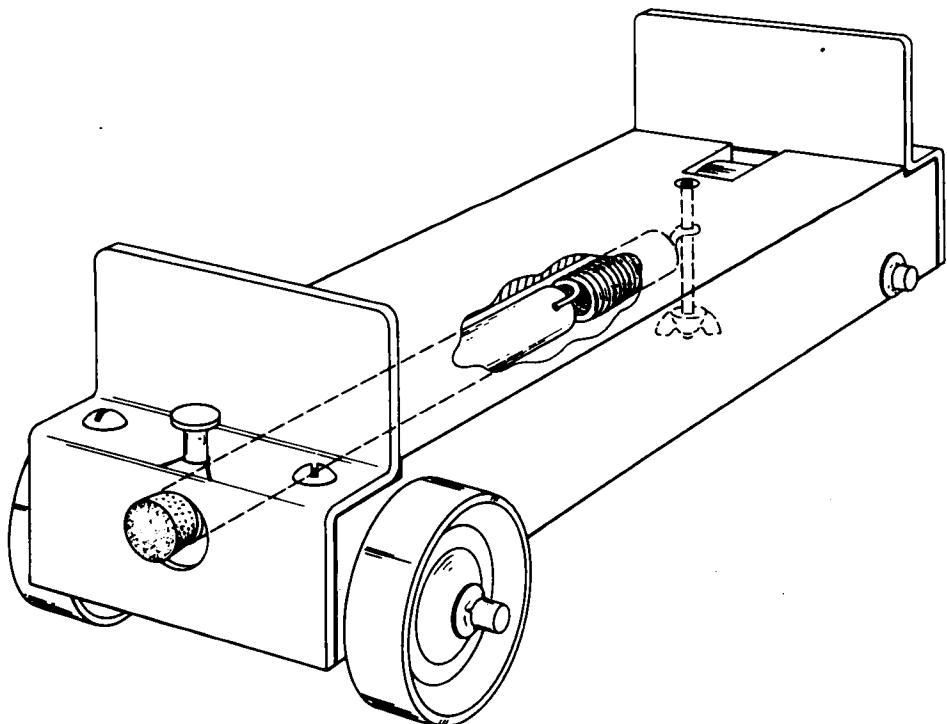
Δύο αρχικά ακίνητα και σε επαφή αμαξάκια απομακρύνονται το ένα από το άλλο εξαιτίας ξαφνικής αμοιβαίας αθήσεως – μιας «έκρηξης» – που ασκείται μεταξύ τους. Πώς μεταβάλλεται η ορμή του κάθε αμαξιού;

Για να προκαλέσουμε την αμοιβαία ώθηση, χρησιμοποιούμε ελατήριο που, αφού το έχομε συμπιέσει, το αφήνουμε ελεύθερο απότομα (σχ. 9-1). Άφησε ελεύθερο το ελατήριο, καθώς το αμαξάκι είναι ακίνητο, πιέζοντας προς τα κάτω τον πείρο. Κάνε το με διαφορετικά φορτία (πρόσθιτες μάζες) στο αμαξάκι.

- Τι συμπεραίνεις για την οριζόντια συνιστώσα της ορμής του αμαξιού πριν και μετά την έκρηξη;

Τοποθέτησε ένα δεύτερο αμαξάκι σε επαφή και σε συνέχεια με το πρώτο ώστε το ελατήριο, καθώς θα ελευθερώθει, να σπρώξει το δεύτερο αμαξάκι.

- Τι συμβαίνει τώρα, καθώς αφήνεις το ελατήριο; Επανάλαβε την πειραματική διαδικασία με πρόσθιτες μάζες στα αμαξάκια.



Σχήμα 9-1

Για να οπλίσεις το μηχανισμό εκτινάξεως, πίεσε το έμβολο προς τα μέσα και σφήνωσέ το πίσω από το μεταλλικό κάλυμμα. Για να ελευθερώθει το έμβολο, πίεσε προς τα κάτω τον πείρο που βρίσκεται στο εμπρός μέρος.

- Τι θα έλεγες, ποιοτικά, για τις ταχύτητες των δύο αμαξιών, καθώς είναι φορτωμένα με διαφορετικές μάζες;
- Ποια νομίζεις ότι είναι η σχέση μεταξύ των οριμών των δύο αμαξιών μετά την έκρηξη;

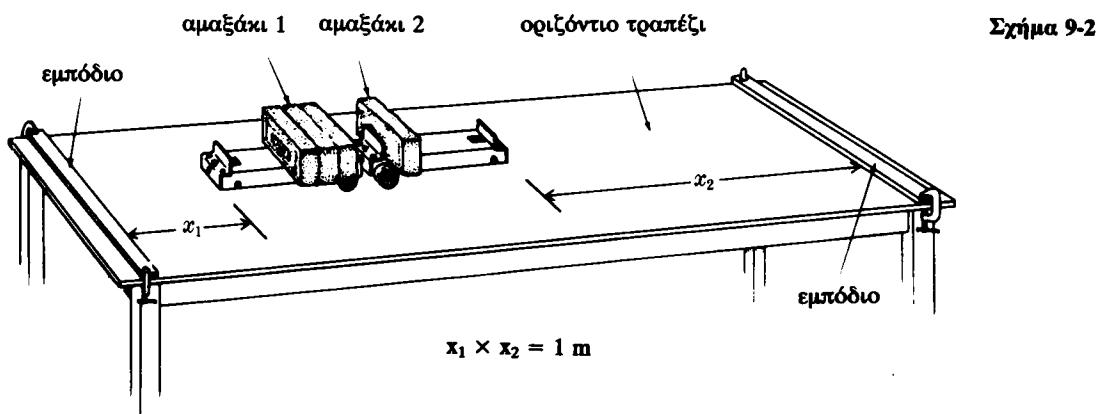
Για να μελετήσουμε αυτό το πείραμα ποσοτικά, απαιτείται να μετρηθούν οι ταχύτητες και οι μάζες των δύο αμαξιών. Δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις ταχύτητές τους σε m/s. Κατάλληλη είναι κάθε άλλη μονάδα. Είναι δυνατόν να εκφράσουμε τις ταχύτητές τους σε μονάδες αποστάσεως σε σχέση με την απόσταση που κινήθηκαν τα δύο αμάξια στο ίδιο χρονικό διάστημα. Υποθέτουμε ότι αφήνουμε τα αμαξάκια να κινηθούν ακριβώς στο μέσο της αποστάσεως μεταξύ δύο ξυλίνων εμπόδιων και ότι αυτά κινούνται με την ίδια ταχύτητα. Θα ακούσουμε ένα μόνο ήχο, καθώς αυτά κτυπούν στα εμπόδια ταυτοχρόνως. Αν το ένα κινείται γρηγορότερα από το άλλο, θα κτυπήσει στο εμπόδιο. Έπειτα από μερικές δοκιμές, μπορούμε να δρούμε το σημείο, από το οποίο και τα δύο αμαξάκια θα χρειαστούν τον ίδιο χρόνο για να φθάσουν στα εμπόδια. Οι αποστάσεις, που διανύουν τα αμαξάκια από τις θέσεις ηρεμίας, σημειώνονται ως x_1 και x_2 στο σχήμα 9-2. Τα αμαξάκια διανύουν αυτές τις αποστάσεις στο ίδιο χρονικό διάστημα t και, αν κινούνται με σταθερή ταχύτητα, γράφομε τις ταχύτητες τους ως:

$$v_1 = \frac{x_1}{t} \quad v_2 = \frac{x_2}{t}$$

Οι ταχύτητες, κατ' αυτόν τον τρόπο, είναι ευθέως ανάλογες προς τις αποστάσεις που διανύθηκαν στο ίδιο χρονικό διάστημα. Ονομάζουμε αυτό το χρονικό διάστημα ένα «κλανκ».

Αν χρησιμοποιήσεις αυτή τη μέθοδο μετακινήσεως του σημείου εκκινήσεως, για να πετύχεις ίσους χρόνους, προσδιόρισε την οριμή του κάθε αμαξιού μετά την έκρηξη σε kg · m/κλανκ.

- Ποια είναι η μεταδολή της οριμής του κάθε αμαξιού, ως συνέπεια της εκρήξεως; Δοκίμασε αυτό με διαφορετικούς συνδυασμούς προσθέτων μαζών επάνω στα αμαξάκια.
- Μπορείς να βγάλεις κάποιο συμπέρασμα για την ολική οριμή του συστήματος μετά την έκρηξη, σε σύγκριση με την ολική οριμή πριν από την έκρηξη;



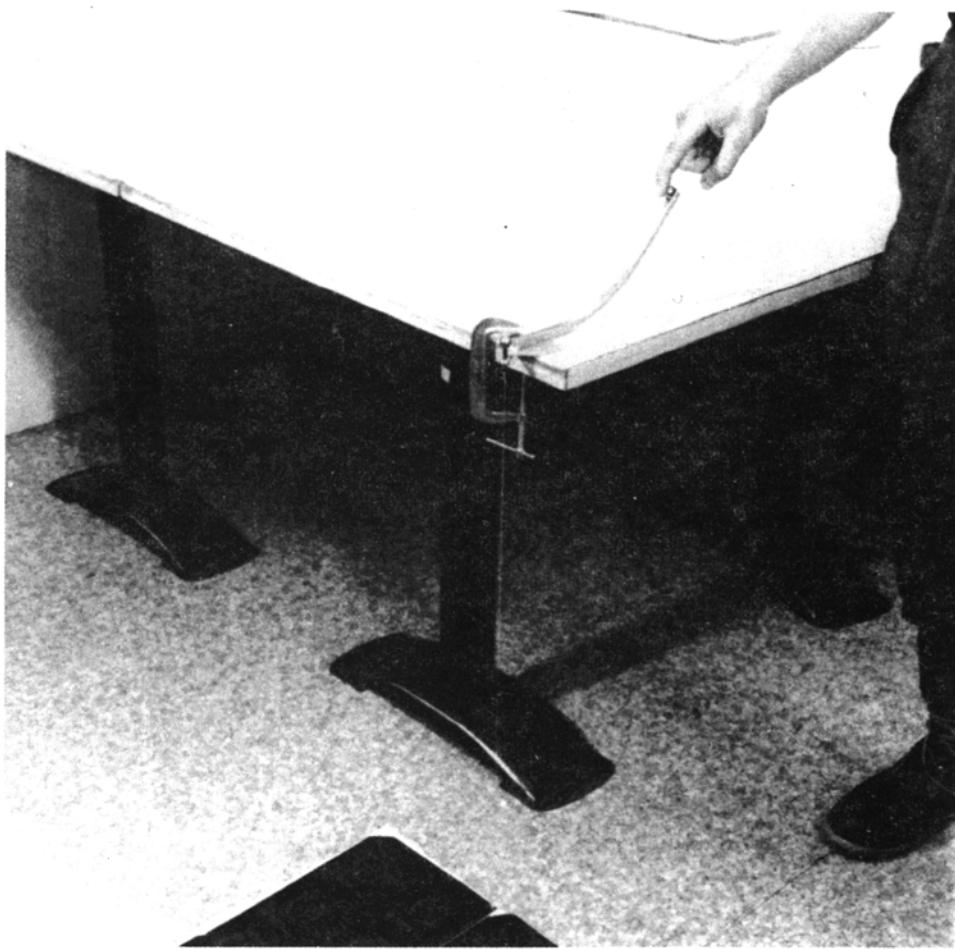
10

Κρούση σε δύο διαστάσεις

Τι συμβαίνει, όταν δύο σώματα συγκρουσθούν και μετά απομακρυνθούν το ένα από το άλλο, σε διαφορετικές διευθύνσεις; Για να το δρούμε θα κυλήσομε κατά μήκος κεκλιμένου επιπέδου χαλύβδινη σφαίρα έτσι, ώστε να συγκρουσθεί πλαγίως με μιαν άλλη χαλύβδινη σφαίρα ίδιου μεγέθους, εκτινάσσοντάς την πέρα από το υποστήριγμά της στην άκρη του τραπεζιού πειραμάτων (σχ. 10-1).

Για να δρούμε τις ταχύτητες των σφαιρών, θα χρησιμοποιήσομε ό,τι έχομε μάθει για την κίνηση βλήματος (δες στο βιβλίο σου, παράγραφος 5-4). Καθώς η αντίσταση του αέρα μπορεί ν' αγνοηθεί, τα σώματα που βάλλονται από την άκρη του τραπεζιού με διαφορετικές οριζόντιες ταχύτητες, χρειάζονται τον ίδιο χρόνο, για να πέσουν στο πάτωμα. Η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητάς τους παραμένει αμετάβλητη και επομένως η απόσταση που διανύουν οριζόντιως είναι ανάλογη της οριζόντιας ταχύτητάς τους. Χρησιμοποιούμε το δεδομένο αυτό για να μετρήσουμε τις ταχύτητες των σφαιρών μετά τη σύγκρουσή τους. Αυτό που εν τέλει πρέπει να κάνουμε, είναι να συγκρίνουμε τις οριζόντιες μετατοπίσεις των σφαιρών.

Σχήμα 10-1



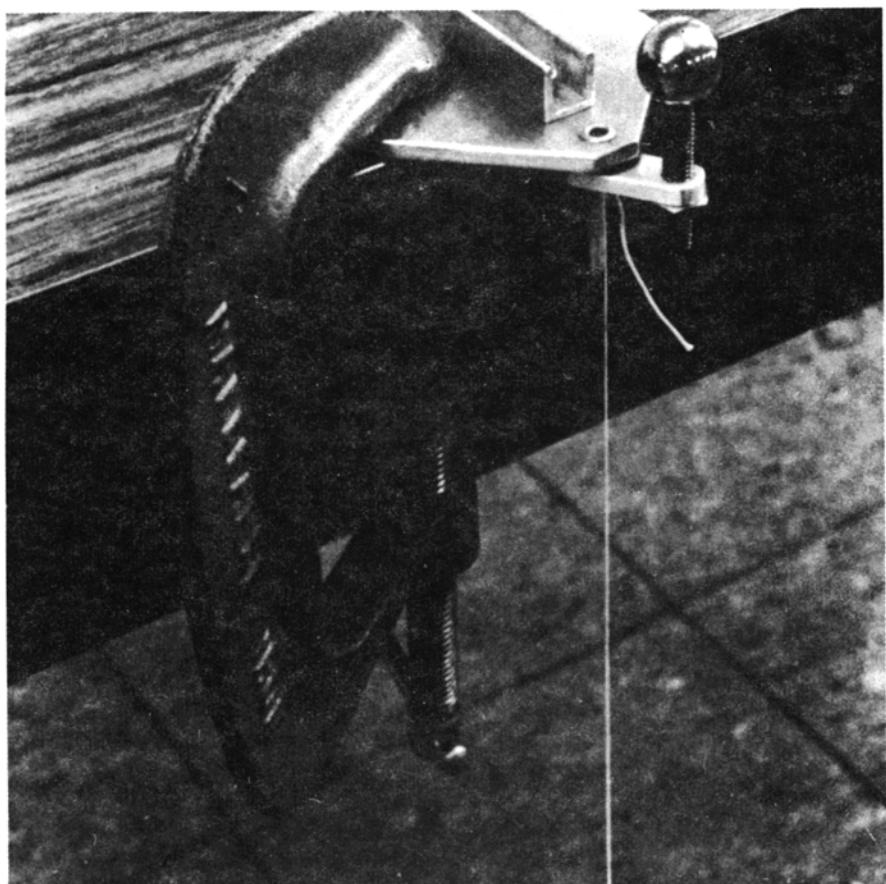
Για να δώσεις αρχική ταχύτητα στη μια από τις σφαίρες, κύλησέ τη στο κεκλιμένο επίπεδο (σχ. 10-2). Η σφαίρα-στόχος είναι ακίνητη στο μικρό βαθούλωμα της κεφαλής της βίδας της συσκευής. Ρύθμισε το ύψος τη βίδας, έτσι, ώστε να στηρίξει τη μια χαλύβδινη σφαίρα στο ίδιο ύψος με μια άλλη, δίμοια ακριβώς χαλύβδινη σφαίρα, που είναι τοποθετημένη στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου.

Ένωσε μεταξύ τους με σελοτέιπ τέσσερα φύλλα ριζόχαρτο ή διαφανούς χαρτιού ιχνογραφίας, για να σχηματίσεις ένα μεγάλο φύλλο. Βεβαιώσουν ότι τα φύλλα δεν επικαλύπτονται. Κάνε το ίδιο και με τέσσερα φύλλα καρμπόν. Τοποθέτησε το καρμπόν στο πάτωμα, με τη μελανωμένη όψη του προς τα κάτω, επάνω στο ριζόχαρτο ή στο διαφανές χαρτί. Το νήμα της στάθμης να κρέμεται ακριβώς επάνω από το μέσο της μικρότερης πλευράς του καρμπόν (σχ. 10-1). Σημείωσε στο χαρτί το σημείο αυτό και τοποθέτησε στις άκρες του χαρτιού βάρη, για να μην μετακινείται από τη θέση του. Άφησε τη μια χαλύβδινη σφαίρα από το υποστήριγμά της στην κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου να κυλήσει δέκα ή δεκαπέντε φορές και σημείωσε μ' ένα κυκλάκι την κατανομή των σημείων (ιχνών) επαφής της με το χαρτί.

- Πόσο μακριά το ένα από το άλλο είναι διασκορπισμένα τα σημεία της προσκρούσεως;

Με την άλλη χαλύβδινη σφαίρα να ισορροπεί επάνω στη βίδα, πραγματοποίησε αρκετές συγκρούσεις, αφήνοντας την προσπίπτουσα σφαίρα να κυλήσει από την κορυφή του κεκλιμένου επιπέδου, όπως και προηγουμένως.

- Εγκατέλειψαν μετά τη σύγκρουση και οι δύο σφαίρες το υποστήριγμα;



Σχήμα 10-2

- Άκουσες έναν ή δύο κρότους, όταν οι σφαίρες κτύπησαν το έδαφος;
- Γιατί η απάντηση σε αυτή την ερώτηση είναι σημαντική;

Αφαίρεσε το καρμπόν και σημείωσε στο χαρτί τα κέντρα των σημείων προσκρούσεως με τις ενδείξεις I_1 και T_1 (για την προσπίπτουσα σφαίρα και τη σφαίρα-στόχο αντίστοιχα). Αυτό θα σε βοηθήσει αργότερα στην ανάλυσή σου.

Περιστρέφοντας το βραχίονα στηρίζεως της σφαίρας-στόχου κατά μικρή γωνία, θ' αλλάξει το σημείο συγκρούσεως. Χρησιμοποίησε αυτή την τεχνική, για να προκαλέσεις πρόσθετες συγκρούσεις και σημείωσε τα αποτελέσματά τους με διαδοχικά αριθμημένα κυκλάκια.

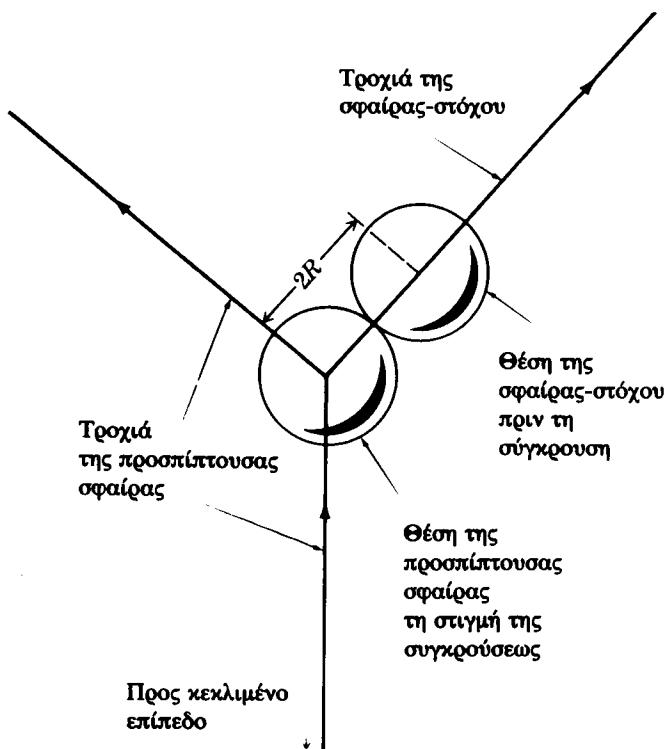
Η οριζόντια θέση της προσπίπτουσας σφαίρας τη στιγμή της συγκρούσεως, είναι το σημείο κάτω από το νήμα της στάθμης.

Η οριζόντια θέση της σφαίρας-στόχου την ίδια στιγμή της συγκρούσεως είναι το σημείο κάτω από το νήμα της στάθμης.

Η οριζόντια θέση της σφαίρας-στόχου την ίδια στιγμή μπορεί να προσδιορισθεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 10-3. Χρησιμοποιήσε το για να σχεδιάσεις κατευθείαν επάνω στο χαρτί τα διανύσματα, που αναπαριστούν τις ταχυτήτες των σφαιρών μετά τη σύγκρουση. Φύλαξε τα πρωτότυπα στοιχεία των μετρήσεων αυτού του πειράματος. Θα σου χρειασθούν στο πείραμα 12.

Επειδή οι μάζες των σφαιρών είναι ίσες, τα διανύσματα των ταχυτήτων αναπαριστούν και τις ορμές τους. Πρόσθεσε γραφικά τα διανύσματα των ορμών τους, θέτοντας το τέλος του διανύσματος της ορμής της σφαίρας-στόχου στην αρχή του διανύσματος της ορμής της προσπίπτουσας σφαίρας.

Σχήμα 10-3



- Ποια είναι η σχέση του διανυσματικού αθροίσματος των τελικών ορμών των δύο σφαιρών, σε σύγκριση με την αρχική ορμή της προσπίττουσας σφαίρας;
- Διατηρείται η ορμή σε αυτήν την αλληλεπίδραση;
- Ποια είναι η σχέση του αριθμητικού αθροίσματος των μέτρων των ορμών μετά τη σύγκρουση, σε σύγκριση με το μέτρο της αρχικής ορμής της προσπίττουσας σφαίρας;

Επανάλαβε το πείραμα, χρησιμοποιώντας δύο σφαίρες, που έχουν διαφορετικές μάζες, αλλά έχουν το ίδιο μέγεθος.

- Ποια από τις δύο θα χρησιμοποιήσεις ως προσπίττουσα σφαίρα;
- Ποια είναι η σχέση του διανυσματικού αθροίσματος των τελικών ταχυτήων σε σύγκριση με την αρχική ταχύτητα;
- Πώς μπορείς να μετατρέψεις τα διανύσματα ταχύτητας σε διανύσματα ορμής, τώρα που οι μάζες των δύο σφαιρών δεν είναι ίσες;
- Ποια είναι η σχέση του διανυσματικού αθροίσματος των τελικών ορμών σε σύγκριση με την αρχική ορμή;

Σύγκρινε τις διανυσματικές συνιστώσες των τελικών ορμών των δύο σφαιρών κατά διεύθυνση κάθετη προς την αρχική ορμή.

- Τι βρίσκεις;

11

Ρίχνοντας μια μπάλα μπέιζμπολ

Πόση είναι η μέση τιμή της δυνάμεως που ασκείς με το χέρι σου, καθώς ρίχνεις τη μπάλα του μπέιζμπολ; Ας αναλύσουμε την ερώτηση και ας δούμε ποιες ποσότητες μπορούν εύκολα να μετρηθούν και ποιες προσεγγίσεις πρέπει να γίνουν, για να απλοποιηθούν οι υπολογισμοί.

Υπόθεσε ότι, καθώς ρίχνεις τη μπάλα του μπέιζμπολ, κινείς το χέρι σου κατά απόσταση a και προσδίδεις στην μπάλα κινητική ενέργεια E_x . Έτσι, το έργο που κάνεις ισούται με E_x και:

$$E_x = Fd \quad \text{ή} \quad F = E_x / d$$

όπου F είναι η μέση τιμή της συνιστώσας της δυνάμεως, κατά μήκος της τροχιάς που διαγράφει το χέρι σου. Μπορείς να υπολογίσεις το F , αν γνωρίζεις τα μεγέθη d και E_x .

- Πώς θα μετρήσεις την απόσταση d ;

Εφόσον $E_x = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2)$, το επόμενο βήμα σου είναι να δρεις την οριζόντια συνιστώσα v_x και την κατακόρυφη συνιστώσα v_y της ταχύτητας που έχει η μπάλα, καθώς φεύγει από το χέρι σου. Παραλείποντας την αντίσταση του αέρα, η οριζόντια κίνηση θα γίνεται με σταθερή ταχύτητα και η κατακόρυφη με σταθερή επιτάχυνση. Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες σχέσεις, μπορείς να γράψεις τις συνιστώσες v_x και v_y ως συναρτήσεις της οριζόντιας αποστάσεως x , που διατρέχει η μπάλα και το χρόνο κινήσεως t . Μπορείς να μετρήσεις πειραματικά και τα δύο αυτά μεγέθη.

Αφού έχεις εκφράσει το F ως συνάρτηση των d , x και t , μπορείς να αρχίσεις τις μετρήσεις.

- Πόση είναι η μέση τιμή της δυνάμεως που ασκείς στη μπάλα του μπέιζμπολ όταν τη ρίχνεις;
- Πόσος χρόνος προβλέπεις ότι σου αρκεί για να ρίξεις τη μπάλα;

Μπορείς να ελέγξεις την πρόβλεψή σου χρησιμοποιώντας τις έως τώρα μετρήσεις σου, εφόσον θεωρήσεις ως δεδομένο ότι το χέρι σου κινείται με σταθερή επιτάχυνση.

- Πόσο σωστή ήταν η πρόβλεψή σου;

12

Ελαστικές και μη ελαστικές κρούσεις

Όταν μελέτησες τις κρούσεις στις δύο διαστάσεις (πείραμα 10), ενδιαφέρθηκες μόνο για τη σύγκριση των ορμών πριν και μετά την κρούση. Τα πειραματικά δεδομένα αυτών των συγκρούσεων είναι επίσης χρήσιμα για τη σύγκριση της κινητικής ενέργειας των χαλυβδίνων σφαιρών πριν και μετά την κρούση.

Εξέτασε πρώτα τις δύο χαλύβδινες σφαίρες με ίσες μάζες. Η κινητική τους ενέργεια πριν από την σύγκρουση είναι $\frac{1}{2}mv_1^2$ και μετά την κρούση $\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$. Αν η κινητική ενέργεια διατηρείται κατά την κρούση, δηλαδή αν η κρούση είναι ελαστική, τότε:

$$v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$$

- Τι δηλώνει αυτή η εξίσωση για τη γωνία μεταξύ των διανυσμάτων ταχύτητας v_1 και v_2 ;

Μέτρησε αυτές τις γωνίες για όλες τις διαδρομές του πειράματος 10.

- Τι συμπεραίνεις για την ελαστικότητα (ή όχι) των συγκρούσεων;

Σύγκρινε απευθείας τις κινητικές, ενέργειες (σε αυθαίρετες μονάδες μετρήσεως) υπολογίζοντας τα v_1^1 , v_1^2 και v_2^2 από τις μετρήσεις που έχεις πάρει.

- Μήπως η σύγκριση επιβεβαιώνει την απάντηση που έδωσες στην προηγούμενη ερώτηση;

Όταν η προσπίπτουσα σφαίρα έχει μάζα m_1 και η σφαίρα-στόχος έχει μάζα m_2 , δεν είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς κατά πόσο η κρούση είναι ελαστική, με απλή παρατήρηση ή με τη μέτρηση μιας γωνίας και μόνο. Για τα ελαττωθεί ο αριθμός των υπολογισμών που απαιτούνται, για να ελεγχθεί αν ισχύει η σχέση $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$ πρέπει πρώτα να διαιρέσεις και τα δύο μέλη δια $\frac{1}{2}m_1$.

Έτσι, $v_1^2 = v_1'^2 + \frac{m_2}{m_1}v_2'^2$

- Από τα πειραματικά δεδομένα των συγκρούσεων της χαλύβδινης σφαίρας με τη γυάλινη, τι συμπεραίνεις για την ελαστικότητα αυτών των κρούσεων;

Στην παράγραφο 7-4 μάθαμε ότι η κρούση μεταξύ δύο σωμάτων θα είναι ελαστική, αν η δύναμη αλληλεπιδράσεως μεταξύ των δύο σωμάτων εξαρτάται

μόνο από τη μεταξύ τους απόσταση. Αν κατά τη διάρκεια της συγκρούσεως το ένα από τα δύο σώματα παραμορφωθεί μόνιμα (ακόμα και ελάχιστα!), τότε η δύναμη είναι κατά πάσα πιθανότητα μεγαλύτερη όταν τα δύο σώματα κτυπούν το ένα στο άλλο, παρά όταν απομακρύνονται το ένα από το άλλο, (μη ελαστική σύγκρουση σ.τ.μ.). Μπορούμε να φτάσουμε σε μία τέτοια κατάσταση κολλώντας ένα κομματάκι σελοτέιπ στη χαλύβδινη σφαίρα-στόχο του σχήματος 10-2.

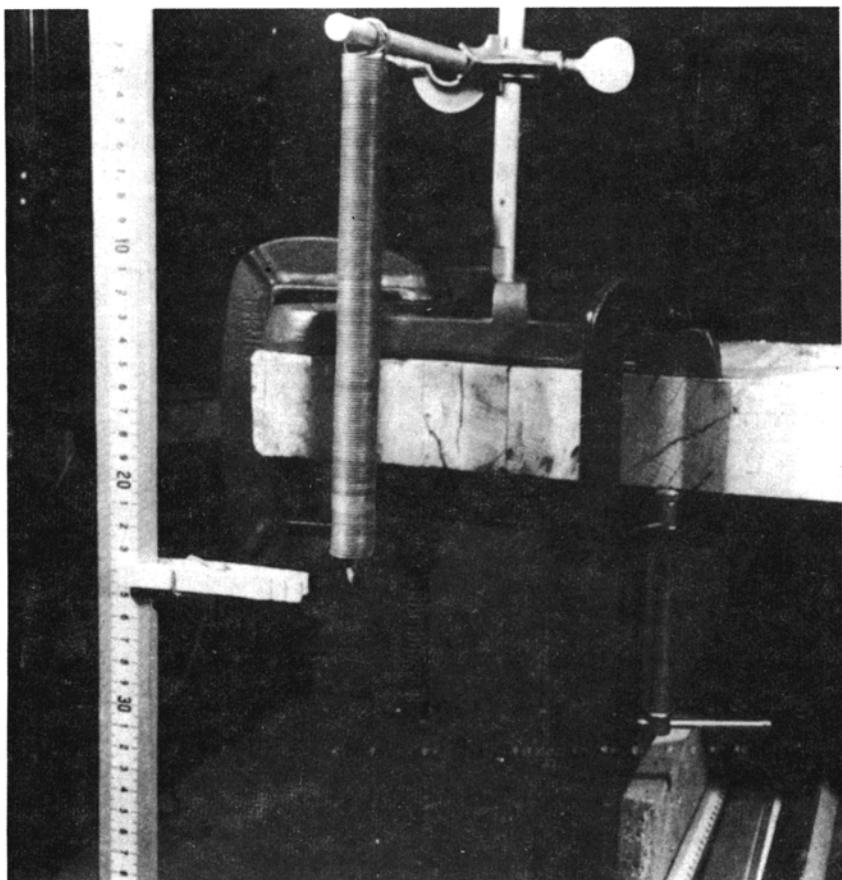
- Πριν αρχίσεις το πείραμα τι προβλέπεις ποσοτικά για: (1) την ολική κινητική ενέργεια μετά την κρούση, (ε) την ολική ορμή μετά την κρούση και (3) τη γωνία μετά την κρούση, σε σύγκριση με τη γωνία στο πείραμα 10;

Έλεγχε τις προβλέψεις σου πειραματικά, ακολουθώντας τις ίδιες οδηγίες όπως στο πείραμα 10.

13

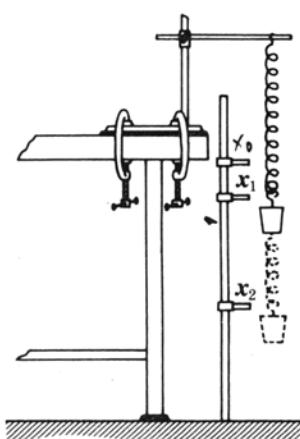
Μεταβολές της δυναμικής ενέργειας

Κρέμασε ένα ελατήριο από σταθερά στερεωμένο ορθοστάτη και σημείωσε το σημείο του κατώτερου άκρου του ελατηρίου με τη βοήθεια καρφίτσας ή ενός κομματιού σελοτέπ (σχ. 13-1). Κατόπιν κρέμασε στο ελατήριο μάζα 1 kg.



Σχήμα 13-1

Σχήμα 13-2



- Όταν η μάζα ισορροπεί, τι συμπεραίνεις για τη φορά και το μέτρο των δυνάμεων βαρύτητας και ελαστικότητας, που ασκούνται στη μάζα;

Τώρα, ανύψωσε ελαφρά τη μάζα με τα δάκτυλά σου έτσι, ώστε το ελατήριο να επιμηκύνεται 10 cm περίπου περισσότερο από το φυσικό του μήκος. Σημείωσε αυτήν τη θέση ως x_1 . Κατόπιν, άφησε τη μάζα (προσέχοντας να μην την αθήσεις με τα δάκτυλά σου καθώς την αφήνεις) και σημείωσε το χαμηλότερο σημείο, όπου φθάνει ως x_2 (σχ. 13-2). Θα χρειασθούν αρκετές προσπάθειες μέχρι να προσδιορίσεις ακριβώς το κατώτερο σημείο της μέγιστης απομακρύνσεως της ταλαντώσεως.

Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι να συγχρίνεις τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας βαρύτητας προς τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας ελαστικότητας, μεταξύ των σημείων x_1 και x_2 . Η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας βαρύτητας ισούται με το έργο της δυνάμεως βαρύτητας για την ίδια μετατόπιση.

- Πόση είναι η δύναμη βαρύτητας, που ασκείται στη μάζα μεταξύ των σημείων x_1 και x_2 ;
- Αν θεωρήσεις την προς τα κάτω μετατόπιση θετική, η δύναμη βαρύτητας είναι θετική ή αρνητική;

Για να δρεις το έργο της δυνάμεως ελαστικότητας, πρέπει να γνωρίζεις πώς αυτή η δύναμη εξαρτάται από την επιμήκυνση του ελατηρίου. Γι' αυτό κρέμασε από το ελατήριο γνωστές μάζες, μέχρι 1,5 kg το πολύ, και μέτρησε την επιμήκυνση x του ελατηρίου σε μέτρα και τη δύναμη σε νιούτον, για την κάθε μάζα.

- Έχοντας εκλέξει την προς τα κάτω επιμήκυνση x ως θετική, η δύναμη επαναφοράς, που ασκείται από το ελατήριο, είναι θετική ή αρνητική;

Στους ίδιους άξονες φτιάξε ως προς την επιμήκυνση τα διαγράμματα της δυνάμεως βαρύτητας και της δυνάμεως ελαστικότητας που ασκούνται σε μάζα 1 kg.

- Πόση είναι η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας ελαστικότητας μεταξύ των θέσεων x_1 και x_2 ;
- Πόση είναι η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας βαρύτητας μεταξύ των θέσεων x_1 και x_2 ;
- Πώς μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους;
- Πώς συγκρίνεται η μεταβολή στη δυναμική ενέργεια ελαστικότητας μεταξύ x_1 και x_m (όπου x_m το μέσο μεταξύ των θέσεων x_1 και x_2) με τη μεταβολή στη δυναμική ενέργεια βαρύτητας μεταξύ των δύο αυτών σημείων;
- Πώς εξηγείς την απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση;

Αν το διάγραμμά σου F ως προς x είναι μια ευθεία γραμμή που διέρχεται πλησίον της αρχής των αξόνων, τότε η μάζα εκτελεί απλή αρμονική κίνηση.

- Πόση είναι η περίοδος της ταλαντώσεως της μάζας του 1 kg;
- Αν λάβεις υπόψη σου τη σχέση μεταξύ της απλής αρμονικής κινήσεως και ομαλής κυκλικής κινήσεως με σταθερή ταχύτητα μπορείς να βρεις πόση είναι η ταχύτητα της μάζας στο μέσο της απομακρύνσεως; (Γνωστά τα μεγέθη T και x).
- Η τιμή της ταχύτητας στο μέσο της απομακρύνσεως επαληθεύει την απάντησή σου για τις διαφορετικές τιμές μεταβολής των δύο δυναμικών ενεργειών μεταξύ x_1 και x_m ;

14

Ηλεκτρισμένα αντικείμενα

Οι περισσότερες από τις γνώσεις μας για την ποιοτική συμπεριφορά των ηλεκτρικών φορτίων ανακαλύφθηκαν στη διάρκεια του 18ου αιώνα. Συνήθη υλικά, όπως το γυαλί, τρίβονταν με διαφορετικά είδη υφασμάτων, για να παράγουν ηλεκτρικά φορτία. Μπορείς και εσύ να παρατηρήσεις τη συμπεριφορά των ηλεκτρικών φορτίων, τρίβοντας με χαρτί ή ύφασμα λωρίδες από πλαστικό που εύκολα ηλεκτρίζονται.

Κρέμασε μια πλαστική λωρίδα από οξική κυτταρίνη και μια πλαστική λωρίδα από βινύλιο στην οριζόντια ράβδο ορθοστάτη, στερεώνοντάς τις με λίγο σελοτείπ, κατά τρόπο, ώστε να αιωρούνται ελεύθερα. Τρίψε ζωηρά τις λωρίδες της οξικής κυτταρίνης και του βινυλίου με ένα κομμάτι στεγνό χαρτί. Πρόσεξε να μην ακουμπήσεις πλέον τις λωρίδες. Τρίψε άλλη μια λωρίδα από βινύλιο με χαρτί και πλησίασέ την κοντά στις δύο αιωρούμενες λωρίδες.

- Τι συμπεραίνεις από τα αποτελέσματα που παρατηρείς;

Τώρα τρίψε με χαρτί μια άλλη λωρίδα από οξική κυτταρίνη και πλησίασέ τη στις αιωρούμενες λωρίδες.

- Τι συμπέρασμα διγάζεις;
- Βρήκες ένα, δύο ή τρία είδη ηλεκτρικού φορτίου; Δώσε κάποιο όνομα στο κάθε είδος φορτίου που βρήκες και χρησιμοποίησε αυτά τα ονόματα μέχρι το τέλος του πειράματος.

Τρίψε επάνω στα δούχα σου μια χτένα, ένα πλαστικό χάρακα ή άλλα αντικείμενα που φορτίζονται εύκολα και παρατήρησε την επίδρασή τους στις δύο αιωρούμενες πλαστικές λωρίδες.

- Με ποιο είδος ηλεκτρικού φορτίου φορτίσθηκε το υλικό του κάθε αντικειμένου;
- Από τις παρατηρήσεις σου κατά το πείραμα αυτό, ποια γενικά συμπεράσματα μπορείς να διγάλεις για την ηλέκτριση των σωμάτων;
- Ποιο θα ήταν το αποτέλεσμα αν στα φορτία που παρατήρησες άλλαζες τα ονόματα που τους έδωσες;
- Τι θα συμβεί, όταν κρατήσεις μια φορτισμένη πλαστική λωρίδα κοντά σε ένα κομματάκι χαρτιού ή μια τρίχα;

15

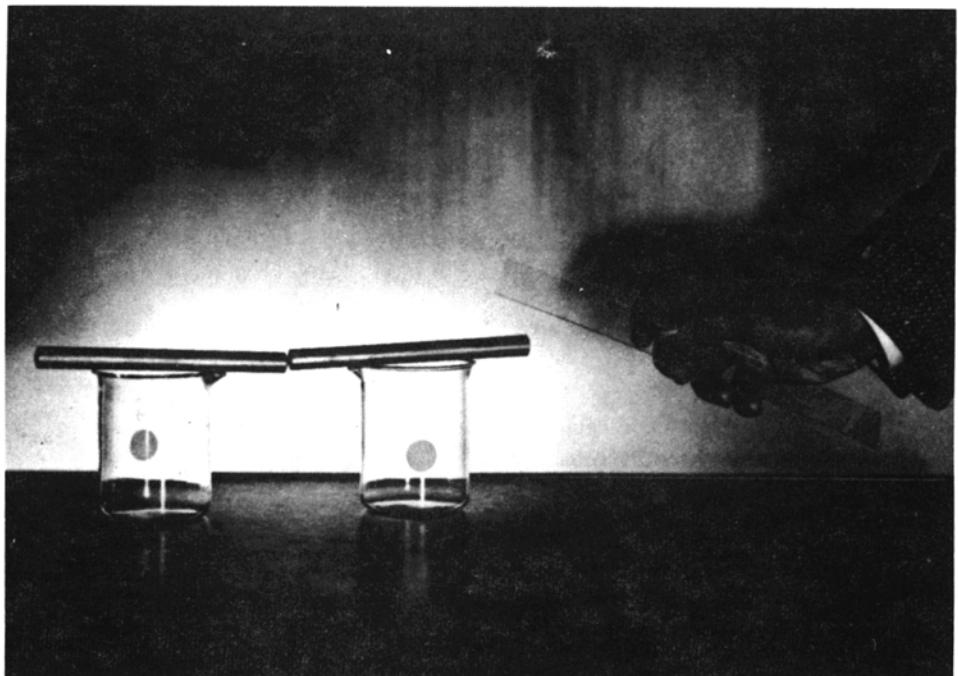
Ηλεκτροστατική επαγωγή

Από την καθημερινή εμπειρία σου γνωρίζεις ότι τα ηλεκτρικά φορτία δεν δέουν εύκολα σε υλικά όπως το γυαλί, τα κεραμικά και τα πλαστικά. Τα υλικά αυτά ονομάζονται **μονωτές**. Άλλα υλικά, κυρίως μέταλλα, στα οποία τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται εύκολα, ονομάζονται αγωγοί. Στο πείραμα αυτό θα ερευνήσεις τις συνέπειες της ελεύθερης κινήσεως των φορτίων σε έναν αγωγό.

Τοποθέτησε δύο μεταλλικές ράβδους επάνω σε δύο γυάλινα ποτήρια ζέσωσ, κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η άκρη της μιας να εφάπτεται στην άκρη της άλλης και πλησίασε κοντά στη μια άκρη των ράβδων ένα κομμάτι φορτισμένου πλαστικού (σχ. 15-1). (Μην πλησιάσεις το φορτισμένο πλαστικό τόσο κοντά, ώστε να προκληθεί σπινθήρας μεταξύ αυτού και της μεταλλικής ράβδου). Με το φορτισμένο πλαστικό κοντά στις ράβδους, χώρισε τις ράβδους, απομακρύνοντας το ένα ποτήρι και προσέχοντας να μην τις αγγίξεις με το χέρι σου. Στη συνέχεια απομάκρυνε το πλαστικό και μετάφερε μερικά φορτία του σε μια λωρίδα αλουμινόχαρτου κρεμασμένη με κλωστή στην οριζόντια ράβδο ενός οδθοστάτη. Πλησίασε στο αλουμινόχαρτο πρώτα τη μία μεταλλική ράβδο και κατόπιν την άλλη.

- Τι παρατηρείς;

Σχήμα 15-1



Τώρα ξαναφέρε σε επαφή τις μεταλλικές ράβδους και κατόπιν πλησίασέ της στο φορτισμένο αλουμινόχαρτο.

- Πώς συμπεριφέρεται το φορτισμένο αλουμινόχαρτο, όταν είναι κοντά στις ράβδους;

Πλησίασε πάλι το φορτισμένο πλαστικό στη μία άκρη της μιας ράβδου, ενώ την άλλη άκρη της άγγιξέ τη με το δάκτυλό σου για λίγο. Απομάκρυνε το πλαστικό και ανίχνευσε την ύπαρξη ηλεκτρικού φορτίου στη ράβδο, χρησιμοποιώντας τη φορτισμένη λωρίδα του αλουμινόχαρτου.

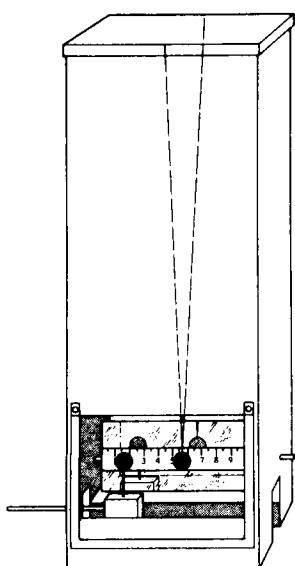
- Το φορτίο στη ράβδο είναι το ίδιο ή το αντίθετο, με το φορτίο στο πλαστικό;

Η λωρίδα του αλουμινόχαρτου που χρησιμοποίησες μπορεί και ανιχνεύει την ύπαρξη και το είδος του ηλεκτρικού φορτίου, αλλά είναι ακατάλληλη για τη μέτρηση της ποσότητας του φορτίου. Ένα περισσότερο κατάλληλο όργανο για τη μέτρηση ποσότητας φορτίου από ό,τι το αλουμινόχαρτο, είναι το ηλεκτροσκόπιο. Επανάλαβε το τελευταίο μέρος του πειράματος, χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτροσκόπιο στη θέση και των δύο ράβδων και της λωρίδας του αλουμινόχαρτου.

16

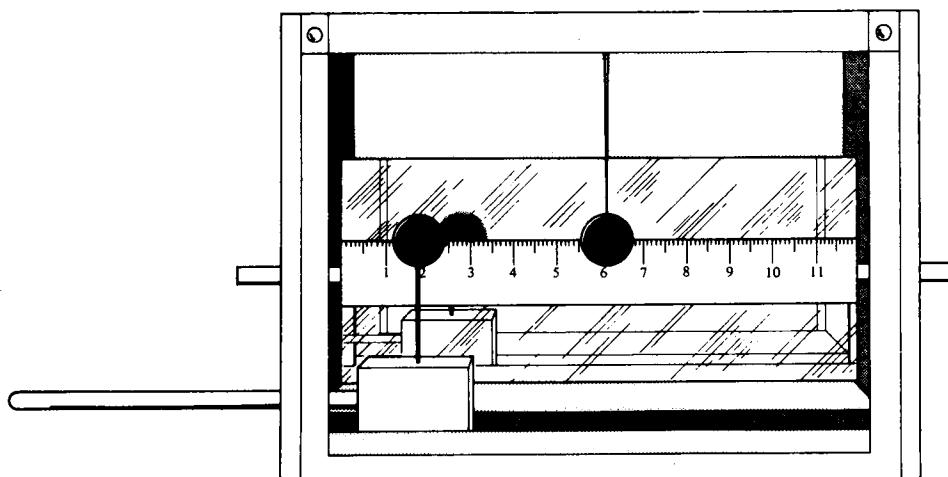
Η δύναμη μεταξύ δύο φορτισμένων σφαιρών

Σχήμα 16-1



Η δύναμη αλληλεπιδράσεως, που ασκείται μεταξύ ηλεκτρικά φορτισμένων σωμάτων, εξαρτάται από τη μεταξύ τους απόσταση και από το μέτρο (μέγεθος) των φορτίων τους. Η φύση αυτής της εξαρτήσεως μπορεί να μελετηθεί με αρκετούς τρόπους. Μια απλή μέθοδος, που θα χρησιμοποιηθεί στο πείραμα αυτό, μετρά τη δύναμη που ασκείται σε φορτισμένο σώμα με την εξισορρόπησή της από μιαν άλλη γνωστή δύναμη – τη δύναμη της βαρύτητας. Έτσι, μπορούμε να κρεμάσσουμε από μονωμένο νήμα ένα φορτισμένο σφαιρίδιο και να πλησιάσουμε κοντά σε αυτό ένα άλλο φορτισμένο σφαιρίδιο. Με βάση την εκτροπή του κρεμασμένου σφαιριδίου από την κατακόρυφο, μπορούμε να μετρήσουμε, σε σχέση με το βάρος του, την ηλεκτρική δύναμη που του ασκήθηκε.

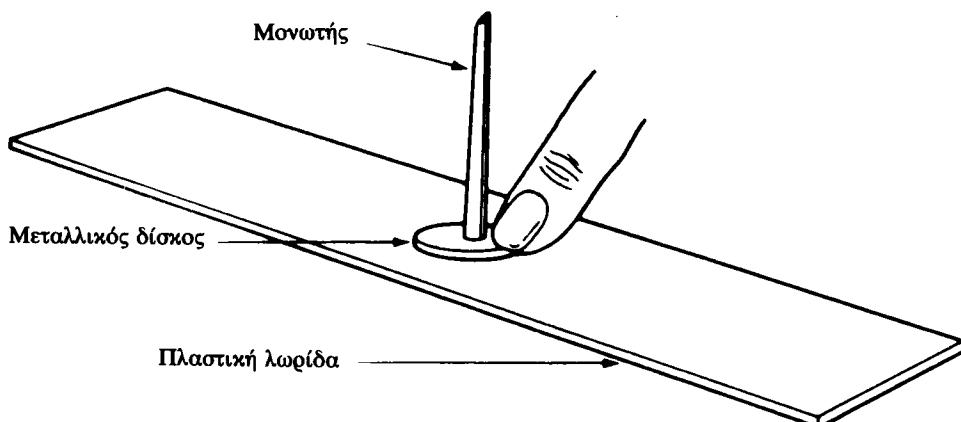
Ένα ελαφρύ αγώγιμο σφαιρίδιο Α, κρεμασμένο στην άκρη πολύ λεπτού νάιλον νήματος σχήματος «V», φαίνεται στο σχήμα 16-1. Το σφαιρίδιο μπορεί να αιωρείται σε ένα μόνο κατακόρυφο επίπεδο. Ανάγνωσε επάνω στην κλίμακα τη θέση της μιας ακραίας θέσεως της περιφέρειας του κρεμασμένου σφαιριδίου. Η ανάγνωση πρέπει να γίνει, όταν το είδωλο του σφαιριδίου στον καθρέπτη και το σφαιρίδιο ταυτίζονται. Με τον τρόπο αυτό βεβαιώνεσαι ότι διέπεις εντελώς κάθετα στην κλίμακα, καθώς κάνεις τη μέτρηση (σχ. 16-2). Φόρτισε το σφαιρίδιο με επαφή, χρησιμοποιώντας το φορτισμένο μεταλλικό δίσκο (σχ. 16-3). Συγχρόνως πλησίασε το ομώνυμα φορτισμένο σφαιρίδιο Β, που είναι τοποθετημένο σε μονωμένο υποστήριγμα.



Σχήμα 16-2

Η αριθμημένη κλίμακα και ο καθρέπτης φαίνονται στο σχήμα 16-1. Η σωστή θέση παρατηρήσεως είναι κάθετη ως προς την κλίμακα, στη θέση όπου το σφαιρίδιο Α ταυτίζεται με το είδωλό του στον καθρέπτη. Σημείωσε ότι η επάνω ακμή της κλίμακας δρίσκεται στο ίδιο ύψος με το κέντρο του σφαιριδίου. Για να προσδιορίσεις τη θέση του σφαιριδίου Β στην κλίμακα, γύρε χάρη το κεφάλι σου προς τα αριστερά, έως ότου το είδωλο του σφαιριδίου Β ταυτισθεί με το σφαιρίδιο.

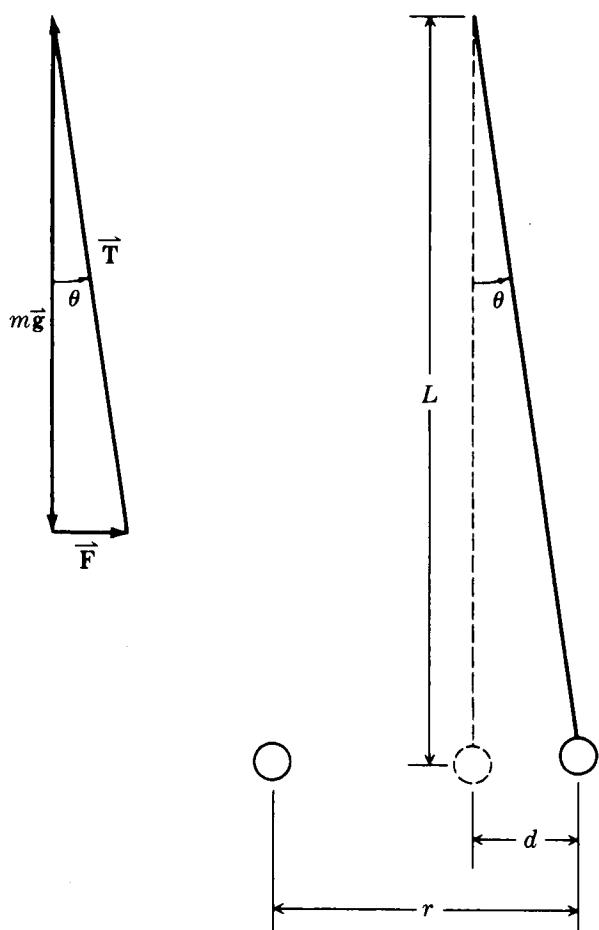
Σημείωσε, με ανάγνωση της κλίμακας, τις θέσεις των σφαιριδίων, καθώς το Β πλησιάζει το Α. Βεδαιώσου ότι βλέπεις την ίδια πλευρά του κάθε σφαιριδίου, κάθε φορά που διαδίζεις τις θέσεις τους στην κλίμακα.



Σχήμα 16-3

Για τη φόρτιση των σφαιριδίων χρησιμοποιείται μεταλλικός δίσκος με μονωμένη λαβή. Τρίψε με χαρτί ή ύφασμα πλαστική λωρίδα από οξειδό εστέρα ή βινύλιο και τοποθέτησέ τη στο τραπέζι πειραμάτων. Ακούμπησε το δίσκο στη λωρίδα με τη λαβή προς τα επάνω και άγγιξε στιγμιαία με το δάκτυλό σου την επάνω επιφάνεια του δίσκου. Όταν σηκώσεις το δίσκο, κρατώντας τον από τη μονωμένη λαβή, θα είναι φορτισμένος. Το φορτίο μπορεί να μεταφερθεί στα αγώγιμα σφαιρίδια (Α και Β) με επαφή.

Σχήμα 16-4



Μερικά φορτία μπορεί να διαρρεύσουν σιγά σιγά από την επιφάνεια του νήματος και του μονωμένου υποστηρίγματος και να εμφανισθεί σφάλμα στις μετρήσεις.

- Πώς μπορείς να ελέγξεις την ύπαρξη της διαρροής;
- Πότε θα κάνεις τον έλεγχο; Κατά τη διάρκεια του πειράματος ή στο τέλος;

Όταν το κρεμασμένο σφαιρίδιο είναι ακίνητο, η ολική δύναμη που ασκείται σε αυτό είναι μηδέν. Δηλαδή το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων της τάσεως \vec{T} του νήματος και του δάρους $m \vec{g}$ του σφαιριδίου είναι ίσου μέτρου και αντίθετης φοράς με την ηλεκτρική δύναμη \vec{F} . Από το σχήμα 16-4 αποδεικνύεται ότι, για μικρές γωνίες, ο λόγος του μέτρου της ηλεκτρικής δυνάμεως προς το λόγο του δάρους, F/mg , είναι ίσος προς d/L , το λόγο δηλαδή της οριζόντιας μετατοπίσεως του κρεμασμένου σφαιριδίου προς την απόσταση του σφαιριδίου από το σημείο εξαρτήσεως. Έτσι:

$$F = \frac{mg}{2} d = (\text{σταθερά}) \cdot d$$

Καθώς εδώ δεν μας ενδιαφέρουν οι μονάδες μετρήσεως, μπορούμε να μετρήσουμε τη δύναμη ως συνάρτηση του d . Ακόμα, μπορούμε να μελετήσουμε την εξάρτηση της F από τη r , κατασκευάζοντας το διάγραμμα της d ως συνάρτηση της r .

Κάνε το διάγραμμα της δυνάμεως ως συνάρτηση της αποστάσεως μεταξύ των δύο σφαιριδίων.

- Ποια είναι η σχέση της δυνάμεως, όταν η απόσταση μεταξύ των σφαιριδίων είναι r , με τη δύναμη, όταν η μεταξύ τους απόσταση γίνεται $\frac{1}{2} r$ και $\frac{2}{3} r$;
- Τι είδους εξάρτηση μας δείχνει αυτή η σχέση; Κατασκεύασε ένα διάγραμμα, για να το επαληθεύσεις.
- Αν το διάγραμμά σου αποκλείνει από την πρόβλεψή σου, πώς μπορείς να εξηγήσεις την απόκλιση;

Για να ερευνήσεις τον τρόπο με τον οποίο η δύναμη μεταξύ των δύο σφαιρών εξαρτάται από τα φορτία στα σφαιρίδια, ξαναφρότισέ τα και τοποθέτησε το σφαιρίδιο B , έτσι ώστε το σφαιρίδιο A να μετατοπισθεί κατά ελάχιστα εκατοστόμετρα. Σημείωσε την απόκλιση του σφαιριδίου A και την απόσταση μεταξύ των σφαιριδίων.

Για να αλλάξεις το φορτίο στο B , μπορείς να το ακουμπήσεις σε ένα αφόρτιστο σφαιρίδιο C όμοιο με το B , και κατόπιν να απομακρύνεις το C .

- Ποια μεταβολή συμβαίνει στη θέση του A ;
- Αν ονομάσεις 1 μονάδα το αρχικό φορτίο στο B , πόσο είναι το φορτίο του τώρα;
- Τι πρέπει να κάνεις με το B , ώστε να μετράς το αποτέλεσμα της μεταβολής μόνο στο φορτίο του B ;

- Θα περίμενες να συμβεί κάποια διαφοροποίηση στις παρατηρήσεις σου, αν είχες αγγίξει τα σφαιρίδια C και A, αντί του B;

Κατάγραψε τις θέσεις των σφαιριδίων και κατόπιν εκφόρτισε το C. Άγγιξε πάλι το B με το C.

Κατασκεύασε το διάγραμμα της δυνάμεως στο A ως συνάρτηση του γινομένου των φορτίων των A και B.

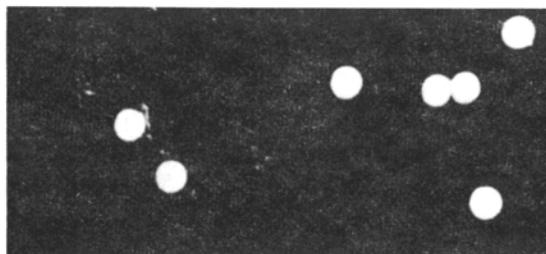
- Γιατί πρέπει να περιμένεις την αρχή των αξόνων ως ένα σημείο του διαγράμματός σου;
- Ποια είναι η σχέση της ηλεκτρικής δυνάμεως στα σφαιρίδια ως προς το γινόμενο των φορτίων τους;

17

Μέτρηση μικρών ηλεκτρικών δυνάμεων

Για ν' απαντήσουμε στην ερώτηση «Υπάρχει η στοιχειώδης μονάδα ηλεκτρικού φορτίου;», πρέπει να μπορούμε να μετρήσουμε και να εργασθούμε με ιδιαίτερα μικρά ηλεκτρικά φορτία. Τα ηλεκτρικά φορτία τα ανιχνεύουμε από τις ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται στα ηλεκτρισμένα σώματα. Άλλα, για ν' ανιχνεύσουμε πολύ μικρά φορτία, πρέπει και να μπορούμε να μετρήσουμε πολύ μικρές δυνάμεις. Το βάρος και οι άλλες δυνάμεις που ασκούνται στα σώματα συνήθους μεγέθους είναι τόσο μεγάλες, ώστε οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι ασήμαντες, εκτός αν το φορτίο είναι επίσης μεγάλο. Έτσι μόνο πολύ μικρά σώματα είναι κατάλληλα για την ανίχνευση των μικρών φορτίων. Χρήσιμα σωματίδια γι' αυτό το σκοπό είναι οι μικροσκοπικές πλαστικές σφαίρες που κατασκευάζονται, για να βαθμονομούνται τα ηλεκτρονικά μικροσκόπια. Το σχήμα 17-1 δείχνει μερικές απ' αυτές τις σφαίρες σε μεγέθυνση.

Σχήμα 17-1



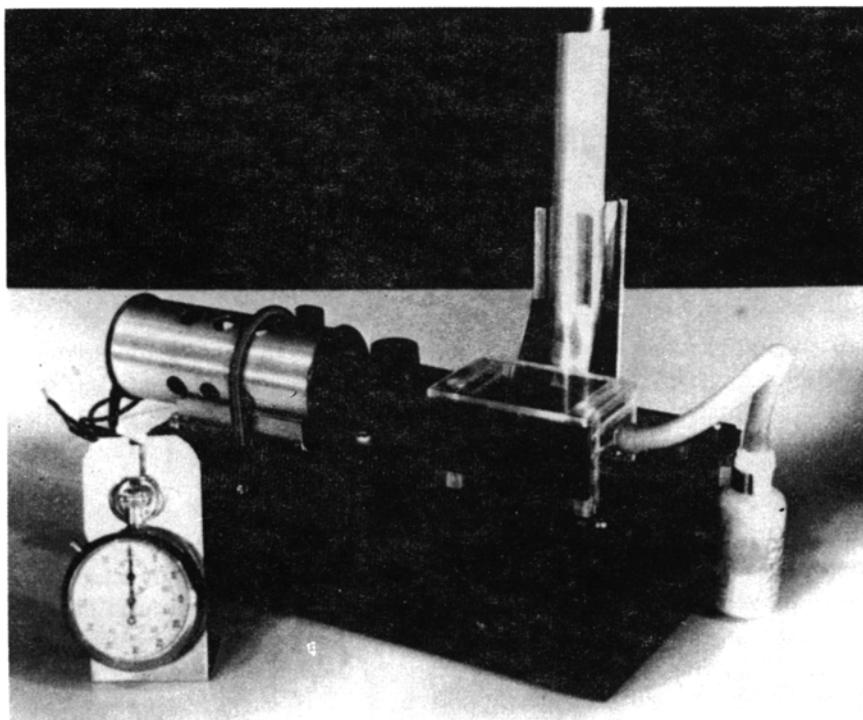
Για να παρατηρήσουμε τόσο μικρές σφαίρες, πρέπει προφανώς να χρησιμοποιήσουμε μικροσκόπιο. Αυτό μπορείς να το κάνεις με τη συσκευή που φαίνεται στο σχήμα 17-2. Εξέτασε τα γενικά χαρακτηριστικά της πειραματικής συσκευής. Οι μικροσκοπικές σφαίρες εκτοξεύονται στο χώρο μεταξύ των δύο μεταλλικών πλακών, ενώ φωτίζονται από τη φωτεινή πηγή, για να φαίνονται μέσα από το μικροσκόπιο. Οι μεταλλικές πλάκες φορτίζονται με τη σύνδεσή τους σε ένα τροφοδοτικό. Σύνδεσε τα καλώδια τροφοδοσίας στους ακροδέκτες με τις ενδείξεις +250 και -250. (**Προσοχή:** Μην ανοίξεις το τροφοδοτικό πριν κάνεις τη συνδεσμολογία).

Ο διακόπτης ελέγχει το φορτίο στις μεταλλικές πλάκες. Στη μεσαία θέση δεν υπάρχει φορτίο. Στην επάνω θέση, η μια πλάκα είναι θετική και η άλλη αρνητική. Με το διακόπτη κατεβασμένο η πολικότητα αντιστρέφεται.

Με το διακόπτη στη μεσαία θέση και αναμμένη τη φωτεινή πηγή, συμπίεσε μια φορά τη βαλδίδα (το πλαστικό μπουκαλάκι), για να στείλεις ένα νέφος από σφαίρες, και παρατήρησε τι συμβαίνει, έχοντας συνεχώς το διακόπτη στη μεσαία θέση.

- 'Όλες οι σφαίρες φαίνονται το ίδιο λαμπερές;
- 'Όλες κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση;

Σχήμα 17-2



Γύρισε το διακόπτη για λίγο προς τα επάνω, κατόπιν προς τα κάτω και τέλος πάλι στη μεσαία θέση.

- Όλες οι σφαίρες συνεχίζουν να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση;
- Όλες οι σφαίρες φέρουν ομόσημο φορτίο;
- Όλες οι σφαίρες φαίνεται να κινούνται με την ίδια ταχύτητα;
- Η ταχύτητα μιας και μόνο σφαίρας είναι σταθερή κατά μήκος της τροχιάς της;

Έλεγχε αυτό για έναν αριθμό σφαιρών, γυρίζοντας το διακόπτη από τη μεσαία θέση στην επάνω ή στην κάτω.

- Από τις παρατηρήσεις σου και από όσα έμαθες στην παράγραφο 4-3 του βιβλίου σου, η κινούσα δύναμη, που ασκείται σε μια ορισμένη σφαίρα μεταξύ των πλακών είναι σταθερή;
- Υπόθεσε ότι, όταν οι πλάκες είναι αφόρτιστες, μια σφαίρα κινείται με ταχύτητα \vec{v} , ενώ, όταν οι πλάκες είναι φορτισμένες κινείται με ταχύτητα $k\vec{v}$. Ποιος είναι τότε ο λόγος της κινούσας δυνάμεως μεταξύ των δύο αυτών καταστάσεων; (Δες πάλι την παράγραφο 4-3 του βιβλίου σου).

Καλό θα ήταν να εξασκηθείς στη χρονομέτρηση της προς τα επάνω κινήσεως μερικών σφαιρών. Π.χ. για δέκα διαγραμμίσεις στην κλίμακα, αφ' ενός όταν ασκείται μόνο η δύναμη της βαρύτητας και αφ' ετέρου όταν ασκείται η δύναμη της βαρύτητας και η ηλεκτρική δύναμη. Θα βοηθηθείς έτσι στις μετρήσεις που θα κάνεις στο επόμενο πείραμα.

18

Το πείραμα του Millikan

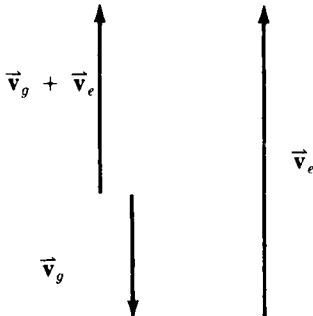
Στο προηγούμενο πείραμα έκανες μερικές ποιοτικές παρατηρήσεις στην κίνηση των μικροσκοπικών πλαστικών σφαιριδίων, όταν αυτά κινούνταν υπό την επίδραση της δυνάμεως βαρύτητας, της ηλεκτρικής δυνάμεως και της αντιστάσεως του αέρα. Αν συνεχίσεις αυτές τις παρατηρήσεις με ποσοτικές μετρήσεις, θα μπορείς να απαντήσεις στην ερώτηση: «Υπάρχει η στοιχειώδης μονάδα ηλεκτρικού φορτίου;».

Για να μάθεις για την ποσότητα φορτίου στις σφαίρες, πρέπει να μετρήσεις τις ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτές. Αν η ηλεκτρική δύναμη ήταν η μοναδική κινούσα δύναμη, τότε θα αρκούσε να συγκρίνεις τις οριακές ταχύτητες μερικών σφαιριδών, συγκρίνοντας έτσι ταυτόχρονα και τις ηλεκτρικές δυνάμεις. Ωστόσο, η κινούσα δύναμη είναι το διανυσματικό άθροισμα της δυνάμεως βαρύτητας και της ηλεκτρικής δυνάμεως. Επομένως, πρέπει να μετρήσεις την οριακή ταχύτητα αφ' ενός υπό την επίδραση μόνο της δυνάμεως βαρύτητας και αφ' ετέρου υπό την επίδραση και των δύο δυνάμεων και να αφαιρέσεις τη μία από την άλλη.

Για να επιτύχεις τις μικρότερες δυνατές ταχύτητες στην κίνηση των σφαιριδών πρέπει να επιλέξεις τη θέση του διακόπτη, ώστε η σφαίρα, την ταχύτητα της οποίας θέλεις να μετρήσεις, να κινείται προς τα επάνω, όταν οι μεταλλικές πλάκες φορτισθούν. Αυτό θα σου επιτρέψει να επαναλάβεις μια ακόμη μέτρηση με την ίδια σφαίρα, αφού, μια και την οθήσεις προς τα επάνω, μπορείς να την αφήσεις να ξαναπέσει με την επίδραση μόνο της δυνάμεως βαρύτητας. Για να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αξιόπιστα τα αποτελέσματά σου, πάρε τη μέση τιμή δύο ή τριών μετρήσεων.

Για την κάθε σφαίρα δρες την οριακή ταχύτητα \vec{v}_e που οφείλεται στην ηλεκτρική δύναμη, χρησιμοποιώντας την οριακή ταχύτητα λόγω βαρύτητας \vec{v}_g και την παρατηρηθείσα οριακή ταχύτητα (σχ. 18-1).

Σχήμα 18-1



Κάποιες τεχνικές υποδείξεις που θα σε διευκολύνουν, είναι οι εξής: Χρησιμοποίησε την ίδια συνδεσμολογία, όπως στο προηγούμενο πείραμα. Αφού φέρεις ένα νέφος από σφαίρες μεταξύ των πλακών, ξεκαθάρισε αυτές με τα μεγαλύτερα σχετικά φορτία με σύντομη φόρτιση των πλακών. Κατόπιν επίλεξε

τη σφαιίρα για τις μετρήσεις σου και άφησέ την να κινηθεί στο χαμηλότερο τμήμα του οπτικού πεδίου έτσι, ώστε να μπορείς να μετρήσεις το χρόνο που θα κινηθεί προς τα επάνω για 10 υποδιαιρέσεις (διαγραμμίσεις) της κλίμακας.

Για τη λήψη και την καταγραφή των μετρήσεων χρειάζονται δύο άτομα. Θα διευκολυνθείτε πολύ, αν ο ένας από σας παρακολουθεί τη σφαιίρα και χειρίζεται το χρονόμετρο, ενώ ο άλλος διαβάζει τις ενδείξεις στο χρονόμετρο και καταγράφει τα αποτελέσματα. Εκτός αν προτιμάτε ο χειρισμός του χρονομέτρου και η καταγραφή των ενδείξεων να γίνεται από το ίδιο πρόσωπο.

Έκφρασε την ταχύτητα στη μονάδα μετρήσεως διαγραμμίσεις και σύγκρινε τις τιμές της \vec{v}_e , τοποθετώντας 10 με 15 από αυτές σε γράφημα κατά αυξανόμενο μέτρο ταχύτητας.

- Γιατί πρέπει να προσπαθήσεις να βρεις όσο το δυνατόν πιο αργές σφαιίρες;
- Τι συμπεραίνεις από το γράφημά σου;

19

Ηλεκτρικό έργο και μεταβολές στην εσωτερική ενέργεια

Αν υποθέσουμε ότι ένα σωματίδιο φορτίου q «πέφτει» μεταξύ δύο σημείων διαφοράς δυναμικού V . Αν το σωματίδιο δρίσκεται στο κενό, το ηλεκτρικό έργο που παράγεται στο σωματίδιο, αυξάνει την κινητική ενέργεια του. Αν το σωματίδιο είναι επάνω σε αγωγό, όπως ένας ηλεκτρικός θερμαντήρας, δεν αυξάνεται η κινητική του ενέργεια, αλλά η εσωτερική ενέργεια του θερμαντήρα. Άσχετα από το κατά πόσον το φορτίο μεταφέρεται από ένα σωματίδιο ή από πολλά, το ηλεκτρικό έργο είναι:

$$W = qV$$

(Αυτή η κατάσταση μοιάζει με την πτώση χαλαζόκοκκων με οριακή ταχύτητα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η θερμότητα που παράγεται στην ατμοσφαιρα ισοδυναμεί με τη δυναμική ενέργεια που χάνουν όλοι οι χαλαζόκοκκοι).

Συνήθως υπολογίζομε το φορτίο που διέρχεται από έναν αγωγό, μετρώντας το ρεύμα I και τον αντίστοιχο χρόνο t , κατά τον οποίο διέρχεται το ρεύμα. Έτσι, για σταθερό ρεύμα

$$q = It$$

$$W = ItV$$

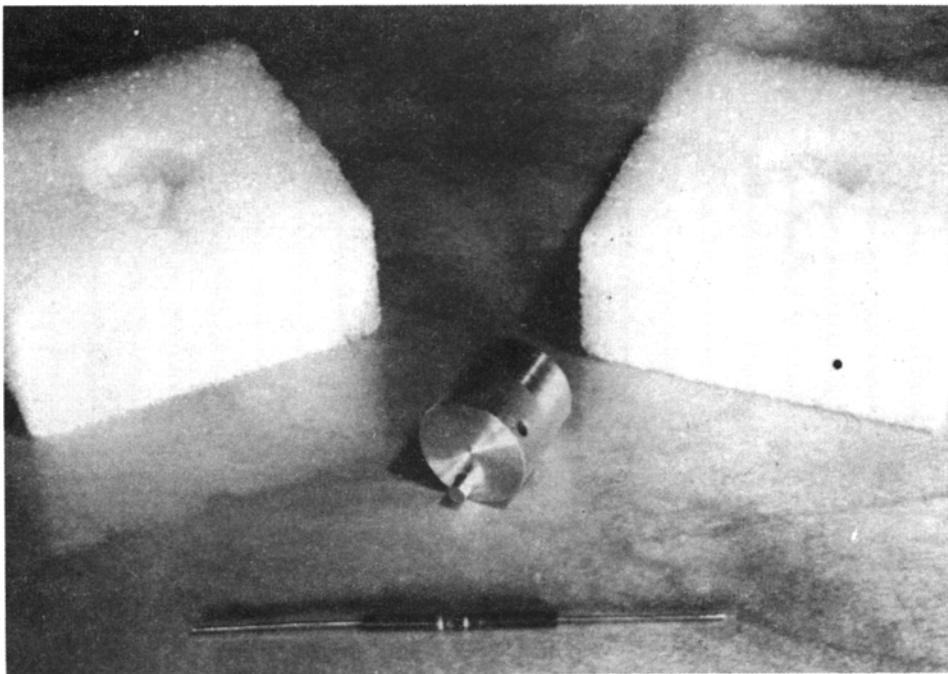
Αν το θερμαντικό σώμα είναι τμήμα ενός καλά μονωμένου δοχείου, η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας θα εμφανιστεί ως αύξηση της θερμοκρασίας ΔT , που περιγράφεται από τη σχέση $C\Delta T = ItV$, όπου C είναι η θερμοχωρητικότητα της πειραματικής διατάξεως (θερμοχωρητικότητα = μάζα \times ειδική θερμότητα).

Η τελευταία εξίσωση μας λέει ότι η άνοδος της θερμοκρασίας εξαρτάται μόνο από το γινόμενο ItV , και όχι από τον κάθε παράγοντα του χωριστά. Για παράδειγμα, αν διπλασιάσουμε τα I και t και μειώσουμε στο μισό το V , το ΔT πρέπει να διπλασιαστεί.

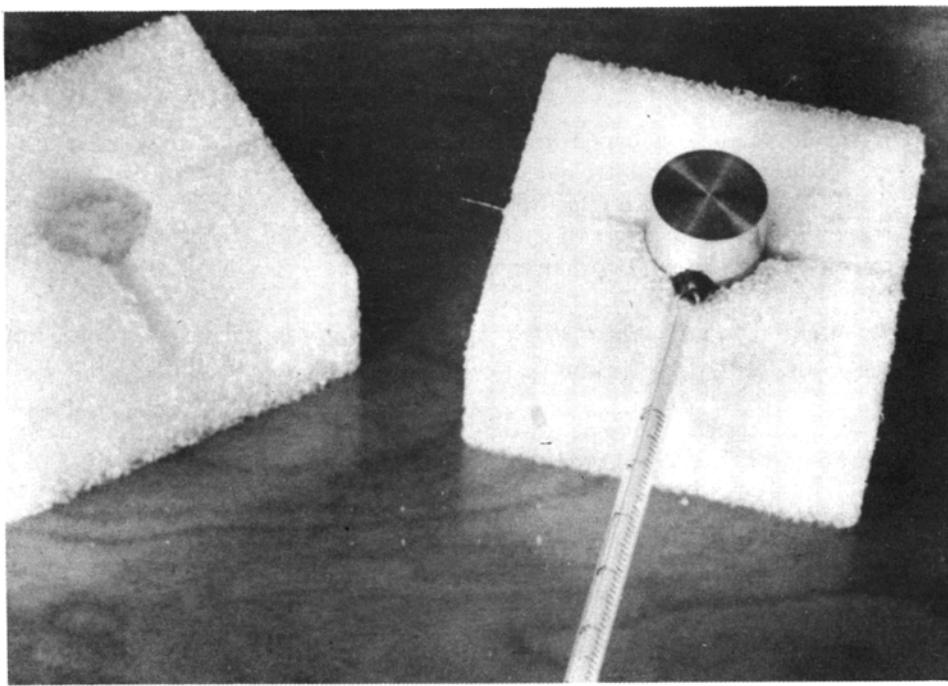
Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι να ελεγχθεί η σχέση μεταξύ της ανόδου της θερμοκρασίας ενός μονωμένου θερμαντικού σώματος και του ηλεκτρικού έργου που παράγεται. Ταυτοχρόνως, θα μάθομε πώς να πραγματοποιούμε θερμικές και ηλεκτρικές μετρήσεις.

Η πειραματική συσκευή φαίνεται στο σχήμα 19-1. Αν και το Styrofoam[®] είναι καλός μονωτής της θερμότητας, κάποιες θερμικές απώλειες υπάρχουν. Μπορείς να περιορίσεις το σύνολο των απώλειών, ψύχοντας προηγουμένως τον κύλινδρο λίγους βαθμούς κάτω από τη θερμοκρασία του χώρου του εργαστηρίου και κατόπιν θερμαίνοντάς τον πρόχειρα κατά τους ίδιους βαθμούς, πάνω από τη θερμοκρασία του χώρου, χρησιμοποίησε ένα παγάκι σε πλαστική θήκη, για να (προ)ψύξεις τον κύλινδρο.

Σχήμα 19-1α



Σχήμα 19-1β



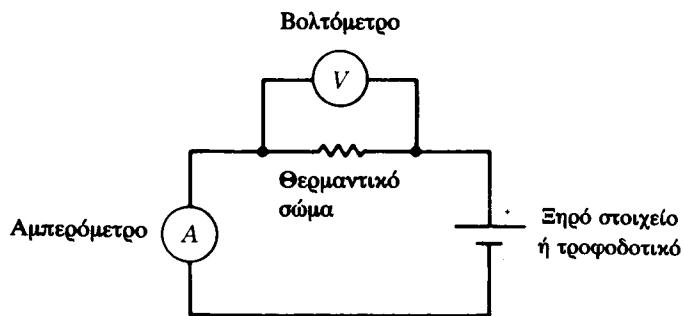
Σχήμα 19-1

- To θερμαντικό σώμα είναι μικρών διαστάσεων αντιστάτης που υπάρχει στο κάτω μέρος της φωτογραφίας και προσαρμόζεται στη μικρή τρύπα που υπάρχει στο πλάι του αλουμινένιου κυλίνδρου. Το όλο σύστημα τοποθετείται μεταξύ δύο πλακών από Styrofoam, για θερμική μόνωση.
- Για να υπάρχει καλή επαφή μεταξύ του θερμόμετρου και του αλουμινένιου κυλίνδρου, μαλάκωσε ένα κομματάκι πλαστελίνης και τοποθέτησε λίγη στη μεγαλύτερη τρύπα που δρίσκεται στο πλάι του κυλίνδρου. Κατόπιν πέρασε προσεκτικά μέσα από την πλαστελίνη στην τρύπα, το θερμόμετρο.

Το κύκλωμα του πειράματος φαίνεται στο σχήμα 19-2. Μπορείς να χρησιμοποιήσεις ένα στοιχεία για την αναγκαία τάση, αν δεν υπάρχει το κατάλληλο τροφοδοτικό με επιλογές τάσεων (συνεχούς ρεύματος).

- Γιατί το αμπερόμετρο είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το θερμαντικό σώμα;
- Γιατί το βολτόμετρο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το θερμαντικό σώμα;

Σχήμα 19-2



Στο πείραμα μπορείς να ρυθμίζεις την τάση απευθείας (χωρίς να υπερβείς τα 10 V). Μπορείς να μεταβάλλεις το ρεύμα αλλάζοντας τους αντιστάτες, χωρίς να επηρεάζεις σημαντικά την τάση. (Για να προστατεύσεις τον αντιστάτη από πιθανή βλάβη, σύνδεσέ τον στο ξηρό στοιχείο ή στο τροφοδοτικό, αφού πρώτα τον τοποθετήσεις μέσα στον αλουμινένιο κύλινδρο). Τέλος, ρύθμισε πόσο θέλεις να ψύξεις αρχικά τον κύλινδρο.

Αρχίζοντας με οποιονδήποτε από τους διαθέσιμους αντιστάτες, κάνε μερικές δοκιμές, για να πάρεις μια ιδέα για τις ποσότητες που θα μετρηθούν και φτιάξε το διάγραμμα ΔT ως προς το γινόμενο ItV . Λάβε υπόψη σου ότι η θερμοκρασία θα συνεχίσει να ανεβαίνει για λίγο, αφού έχεις ήδη αποσυνδέσει το κύκλωμα από την ηλεκτρική πηγή.

- Πρέπει να χρησιμοποιήσεις την πιο μεγάλη τιμή της θερμοκρασίας που διαβάζεις;

Τώρα σχεδίασε τον τρόπο με τον οποίο θα πάρεις συμπληρωματικές μετρήσεις, που θα σε δοιθήσουν να απαντήσεις όσο καλύτερα γίνεται σε ερωτήσεις, όπως:

- Οι διαφορετικοί συνδυασμοί τιμών των I , t και V , που δίνουν το ίδιο γινόμενο, οδηγούν στην ίδια μεταβολή της θερμοκρασίας;
- Η διαφορά ΔT είναι ευθέως ανάλογη του γινομένου ItV ;
- Ποιες από τις τιμές των μετρήσεων που πήρες για όλα τα μεγέθη του πειράματος θεωρείς περισσότερο αξιόπιστες και γιατί;

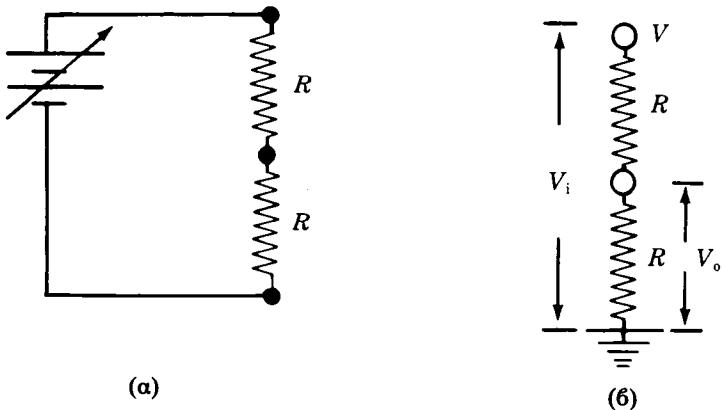
20

Είσοδος και έξοδος (τάση εισόδου και τάση εξόδου)

Θεώρησε δύο ίδιους αντιστάτες σε σειρά και συνδεδεμένους στα άκρα ηλεκτρικής πηγής με ρυθμιζόμενη τάση (σχ. 20-1). Καθώς τα καλώδια συνδέσεως έχουν αμελητέα αντίσταση, η τάση στους ακροδέκτες είναι ισοδύναμη με την τάση στα άκρα των δύο αντιστατών. Μέσα στα όρια της ηλεκτρικής πηγής, αυτή την τάση μπορεί να την προσδιορίσεις. Είναι η τάση εισόδου και σημειώνεται συμβολικά ως V_i στο σχήμα 20-1(6).

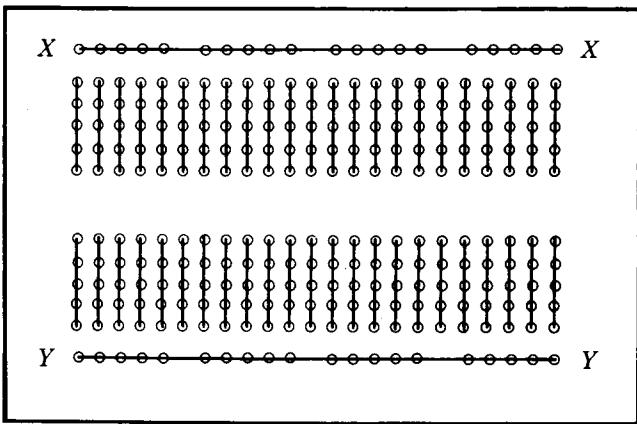
Από τη στιγμή που θα εκλέξεις την τάση εισόδου για τους δύο δεδομένους αντιστάτες δεν μπορείς πλέον να ρυθμίσεις την τάση στα άκρα του δεύτερου αντιστάτη. Αυτή η τάση εξαρτάται από το λόγο των τιμών των αντιστατών. Για παράδειγμα, αφού οι αντιστάτες είναι ίδιοι, αναμένεις η τάση στα άκρα του δεύτερου αντιστάτη να είναι $\frac{1}{2} V_i$. Η τάση στα άκρα του δεύτερου αντιστάτη εξαρτάται από την τάση εισόδου V_i . Είναι η τάση εξόδου και σημειώνεται συμβολικά ως V_o στο σχήμα 20-1(6).

Στο πείραμα αυτό θα εξετάσεις αρκετές διατάξεις εισόδου-εξόδου. Κατά την πειραματική διαδικασία θα αναπτύξεις δεξιότητες χρήσιμες για την κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για τα δύο επόμενα πειράματα.



Σχήμα 20-1

- Το διάγραμμα κυκλώματος (κυκλωματικό διάγραμμα) που αποτελείται από ηλεκτρική πηγή συνεχούς με ρυθμιζόμενη τάση (που συμβολίζεται με το τυποποιημένο σύμβολο της ηλεκτρικής πηγής συνεχούς τάσεως με διαγώνιο θέλος) και με δύο αντιστάσεις σε σειρά.
- Το ίδιο κύκλωμα με το συνοπτικό συμβολισμό που θα χρησιμοποιείται συχνά. Το σύμβολο της ηλεκτρικής πηγής έχει παραληφθεί. Το σημείο, όπου συνδέεται ο θετικός ακροδέκτης της μπαταρίας, αναπαριστάνεται με κυκλάκι και δίπλα είναι γραμμένο το σύμβολο της τάσεως. Ο αρνητικός ακροδέκτης δείχνεται με το σύμβολο της γειώσεως. Μία γειώση μπορεί να είναι είτε πραγματικά η σύνδεση με τη γη, είτε απλά και μόνο το κοινό σημείο συνδέσεως αρκετών στοιχείων του κυκλώματος.



Σχήμα 20-2

Συνηθισμένη πινακίδα συναρμολογήσεως κυκλωμάτων. Η κάθε κατακόρυφη στήλη έχει θέσεις για πέντε καλώδια συνδέσεως και δεν συνδέεται με τις άλλες στήλες. Όλες όμως οι τρύπες στις οριζόντιες σειρές X και Y συνδέονται μεταξύ τους. Αυτό διευκολύνει τη σύνδεσή τους στο θετικό ακροδέκτη και στον ακροδέκτη γειωσεως της ηλεκτρικής πηγής. Η δική σου πινακίδα κυκλωμάτων μπορεί να έχει διαφορετική μορφή, αλλά θα έχει παρόμοια δομή.

Εξέτασε την πινακίδα συναρμολογήσεως κυκλωμάτων, όπου θα συναρμολογήσεις διάφορα κυκλώματα. Η κάθε μικρή τρύπα έχει μία μεταλλική επαφή στο κάτω μέρος της (δεν φαίνεται στην εικόνα). Αυτή η επαφή εξασφαλίζει την καλή ηλεκτρική σύνδεση με ένα καλώδιο κατάλληλου μεγέθους, περασμένο σ' αυτή. Τα καλώδια αυτά είναι προσαμφορισμένα στα στοιχεία του κυκλώματος και έτσι, μπορούν να συνδεθούν με τα καλώδια συνδέσεως.

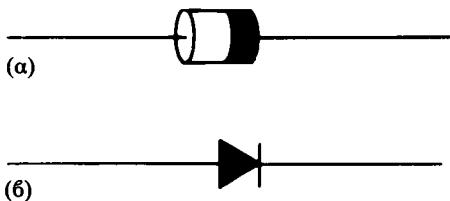
Το σχήμα 20-2 δείχνει τον τρόπο, με τον οποίο θα συνδέονται μεταξύ τους μεταλλικές επαφές. Αυτό διευκολύνει να συνδεθεί η οριζόντια σειρά των οπών (συχνά σημειώνεται με X) στο θετικό ακροδέκτη της ηλεκτρικής πηγής και η άλλη (σημειώνεται με Y) στον αρνητικό ακροδέκτη. Η τελευταία σειρά χρησιμεύει ως γείωση.

Στην πινακίδα συναρμολογήσεως κυκλωμάτων συναρμολόγησε το κύκλωμα με δύο αντιστάτες των $100\ \Omega$ σε σειρά, συνδέοντάς τους με μία ρυθμιζόμενη ηλεκτρική πηγή DC. Διάλεξε αρκετές τιμές τάσεως εισόδου μεταξύ 0 V και 5 V και μέτρησε την τάση εισόδου (V_i) και την τάση εξόδου (V_o).

- Πώς πρέπει να συνδέσεις το βολτόμετρό σου, ώστε να μετακινήσεις μόνο το ένα από τα καλώδια συνδέσεως του, για να μετρήσεις και τις δύο τάσεις;
- Οι παρατηρήσεις σου επιβεβαιώνουν το αναμενόμενο; Ότι δηλαδή $V_o = \frac{1}{2} V_i$;

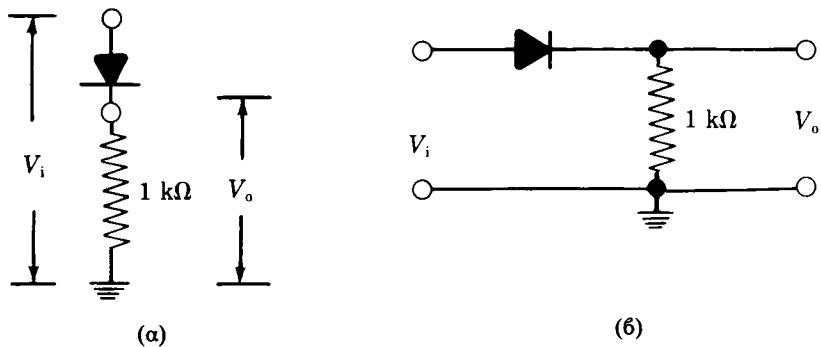
Αντικατάστησε τους δύο αντιστάτες των $10^5\ \Omega$.

- Περιμένεις κάποια διαφοροποίηση στη σχέση μεταξύ V_o και V_i ; Μέτρησε πάλι τις τάσεις εισόδου και εξόδου.
- Τι δρίσκεις;



Σχήμα 20-3

- α) Δίοδος σε κυλινδρική θήκη (σε μεγάλη μεγένθυση). Η μαύρη ζώνη δείχνει την κάθοδο της διόδου.
 β) Το σύμβολο της διόδου στα διαγράμματα κυκλωμάτων. Η κάθοδος είναι στην κορυφή του τριγώνου.



Σχήμα 20-4

Δύο ισοδύναμα κυκλωματικά διαγράμματα του ίδιου κυκλώματος. Η γραμμικότητα στη σχεδίαση μεταξύ των στοιχείων του κυκλώματος, δεν έχει καμία σχέση με τη συναρμολόγηση τους στην πινακίδα κυκλώματος. Μόνο η συνδεσμολογία [ο τρόπος συνδέσεως] έχει σχέση. Το διάγραμμα (a) είναι περισσότερο συνοπτικό, ενώ το (b) δίνει μία καθαρή εικόνα της εισόδου και της εξόδου τάσεως. Αυτός ο σχεδιασμός κυκλώματος είναι ευκολότερος να διαβασθεί σε περισσότερο περίπλοκα κυκλώματα.

- Υπόθεσε ότι κάποιος ισχυρίζεται για τους αντιστάτες, – ανεξάρτητα από το τι υπάρχει γραμμένο επάνω τους – ότι δεν έχουν την ίδια τιμή αντιστάσεως. Πώς μπορείς να αντικρούσεις αυτό τον ισχυρισμό χωρίς πρόσθετα όργανα μετρήσεως;

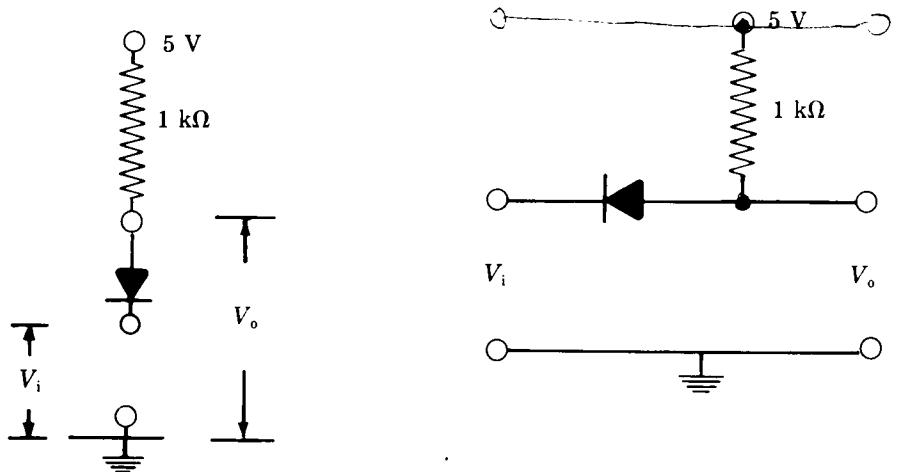
Αν διαθέτεις πολύμετρο υψηλής (εσωτερικής) αντιστάσεως ή ψηφιακό βολτόμετρο, επανάλαβε τις μετρήσεις σου με αυτά τα όργανα για τις ίδιες τάσεις εισόδου, όπως και προηγουμένως.

- Μήπως η τάση εξόδου εξαρτάται τώρα από το όργανο μετρήσεως;

Στα κυκλώματα δυαδικής λειτουργίας (πειράματα 21 και 22) η τάση εισόδου έχει μόνο δύο τιμές: 0 V (ή περίπου) και 5 V (ή περίπου). Το στοιχείο κλειδί του κυκλώματος σ' αυτή την περίπτωση είναι η δίοδος (σχ. 20-3).

Συναρμολόγησε και μελέτησε τα κυκλώματα στα σχήματα 20-4 και 20-5. Χρησιμοποίησε τάσεις εισόδου +5 V και 0 V και μέτρησε τις αντίστοιχες τάσεις εξόδου.

Για να απλοποιηθεί η τροφοδοσία εισόδου, για τιμές μεταξύ 0 V και 5 V, θα μπορούσες να συνδέσεις τις σειρές X και Y στους ακροδέκτες 5 V και 0 V αντίστοιχα και ακολούθως να προσθέσεις ένα καλώδιο συνδέσεως, το οποίο να μπορείς να κινείς επάνω-κάτω μεταξύ των δύο αυτών σειρών. Για τάση εισόδου 0 V, ο ακροδέκτης εισόδου πρέπει να συνδεθεί απευθείας στο έδαφος και να μην αφεθεί αιωρούμενος ή ασύνδετος.



Σχήμα 20-5 Δύο ισοδύναμα διαγράμματα (κυκλωματικά διαγράμματα) άλλου κυκλώματος.

Ταξινόμησε σε πίνακες τα αποτελέσματά σου με δύο τρόπους. Πρώτα κατάγραψε τις τιμές των V_i και V_o . Κατόπιν δώσε τιμή 0 για τις τιμές μετρήσεως που βρίσκονται κοντά στο 0 V και τιμή 1 για τιμές μετρήσεως που βρίσκονται κοντά στα 5 V.

- Ποια από αυτές τις δύο απεικονίσεις δίνει έμφαση στις ομοιότητες των αποτελεσμάτων;

Δύο λογικές πύλες

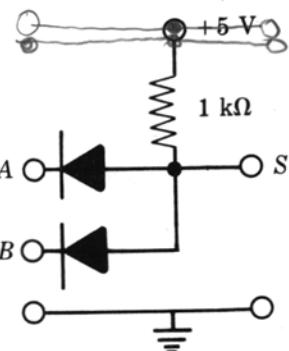
21

Η πύλη AND

Στα προηγούμενα πειράματα μελέτησες μερικές από τις ιδιότητες των διόδων. Στο πείραμα αυτό θα κτασκευάσεις δύο βασικές λογικές πύλες με διόδους και θα διαπιστώσεις ότι συμπεριφέρονται κατά τα αναμενόμενα.

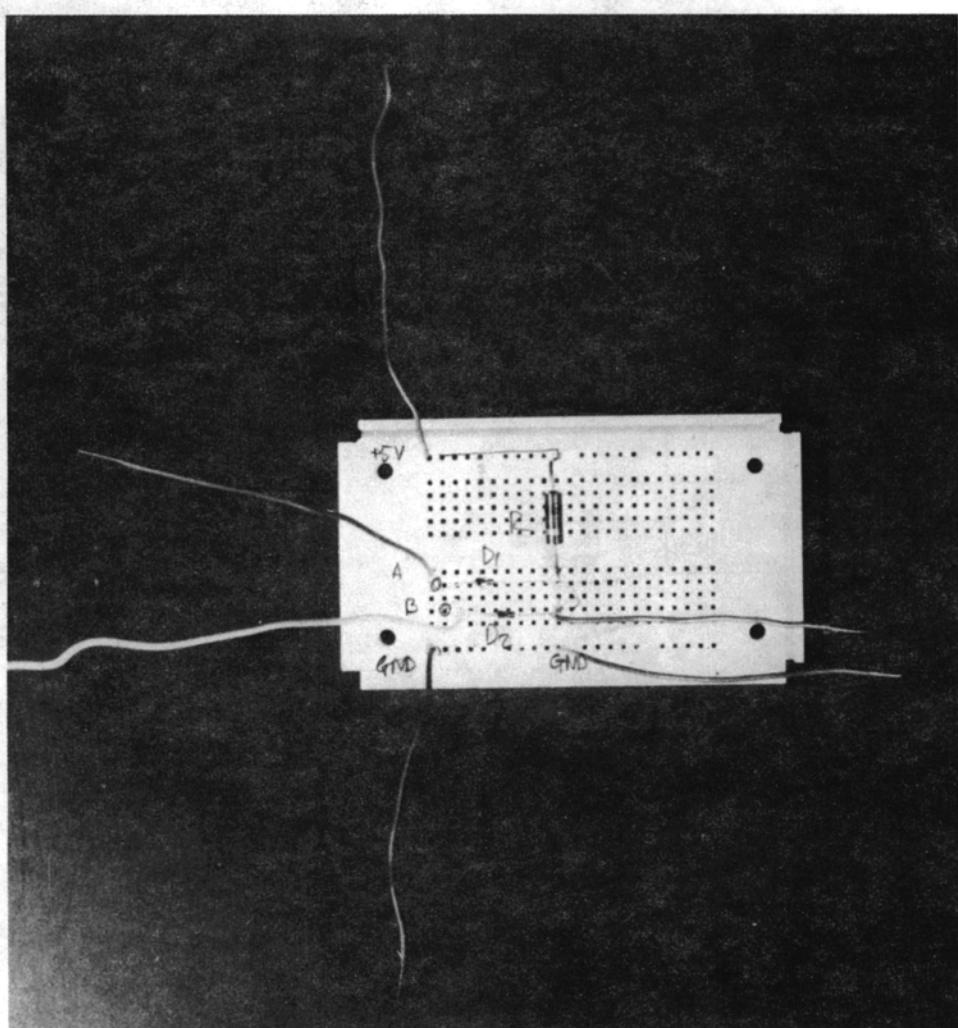
Το διάγραμμα του κυκλώματος (κυκλωματικό διάγραμμα) για την πύλη AND φαίνεται στο σχήμα 21-1. Οι ακροδέκτες εισόδου είναι στα A και B και οι ακροδέκτες εξόδου στο S. Θα σε διευκολύνει να αντιληφθείς τον τρόπο ορής των φορτίων διά μέσου αυτής της λογικής πύλης, αν όλες οι συνδέσεις των τάσεων εισόδου είναι από τη μια πλευρά στην πινακίδα συναρμολογήσεως κυκλωμάτων και όλες οι συνδέσεις των τάσεων εξόδου είναι από την άλλη (σχ. 21-2).

Αν διαθέτεις τροφοδοτικό ρυθμιζόμενης τάσεως DC, ρύθμισέ το να λειτουργήσει στα 5 V με τη βοήθεια ενός βολτόμετρου.



Σχήμα 21-1

Σχήμα 21-2



Εφάρμοσε διαδοχικά τα ζεύγη τάσεων εισόδου: $A = 0 \text{ V}$ και $B = 0 \text{ V}$, $A = 5 \text{ V}$ και $B = 0 \text{ V}$, $A = 0 \text{ V}$ και $B = 5 \text{ V}$, $A = 5 \text{ V}$ και $B = 5 \text{ V}$. Μέτρησε την τάση εξόδου με το βολτόμετρο. Θυμίσου ότι η τάση 0 V λαμβάνεται με την απευθείας σύνδεση ενός ακροδέκτη εισόδου στη γείωση.

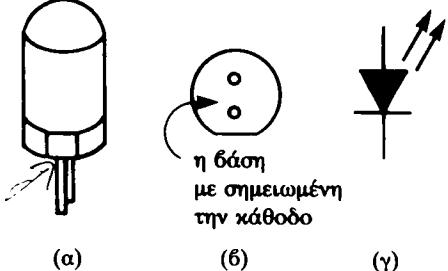
- Συνόψισε τα αποτελέσματα σε πίνακα. Γιατί αυτή η σύνδεση ονομάζεται πύλη AND?

Σε μια λογική πύλη δεν ενδιαφέρει η ακριβής τιμή της τάσεως. Η ένδειξη κατά πόσο η τάση υπάρχει ή δεν υπάρχει, επαρκεί. Γι' αυτό το σκοπό θα χρησιμοποιηθούν δίοδοι φωτεινής εκπομπής (LED). Οι δίοδοι φωτεινής εκπομπής έχουν ιδιότητες παρόμοιες με τις ιδιότητες των διόδων που ήδη έχεις γνωρίσει, αλλά συνάμα, όταν είναι συνδεδεμένες αγώγιμα, φωτοβολούν. Ο ακροδέκτης του LED, που είναι η κάθοδος, εύκολα αναγνωρίζεται, γιατί σ' εκείνη την πλευρά η κυλινδρική επιφάνειά του γίνεται επίπεδη (σχ. 21-3). Στο LED συνδέεται σε σειρά ένας κατάλληλος αντιστάτης, για να εξασφαλισθεί ότι το ρεύμα που διέρχεται δεν ξεπερνά μια τιμή ασφαλειας. Κατάλληλοι αντιστάτες είναι των 220Ω .

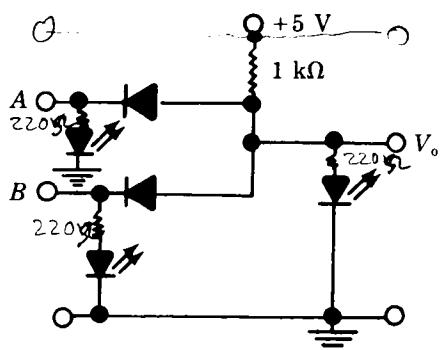
Σύνδεσε τα LED με τις αντιστάσεις της ασφαλειας στους ακροδέκτες των τάσεων εισόδου και εξόδου της πύλης AND, όπως δείχνει το σχήμα 21-4. Κατόπιν τροφοδότησε με τα ίδια ζευγάρια τάσεων, όπως προηγουμένως.

- Περίγραψε τώρα τη λειτουργία των LED στο κύκλωμα.

Σχήμα 21-3



Σχήμα 21-4

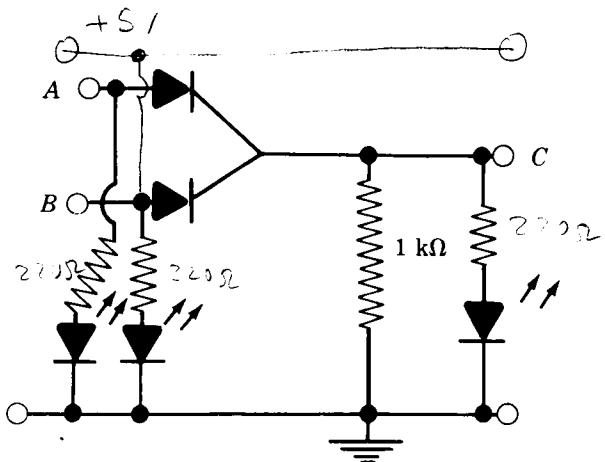


Η πύλη OR

Με απλή αναδιευθέτηση των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην πύλη AND, προκύπτει κύκλωμα που κάνει διαφορετική, αλλά εξίσου σημαντική λειτουργία.

Συναρμολόγησε το κύκλωμα του σχήματος 21-5, συμπεριλαμβάνοντας και τα LED ως δείκτες τάσεως.

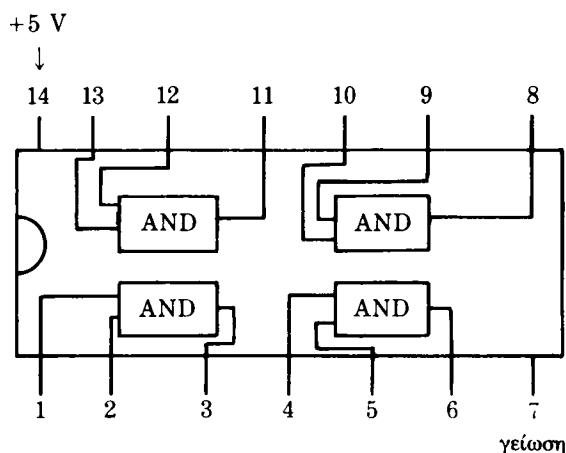
Σχήμα 21-5



Κατόπιν, τροφοδότησε με τα ίδια ζευγάρια τάσεων, όπως έκανες για την πύλη AND.

- Περίγραψε τη λειτουργία των LED στο κύκλωμα.
- Συνόψισε τα αποτελέσματα σε πίνακα.
- Γιατί αυτή η σύνδεση ονομάζεται πύλη OR;

Σύγχρονες κατασκευαστικές τεχνικές έκαναν δυνατή την παραγωγή στοιχείων κυκλώματος με ελάχιστες διαστάσεις. Οι πύλες που συναρμολόγησες και πολλά άλλα τέτοια κυκλώματα δρίσκονται πλέον σε μικρών διαστάσεων παραλληλόγραμμες πλαστικές θήκες και ονομάζονται **ολοκληρωμένα κυκλώματα (ICs)**.



Σχήμα 21-6

Ολοκληρωμένο κύκλωμα πύλης AND (ολοκληρωμένα κυκλώματα με άλλες πύλες μπορεί να έχουν διαφορετική διευθέτηση των στοιχείων κυκλωμάτων). Σ' αυτό το ολοκληρωμένο κύκλωμα, ο τερματικός ακροδέκτης (ποδαράκι) 7 είναι για τη σύνδεση με τη γείωση, ο ακροδέκτης 14 είναι για τη σύνδεση με την ηλεκτρική πηγή, οι ακροδέκτες 3, 6, 8 και 11 είναι για τις τάσεις εξόδου. Όλοι οι άλλοι είναι για τις τάσεις εισόδου. Ο δείκτης που προσδιορίζει την οριστερή πλευρά της θήκης του ολοκληρωμένου κυκλώματος, καθώς φαίνεται από επάνω, διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

Θα χρησιμοποιήσεις ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που αποτελείται από τέσσερις ανεξάρτητες πύλες AND σε μια θήκη. Το γενικό διάγραμμα με τις διάφορες επαφές φαίνεται στο σχήμα 21.6.

Συναρμολόγησε το ολοκληρωμένο κύκλωμα στον ενδιάμεσο μεταξύ των ομάδων οπών διάδρομο της πινακίδας συναρμολογήσεως. Συναρμολόγησέ το έτσι, ώστε να απομονώνονται μεταξύ τους οι ακροδέκτες της μιας πλευράς του ολοκληρωμένου κυκλώματος, από τους ακροδέκτες της άλλης. Λάβε υπόψη σου ότι ο ακροδέκτης 14 πρέπει να συνδεθεί με το θετικό ακροδέκτη της ηλεκτρικής πηγής και ο ακροδέκτης 7 με τη γείωση.

Δοκίμασε μια ή δύο από τις πύλες, για να βεβαιωθείς ότι συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο όπως η πύλη AND που συναρμολόγησες στην αρχή του πειράματος. Χρησιμοποίησε τα LED ως δείκτες τάσεως.

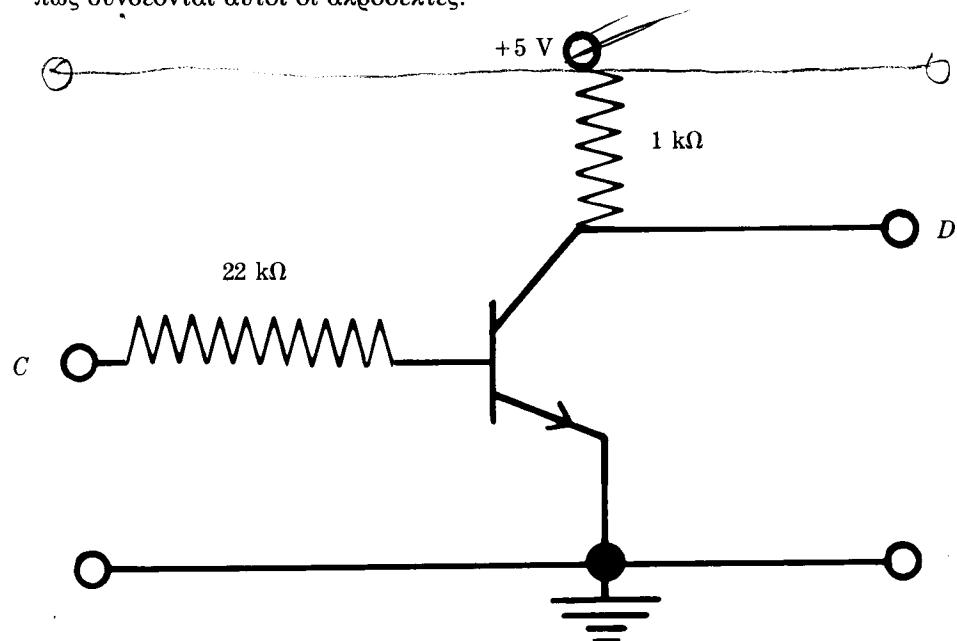
- Τι διαπιστώνεις;

Συμπληρωματικές λογικές πύλες

22

Η πύλη NOT

Ένα απλό τρανζίστορ με τρεις ακροδέκτες χρησιμοποιείται ευρύτατα ως λογική πύλη. Ο καθηγητής σου σου δώσει σχηματικό διάγραμμα, που θα δείχνει πώς συγδέονται αυτοί οι ακροδέκτες.



Συναρμολόγησε το κύκλωμα του σχήματος 22-1 (είναι το ίδιο κύκλωμα με αυτό του σχήματος 13-14 του βιβλίου σου). Μπορείς να χρησιμοποιήσεις είτε βολτόμετρο είτε διόδους φωτεινής εκπομπής (συνδεδεμένες με τους αντιστάτες ασφάλειας), για να προσδιορίσεις τις τάσεις εισόδου στο C και εξόδου στο D.

- Ποια είναι η τάση εξόδου για τάση εισόδου 0 V; Για τάση εισόδου 5 V; Κατασκεύασε τον πίνακα αλήθειας γι' αυτό το κύκλωμα.
- Γιατί το κύκλωμα αυτό ονομάζεται **αναστροφέας** ή πύλη NOT;

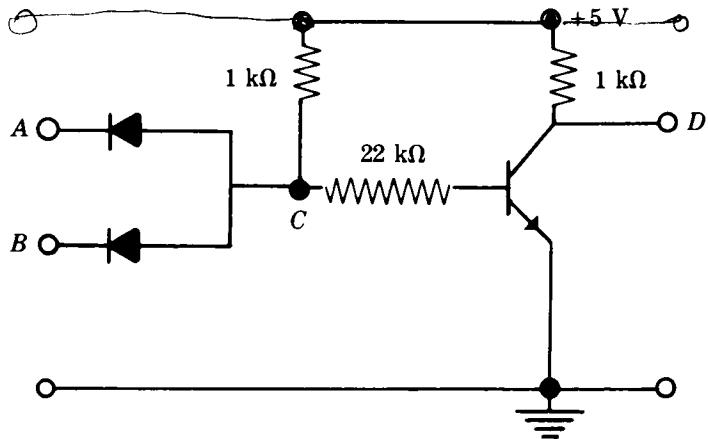
Η πύλη NAND

Συναρμολόγησε το κύκλωμα του σχήματος 22-2 (είναι το ίδιο κύκλωμα με αυτό του σχήματος 13-16 του βιβλίου σου).

Διερεύνησε τις τάσεις μεταξύ C και D, χρησιμοποιώντας είτε βολτόμετρο είτε LED, για τάσεις εισόδου 0 V και 5 V.

Εξέτασε το τμήμα του κυκλώματος μεταξύ των εισόδων τάσεως A και B και C.

Σχήμα 22-2



- Ποιες από τις πύλες που έχεις ήδη μελετήσει έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτό το τμήμα του κυκλώματος;

Κατασκεύασε τον πίνακα αλήθειας για ολόκληρο το κύκλωμα.

- Γιατί το όλο κύκλωμα ονομάζεται πύλη NAND?

Η πύλη αποκλειστικού OR

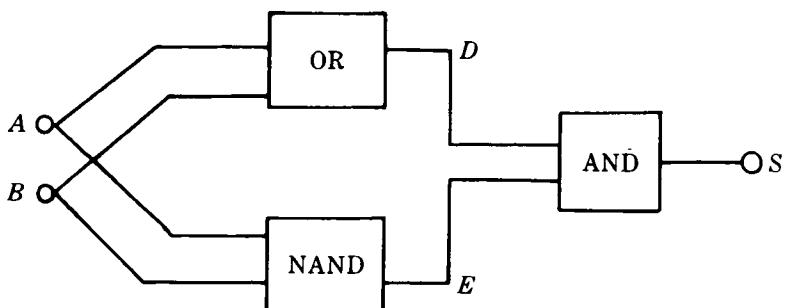
Το σχήμα 22-3 είναι ένα μικτό διάγραμμα της πύλης **αποκλειστικού OR** (είναι το ίδιο διάγραμμα με αυτό του σχήματος 13-17 του βιβλίου σου).

Έχεις αρκετές επιλογές, για να φτιάξεις αυτό το κύκλωμα. Μπορείς να ταιριάξεις τμήματα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων των πυλών OR, AND και NAND. Ή μπορείς να συνδυάσεις τις πύλες που ήδη έχεις συναρμολογήσει, με ένα ή περισσότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα. **Προσοχή:** Μια πύλη OR και μια AND, όπως τις έφτιαξες στο πείραμα 21, δεν θα λειτουργήσουν, αν συνδεθούν κατευθείαν η μια στην άλλη. Σχεδίασε ένα διάγραμμα του κυκλώματος που έχεις συναρμολογήσει. Μπορείς να διερευνήσεις τα χαρακτηριστικά του κυκλώματός σου με βολτόμετρο ή με τα αναγκαία LED.

Με βάση τις παρατηρήσεις σου κατασκεύασε τον πίνακα αλήθειας για το κύκλωμα που συναρμολόγησες.

- Λειτουργεί το κύκλωμά σου ως αποκλειστική πύλη OR;
- Ποιες πρόσθετες συνδέσεις πρέπει να κάνεις στο κύκλωμά σου για να μετατραπεί σε ημιπροσθετό; Απάντησε φτιάχνοντας και το σχηματικό διάγραμμά του.

Σχήμα 22-3



Εκτροπή ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα

23

Στον καθοδικό σωλήνα η λεπτή δέσμη των ηλεκτρονίων κινείται από το ηλεκτρονικό τηλεβόλο στο πίσω άκρο του σωλήνα, προς την οθόνη. Καθώς προσκρούει στη φθορίζουσα επικάλυψη της οθόνης, εκπέμπεται φως (σχ. 23-1). Η ηλεκτρονική δέσμη, κατά τη διαδρομή της στο σωλήνα, διέρχεται διαδοχικά από δύο ζεύγη πλακιδίων αποκλίσεως (εκτροπής), που είναι τοποθετημένα το ένα μετά το άλλο. Το ένα ζεύγος των πλακιδίων αποκλίσεως το ονομάζουμε X και το άλλο Y . Όταν στα πλακίδια X εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού, η ηλεκτρονική δέσμη αποκλίνει οριζόντια. Ενώ μια διαφορά δυναμικού στα πλακίδια Y αναγκάζει τη δέσμη ν' αποκλίνει κατακόρυφα. Σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μελέτη της οριζόντιας και κατακόρυφης αποκλίσεως της ηλεκτρονικής δέσμης, ως συνάρτηση της τάσεως που εφαρμόζεται στα πλακίδια εκτροπής X και Y .

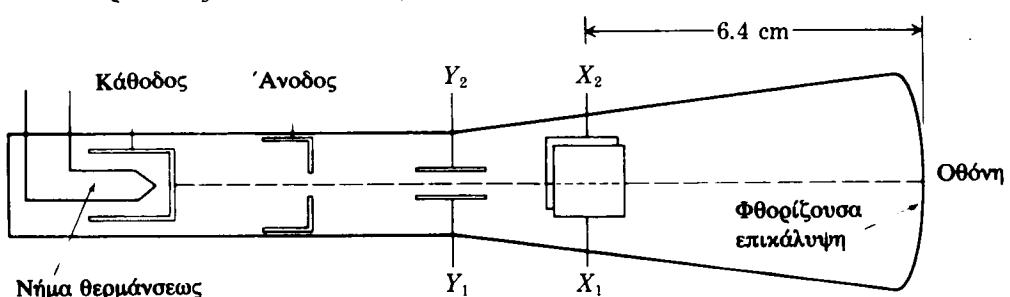
Η αρχική ηλεκτρική συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 23-2. **Προσοχή:** Όλες οι συνδέσεις και επανασυνδέσεις μεταξύ καθοδικού σωλήνα και τροφοδοτικού να γίνονται με το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας.

- Πόσο είναι το δυναμικό επιταχύνσεως V_E που προκύπτει από αυτή τη συνδεσμολογία;

Αφού ελέγξεις τη συνδεσμολογία, βάλε στην πρίζα το τροφοδοτικό και άνοιξε το. Ρύθμισε το κουμπί εστιάσεως του καθοδικού σωλήνα, ώστε η κηλίδα να γίνει όσο το δυνατόν μικρότερη. Σημάδεψε τη θέση της κηλίδας, επάνω στο χωρισμένο σε τετραγωνάκια πλαστικό κάλυμμα της οθόνης με μαρκαδόρο (**προσοχή:** υδατοδιαλυτής μελάνης, μόνο). Το σημάδι αυτό θα είναι το σημείο μηδέν, από το οποίο θα μετρηθούν οι αποκλίσεις της δέσμης.

Αφού εστιάσεις καλά τη δέσμη, σύνδεσε τα πλακίδια X στους ακροδέκτες $+8\text{ V}$ και γειώσεως (σχ. 23-3) και μέτρησε την απόκλιση της δέσμης. Τα διαστήματα στην τετραγωνισμένη οθόνη είναι σε mm. Σημείωσε τη θέση στο πλαστικό κάλυμμα της οθόνης με το μαρκαδόρο. Μετάφερε το καλώδιο συνδέσεως από τον ακροδέκτη $+8\text{ V}$ στον ακροδέκτη -8 V και μέτρησε πάλι την απόκλιση.

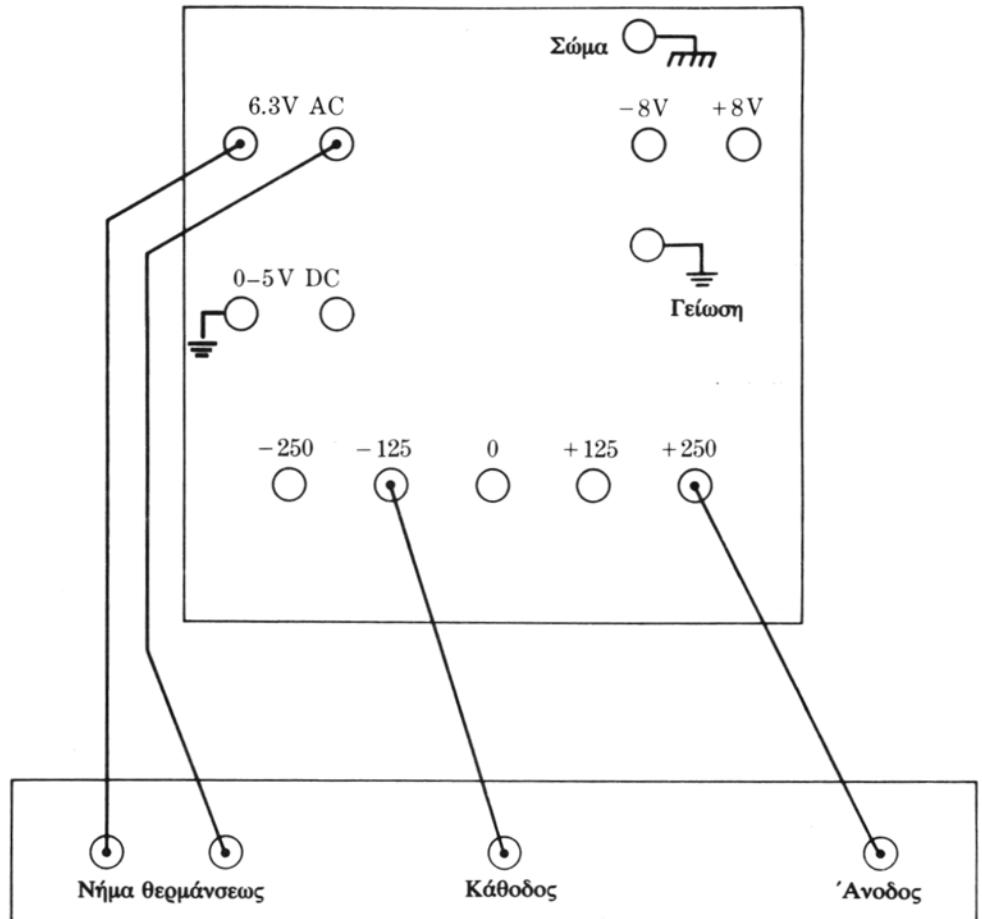
- Οι αποκλίσεις έχουν ίσα μέτρα;
- Πόση θα είναι η τάση μεταξύ των πλακιδίων X , αν τα συνδέσεις στους ακροδέκτες $+8\text{ V}$ και -8 V ;



Σχήμα 23-1

Τα κύρια μέρη καθοδικού σωλήνα
(Το σύστημα εστιάσεως της δέσμης δεν έχει σχεδιασθεί)

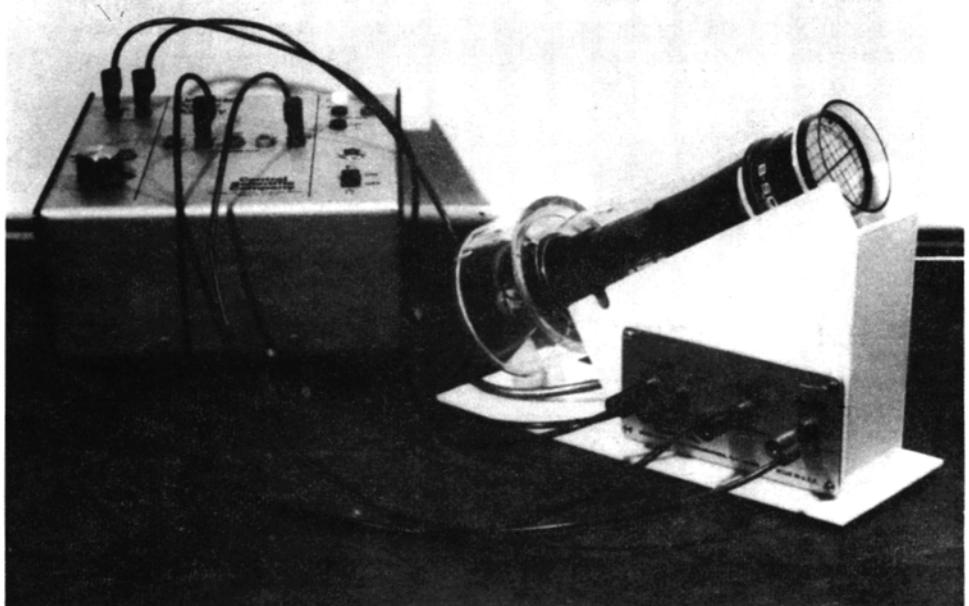
Τροφοδοτικό (επάνω όψη)



Σχήμα 23-2α

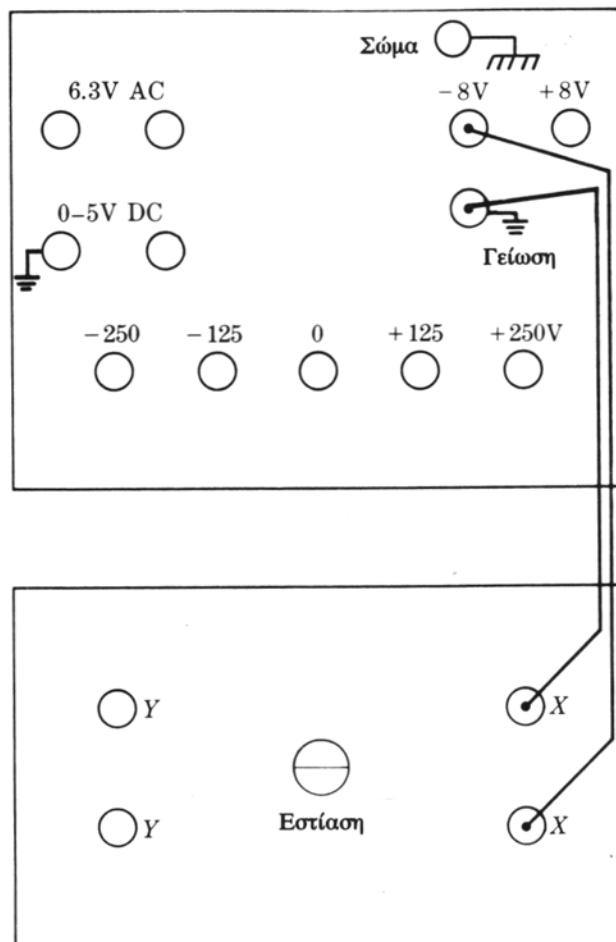
Η αρχική συνδεσμολογία μεταξύ της βάσεως της καθοδικής λυχνίας και του τροφοδοτικού. Βεβαιώσου ότι το τροφοδοτικό έχει μη γειωμένη έξοδο (floating) 6,3-V DC. Να μη χρησιμοποιηθεί γειωμένη έξοδος 6-V DC για το νήμα θερμάνσεως.

Σχήμα 23-2β



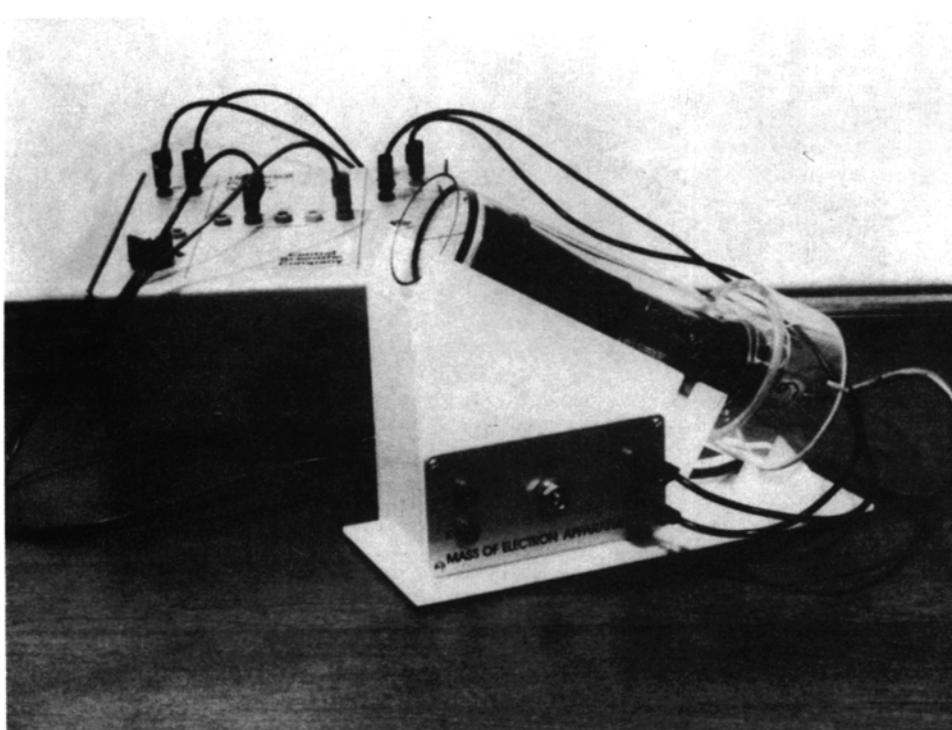
Τροφοδοτικό (επάνω όψη)

Σχήμα 23-3α



Βάση καθοδικού σωλήνα

Σχήμα 23-3β



Μέτρησε τις αποκλίσεις γι' αυτή και την αντίθετη διαμόρφωση και φτιάξε το διάγραμμα της αποκλίσεως ως συνάρτηση της τάσεως αποκλίσεως V_d .

- Από το διάγραμμά σου τι διαπιστώνεις; Είναι η απόκλιση ανά βολτ ή ίδια σε όλες τις περιπτώσεις;

Στις περισσότερες εφαρμογές του καθοδικού σωλήνα η μέτρηση της αποκλίσεως χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της τάσεως αποκλίσεως. Δηλαδή, ο καθοδικός σωλήνας χρησιμοποιείται ως πολύ γρήγορο βολτόμετρο. Η τάση που απαιτείται για να πάρουμε απόκλιση 1 cm, ονομάζεται ευαισθησία του καθοδικού σωλήνα.

Προσοχή: Αποσύνδεσε τα καλώδια από το τροφοδοτικό, πριν τα επανασυνδέσεις από τους ακροδέκτες των πλακιδίων X στους ακροδέκτες των πλακιδίων Y.

- Η ευαισθησία του καθοδικού σωλήνα είναι η ίδια για τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες αποκλίσεις;

Τα πλακίδια αποκλίσεως X και Y ως προς την κατασκευή τους είναι ακριβώς τα ίδια.

- Ποιο από τα ζεύγη πλακιδίων εκτροπής είναι κοντύτερα στην οθόνη του σωλήνα; Πώς το γνωρίζεις;

Βρες την ευαισθησία, όταν η τάση επιταχύνσεως είναι 500 V (σύνδεσε την κάθοδο στα -250 V) και 250 V (σύνδεσε την κάθοδο στο 0 V).

- Πώς εξαρτάται η ευαισθησία από την τάση επιταχύνσεως;
- Συμφωνούν τα αποτελέσματά σου με όσα διαλαμβάνονται στην παράγραφο 14-6 του βιβλίου σου;

Το μαγνητικό πεδίο ρεύματος

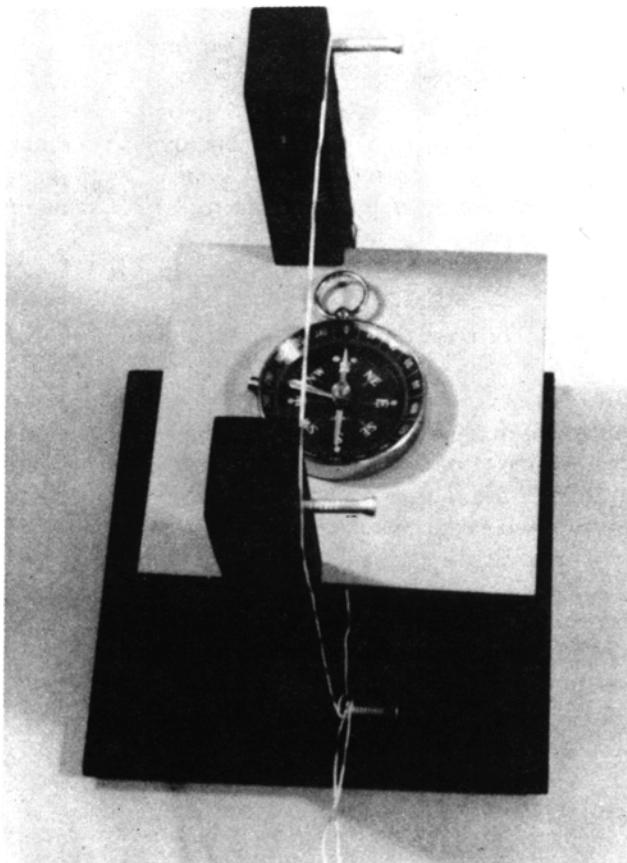
24

Όταν ένα σύρμα, που διαιρέεται από ρεύμα, τοποθετηθεί κοντά σε μια μαγνητική βελόνα, η μαγνητική βελόνα κινείται. Προφανώς, το ρεύμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, εξαιτίας του οποίου αποκλίνει η μαγνητική βελόνα. Μπορείς να το επιχειρήσεις, αν κρατήσεις ένα μακρύ ευθύγραμμο κομμάτι σύρματος επάνω από τη βελόνα της πυξίδας, και αν ακουμπήσεις στιγμιαία τα δύο άκρα του σύρματος στους πόλους ενός ξηρού στοιχείου.

Το μέτρο και η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο του εξαρτώνται από το σχήμα του σύρματος και από το ρεύμα. Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μελέτη της εξαρτήσεως του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται στο κέντρο ενός πηνίου, από το ρεύμα (σχ. 24-1).

Για λόγους συμμετρίας το μαγνητικό πεδίο στο κέντρο του πηνίου, που οφείλεται στο ρεύμα, πρέπει να είναι παράλληλο στον άξονα του πηνίου. Επομένως, αν η γη δεν είχε μαγνητικό πεδίο, η μαγνητική βελόνα θα έπρεπε να προσανατολισθεί σε διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο ενός ρευματοφόρου βρόχου. Ωστόσο, η γη έχει μαγνητικό πεδίο. Και αν τα μαγνητικά πεδία

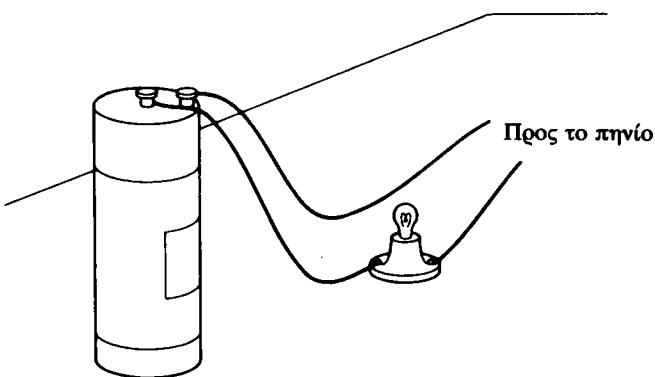
Σχήμα 24-1



προσθέτονται ως διανύσματα, η μαγνητική βελόνα θα προσανατολισθεί κατά τη διεύθυνση του διανυσματικού αθροίσματος των δύο πεδίων. Σε αυτό το πείραμα η μαγνητική βελόνα μπορεί να περιστραφεί μόνο στο οριζόντιο επίπεδο. Αυτό σημαίνει ότι ενεργεί μόνο η οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γης.

Με μια μόνο σπείρα του σύρματος, τυλιγμένη γύρω από το πλαίσιο, ευθυγράμμισε το πλαίσιο σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο της γης, έτσι, ώστε η τοποθετημένη στο κέντρο του πηνίου μαγνητική βελόνα της πυξίδας να δρίσκεται στο επίπεδο του πηνίου (σχ. 24-1). Σύνδεσε τα άκρα του σύρματος στους πόλους ξηρού στοιχείου, παρεμβάλλοντας ένα λαμπτάκι (σχ. 24-2). Βεβαιώσου ότι τα καλώδια συνδέσεως από το πηνίο στο ξηρό στοιχείο κρατιούνται μακριά από το δρόχο. Μέτρησε τη γωνιά αποκλίσεως της βελόνας της πυξίδας. Ανάστρεψε τη φορά του ρεύματος και μέτρησε πάλι τη γωνία αποκλίσεως της βελόνας.

Σχήμα 24-2



- Με πόση ακρίβεια μπορείς να διαβάσεις τις γωνίες αποκλίσεως στην πυξίδα;

Έκφρασε το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα σε σχέση με την οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γης, είτε χρησιμοποιώντας το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 24-3, είτε με την τριγωνομετρική σχέση

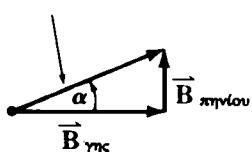
$$B_{\text{πηνίου}} = B_{\text{γης}} \text{ εφ } \alpha$$

- Πόσος είναι ο λόγος $B_{\text{πηνίου}}/B_{\text{γης}}$ για μια σπείρα του πηνίου;

Για να διπλασιάσεις το ρεύμα, το μόνο που χρειάζεται είναι να προσθέσεις μια ακόμα σπείρα στο πηνίο. Μέτρησε την απόκλιση της βελόνας για τις δύο σπείρες δύο φορές, αλλάζοντας διαδοχικά τη φορά του ρεύματος. Συνέχισε να αυξάνεις σταδιακά το ρεύμα, προσθέτοντας κάθε φορά μια σπείρα στο πηνίο. Αφού τελειώσεις την καταγραφή των μετρήσεων, προσδιόρισε την ένταση του μαγνητικού πεδίου για την κάθε περίπτωση, είτε με τη βοήθεια των διανυσματικών διαγραμμάτων, είτε με την τριγωνομετρική σχέση. Μπορείς να παραστήσεις τα πειραματικά δεδομένα σου φτιάχνοντας το διάγραμμα $B_{\text{πηνίου}}/B_{\text{γης}}$ ως συνάρτηση της έντασεως του ρεύματος (δηλαδή του αριθμού των σπειρών του πηνίου) και δίνοντας αρνητικές τιμές στην ένταση ρεύματος, κατά την αντιστροφή της φοράς του.

Σχήμα 24-3

Διεύθυνση της μαγνητικής βελόνας



- Τι συμπεραίνεις για την εξάρτηση του μαγνητικού πεδίου από το ρεύμα;
- Τα μαγνητικά πεδία προστίθενται διανυσματικά;

Η μέτρηση μαγνητικού πεδίου στις θεμελιώδεις μονάδες

25

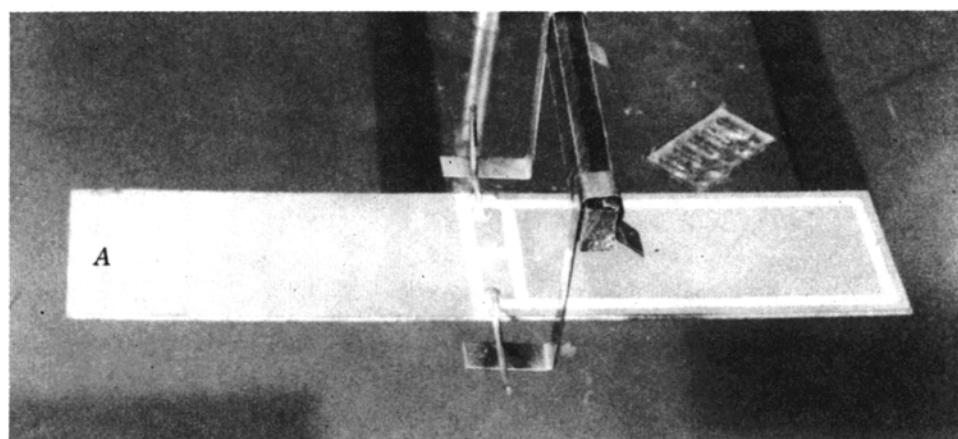
Στο προηγούμενο πείραμα μέτρησες την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με την οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γης. Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μέτρηση του μαγνητικού πεδίου σε περισσότερο θεμελιώδεις μονάδες με βάση το γεγονός ότι το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στο σύρμα που διαπερνά το φεύγα. Εφόσον η δύναμη F μετρηθεί σε N , το φεύγα I σε A και το μήκος του σύρματος L σε m , τότε η ένταση του πεδίου B σε $\frac{N}{Am}$ δίδεται από τη σχέση:

$$B = \frac{F}{IL}$$

αν θεωρηθεί ότι το σύρμα είναι κάθετο στη διεύθυνση του πεδίου.

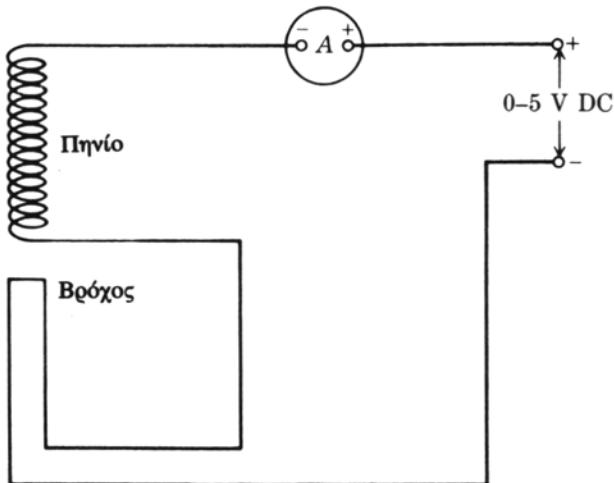
Το σχήμα 25-1 δείχνει έναν ευαίσθητο ζυγό, που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τη μέτρηση της δυνάμεως που ασκείται σε σύρμα μικρού μήκους διαρρεόμενο από φεύγα, όταν το σύρμα δρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου. Και εάν ο ζυγός είναι κατά τέτοιο τρόπο ευθυγραμμισμένος, ώστε το άκρο του σχήματος U μεταλλικού δρόγχου (A στο σχ. 25-1) να είναι κάθετο στο μαγνητικό πεδίο, ενώ οι πλευρές του παραλληλες σε αυτό, τότε μόνο στο άκρο του θα ασκείται δύναμη από το πεδίο. Μπορούμε να μετρήσουμε πλέον τη δύναμη στο άκρο του δρόγχου αντισταθμίζοντάς τον με βάρος γνωστής μάζας κρεμασμένο από το άλλο άκρο του ζυγού.

Σε αυτό το πείραμα θα προσδιορίσουμε το μέτρο της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο και κατά μήκος του άξονά ενός μακρόστενου πηνίου (ενός σωληνοειδούς), που διαρρέεται από φεύγα. Σύνδεσε το δρόγχο, το πηνίο και το αιμερόμετρο σε τροφοδοτικό $0-5 V DC$, όπως φαίνεται στο σχήμα 25-2. Βεβαιώσου ότι τα έδρανα του ζυγού και τα υποστηρίγματά τους είναι καθαρά και γυαλισμένα έτσι, ώστε να υπάρχει καλή ηλεκτρική επαφή.

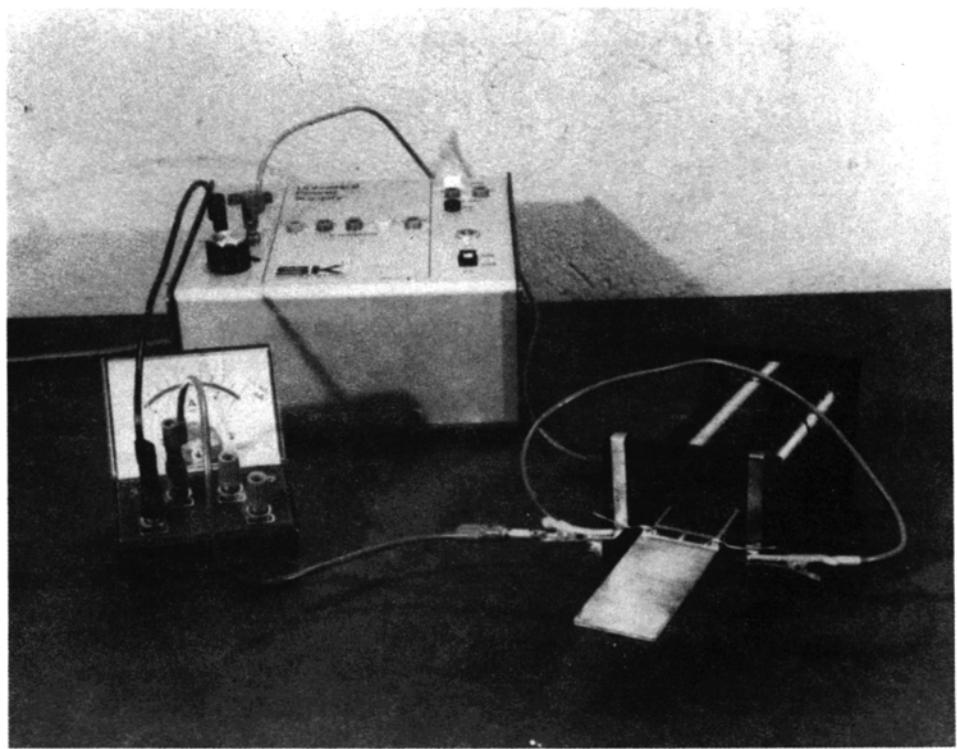


Σχήμα 25-1

Σχήμα 25-2



Σχήμα 25-3



Χωρίς να διαρρέεται από ρεύμα η συσκευή, ισορρόπησε το βρόχο στο πηνίο (σχ. 25-3). Τώρα άνοιξε το τροφοδοτικό και ζύθμισε την τάση με το κουμπί ελέγχου τάσεως, μέχρι να περάσει από τη συσκευή ρεύμα εντάσεως 1 A περίπου.

- Αν το έργο του βρόχου κινηθεί προς τα επάνω αντί προς τα κάτω, ποια αλλαγή θα έπρεπε να γίνει στον τρόπο συνδέσεως του πηνίου και του βρόχου με την ηλεκτρική πηγή;

Κάνε το βρόχο να ισορροπήσει πρόχειρα, χρησιμοποιώντας ένα κομμάτι σπάγγου ή σύρματος γνωστής μάζας ανά μονάδα μήκους, ή εκλέγοντας κάποιο από τα σταθμά που συνοδεύουν το ζυγό. Κατόπιν κάνε το βρόχο να ισορροπήσει με ακρίβεια, ρυθμίζοντας το ρεύμα που διαρρέει τη συσκευή. (Αν το ρεύμα παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις καθώς αιωρείται ο ζυγός, τότε οι επαφές του βρόχου ή έχουν οξειδωθεί ή είναι ανώμαλες και χρειάζονται καθάρισμα).

Είναι σημαντικό να επιδεβαιώσεις ότι η απόσταση του βάρους από το σημείο περιστροφής του άξονα και η απόσταση από το άκρο του σχήματος U μεταλλικού βρόχου μέχρι τον άξονα περιστροφής είναι ίσες.

Τώρα μπορείς να δρεις το κατάλληλης εντάσεως ρεύμα, για να ισορροπήσει ο ζυγός, όταν έτοιμη διαφορετικής μάζας τοποθετηθούν στη συσκευή. (Το μέγιστο ρεύμα δεν πρέπει να ξεπεράσει τα 5 A, γιατί οι επαφές του βρόχου θα οξειδωθούν και το πηνίο θα υπερθερμανθεί).

Από προηγούμενα πειράματα γνωρίζεις ότι η ένταση του μαγνητικού πεδίου κοντά στο κέντρο του πηνίου, είναι ευθέως ανάλογη με την ένταση του ρεύματος στο πηνίο: $B = kI$.

- Πώς η δύναμη, που είναι αναγκαία για να ισορροπήσει ο βρόχος, εξαρτάται από το ρεύμα;

Μπορείς να ερευνήσεις αυτή τη σχέση, αναλύοντας γραφικά τα δεδομένα σου.

- Τι σου λέει το διάγραμμα που έκανες για τη σχέση μεταξύ της δυνάμεως, που είναι αναγκαία για να ισορροπήσει ο βρόχος και του ρεύματος που διαρρέει τη συσκευή;

Σε επόμενο πείραμα θα χρειασθεί να ξέρεις την τιμή του B κοντά στο κέντρο του πηνίου, όταν διαρρέεται από μία συγκεκριμένη τιμή ρεύματος. Η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων σε αυτό το πείραμα σου δίνει τις αναγκαίες πληροφορίες.

- Ποια είναι η σχέση μεταξύ της τιμής του B κοντά στο κέντρο του πηνίου και του ρεύματος που το διαρρέει;

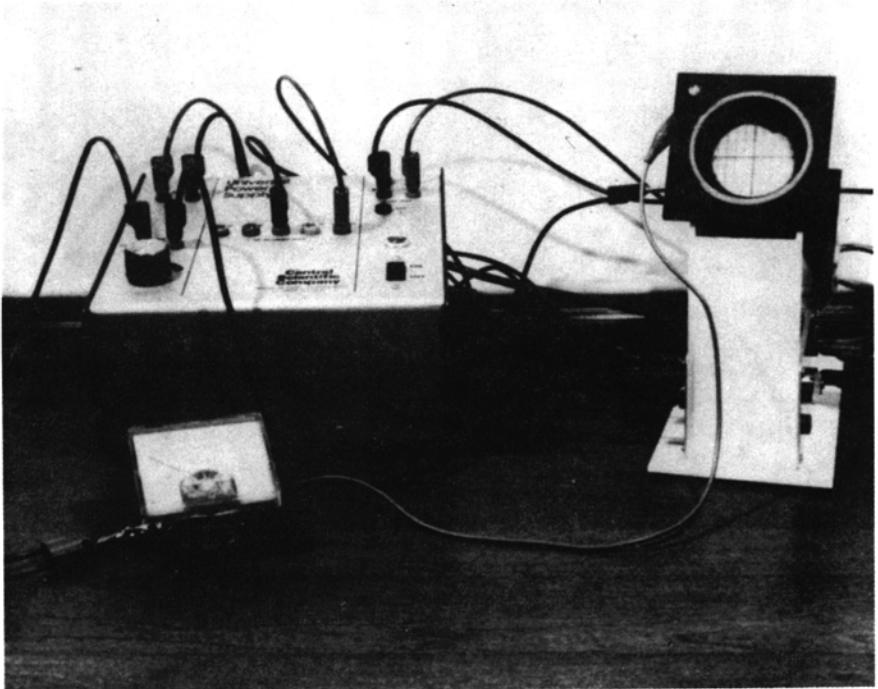
26

Η μάζα του ηλεκτρονίου

Σε αυτό το πείραμα θα υπολογίσεις τη μάζα του ηλεκτρονίου από τις παρατηρήσεις των κινήσεων των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο μέσα στον καθοδικό σωλήνα. Η τροχιά του ηλεκτρονίου είναι μάλλον δύσκολο να γίνει ορατή σε αυτή την περίπτωση. Επομένως, είναι καλύτερα να ξεκινήσεις με παρατηρήσεις στον καθοδικό σωλήνα και κατόπιν να προχωρήσεις στους υπολογισμούς.

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 26-1. Άρχισε με τάση επιταχύνσεως 250 V, χωρίς να συνδέσεις στο τροφοδοτικό τάσεως ούτε το πηνίο ούτε τα πλακίδια αποκλίσεως Y. Προσπάθησε να προβλέψεις τις απαντήσεις στις παρακάτω ερωτήσεις και κατόπιν έλεγχε την ορθότητά τους. Σε κάθε στάδιο της εργασίας σου σημείωνε τη θέση της φωτεινής κηλίδας στο πλαστικό κάλυμμα της τετραγωνισμένης οθόνης με μαρκαδόρο (**πών να σθήνει με νερό**). Επίσης, κράτησε σημειώσεις στο τετράδιό σου.

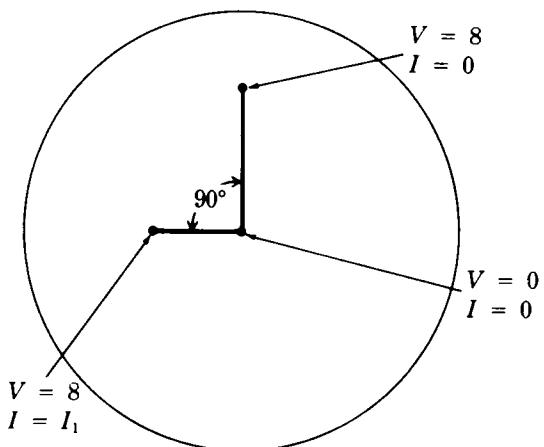
- Τα ηλεκτρόνια κτυπούν στο κέντρο της οθόνης του σωλήνα, όταν τα ηλεκτρόδια αποκλίσεως δεν τροφοδοτούνται με τάση;
- Το διάνυσμα της ταχύτητας των ηλεκτρονίων μήπως έχει μια συνιστώσα μικρού μέτρου, κάθετη στον άξονα του καθοδικού σωλήνα;
- Πού κτυπούν τα ηλεκτρόνια, όταν δεν είναι συνδεδεμένα τα πλακίδια αποκλίσεως Y, αλλά το ρεύμα στο πηνίο βαθμιαία αυξάνεται από την τιμή του μηδενός; Γιατί; (Άρχισε να περιστρέφεις το κουμπί ελέγχου



Σχήμα 26-1

Σύνδεσε την άνοδο με τάση +250 V και την κάθοδο σε 0 V. Το νήμα θερμάνσεως σύνδεσε το όπως στο πείραμα 23.

Σχήμα 26-2



συνεχούς τάσεως μέχρι το τέρμα του, αντίθετα προς τη φορά κινήσεως των δεικτών του ρολογιού και κατόπιν γύριζε το σιγά σιγά κατά τη φορά των δεικτών).

- Πού θα κτυπήσουν τα ηλεκτρόνια, αν δεν διαρρέεται από ρεύμα το πηνίο, αλλά υπάρχει τάση στα πλακίδια αποκλίσεως Y με θετικό το επάνω ηλεκτρόδιο; (Αποσύνδεσε το πηνίο από το τροφοδοτικό, για να είσαι βέβαιος ότι δεν διαρρέεται καθόλου από το αρχικό ρεύμα).
- Πώς θα μετακινηθεί το σημείο, όπου κτυπούν τα ηλεκτρόνια στην οθόνη, όταν το ρεύμα στο πηνίο προοδευτικά αυξάνει από το μηδέν, ενώ υπάρχει σταθερή τάση στα πλακίδια Y;
- Υπάρχει ένα ρεύμα I_1 , για το οποίο η γραμμή που ενώνει τη θέση της κηλίδας με την αρχική της θέση σχηματίζει ορθή γωνία με την αντίστοιχη γραμμή όταν δεν περνά ρεύμα από το πηνίο, όπως φαίνεται στο σχήμα 26-2; Αν ναι, μέτρησε αυτό το ρεύμα;

Ας αναλύσουμε τώρα την κίνηση των ηλεκτρονίων με δεδομένη τάση και ρεύμα. Έτσι, καθώς τα ηλεκτρόνια εισέρχονται στο μαγνητικό πεδίο, η συνισταμένη του διανύσματος της ταχύτητάς τους κατά μήκος του άξονα της λυχνίας είναι:

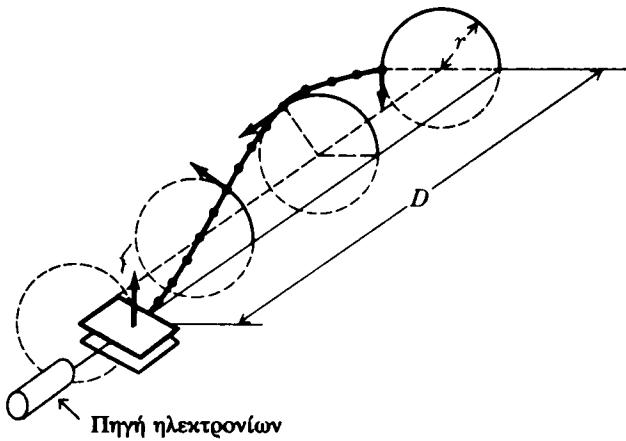
$$v_o = \sqrt{\frac{2eV_e}{m}} \quad (1)$$

όπου V_e είναι η τάση επιτυχύνσεως, ενώ e και m το φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου, αντίστοιχα.

- Πώς προέκυψε η εξίσωση (1);
- Ποια είναι η τιμή της V_e στο πείραμά σου;

Η τάση στα πλακίδια Y έδωσε αρχικά στα ηλεκτρόνια ταχύτητα κατά τη διεύθυνση Y. Το μαγνητικό πεδίο αλλάζει αυτήν τη φορά της ταχύτητας κατά 180°, έως ότου τα ηλεκτρόνια φθάσουν στην οθόνη του σωλήνα (σχ. 26-3). Στο επίπεδο XY τα ηλεκτρόνια κινούνται κατά μήκος ημιπεριφέρειας, ακτίνας r, με ταχύτητα v_1 , που το μέτρο της είναι:

$$v_1 = \frac{eBr}{m} \quad (2)$$



Σχήμα 26-3

Σχηματική αναπαράσταση της τροχιάς ενός ηλεκτρονίου κάτω από την επίδραση ηλεκτρικής και μαγνητικής δυνάμεως. Ξεκινώντας από κάτω αριστερά, η ταχύτητά του v_1 έχει αρχικά φορά προς τα πάνω. Το μαγνητικό πεδίο, όμως, κατά μήκος του άξονα του πηνίου, εκτρέπει τα ηλεκτρόνια με φορά αντίθετη προς τη φορά της κινήσεως των δεικτών του ρολογιού, καθώς αυτά κινούνται κατά μήκος του σωλήνα με ταχύτητα v_0 .

- Πώς προέκυψε η εξίσωση (2);
- Από τα αποτελέσματα του προηγούμενου πειράματος, ποια είναι η τιμή του B , όταν το ρεύμα I_1 διαρρέει το πηνίο;

Ο χρόνος που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια για να κινηθούν κατά μήκος του άξονα του σωλήνα και να διανύσουν την απόσταση D , από το κέντρο του χώρου μεταξύ των πλακιδίων μέχρι την οθόνη του σωλήνα, είναι ο ίδιος με το χρόνο που απαιτείται για να συμπληρώσουν μήκος μιας ημιπεριφέρειας. Και στις δύο περιπτώσεις ο χρόνος υπολογίζεται με τη διαίρεση της αποστάσεως διά της ταχύτητας:

$$(χρόνος κατά μήκος του άξονα) \frac{D}{v_0} = \frac{\pi r}{v_1} \quad (\text{χρόνος κατά μήκος της ημιπεριφέρειας}) \quad (3)$$

Αντικαταστώντας στην εξίσωση (3) το v_0 από την εξίσωση (1) και το v_1 από την εξίσωση (2) και λύνοντάς την ως προς m , δρίσκομε:

$$m \frac{eB^2 D^2}{2\pi^2 V_e} \quad (4)$$

Για τον καθοδικό σωλήνα που χρησιμοποιείς, $D = 9,0 \text{ cm}$.

- Γι' αυτήν την τιμή του D και τις άλλες τιμές των μετρήσεών σου, πόση προκύπτει η μάζα του ηλεκτρονίου;

Αν το σκεπτικό μας είναι σωστό, η μάζα που υπολογίζεται από την εξίσωση (4) θα έπρεπε να είναι ανεξάρτητη των V_e και B , μέσα στα όρια του πειραματικού σφάλματος. Επανάλαβε το πείραμα με $V_e = 375 \Omega$ και $V_e = 500 \Omega$.

- Τι δρίσκεις;

Η μάζα του ηλεκτρονίου (χρησιμοποιώντας ηλεκτρονική λυχνία κενού)

26α

Ένα ηλεκτρόνιο, που αρχικά είναι ακίνητο, επιταχύνεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο και αποκτά κινητική ενέργεια ίση με το γινόμενο του φορτίου του επί τη διαφορά δυναμικού με την οποία κινείται,

$$\frac{mv^2}{2} = eV \quad (1)$$

Αν, τώρα, το ηλεκτρόνιο κινηθεί με ταχύτητα v δια μέσου ομογενούς μαγνητικού πεδίου, κάθετου στη διεύθυνση της κινήσεώς του, το πεδίο ασκεί κεντρομόλο δύναμη κάθετη στην κίνηση του ηλεκτρονίου και στη διεύθυνση του πεδίου. Η δύναμη αυτή εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου B και από την ταχύτητα του ηλεκτρονίου.

$$F = Bev \quad (2)$$

Το ηλεκτρόνιο τότε θα διαγράψει κυκλική τροχιά ακτίνας r , που δίδεται από τη σχέση:

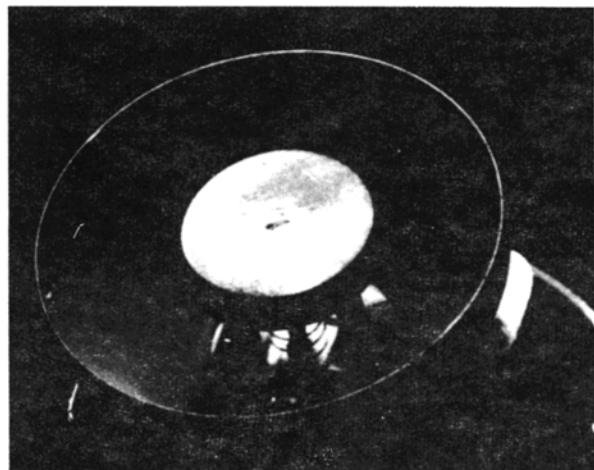
$$F = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

Απαλείφοντας τα F και v από τις εξισώσεις (1), (2) και (3) και λύνοντας την εξίσωση που προκύπτει, δούλοκομε.

$$m = \frac{eB^2r^2}{2V} \quad (4)$$

Αντί να χρησιμοποιήσουμε λυχνία, όπως αυτή που περιγράφεται στο βιβλίο σου, για την επιτάχυνση και απόκλιση των ηλεκτρονίων, θα χρησιμοποιήσουμε λυχνία κενού, από αυτές που χρησίμευαν παλαιότερα ως λυχνίες συντονισμού στα ραδιόφωνα (μάτι συντονισμού). Το σχήμα 26α-1 δείχνει την κατασκευή αυτής της λυχνίας. Σ' αυτή τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από την κάθοδο επιταχύνονται από τη διαφορά δυναμικού μεταξύ καθόδου και ανόδου. Κινούνται ακτινικά προς τα έξω σε δέσμη μορφής βεντάλιας και φτάνουν στη μέγιστη σχεδόν ταχύτητά τους τη στιγμή που προβάλουν κάτω από το μαύρο μεταλλικό κάλυμμα που σκεπάζει το κέντρο της λυχνίας. Η ταχύτητά τους παραμένει σχεδόν σταθερή στην υπόλοιπη διαδρομή τους μέχρι την άνοδο.

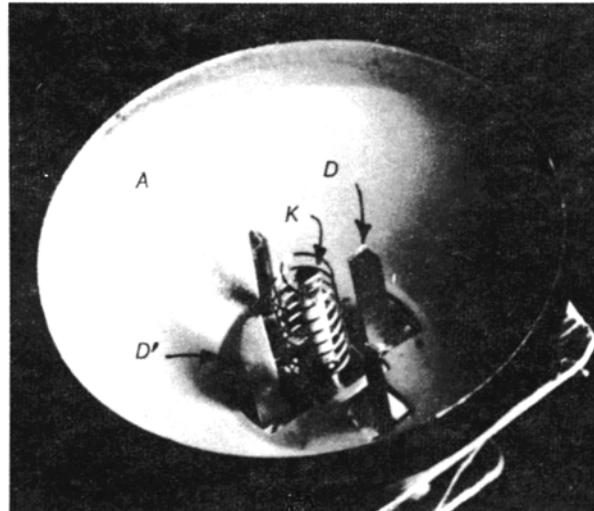
Η άνοδος είναι καλυμμένη με υλικό που φθιορίζει και φωτοβολεί, όταν προσπίπτουν επάνω του τα ηλεκτρόνια. Λόγω του κωνικού του σχήματος, μπορούμε να δούμε την τροχιά, που ακολουθούν τα ηλεκτρόνια, όπως φεύγουν



(α)

Σχήμα 26a-1α

Μια ηλεκτρονική λυχνία (μάτι συντονισμού), από την οποία έχει αφαιρεθεί το γυάλινο περίβλημά της.



(β)

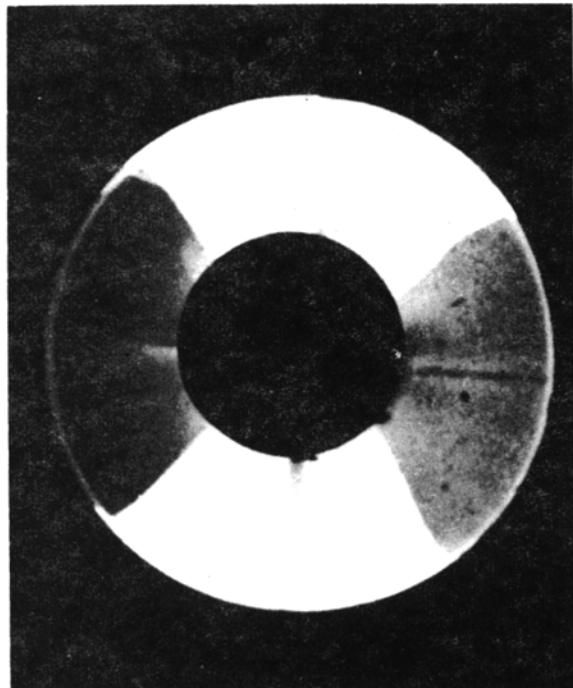
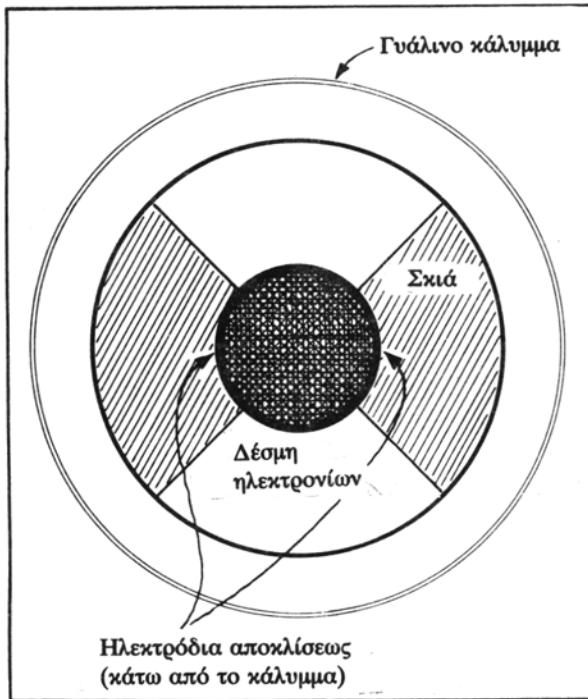
Σχήμα 26a-1β

Το μεταλλικό κάλυμμα που φαίνεται στο κέντρο της λυχνίας στο σχήμα 26a-1α, κόπηκε από τα σύρματα που το στηρίζουν και έχει απομακρυνθεί, αποκαλύπτοντας τα σημαντικά τμήματα της δομής της λυχνίας. Όπου Κ είναι η κάθοδος που εκπέμπει τα ηλεκτρόνια, D και D' τα ηλεκτρόδια εκτροπής που σχηματίζουν την κωνική σκιά και Α η άνοδος, που έχει επικαλυφθεί με υλικό που φθορίζει.

από την κάθοδο, όταν μάλιστα κοιτάξομε ακριβώς επάνω από την κάθοδο, η κωνική άνοδος διασπά διαγώνια την ηλεκτρονική δέσμη, δείχνοντας τη θέση των ηλεκτρονίων σε διαφορετικές αποστάσεις από την κάθοδο. Δύο ηλεκτρόδια αποκλίσεως είναι συνδεδεμένα στην κάθοδο και όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο, απωθούν τα ηλεκτρόνια που κινούνται από την κάθοδο προς το μέρος τους, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται πίσω τους σκιά με μορφή σφήνας (σχ. 26a-2).

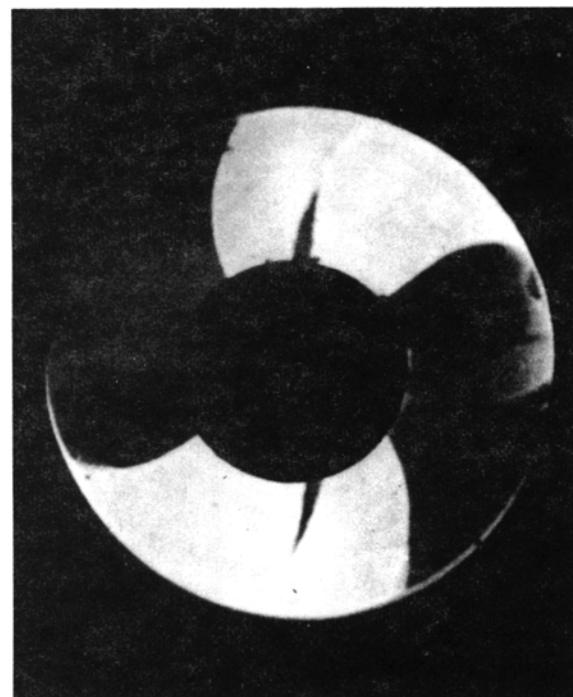
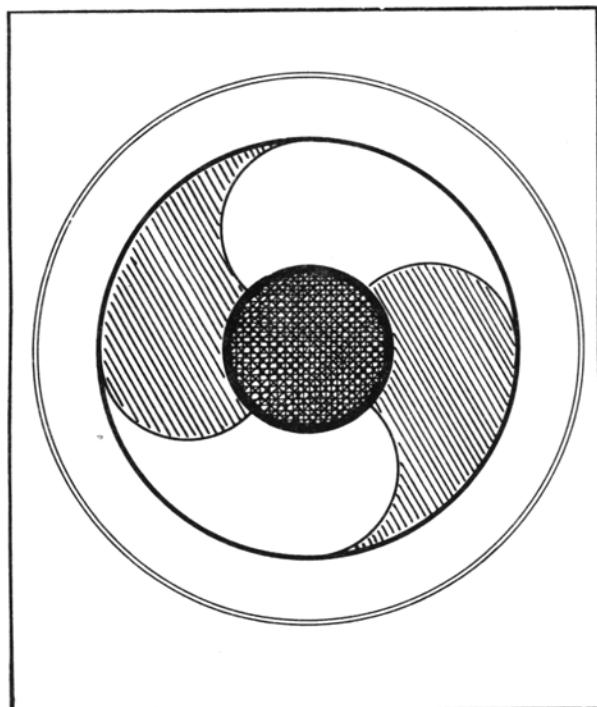
Όταν η λυχνία βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, παράλληλο προς την κάθοδο, τα ηλεκτρόνια εκτρέπονται σε περίπου κυκλική τροχιά, όπως φαίνεται από το καμπυλωτό χείλος της σκιάς (σχ. 26a-3).

Μπορείς να δημιουργήσεις ομογενές μαγνητικό πεδίο στη λυχνία, βάζοντάς την στο πηνίο που χρησιμοποιήσες στα προηγούμενα πειράματα. Σύνδεσε τη



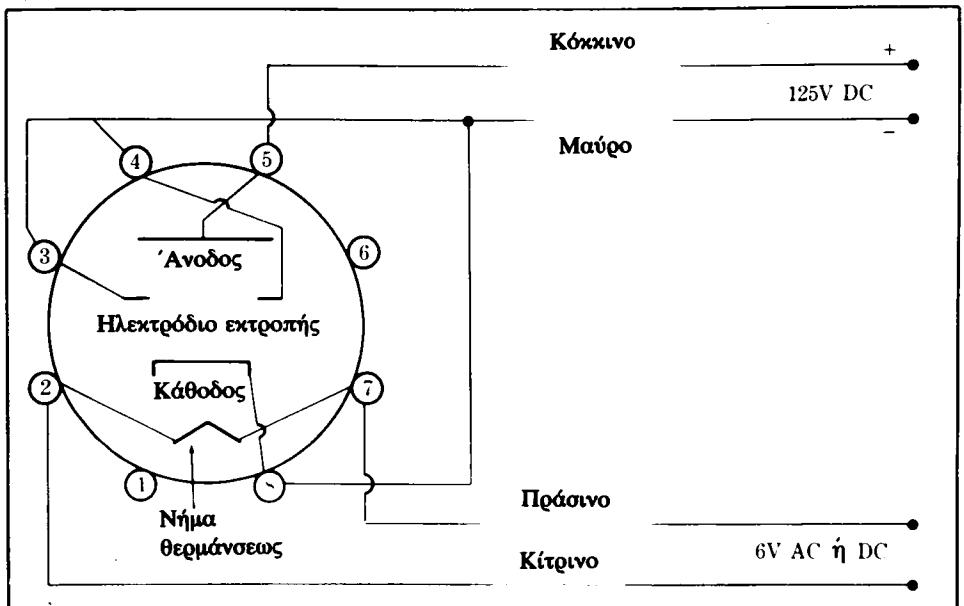
Σχήμα 26α-2

Το σχέδιο αριστερά δείχνει τη σκιά της ακτινικής δέσμης που περιμένομε να δούμε, όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Δεξιά είναι η αντίστοιχη φωτογραφία της λυχνίας, καθώς λειτουργεί και όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Οι δύο στενές λωρίδες σκιάς προξενούνται από τα σύρματα στηρίζεως του κεντρικού καλύμματος (της λυχνίας).



Σχήμα 26α-3

Το σχήμα της δέσμης, που θα έχομε, όταν η λυχνία βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, φαίνεται στο αριστερό (σχέδιο). Η φωτογραφία δεξιά δείχνει τη δέσμη, όταν εκτρέπεται από το μαγνητικό πεδίο.



Σχήμα 26α-4
Η συνδεσμολογία για την ηλεκτρονική λυχνία 6AF6.

λυχνία, όπως φαίνεται στο σχήμα 26α-4. Έχοντας το δυναμικό ανόδου συνδεδεμένο στα +125 βολτ, ρύθμισε κατόπιν το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο, έως ότου εκτιμήσεις ότι η καμπύλωση του χείλους της σκιάς είναι η ίδια με αυτή κάποιου μικρού στρογγυλού αντικειμένου, που η ακτίνα του μπορεί εύκολα να μετρηθεί. Ένα μικρό νόμισμα, ένα κομμάτι ξύλινου κυλίνδρου ή ένα μολύβι είναι κατάλληλα.

- Για την τάση επιταχύνσεως που χρησιμοποίησες, πόση είναι η ακτίνα της περιφέρειας του κυρτού χείλους της σκιάς;
- Πώς θα δρεις την ένταση του μαγνητικού πεδίου;
- Ποια είναι η τιμή που δρήκες για τη μάζα του ηλεκτρονίου;
- Αν το σκεπτικό μας είναι σωστό, η μάζα του ηλεκτρονίου που υπολογίσθηκε από την εξίωση (4) θα είναι ανεξάρτητη από τα μεγέθη V, B και r, μέσα στα όρια του πειραματικού σφάλματος. Επανάλαβε το πείραμα με διαφορετικές τιμές του V έως την τιμή των 250 V.
- Τι δρίσκεις;

Το μαγνητικό πεδίο της γης

27

Στη λυχνία καθοδικών ακτίνων που χρησιμοποίησες, δεν υπάρχει τρόπος ρυθμίσεως, ώστε να μπορείς να τοποθετήσεις τη φωτεινή κηλίδα στο κέντρο του γυάλινου καλύμματος στην επάνω όψη της. Πράγματι, ίσως να έχεις παρατηρήσει ότι, και χωρίς να υπάρχει δύναμη αποκλίσεως, τα ηλεκτρόνια δεν κτυπούν στο κέντρο της επάνω όψεως της λυχνίας. Αυτό οφείλεται καθ' ολοκληρίαν στην κατασκευή της λυχνίας και μόνο, ή μήπως υπάρχει κάποιος εξωτερικός παράγοντας;

Για να το ερευνήσεις, σύνδεσε τον καθοδικό σωλήνα στο τροφοδοτικό με την άνοδο σε τάση +250 V, την κάθοδο σε 0 V και το νήμα θερμάνσεως σε 6,3 V AC. **Προσοχή:** Όλες τις συνδέσεις να τις κάνεις με το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας (διακόπτης στη θέση **OFF**).

- Τι συμβαίνει με τη φωτεινή κηλίδα, όταν σηκώσεις το σωλήνα από τη βάση του και αλλάξεις τον προσανατολισμό του στο χώρο;
- Υπάρχει τότε μια εξωτερική δύναμη που ασκείται στα ηλεκτρόνια;
- Από τις παρατηρήσεις σου τι συμπεραίνεις; Αυτή η εξωτερική δύναμη είναι ηλεκτρική ή μαγνητική; Γιατί;

Υπόθεσε ότι κρατάς τον καθοδικό σωλήνα έτσι, ώστε τα ηλεκτρόνια της δέσμης να κινούνται παράλληλα προς το μαγνητικό πεδίο της γης. Τότε, το μαγνητικό πεδίο δεν θα επηρεάζει την κίνησή τους. Με εξαίρεση την πολύ μικρή απόσταση μεταξύ της καθόδου και της ανόδου, τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν ευθύγραμμα με ταχύτητα,

$$v_o = \sqrt{\frac{Z_e V_e}{m}} \quad (1)$$

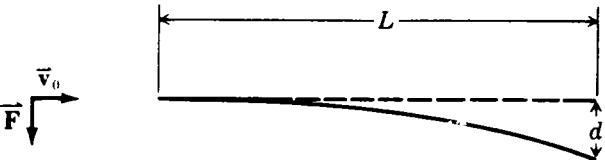
όπου V_e είναι η τάση επιταχύνσεως, ενώ e και m το φορτίο και η μάζα του ηλεκτρόνιου, αντίστοιχα.

Υπόθεσε, τώρα, ότι περιστρέφεις τον καθοδικό σωλήνα έτσι, ώστε η ταχύτητα v_o να είναι κάθετη στο μαγνητικό πεδίο της γης, $B_{\gamma\eta\varsigma}$. Τότε τα ηλεκτρόνια θα απέκλιναν προς το πλάι, από δύναμη μέτρου,

$$\mathbf{F} = e v_o \mathbf{B}_{\gamma\eta\varsigma}$$

(βλ. σχ. 27-1)

Εφόσον τα ηλεκτρόνια αλλάζουν ελαφρά μόνο τη διεύθυνση της κινήσεως τους, μπορούμε να αγνοήσουμε τη συνολική μεταβολή κατά τη διεύθυνση της δυνάμεως αποκλίσεως και να θεωρήσουμε τη δύναμη αυτή ως σταθερή κατά



Σχήμα 27-1

Αν το διάνυσμα της ταχύτητας \vec{v}_0 έχει φορά προς τα δεξιά και το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου της γης $\vec{B}_{\gamma\text{ms}}$ είναι κάθετο στο επίπεδο του χαρτιού με φορά προς αυτό, τότε, το διάνυσμα της δυνάμεως αποκλίσεως \vec{F} θα είναι κάθετο στο διάνυσμα της ταχύτητας και με φορά προς τα κάτω, δύτικα στο σχήμα.

διεύθυνση και μέτρα. Με αυτή την προσέγγιση, η απόκλιση των ηλεκτρονίων στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα θα είναι,

$$d = \frac{1}{2}at^2 \quad (2)$$

$$\text{όπου } a = \frac{F}{m} = \frac{ev_0 B_{\gamma\text{ms}}}{m} \quad (3)$$

$$\text{και } t = \frac{L}{v_0} \quad (4)$$

Η απόσταση L είναι σχεδόν ίση με την απόσταση μεταξύ της ανόδου και της οθόνης του καθοδικού σωλήνα. Αντικαταστώντας τα a και t από τις εξισώσεις (3) και (4) στην εξίσωση (2), έχομε:

$$d = \frac{1}{2} \cdot \frac{eL^2}{mv_0} B_{\gamma\text{ms}} \quad (5)$$

Αντικαταστώντας, τώρα, το v_0 από την εξίσωση (1) στην εξίσωση (5) και λύνοντας ως προς $B_{\gamma\text{ms}}$, δρίσκομε:

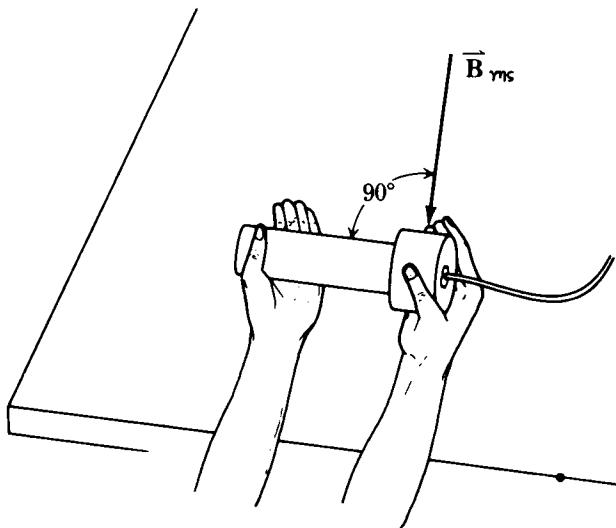
$$B_{\gamma\text{ms}} = \frac{2d}{2} \sqrt{\frac{2m V_e}{e}} \quad (6)$$

Ήδη γνωρίζεις τις τιμές των m και e . Για τον καθοδικό σωλήνα που χρησιμοποιείς είναι $L = 11 \text{ cm}$. Και το μοναδικό μέγεθος που πρέπει να μετρήσεις είναι η απόκλιση d , που οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο της γης. Γι' αυτό πρέπει να σημειώσεις στην οθόνη τις θέσεις της φωτεινής κηλίδας, αφ' ενός όταν η δέσμη των ηλεκτρονίων είναι παράλληλη στο μαγνητικό πεδίο της γης m , και αφ' ετέρου όταν είναι κάθετη στο πεδίο. Τότε d είναι η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων.

Το πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός του μαγνητικού πεδίου* (της γης). Μπορείς να το κάνεις με τον ακόλουθο τρόπο. Πρώτα κράτησε τον καθοδικό σωλήνα επάνω στον εργαστηριακό πάγκο (και προσανατόλισέ τον λίγο-πολύ κατά τη διεύθυνση ανατολής-δύσεως. Περίστρεψε κατόπιν το σωλήνα γύρω από

* Η μαγνητική θελόνα μιας πυξίδας δείχνει την οριζόντια διανυσματική συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου. Άλλα οι περισσότερες πυξίδες δεν δουλεύουν, όταν κρατιώνται κατακόρυφα. Γι' αυτό δεν θα μπορείς να προσδιορίσεις τη διεύθυνση του πηγίου στο κατακόρυφο επίπεδο.

Σχήμα 27-2



τον άξονά του κατά μικρή γωνία, ενώ ο συνεργάτης σου στο πείραμα σημειώνει με μαρκαδόρο (υδατοδιαλυτής μελάνης, μόνο!) τη θέση της φωτεινής κηλίδας στην τετραγωνισμένη οθόνη. Συνέχισε να περιστρέφεις, σημειώνοντας ταυτόχρονα τις θέσεις της κηλίδας, ώσπου ο σωλήνας να κάνει μία πλήρη περιστροφή.

- Γιατί δυνατά να κρατιέται ο καθοδικός σωλήνας κατά τη διεύθυνση ανατολής-δύσεως;
- Μήπως οι διαδοχικές θέσεις της κηλίδας που σημείωσες με το μαρκαδόρο σχηματίζουν περιφέρεια; Αν όχι, προσπάθησε πάλι και βεβαιώσου ότι δεν αλλάζεις τον προσανατολισμό του σωλήνα, καθώς τον περιστρέφεις περί του άξονά του.

Σημείωσε το κέντρο του κύκλου και άλλαξε τη διεύθυνση του καθοδικού σωλήνα, μέχρις ότου τα ηλεκτρόνια χτυπήσουν στο κέντρο του κύκλου.

- Πώς μπορείς να πεισθείς ότι ο καθοδικός σωλήνας είναι τώρα ευθυγραμμισμένος με το μαγνητικό πεδίο της γης; Προσπάθησέ το.

Το μαγνητικό πεδίο της γης δημιουργεί την απόκλιση d που υπολογίσαμε, για οποιαδήποτε διεύθυνση του καθοδικού σωλήνα στο επίπεδο, κάθετη προς τη διεύθυνση του πεδίου. Για ευκολία, τοποθέτησε τον καθοδικό σωλήνα στον πάγκο του εργαστηρίου κατά διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου της γης (σχ. 27-2).

Σημείωσε τη θέση της φωτεινής κηλίδας στην τετραγωνισμένη οθόνη. Η απόσταση μεταξύ αυτού του σημείου και του κέντρου του κύκλου είναι το μέτρο της d στην εξίσωση (6).

- Ποιο είναι τότε το μέτρο για το B_{ms} ;

Αν οι υπολογισμοί μας είναι σωστοί, το μέτρο του B_{ms} πρέπει να είναι ανεξάρτητο από το μέτρο των d και V_e , μέσα στα όρια του πειραματικού σφάλματος. Επανάλαβε το πείραμα με τάση $V_e = 375$ V.

- Τι βρίσκεις;

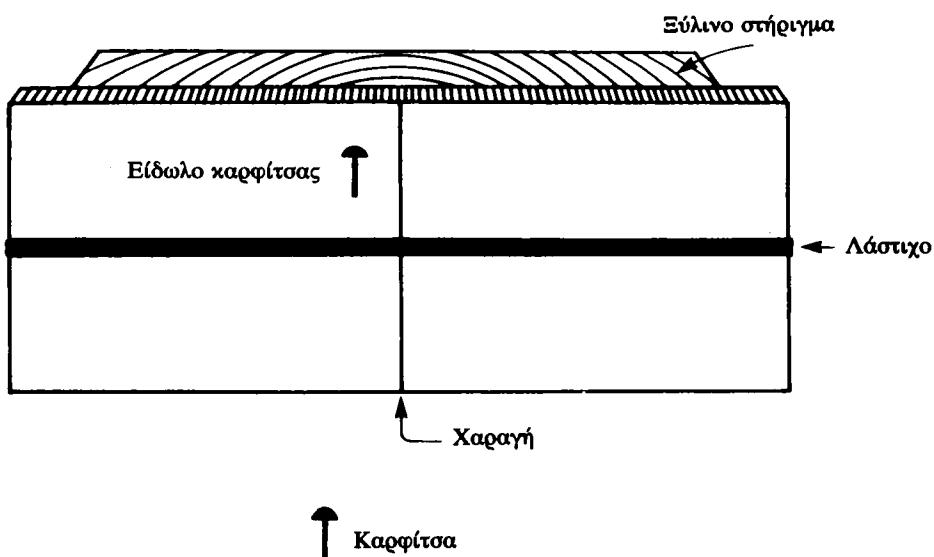
28

Ανάκλαση

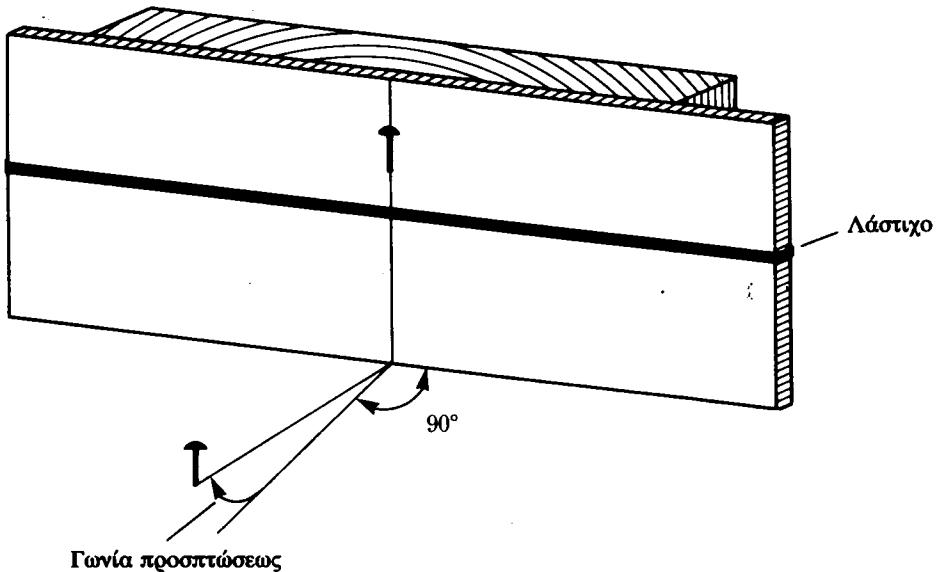
Υπόθεσε ότι βλέπεις το είδωλο μιας καρφίτσας στον καθρέφτη με το ένα μάτι (σχ. 28-1). Δεν υπάρχει τρόπος να πεις από πού οι φωτεινές ακτίνες που φτάνουν στο μάτι σου προσπίπτουν στον καθρέπτη. Ωστόσο, αν στον καθρέπτη είχε χαραχθεί μια γραμμή και κινούσες το κεφάλι σου μέχρι να δεις το είδωλο να ευθυγραμμίζεται με τη χαρακιά, τότε θα γνώριζες πώς το φως από την καρφίτσα φτάνει στο μάτι σου. Η προσπίπτουσα ακτίνα πέφτει στον καθρέπτη στη χαρακιά και η ανακλώμενη ακτίνα ταξιδεύει ευθύγραμμα από τη χαρακιά στο μάτι σου (σχ. 28-2). Για να εξασφαλισθεί ένα σταθερό σημάδι της διευθύνσεως της ανακλώμενης ακτίνας, τοποθέτησε μια δεύτερη καρφίτσα στη διαδρομή της ανακλώμενης ακτίνας. Δηλαδή το είδωλο της πρώτης καρφίτσας, η χαρακιά και η δεύτερη καρφίτσα να είναι στην ίδια ευθεία.

Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της προσπίπτουσας ακτίνας και της καθέτου στον καθρέπτη στο σημείο προσπτώσεως, ονομάζεται γωνία προσπτώσεως. Η γωνία μεταξύ της ανακλώμενης ακτίνας και της ίδιας καθέτου, ονομάζεται γωνία ανακλάσεως. Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μελέτη της σχέσεως μεταξύ των γωνιών προσπτώσεως και ανακλάσεως.

Μερικές τεχνικές λειτουργίες θα σε βοηθήσουν στην πειραματική εργασία σου. Τράβηξε δύο γραμμές, κάθετες μεταξύ τους, στο μέσο ενός φύλλου χαρτιού από το τετράδιο εργαστηρίου σου και τοποθέτησέ το επάνω σε ίσων διαστάσεων κομμάτι από χαρτόνι. Αυτό θα σε βοηθήσει να στερεώσεις τις καρφίτσες. Ευθυγράμμισε την ανακλαστική επιφάνεια του καθρέπτη (κατά πάσα πιθανότητα την πίσω επιφάνεια) με μία από τις κάθετες γραμμές και ευθυγράμμισε τη χαρακιά με την άλλη γραμμή, όπως φαίνεται στο σχήμα 28-2.



Σχήμα 28-1
Άποψη του ειδώλου της καρφίτσας στον καθρέφτη, όπως φαίνεται από εμπρός.



Σχήμα 28-2

Άποψη του ίδιου ειδώλου, όπως φαίνεται όταν το κεφάλι του παρατηρητή μετακινηθεί προς τα δεξιά.

- Πού πρέπει να τοποθετήσεις την πρώτη καρφίτσα (αντικειμενική καρφίτσα) με σκοπό να έχεις σαφή εικόνα της γωνίας προσπτώσεως; Κοντά ή μακριά από τον καθρέπτη;
- Μήπως οι ίδιοι λόγοι ισχύουν στην τοποθέτηση της δεύτερης καρφίτσας (καρφίτσας σκοπεύσεως); Δοκίμασε με διαφορετικές αποστάσεις.

Επίλεξε την κατάλληλη απόσταση και σημείωσε τη θέση των δύο καρφιτσών. Τοποθέτησε την αντικειμενική καρφίτσα σε αρκετές θέσεις, αλλά για την κάθε περίπτωση τοποθέτησε την καρφίτσα σκοπεύσεως στην ίδια ευθεία ακριβώς με τη χαρακιά του καθρέπτη και την αντικειμενική καρφίτσα. Τράβηξε γραμμές που να ενώνουν τη χαρακιά με την αρχική θέση της αντικειμενικής καρφίτσας και με την αρχική θέση της καρφίτσας σκοπεύσεως.

- Τι παριστούν οι γραμμές;

Αφού φέρεις τις γραμμές που αντιστοιχούν στις άλλες θέσεις των καρφιτσών, μέτρησε τη γωνία προσπτώσεως και τη γωνία ανακλάσεως, για την κάθε θέση της αντικειμενικής καρφίτσας. Κάνε το διάγραμμα της γωνίας ανακλάσεως ως συνάρτηση της γωνίας προσπτώσεως.

- Τι συμπεραίνεις;

29

Διάθλαση

Είναι εύκολη η μελέτη της διαθλάσεως του φωτός ως συναρτήσεως της γωνίας προσπτώσεως και της γωνίας διαθλάσεως. Όταν, για παράδειγμα, το φως περνά από τον αέρα στο νερό, γωνία διαθλάσεως είναι η γωνία μεταξύ μιας φωτεινής ακτίνας μέσα στο νερό και της καθέτου που φέρεται στην επιφάνεια του νερού. Στο πείραμα αυτό θα επιχειρήσουμε να δρούμε τη σχέση μεταξύ αυτής της γωνίας και της γωνίας προσπτώσεως.

Χρησιμοποιήσε μια καρφίτσα, για να χαράξεις μια κατακόρυφη γραμμή στο μέσο της επίπεδης πλευράς ενός ημικυκλικού, διαφανούς πλαστικού δοχείου. Γέμισε μέχρι τη μέση με νερό το δοχείο και ευθυγράμμισέ το επάνω σε φύλλο χαρτιού πολικών συντεταγμένων που είναι τοποθετημένο επάνω σε κομμάτι από μαλακό χαρτόνι ίσων διαστάσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 29-1. Βεβαιώσου ότι το κάτω άκρο της κατακόρυφης χαρακιάς στην επίπεδη πλευρά του δοχείου ακουμπά στο κέντρο του χαρτιού, όπου δρίσκεται η αρχή των πολικών συντεταγμένων.

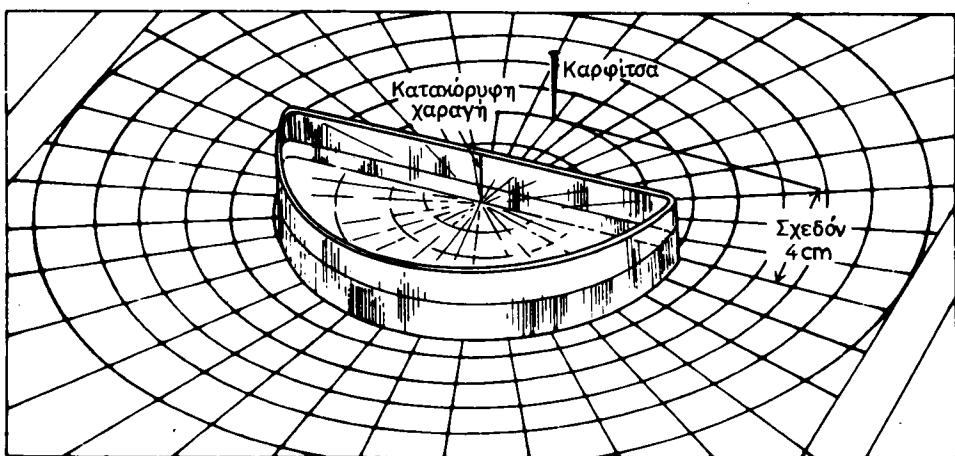
Κάρφωσε μια καρφίτσα στην ευθεία που διέρχεται κάτω από το κέντρο καμπύλοτης του κουτιού και σχηματίζει ορθή γωνία με την επίπεδη πλευρά του, όπως φαίνεται στο σχήμα. Βεβαιώσου ότι η καρφίτσα είναι κατακόρυφη.

Τώρα, παρατήρησε την καρφίτσα μέσα από το νερό, βλέποντας διά μέσου της καμπύλης πλευράς του δοχείου και μετακίνησε το κεφάλι σου, έως ότου η καρφίτσα και η κατακόρυφη χαρακιά του δοχείου συμπέσουν. Σημείωσε αυτόν τον οπτικό δρόμο του φωτός με μιαν άλλη καρφίτσα.

- Τι συμπεραίνεις για την κάμψη του φωτός, καθώς περνά από τον αέρα στο νερό και από το νερό στον αέρα με γωνία προσπτώσεως 0° ;

Άλλαξε τη θέση της πρώτης καρφίτσας, ώστε να έχεις γωνία προσπτώσεως σχεδόν 0° . Με τη δεύτερη καρφίτσα σημείωσε την τροχιά του φωτός, καθώς πάει από την πρώτη καρφίτσα στην κατακόρυφη χαρακιά του δοχείου και διά μέσου

Σχήμα 29-1



του νερού. Επανάλαβε το ίδιο για γωνίες προσπτώσεως έως 80° περίπου. Για να έχεις καθαρό είδωλο της πρώτης καρφίτσας για τις μεγάλες γωνίες, δεν πρέπει να την έχεις τοποθετήσει σε απόσταση μεγαλύτερη από 4 cm από την κατακόρυφη χαρακιά του δοχείου. Πιθανόν όμως, για μεγάλες γωνίες προσπτώσεως, να χρειαστεί να μετακινήσεις την πρώτη καρφίτσα πλησιέστερα προς την κατακόρυφη χαρακιά, ώστε να πάρεις περισσότερο ευχρινές είδωλο της καρφίτσας (οι τρύπες από τις καρφίτσες επάνω στο χαρτί δίνουν μια μόνιμη καταγραφή των γωνιών).

- Η διαφορά μεταξύ των γωνιών προσπτώσεως και διαθλάσεως είναι σταθερή;

Κάνε το διάγραμμα της γωνίας προσπτώσεως (i) ως συνάρτηση της γωνίας διαθλάσεως (r). (Το γεγονός ότι σε αυτό το πείραμα η γωνία προσπτώσεως είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, μην σε ενοχλεύ).

- Ο λόγος της γωνίας i ως προς τη γωνία r είναι σταθερός σε κάθε τμήμα του διαγράμματος;
- Αν ναι, έκφρασε τη σχέση μεταξύ i και r ως εξίσωση.
- Η διαδρομή του φωτός διά μέσου του νερού είναι αντιστρεπτή; Ερεύνησε το με την πειραματική διάταξή σου.

Αν ο χρόνος το επιτρέπει, επανάλαβε το πείραμα με άλλο υγρό και φτιάξε πάλι το διάγραμμα της γωνίας προσπτώσεως ως προς τη γωνία διαθλάσεως.

- Μήπως αυτό το υγρό διαθλά το φως διαφορετικά από το νερό;

Κάνε το διάγραμμα $\sin i$ ως προς $\sin r$.

- Ποια απλή μαθηματική σχέση νομίζεις ότι περιγράφει καλύτερα τη διάθλαση του φωτός, για όλο το εύρος των γωνιών προσπτώσεως;

30

Είδωλα που σχηματίζονται σε επίπεδο καθρέφτη

Παράλλαξη

Κράτησε ένα μολύβι κατακόρυφα, έχοντας το χέρι σου τεντωμένο. Στο άλλο χέρι κράτησε ένα δεύτερο μολύβι, 15 cm περίπου πιο μπροστά και στην ίδια ευθεία με το πρώτο. Κρατώντας τα μολύβια ακίνητα κοίταξέ τα, καθώς στρέφεις το κεφάλι σου από τη μια πλευρά στην άλλη.

- Με ποιο τρόπο φαίνεται να κινείται το πλησιέστερο μολύβι σε σχέση με αυτό που είναι πίσω του, όταν στρέφεις το κεφάλι προς τα αριστερά;

Τώρα, φέρε τα μολύβια πλησιέστερα το ένα στο άλλο και παρατήρησε τη φαινομενική σχετική κίνησή τους, καθώς στρέφεις το κεφάλι σου.

- Πού πρέπει να βρίσκονται τα μολύβια, αν δεν υπάρχει φαινομενική σχετική κίνηση, δηλαδή παράλλαξη, μεταξύ τους;

Μπορείς να χρησιμοποιήσεις την παράλλαξη για να προσδιορίσεις το είδωλο ενός καρφιού σε επίπεδο κάτοπτρο. Στήριξε κατακόρυφα στο τραπέζι πειραμάτων επίπεδο καθρέφτη (κάτοπτρο) στερεώνοντας τον με ένα λάστιχο σε ξύλινο υποστήριγμα καταλλήλων διαστάσεων. Στήριξε όρθιο στο κεφάλι του ένα καρφί, σε απόσταση 10 cm περίπου από τον καθρέπτη.

- Πού νομίζεις ότι σχηματίζεται το είδωλο του καρφιού;

Κίνησε το κεφάλι σου από τη μια πλευρά στην άλλη, καθώς κοιτάς το καρφί και το είδωλό του.

- Το είδωλο βρίσκεται μπροστά, στην ίδια θέση ή πίσω από το καρφί

Προσδιόρισε τη θέση του ειδώλου του καρφιού, κινώντας γύρω γύρω ένα δεύτερο καρφί μέχρι τη θέση που δεν υπάρχει παράλλαξη μεταξύ αυτού και του ειδώλου του πρώτου καρφιού. Με τον ίδιο τρόπο προσδιόρισε τη θέση του ειδώλου για διάφορες θέσεις του αντικειμένου.

- Πώς συγκρίνονται μεταξύ τους οι αποστάσεις του ειδώλου και του αντικειμένου από την επιφάνεια ανακλάσεως του καθρέπτη;

Ιχνηλασία της φωτεινής ακτίνας

Μπορείς επίσης να προσδιορίσεις τη θέση ενός αντικειμένου, χαράσσοντας ακτίνες, που δείχνουν τη διεύθυνση που ακολουθεί το φως, από το αντικείμενο προς το μάτι σου. Κάρφωσε κατακόρυφα μια καρφίτσα σε φύλλο χαρτιού, τοποθετημένο σε φύλλο από μαλακό χαρτόνι. Αυτή θα είναι το αντικείμενο (η

αντικειμενική καρφίτσα). Σημείωσε τη διεύθυνση, από την οποία το φως από την καρφίτσα φτάνει στο μάτι σου, καρφώνοντας δύο ακόμα καρφίτσες στο χαρτί, κατά μήκος του οπτικού δρόμου της ακτίνας. Όταν καρφώσεις τις καρφίτσες, το μάτι σου πρέπει να δρίσκεται σε απόσταση τεντωμένου χεριού έτσι, ώστε και οι τρεις καρφίτσες να είναι ταυτόχρονα ορατές καθαρά. Παρατήρησε την αντικειμενική καρφίτσα από διάφορες κατευθύνσεις, που να διαφέρουν πολύ μεταξύ τους και σημάδεψε με περισσότερες καρφίτσες τους νέους οπτικούς δρόμους των ακτίνων προς την αντικειμενική καρφίτσα.

- Πού αυτοί οι οπτικοί δρόμοι των ακτίνων τέμνονται;

Μπορείς να χρησιμοποιήσεις την ίδια μέθοδο, για να προσδιορίσεις τη θέση ενός ειδώλου. Σε κατάλληλο φύλλο χαρτιού, προσδιόρισε τη θέση του ειδώλου μιας καρφίτσας, που σχηματίζεται σε επίπεδο κάτοπτρο, σχεδιάζοντας τουλάχιστον τρεις ακτίνες, από πολύ διαφορετικές μεταξύ τους διευθύνσεις. Σημείωσε τη θέση του καθρέπτη πριν τον μετακινήσεις.

- Πού (σε ποιο σημείο) συγκλίνουν οι οπτικοί δρόμοι των ακτίνων;

Σύρε γραμμές (ακτίνες) που να δείχνουν τη διαδρομή του φωτός από την αντικειμενική καρφίτσα στα σημεία του καθρέπτη, από όπου το φως ανακλάται προς το μάτι σου.

- Η θέση του ειδώλου δρίσκεται επάνω στο σημείο συγκλίσεως; Πώς μπορείς να το υποστηρίξεις;

Τοποθέτησε στο χαρτί δύο καθρέπτες έτσι, ώστε να σχηματίζουν ορθή γωνία και στη συνέχεια τοποθέτησε κάπου ανάμεσά τους ένα καρφί που να παίξει το ρόλο του αντικειμένου. Προσδιόρισε με τη μέθοδο της παραλλάξεως όλα τα είδωλα. Με βάση τα όσα έχεις μάθει στο πείραμα αυτό για την ανάκλαση, δείξε ότι αυτά τα είδωλα δρίσκονται εκεί, όπου θα περίμενες να δρίσκονται.

31

Είδωλα που σχηματίζονται από φακούς

Φακός συγκλίσεως

Εξέτασε ένα αντικείμενο μέσα από φακό συγκλίσεως.

- Το είδωλο που διέπεις είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το αντικείμενο;
- Είναι όρθιο ή αναστραμμένο;
- Όταν μετακινείς το φακό, το μέγεθος και η θέση του ειδώλου μεταβάλλονται, σε σχέση με το ακίνητο αντικείμενο;

Για να μελετήσεις τα είδωλα που σχηματίζονται από το φακό συγκλίσεως τοποθέτησε ένα φακό και ένα λαμπάκι κατά μήκος μακρόστενης λωρίδας χαρτιού, όπως φαίνεται στο σχήμα 31-1. Ξεκίνησε με το λαμπάκι στο ένα άκρο της λωρίδας και προσδιόρισε το είδωλό του με παράλλαξη.

- Είναι το είδωλό του όρθιο ή αναστραμμένο;

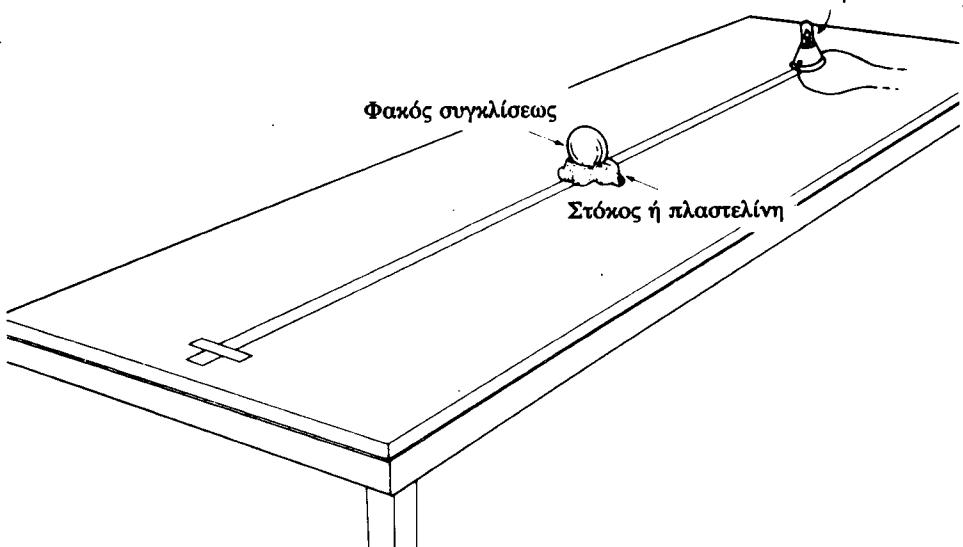
Τώρα μετακίνησε το αντικείμενο προς το φακό λίγο λίγο, σημαδεύοντας και χαρακτηρίζοντας τη θέση και των δύο, αντικειμένου και ειδώλου, καθώς προχωρείς. Συνέχισε, έως ότου το είδωλο σχηματισθεί πέρα από την άκρη της λωρίδας και δεν μπορεί πλέον να σημειωθεί η θέση του.

- Πώς συγκρίνεται η μεταβολή της θέσεως του ειδώλου σε σχέση με το αντικείμενο;
- Πού περιμένεις να σχηματισθεί το είδωλο επάνω στη χαρτοταπιά, όταν το αντικείμενο βρίσκεται αρκετά μέτρα μακριά; Επαλήθευσέ το.

Με το αντικείμενο πολύ μακριά, ίσως δρεις ευκολότερο το να προσδιορίσεις το είδωλό του σε φύλλο χαρτιού. Η θέση του ειδώλου, όταν το αντικείμενο

Αντικείμενο

Σχήμα 31-1



βρίσκεται πολύ μακριά, είναι η κύρια εστία του φακού.

- Πώς μπορείς να βεβαιωθείς ότι ο φακός έχει δύο κύριες εστίες, μια από την κάθε πλευρά, και σε ίσες αποστάσεις από το οπτικό κέντρο του;

Τώρα τοποθέτησε το λαμπάκι όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το φακό και προσδιόρισε πάλι το είδωλό του με παράλλαξη.

- Είναι το είδωλο αναστραμμένο ή όρθιο;

Απομάκρυνε πάλι το αντικείμενο σιγά σιγά από το φακό, σημαδεύοντας και χαρακτηρίζοντας τη θέση του αντικειμένου και του ειδώλου με έναν αριθμό, μέχρις ότου το είδωλο βρεθεί έξω από τη χαρτοτανία.

Μέτρησε τις αποστάσεις S_o και S_i του αντικειμένου και του ειδώλου από τις κύριες εστίες αντίστοιχα, για τα ζεύγη των σημείων. (Η απόσταση S_o μετριέται από την κύρια εστία προς την πλευρά του αντικειμένου, ενώ η απόσταση S_i μετριέται πάντοτε από την κύρια εστία προς την αντίθετη από το αντικείμενο πλευρά). Καθώς η απόσταση S_i σαφώς ελαττώνεται, όταν η απόσταση S_o αυξάνει, προσπάθησε να κατασκευάσεις το διάγραμμα S_i ως συνάρτηση $1/S_o$.

- Τί συμπεραίνεις για τη μαθηματική σχέση μεταξύ S_o και S_i ;
- Πού θα βρεθεί το είδωλο, αν το αντικείμενο τοποθετηθεί στην κύρια εστία;

Μπορείς να το δεις;

Φακός αποκλίσεως

Μπορείς να μελετήσεις τις ιδιότητες του φακού αποκλίσεως, σχηματίζοντας είδωλα όπως με το φακό συγκλίσεως. Ωστόσο, μπορείς επίσης να ερευνήσεις τις ιδιότητες ενός φακού, παρατηρώντας τα αποτελέσματά του σε μια παράλληλη δέσμη φωτός. Για να πάρεις μια παράλληλη δέσμη, μπορείς να τοποθετήσεις ένα λαμπάκι στην κύρια εστία ενός φακού συγκλίσεως. Είναι προτιμότερο να εργασθείς με λεπτή δέσμη, την οποία μπορείς να φτιάξεις προσαρμόζοντας το φακό συγκλίσεως ακριβώς πίσω από διάφραγμα με μικρή, στρογγυλή τρύπα. Φακός και διάφραγμα μπορούν να στερεωθούν μαζί, με ένα κομμάτι πλαστελίνης.

Τώρα, άφησε την παράλληλη δέσμη να διέλθει από τον φακό αποκλίσεως και να πέσει σε φύλλο χαρτιού. Μέτρησε τη διάμετρο του φωτεινού κύκλου για διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ χαρτιού και φακού. Φτιάξε το διάγραμμα της διαμέτρου του κύκλου ως προς την απόσταση.

- Από αυτό το διάγραμμα μπορείς να βρεις την εστιακή απόσταση;
- Μπορείς να πάρεις μεγεθυμένο είδωλο με φακό αποκλίσεως;
- Μπορείς να πάρεις πραγματικό είδωλο με φακό απόκλισεως;

Τώρα, τοποθέτησε το λαμπάκι σε μια από τις κύριες εστίες. Προσπάθησε να εκτιμήσεις το μέγεθος του ειδώλου σε σύγκριση με το μέγεθος του αντικειμένου και να βρεις πόσο μακριά από το φακό σχηματίζεται το είδωλο.

- Πώς μπορείς να υποστηρίξεις τα συμπεράσματά σου θεωρητικά – για παράδειγμα, σχεδιάζοντας ακτίνες από την κορυφή του αντικειμένου;

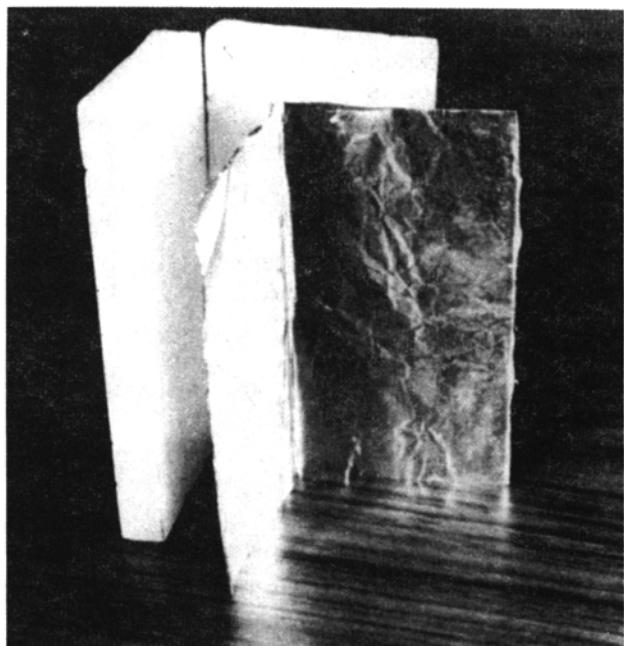
32

Η ένταση φωτεινής ροής ως συνάρτηση της αποστάσεως

Δίπλωσε στη μέση ένα κομμάτι αλουμινόχαρτου, με τη γυαλιστερή πλευρά του προς τα έξω, και συμπίεσέ το, σαν σάντουιτς, μεταξύ δύο παραλληλογράμμων κομματιών παραφίνης ίσων με αυτό διαστάσεων, όπως φαίνεται στο σχήμα 32-1.

- Καθώς παρατηρείς κατά μήκος του επιπέδου του αλουμινόχαρτου τη διάταξη παραφίνης-αλουμινόχαρτου, ποιο από τα δύο κομμάτια της παραφίνης φαίνεται περισσότερο φωτεινό;
- Το ίδιο κομμάτι παραφίνης παραμένι πιο φωτεινό, όταν περιστρέψεις το σύστημα;
- Μπορείς να τοποθετήσεις τη διάταξη με τέτοιο τρόπο, ώστε και τα δύο κομμάτια παραφίνης να φαίνονται το ίδιο φωτεινά;

Προφανώς, τα κομμάτια της παραφίνης φαίνονται το ίδιο φωτεινά, όταν οι αντίθετες όψεις τους φωτίζονται με την ίδια ένταση (φωτισμό). Μπορείς να



Σχήμα 32-1

Ψαλίδισε τις προεξοχές του αλουμινόχαρτου και χρησιμοποίησε δύο λάστιχα, για να συγκρατήσεις «κολλημένη» τη διάταξη πλακών παραφίνης-αλουμινόχαρτου.

χρησιμοποιήσεις αυτή τη διάταξη πλακών παραφίνης-αλουμινόχαρτου, για να καθορίσεις σε ποια απόσταση δύο, τρεις και τέσσερις πρότυπες φωτεινές πηγές θα προκαλούν την ίδια ένταση φωτεινής φοής (ίσο φωτισμό), όπως ακριβώς την προκαλεί μία πρότυπη φωτεινή πηγή σε δεδομένη μοναδιαία απόσταση. Η όλη πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 32-2. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες ενέργειες που πρέπει να δρεις και να τις κάνεις μόνος σου.

Για να έχεις αξιόπιστα αποτελέσματα, πρέπει να ελαχιστοποιήσεις τον τυχαίο (διάχυτο) φωτισμό από το περιβάλλον. Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να τον εξαλείψεις, φρόντισε να είναι κατανεμημένος ομαλά. (Σημείωσε ότι πετάσματα, τοποθετημένα για να προστατεύσουν το πείραμα από το φως των γειτονικών πειραματικών διατάξεων, ίσως ανακλούν φως από τους δικούς σου λαμπτήρες και έτσι κάνουν περισσότερο κακό παρά καλό).

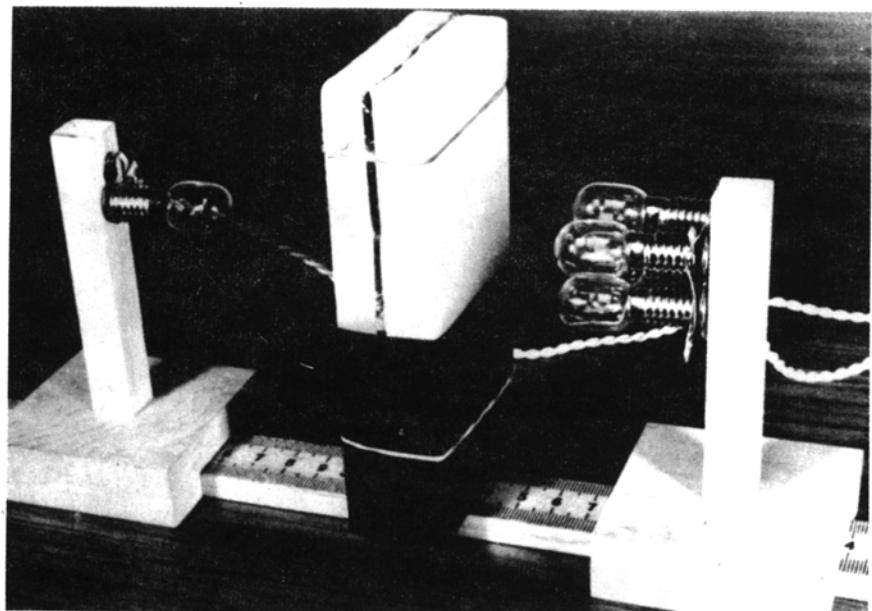
- Τι μπορείς να κάνεις γι' αυτό;

Για μεγαλύτερη μείωση του διάχυτου φωτός, θα πρέπει το άμεσο φως να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ισχυρό.

- Πώς θα το επιτύχεις αυτό;

Αν και οι τέσσερις λαμπτήρες είναι τόσο κοντά ο ένας στον άλλο, όσο αυτό είναι δυνατόν, κανείς δεν είναι ακριβώς απέναντι από τον πρότυπο λαμπτήρα.

- Νομίζεις ότι ο τρόπος τοποθετήσεως των λαμπτήρων παίζει σπουδαίο ρόλο, όταν αυτοί βρίσκονται κοντά στην πλάκα παραφίνης ή όταν είναι πιο μακριά;
- Πώς επηρεάζει την απάντησή σου στην τελευταία ερώτηση η απάντησή σου σε μια προηγούμενη;



Σχήμα 32-2

Το μαύρο χαρτί στο κάτω μέρος της διατάξεως πλακών παραφίνης-αλουμινόχαρτου, ίσως σε δοηθήσει να εστιάσεις την προσοχή σου στο τμήμα της πλάκας της παραφίνης, που είναι πλησιέστερα στους λαμπτήρες. Βεβαιώσου ότι χρησιμοποιείς για τους λαμπτήρες τη σωστή τάση λειτουργίας.

Αφού έχεις δημιουργήσει τις συνθήκες, υπό τις οποίες ο καθένας από τους τέσσερις λαμπτήρες φωτίζει τις πλάκες της παραφίνης με φωτισμό (ένταση φωτεινής ροής) σχεδόν ίσο με αυτό του πρότυπου λαμπτήρα, είσαι έτοιμος για το κύριο μέρος του πειράματος. Για να δρεις τις αποστάσεις, στις οποίες δύο, τρεις και τέσσερις λαμπτήρες ισοσταθμίζουν τον πρότυπο λαμπτήρα σε σταθερή απόσταση, είναι καλύτερα να προσεγγίσεις αυτές τις αποστάσεις και από τις δύο διευθύνσεις αρκετές φορές και να υπολογίσεις τη μέση τιμή.

Έστω ότι είναι π ο αριθμός των λαμπτήρων, d η απόστασή τους από την όψη της πλάκας παραφίνης και I ο φωτισμός* στην όψη της πλευράς. Τότε το σωματιδιακό μοντέλο για το φως προβλέπει $I = \text{σταθερά} \cdot \frac{n}{d^2}$

- Πώς θα μπορούσες να παρουσιάσεις τα πειραματικά σου δεδομένα, για να ελέγξεις κατά πόσον συμφωνούν με αυτήν την πρόβλεψη;
- Τι δρίσκεις;

* Φωτισμός που προέρχεται από σημειακή φωτεινή πηγή (σ.τ.μ.).

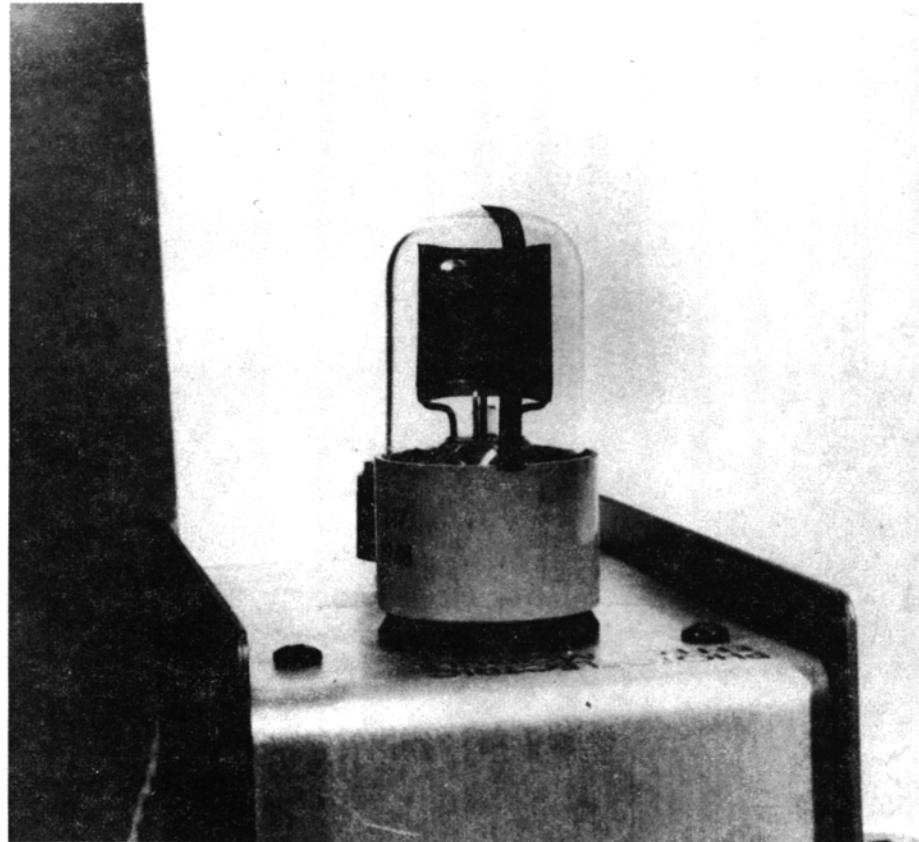
Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

33

Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ορισμένων ουσιών, ελευθερώνει ηλεκτρόνια (δες τα σχήματα 20-5 και 20-6 στο βιβλίο σου). Ο σκοπός αυτού του πειράματος είναι διπλός:

- 1) Να δρεις πώς ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται ανά δευτερόλεπτο (το ρεύμα δηλαδή) εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής ροής, και
- 2) Να δρεις τι καθορίζει τη μέγιστη κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων.

Στο σχήμα 33-1 φαίνεται το φωτοκύτταρο που θα χρησιμοποιήσεις. Η μαύρη ταινία στην εμπρόσθια όψη του φωτοκύτταρου είναι για να προστατεύει την άνοδο από την πρόσπτωση φωτός και την εκπομπή ηλεκτρονιών από αυτήν. Σήκωσε το κάλυμμα του φωτοκύτταρου, για να βεβαιωθείς ότι, όταν έχεις τη φωτεινή πηγή στη θέση της, απέναντι στο φωτοκύτταρο, η άνοδος καλύπτεται με τη σκιά της ταινίας.



Σχήμα 33-1

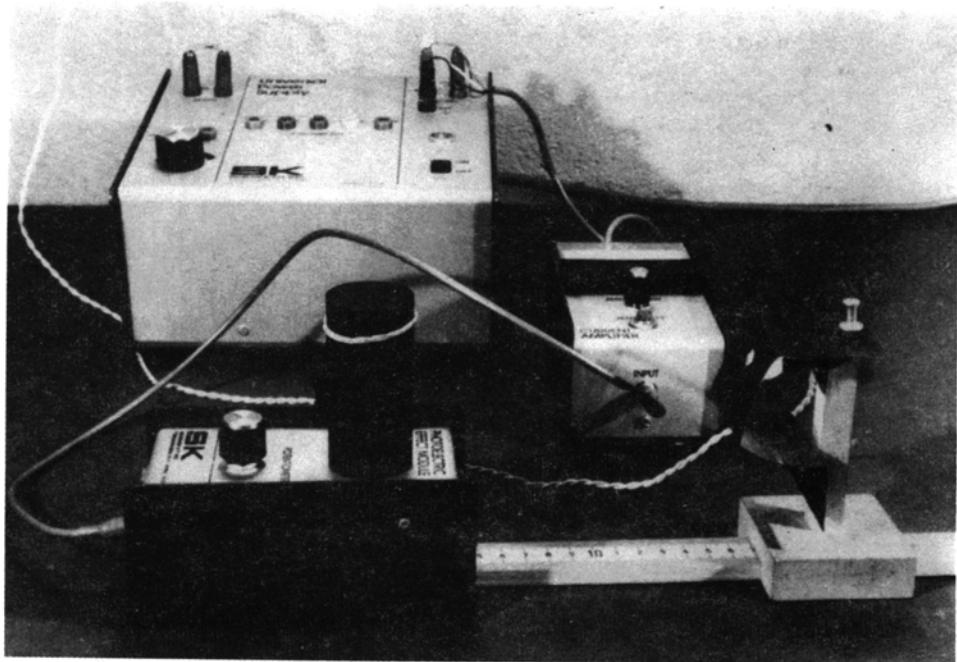
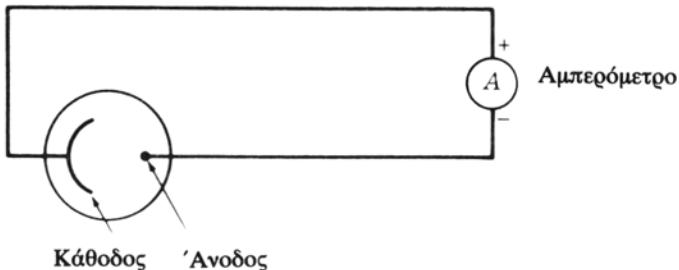
Το φωτοκύτταρο κενού. Η ημικυλινδρική μεταλλική επιφάνεια είναι η κάθοδος, που, όταν προσβάλλεται από το φως, εκπέμπει ηλεκτρόνια. Το ευθύγραμμο σύρμα απέναντι από την κάθοδο είναι η άνοδος, που συλλέγει τα ηλεκτρόνια που εκπέμπονται.

Όταν το φωτοκύτταρο εκτίθεται στο φως, συμπεριφέρεται ως μπαταρία, που ωθεί τα ηλεκτρικά φορτία κατά μήκος κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος. Έτσι, για να μετρηθεί το ρεύμα, το μόνο που χρειάζεται είναι να κλείσουμε το κύκλωμα και να παρεμβάλλουμε αμπερόμετρο (σχ. 33-2). Ωστόσο, το φωτορεύμα είναι πάρα πολύ μικρό για να μετρηθεί ακόμα και με μιλιαμπερόμετρο, και απαιτείται πολύ πιο ευαίσθητος μετρητής ρεύματος, που πρέπει να συνδεθεί στην κατάλληλη ηλεκτρική πηγή. Η διευθέτηση της πειραματικής διατάξεως φαίνεται στο σχήμα 33-3.

Στο προηγούμενο πείραμα βρήκες πώς ο φωτισμός από σημειακή φωτεινή πηγή μεταβάλλεται με την απόσταση.

- Πώς μπορείς να χρησιμοποιήσεις τα συμπεράσματά σου από το προηγούμενο πείραμα, για να μελετήσεις τον τρόπο, από τον οποίο εξαρτάται το φωτορεύμα από τη φωτεινή ροή;
- Πώς θα εκλέξεις την απόσταση της φωτεινής πηγής από το φωτοκύτταρο, για να πάρεις περισσότερο αξιόπιστες μετρήσεις;

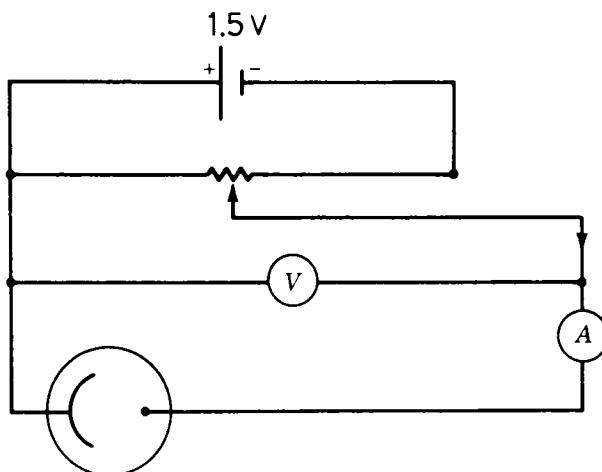
Σχήμα 33-2



Σχήμα 33-3

Όταν το άκρο του χάρακα είναι κοντά στο πίσω μέρος της ακμής στην αποκάτω επιφάνεια της βάσεως του συστήματος με το φωτοκύτταρο, η κάθοδος του φωτοκύτταρου είναι επάνω από το μηδέν του χάρακα. Βεβαίωσου ότι ο λαμπτήρας είναι συνδεδεμένος με τη σωστή τάση λειτουργίας.

Σχήμα 33-4



- Αυτή η σχέση φωτορεύματος-φωτεινής ροής, είναι η ίδια για φωτεινή δέσμη πράσινου χρώματος και μπλε ή ιώδους;

Για να μετρηθεί η μέγιστη κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων, εισάγομε μια τάση αποκοπής (αρνητική τάση) στο κύκλωμα (σχ. 33-4). Με μια τάση αποκοπής στο κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια πρέπει να «τρέξουν στον ανήφορο», για να φθάσουν στην άνοδο. Για την τάση αποκοπής V_o , που μηδενίζει το ρεύμα, έχουμε για την ενέργεια των ηλεκτρονίων $eV_o = E_{K_{max}}$. Η ανεύρεση αυτής της τάσεως δεν είναι εύκολη και απαιτεί προσεκτική εργασία. Οι παρακάτω υποδείξεις θα σε βοηθήσουν να πάρεις μετρήσεις που μπορούν να αναπαραχθούν.

Πρώτα πρέπει να βεβαιωθείς ότι το όργανο μετρήσεως του ρεύματος έχει σωστή ρύθμιση μηδενός. Με το κουμπί ρυθμίσεως του ποτενσιόμετρου όλο γυρισμένο κατά τη φορά την αντίθετη προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού σκέπασε το φωτοκύπταρο με την παλάμη σου έτσι, ώστε να μην προσβάλλεται από το φως. Πίεσε το διακόπτη ευαισθησίας στο όργανο μετρήσεως ρεύματος και περίστρεψε το κουμπί ρυθμίσεως μηδενός, μέχρις ότου ο δείκτης του οργάνου δείξει μηδέν.

Με τα φώτα του εργαστηρίου όσο γίνεται πιο αμυδρά (χαμηλωμένα), άνοιξε τη φωτεινή πηγή και περίστρεψε το κουμπί του ποτενσιόμετρου αργά, κατά την κίνηση των δεικτών του ρολογιού.

- Μειώνεται το ρεύμα;
- Αν όχι, τι λάθος έκανες και πώς μπορείς να το διορθώσεις;

Όταν το ρεύμα είναι σχεδόν μηδέν, πίεσε το διακόπτη ευαισθησίας και περίστρεψε το ρυθμιστή του ποτενσιόμετρου μέχρι τη θέση μηδέν, ενώ ο διακόπτης ευαισθησίας είναι πατημένος. Στο στάδιο αυτό πρέπει ο συνεργάτης σου στο πειράμα να κινήσει το χέρι του στο χώρο μεταξύ της φωτεινής πηγής και του φωτοκύπταρου. Συνέχισε να ρυθμίζεις το ποτενσιόμετρο, έως ότου η κίνηση του χεριού, μέσα ή έξω από τη διαδρομή του φωτός, σταματήσει να φέρνει αποτελέσματα. Αυτό είναι το πλέον κρίσιμο σημείο του πειράματος. Όταν φθάσεις σ' αυτό, διάβασε την ένδειξη του βολτόμετρου.

Εξασκήσου στη διαδικασία αυτή αρκετές φορές και αντάλλαξε ρόλους με το συνεργάτη σου. Αφού λάβεις μετρήσεις κατάλληλες για επεξεργασία, απάντησε στις παρακάτω ερωτήσεις:

- Η τάση αποκοπής εξαρτάται από την ένταση φωτεινής ροής της δοσμένης χρωματιστής φωτεινής δέσμης;
- Η μέγιστη κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από την ένταση φωτεινής ροής;
- Η τάση αποκοπής εξαρτάται από το χρώμα του φωτός;
- Η μέγιστη κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από το χρώμα της φωτεινής δέσμης;

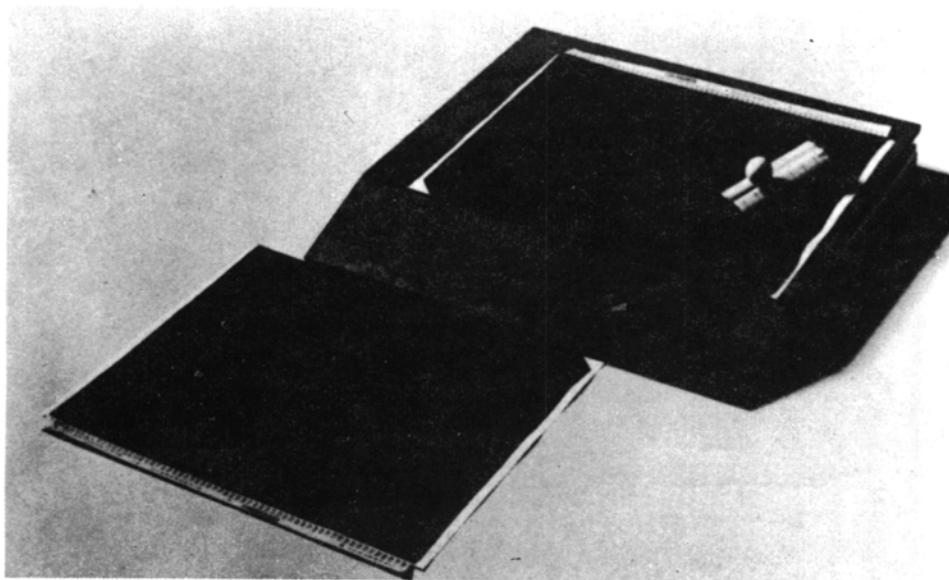
34

Το σωματιδιακό μοντέλο του Νεύτωνα για τη διάθλαση του φωτός

Όταν σε σωματίδιο που κινείται με σταθερή ταχύτητα δοθεί δυνατό φύσημα, η ταχύτητά του θ' αλλάξει απότομα. Και θα συνεχίσει να κινείται κατόπιν με τη νέα σταθερή ταχύτητά του. Ο Νεύτων (Isaac Newton) υπέθεσε ότι μια τέτοια ξαφνική δύναμη ασκείται στα σωματίδια του φωτός στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων, όπως το γυαλί και ο αέρας ή το νερό και ο αέρας. Στο μοντέλο του Νεύτωνα αυτή η δύναμη ασκείται κάθετα ως προς τη διαχωριστική επιφάνεια.

Μπορείς να φτιάξεις ένα μηχανικό ανάλογο προς το αφηρημένο μοντέλο του Νεύτωνα, με την πειραματική διάταξη που δείχνει το σχήμα 34-1.

Ένα χαλύβδινο σφαιρίδιο που κυλέται κατά μήκος οριζόντιας επιφάνειας, κινείται ευθύγραμμα με σχεδόν σταθερή ταχύτητα. Αν κεκλιμένη επιφάνεια παρεμβληθεί πλαγίως στην τροχιά του σφαιριδίου, η ταχύτητα, που αποκτά στη διαδρομή του κατά μήκος αυτής της επιφάνειας, θ' αλλάξει την αρχική του κατεύθυνση. Και αφήνοντας την κεκλιμένη επιφάνεια, θα κινηθεί ευθύγραμμα σε διαφορετική όμως διεύθυνση από την αρχική του.



Σχήμα 34-1

Τοποθέτησε κατάλληλα τις δύο οριζόντιες επιφάνειες έτσι, ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του κεκλιμένου επιπέδου. Βεβαιώσου ότι οι δύο οριζόντιες επιφάνειες είναι λείες. Κόλλησε με σελοτέπ ένα φύλλο άσπρου χαρτιού στην κάθε επιφάνεια έτσι, που οι άκρες του να εφάπτονται με την επάνω και κάτω ακμή του κεκλιμένου επιπέδου και τέλος τοποθέτησε από ένα φύλλο καρμπόν επάνω στα φύλλα του χαρτιού.

Η τροχιά του σφαιριδίου, που κινείται με αυτό τον τρόπο, μοιάζει με την τροχιά φωτεινής ακτίνας, καθώς διαθλάται, περνώντας λ.χ. από τον αέρα στο γυαλί. Το σφαιρίδιο, κατά τη διαδρομή του από την κορυφή στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου, αλλάζει διεύθυνση, όπως το φως αλλάζει διεύθυνση στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ δύο μέσων. Στο μοντέλο μας, επομένως, το επάνω επίπεδο αντιστοιχεί στο ένα μέσο (τον αέρα), ενώ το χαμηλότερο επίπεδο αντιστοιχεί στο άλλο μέσο (το γυαλί). Το κεκλιμένο επίπεδο αντιστοιχεί στη μεταξύ τους διαχωριστική επιφάνεια.

Εξέτασε τις τροχιές των «διαθλωμένων» σφαιριδίων, για να διαπιστώσεις κατά πόσο αλλάζουν κατεύθυνση, ακολουθώντας το νόμο του Snell. Άφησε τα χαλύβδινα σφαιρίδια να κυλήσουν σε ολόκληρο το μήκος του κεκλιμένου επιπέδου, προσπέφτοντας πλάγια στην ακμή του από διαφορετικές διευθύνσεις, που θ' αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες προσπτώσεως. Αφαίρεσε το καρπόν και χαρακτήρισε μ' έναν αριθμό την τροχιά του σφαιριδίου στο επάνω και στο κάτω επίπεδο, μετά από την κάθε διαδρομή.

- Γιατί πρέπει να είσαι προσεκτικός, ώστε το σφαιρίδιο ν' αρχίζει τη διαδρομή του από το ίδιο σημείο του κεκλιμένου επιπέδου;

Μέτρησε και κατάγραψε τις γωνίες προσπτώσεως και ανακλάσεως, ως προς τις καθέτους στις οριζόντιες πλευρές της επιφάνειας του κεκλιμένου επιπέδου.

- Αυτές οι αλλαγές διεθύνσεως του σφαιριδίου μπορούν να περιγραφούν από το νόμο του Snell;
- Τι προβλέπει αυτό το σωματιδιακό μοντέλο του φωτός για την ταχύτητα του φωτός στο νερό, σε σύγκριση με την ταχύτητά του στον αέρα;

Κύματα σε σπειροειδές ελατήριο

35

Πιθανό να έχεις παρατηρήσει διάφορα είδη κυμάτων, αλλά μάλλον δεν έχεις πειραματισθεί με αυτά. Με το πείραμα αυτό θ' αρχίσεις λεπτομερή μελέτη των κυμάτων.

Διάδοση

Ενώ ο συμμαθητής σου, που κάνετε μαζί το πείραμα, κρατά το ένα άκρο σπειροειδούς ελατηρίου στο λείο πάτωμα, εσύ τράβηξε το άλλο άκρο μέχρι το ελατήριο να τεντωθεί σε μήκος 10 μέτρων περίπου. Με λίγη εξάσκηση θα μάθεις να δημιουργείς ένα μικρό παλμό, που να παρατηρείται εύκολα. Παρατήρησε τον παλμό αυτό, καθώς κινείται κατά μήκος του ελατηρίου.

- Αλλάζει το σχήμα του;
- Μεταβάλλεται η ταχύτητά του;

Δημιουργησε μερικούς παλμούς διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων.

- Η ταχύτητα διαδόσεως εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα του παλμού;

Για να υπολογίσεις την ταχύτητα με μεγαλύτερη ακρίβεια, άφησε τον παλμό να πάει μπροσ-πίσω μερικές φορές, υποθέτοντας ότι η ταχύτητα του παλμού δεν αλλάζει κατά την ανάλαση.

- Πώς θα ελέγξεις αυτή την υπόθεση;

Μετάβαλε την τάση στο ελατήριο.

- Επιδρά αυτό στην ταχύτητα του παλμού;
- Νομίζεις ότι δύο ελατήρια από το ίδιο υλικό, τεντωμένα σε διαφορετικό μήκος αποτελούν το ίδιο ή διαφορετικά μέσα διαδόσεως;

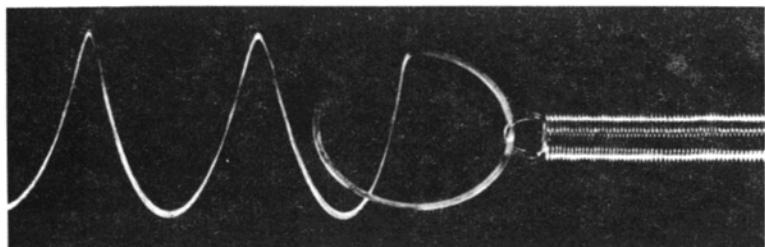
Επαλληλία (συμβολή)

Εσύ και ο συμμαθητής σου μπορείτε να δημιουργήσετε δυο παλμούς ταυτοχρόνως. Προσπαθήστε το με παλμούς διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων, που διατρέχουν το ελατήριο, αφ' ενός κατά την ίδια διεύθυνση και αφ' ετέρου κατά αντίθετες διευθύνσεις.

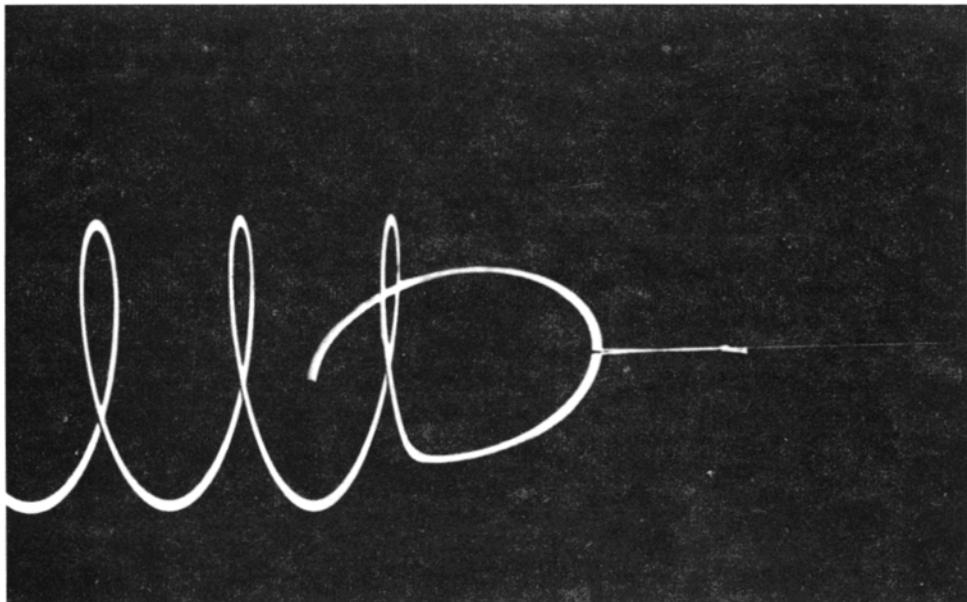
- Τι συμβαίνει στους παλμούς, μόλις συναντηθούν;

Μπορείς να προσδιορίσεις τη μέγιστη μετατόπιση του ενός παλμού, κινώντας το χέρι σου σε μετρημένη από πριν απόσταση, καθώς τον προκαλείς.

Σχήμα 35-1



Σχήμα 35-2



Ένας τρίτος συμμαθητής σου μπορεί να σημειώσει με κιμωλία στο πάτωμα τη μέγιστη μετατόπιση του ελατηρίου, καθώς οι παλμοί συναντιώνται.

- Όταν συναντιώνται οι παλμοί, πόση είναι η μέγιστη μετατόπιση του ελατηρίου, σε σύγκριση με τη μέγιστη μετατόπιση του κάθε παλμού;

Ανάκλαση και μετάδοση

Μπορείς να μελετήσεις το πέρασμα των κυμάτων από το ένα μέσο διαδόσεως στο άλλο, δένοντας μαζί δύο σπειροειδή ελατήρια, στα οποία τα κύματα κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες (σχ. 35-1). Απόστειλε ένα παλμό πρώτα από τη μια διεύθυνση και κατόπιν από την άλλη.

- Τι συμβαίνει, όταν οι παλμοί φθάνουν στο σημείο που ενώνονται τα δύο ελατήρια;

Δέσε το ένα ελατήριο σε μακρύ, λεπτό νήμα (σχ. 35-2).

- Πώς ένας παλμός που κινείται κατά μήκος του ελατηρίου, ανακλάται όταν φθάσει στο νήμα;
- Πώς συγκρίνεται αυτή η ανάκλαση με αυτή, στην οποία το άκρο του ελατηρίου είναι σταθερά στερεωμένο;
- Η ταχύτητα του παλμού στο νήμα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτή στο ελατήριο;

Παλμοί στη συσκευή παραγωγής κυματισμών

36

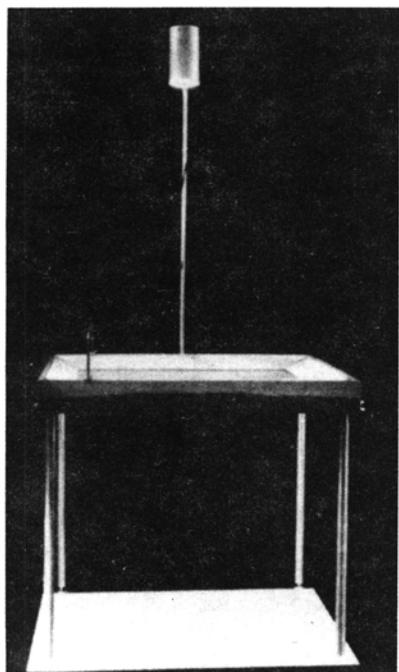
Στήσε την πειραματική διάταξη από τη συσκευή παραγωγής κυματισμών, την οθόνη και τη φωτεινή πηγή, όπως δείχνει το σχήμα 36-1. Γέμισε το δοχείο της συσκευής κυματισμών με νερό σε βάθος από 0,5 έως 0,7 cm και βεβαιώσου ότι η συσκευή είναι οριζόντια, μετρώντας το βάθος και στις τέσσερις γωνίες της. Οι πλαστικοί αποσβεστήρες προφυλάσσουν από ανεπιθύμητες ανακλάσεις από τα τοιχώματα του δοχείου. Για να παραμείνουν συνεχώς υγροί, μουσκέψτε τους κάτω από το νερό της δρύσης, όπως δείχνει το σχήμα 36-2.

Διάδοση

Τώρα διαθέτεις ένα εύχρηστο εργαλείο για τη μελέτη της συμπεριφοράς των κυμάτων. Έχει το πλεονέκτημα, ως προς το σπειροειδές ελατήριο ότι η διεύθυνση διαδόσεως των κυμάτων δεν περιορίζεται σε μια γραμμή. Για να το διαπιστώσεις άγγιξε απλώς την επιφάνεια του νερού με την άκρη του δακτύλου σου.

- Ποιο είναι το σχήμα του παλμού που διατίθεται στην οθόνη;
- Η ταχύτητα του παλμού είναι η ίδια προς όλες τις διευθύνσεις;

Μπορείς επίσης να δημιουργήσεις στη συσκευή κυμάνσεων ευθύγραμμους παλμούς*, κυλώντας ένα κυλινδρικό ραβδάκι στο νερό, κατά τμήμα μιας πλήρους περιστροφής. (Βάλε την παλάμη σου τεντωμένη στη ράχη του ραβδού και



Σχήμα 36-1



Σχήμα 36-2

* Μέτωπα επίπεδων κυμάτων (σ.τ.μ.).

κύλισέ το προς τα εμπρός κατά ένα εκατοστόμετρο περίπου, προσέχοντας να μη δρέξεις το χέρι σου). Εξασκήσου στην παραγωγή τέτοιων παλμών, μέχρις ότου επιτύχεις παλμούς που να δίνουν ευχρινή και φωτεινά είδωλα στην οθόνη.

- Οι παλμοί παραμένουν ευθύγραμμοι, καθώς κινούνται κατά μήκος της συσκευής;

Ανάκλαση

Τοποθέτησε ένα ευθύγραμμο φράγμα στο δοχείο και δημιούργησε παλμούς που να το συναντούν με γωνία προσπτώσεως 0°.

- Κατά ποια διεύθυνση ανακλώνται;

Προκάλεσε την ανάκλαση παλμών κατά διαφορετικές γωνίες προσπτώσεως.

- Οι ανακλώμενοι παλμοί είναι ευθύγραμμοι;
- Πώς σχετίζεται η γωνία ανακλάσεως με τη γωνία προσπτώσεως;

Αντί να κάνεις απευθείας μετρήσεις για ν' απαντήσεις ποσοτικά στην τελευταία ερώτηση, μπορείς να μελετήσεις μερικές καταστάσεις που θα δείξουν καθαρά τη σχέση μεταξύ των δύο αυτών γωνιών. Για παράδειγμα, παρατήρησε πώς ένας κυλινδρικός παλμός ανακλάται από ένα ευθύγραμμο εμπόδιο.

- Μπορείς να προσδιορίσεις την πραγματική πηγή του παλμού που ανακλάται (το είδωλο της πηγής του παλμού πού προσπίπτει);
- Πώς μπορείς να εξηγήσεις το αποτέλεσμα;

Προσπάθησε να προκαλέσεις ανάκλαση ευθυγράμμων παλμών, τοποθετώντας ορθογώνιο μεταλλικό έλασμα, λυγισμένο σε σχήμα παραβολής. Οι παλμοί να ανακλώνται από την κούλη μεριά της παραβολής.

- Ποιο είναι το σχήμα των παλμών που ανακλώνται;

Προσπάθησε να παρακολουθήσεις την κίνηση διαφόρων μικρών τμημάτων του παλμού και φτιάξε διάγραμμα, τραβώντας ακτίνες κατά τη διεύθυνση διαδόσεως, για να δείξεις τη διαδρομή τους.

- Πώς θα προσδιορίσεις τη διεύθυνση της κινήσεως του κάθε τμήματος;
- Πόσο μακριά από την παραβολή κατά μήκος του άξονά της συγκλίνουν οι παλμοί;
- Τι θα συμβεί, αν βυθίσεις το δάχτυλό σου στην ήρεμη επιφάνεια του νερού, στο σημείο όπου συγκλίνουν οι παλμοί;

Αν αυτή η μεταλλική παραβολή τοποθετηθεί επάνω σε λευκό χαρτί, μπορείς να παρατηρήσεις τις τροχιές του φωτός να ανακλώνται επάνω της. Χρησιμοποίησε για φωτεινή πηγή μια λάμπτα που φωτίζει από μακριά.

- Πώς συγκρίνεται η ανάκλαση του φωτός μ' αυτήν των υδάτινων κυμάτων;
- Το φως συγκλίνει στο ίδιο σημείο, όπως και τα υδάτινα κύματα;

Περιοδικά κύματα

37

Η σχέση $v = nl$, που συνδέει την ταχύτητα, τη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός περιοδικού κύματος, ισχύει για όλα τα περιοδικά κύματα. Θα εφαρμόσουμε αυτή τη σχέση τόσο για κύματα που παράγονται στη συσκευή κυματισμών όσο και σε σπειροειδές ελατήριο.

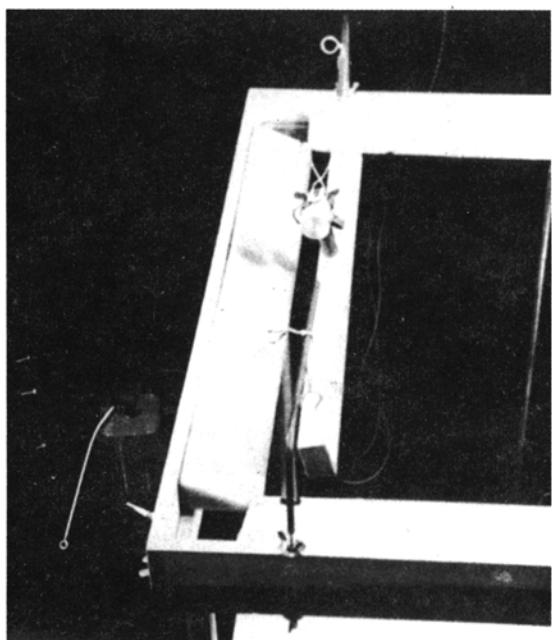
Τοποθέτησε το διεγέρτη ευθυγράμμων κυμάτων, όπως δείχνει το σχήμα 37-1, και πρόσθεσε νερό σε βάθος 5 με 8 mm περίπου. Εξασκήσου στη χρήση του για διάφορες συχνότητες. Παρατήρησε τα κύματα με το στροβοσκόπιό σου (με 2 ή 4 σχισμές ανοικτές) και «πάγωσε» την κίνησή τους.

Ρύθμισε τη γεννήτρια συχνοτήτων σε χαμηλή συχνότητα, και ο συμμαθητής σου (που κάνετε μαζί το πείραμα) ας δρει τη συχνότητα περιστροφής του στροβοσκόπιου, καθώς εσύ έχεις «πάγωσε» τα κύματα. Αυτό μπορεί να γίνει με τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ορισμένος αριθμός περιστροφών.

- Η ταχύτητα περιστροφής του στροβοσκόπιου είναι απαραίτητα ίση με τη συχνότητα των κυμάτων;
- Η απάντησή σου εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των ανοικτών σχισμών (του στροβοσκόπιου);
- Πώς μπορείς να ελέγχεις το συμπέρασμά σου αυτό; Κάνε το.

Για να δρεις το μήκος κύματος, «πάγωσε» το στιγμότυπο με το στροβοσκόπιο και ο συμμαθητής σου να τοποθετήσει δύο μολύβδια, παράλληλα προς τα κύματα και σε απόσταση αρκετών μηκών κύματος.

- Ποιο είναι το πλεονέκτημα της τοποθετήσεως των δύο μολυβδών σε απόσταση αρκετών μηκών κύματος το ένα από το άλλο;



Σχήμα 37-1

Σημείωσε ότι έχεις μετρήσει το μήκος κύματος του ειδώλου των κυμάτων στην οθόνη.

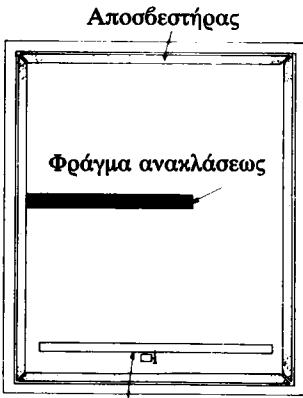
- Ποια είναι η σχέση μεταξύ του φαινόμενου μήκους κύματος, με το πραγματικό μήκος κύματος των υδάτινων κυμάτων;

Κάνε αρκετές μετρήσεις της συχνότητας και του μήκους κύματος και υπολόγισε την ταχύτητα διαδόσεως του κύματος.

- Με πόση ακρίβεια προσδιόρισες την ταχύτητα;

Το στιγμιότυπο των κυμάτων μπορεί να ακινητοποιηθεί επίσης, αν τοποθετήσουμε φράγμα (εμπόδιο) στο μέσο του δοχείου της συσκευής, όπως φαίνεται στο σχήμα 37-2. Το κύμα που προσπίπτει και το κύμα που ανακλάται προστίθενται, για να δώσουν στάσιμο σχηματισμό, δηλαδή ένα στάσιμο κύμα.

Σχήμα 37-2



Διεγέρτης ευθυγράμμων κυμάτων

- Ποια είναι η σχέση μεταξύ της αποστάσεως δύο διαδοχικών φωτεινών γραμμών κυμάνσεως στο στιγμιότυπο του στάσιμου κύματος, με την παρόμοια απόσταση στο στιγμιότυπο του τρέχοντος κύματος;
- Πώς μπορείς να μετρήσεις το μήκος κύματος από το στιγμιότυπο του στάσιμου κύματος;

Αύξησε το βάθος του νερού μέχρι τα 2 cm περίπου.

- Διατηρώντας τη συχνότητα του κύματος ίδια όπως προηγουμένως, μπορείς να ανιχνεύσεις κάποια μεταβολή στην ταχύτητα των κυμάτων;

Κινώντας το χέρι σου ελαφρά, δημιουργησε ένα περιοδικό κύμα στο σπειροειδές ελατήριο. Μετρώντας το μήκος κύματος και τη συχνότητα, προσδιόρισε την ταχύτητα του κύματος στο ελατήριο.

- Μπορείς να δημιουργήσεις στάσιμα κύματα, οποιουδήποτε μήκους κύματος νομίζεις, χωρίς να μεταβάλεις το μήκος του ελατηρίου;

Αν έχεις δύο σπειροειδή ελατήρια, στα οποία οι πάλμοι ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες, ένωσέ τα μεταξύ τους, άκρη με άκρη. Προσπάθησε να δημιουργήσεις ένα στάσιμο κύμα και στα δύο. Στερέωσε το ένα άκρο του ζεύγους των ελατηρίων σε ακλόνητο σημείο και κίνησε το άλλο άκρο.

- Πώς συγκρίνονται οι συχνότητες, τα μήκη κύματος και οι ταχύτητες στα δύο μέσα;

Διάθλαση κυμάτων

38

Στο πείραμα 37 βρήκαμε ότι η ταχύτητα των υδάτινων κυμάτων εξαρτάται από το βάθος του νερού. Επομένως, δύο διαφορετικά βάθη νερού αποτελούν δύο διαφορετικά μέσα, στα οποία τα κύματα μπορούν να διαδοθούν. Αυτό αποδεικνύει ότι τα υδάτινα κύματα μπορούν να διαθλασθούν, όπως για παράδειγμα αν τα αφήσουμε να κινηθούν από τα βαθιά, στα ρηχά νερά.

Στερέωσε παραλληλόγραμμη γυάλινη πλάκα στη συσκευή παραγωγής κυματισμών έτσι, ώστε η επάνω επιφάνειά της να είναι τουλάχιστον 1,5 cm επάνω από τον πυθμένα του δοχείου. Πρόσθεσε νερό στο δοχείο, αλλά να μην γίνει πιο βαθύ από 2 mm επάνω από την επιφάνεια της πλάκας. Βεβαιώσου ότι το βάθος του νερού είναι το ίδιο επάνω από κάθε σημείο της γυάλινης πλάκας.

- Τί προβλέπεις ότι θα συμβεί, αν ευθύγραμμα περιοδικά κύματα, που ξεκινούν από το «βαθύ» νερό περάσουν στο «ρηχό» νερό, όταν η μεταξύ των δύο μέσων διαχωριστική επιφάνεια είναι παράλληλη στη γεννήτρια (διεγέρτη) κυμάτων (σχ. 38-1);
- Θα αλλάξει η συχνότητα; Θα αλλάξει το μήκος κύματος;

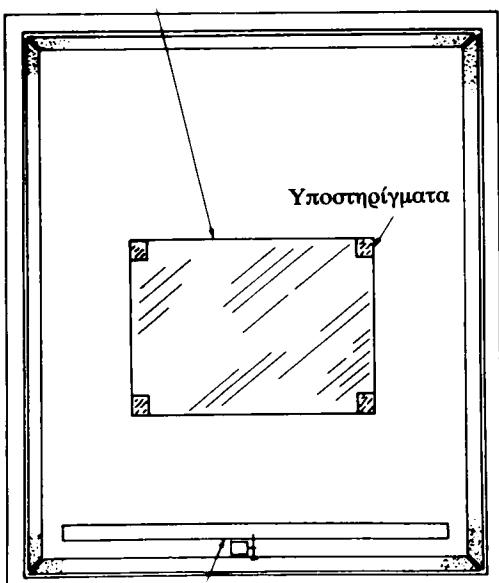
Έλεγχε την πρόδολεψή σου, χρησιμοποιώντας κύματα πολύ μικρής συχνότητας.

Τώρα, περίστρεψε τη γυάλινη πλάκα κατά τρόπο, ώστε οι μεγάλες πλευρές της να μην είναι παράλληλες πλέον στα προσπίπτονται κύματα (σχ. 38-2).

- Τα ανακλώμενα κύματα είναι ευθύγραμμα;

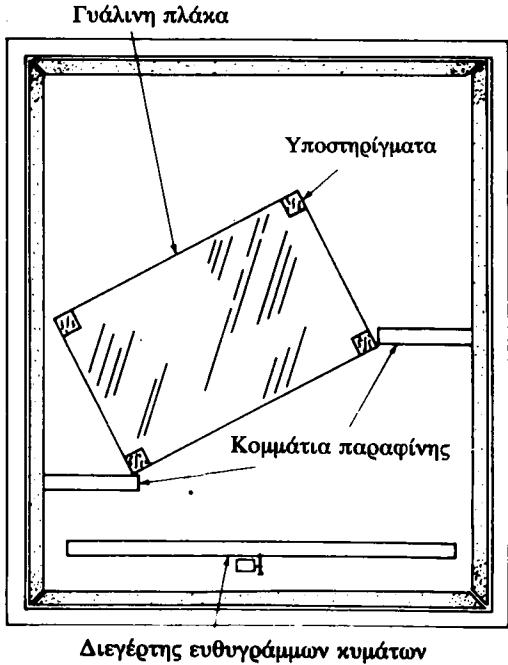
Γυάλινη πλάκα

Σχήμα 38-1



Διεγέρτης ευθυγράμμων κυμάτων

Σχήμα 38-2



- Πώς η γωνία ανακλάσεως συγκρίνεται με τη γωνία προσπτώσεως;
- Ποια είναι η σχέση μεταξύ των μηκών κύματος στα δύο μέσα και ποιά μεταξύ των ταχυτήτων;

Έχοντας το διεγέρτη κυμάτων σε λειτουργία (για να διατηρηθεί σταθερή η συχνότητα), δοκίμασε διαφορετικές γωνίες προσπτώσεως.

- Μήπως για τη διάθλαση του φωτός, το κυματικό μοντέλο συμφωνεί καλύτερα από ότι το σωματιδιακό μοντέλο του Νεύτωνα, αν λάβομε υπόψη μας σε ποιο από τα δύο μέσα διαδόσεως η ταχύτητα του φωτός είναι μεγαλύτερη;

Για να αποδείξουμε την ποσοτική σχέση μεταξύ των γωνιών προσπτώσεως και διαθλάσεως, χρειάζεται μεγάλη προσοχή. Κρατώντας τη συχνότητα σταθερή, μπορείς να μετρήσεις τη γωνία διαθλάσεως για τέσσερις ή πέντε διαφορετικές γωνίες προσπτώσεως.

- Μεταξύ ποιων τιμών θα πρέπει να διαλέξεις τις γωνίες προσπτώσεως;
- Τι συμπεραίνεις από τα αποτελέσματα των μετρήσεών σου;

Κύματα και εμπόδια

39

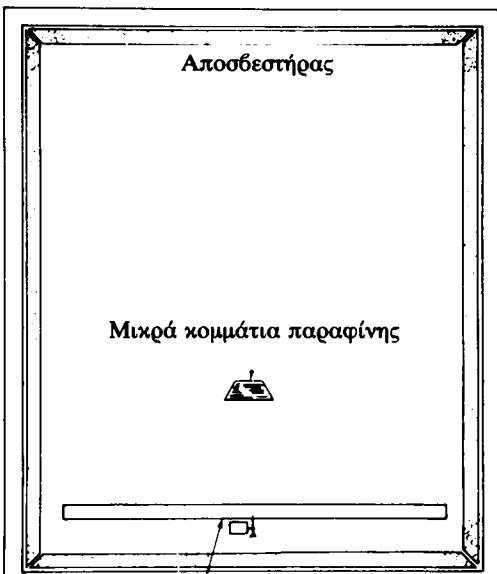
Διαφανές αντικείμενο, τοποθετημένο στη διαδρομή παράλληλης δέσμης φωτός, θα οίχει ξεκάθαρη σκιά πίσω του σε μια οθόνη. Η σκιά θα έχει το ίδιο μέγεθος με το αντικείμενο. Τι θα συμβεί, αν τοποθετήσουμε εμπόδιο στη διαδρομή ενός ευθύγραμμου κύματος;

Τοποθέτησε ένα μικρό, λείο κομμάτι παραφίνης στον πυθμένα της συσκευής παραγωγής κυμάνσεων, σε απόσταση 10 cm περίπου από το διεγέρτη ευθυγράμμων κυμάτων (σχ. 39-1), και προξένησε περιοδικά κύματα μεγάλου μήκους κύματος.

- Τα κύματα συνεχίζουν την ευθύγραμμη διάδοσή τους και από τις δύο πλευρές του κομματιού παραφίνης;
- Παρατηρώντας τα κύματα μόνο στην άλλη άκρη του δοχείου, μπορείς να αντιληφθείς την παρουσία του κομματιού παραφίνης;
- Το κομμάτι παραφίνης οίχνει ξεκάθαρη σκιά στην οθόνη;
- Πώς επηρεάζεται η κυματομορφή πίσω από το κομμάτι παραφίνης, όταν ελαττώνεται το μήκος κύματος με την αύξηση της συχνότητας;

Για να πάρεις καθαρά στιγμιότυπα κύματος υψηλών συχνοτήτων, οι επιφάνειες του διεγέρτη κυμάτων πρέπει να είναι πολύ καθαρές. Βεβαιώσου ότι

Σχήμα 39-1



Διεγέρτης ευθυγράμμων κυμάτων

Σχήμα 39-2



δεν υπάρχουν φυσαλίδες στις άκρες του. Στις υψηλές συχνότητες καλύτερα να παρατηρούνται τα στιγμιότυπα με το στροβοσκόπιο με όλες τις σχισμές του ανοικτές.

- Υπό ποιες συνθήκες θα περίμενες ότι το κομμάτι παραφίνης θα δώσει στην οθόνη ξεκάθαρη σκιά;

Ας αφήσουμε παράλληλη δέσμη φωτός να περάσει από μικρό άνοιγμα. Αν υπάρχει οθόνη πίσω από το άνοιγμα, θα δούμε φωτεινή κηλίδα ίσου μεγέθους με το άνοιγμα. Μπορείς να δημιουργήσεις ανάλογη κατάσταση στη συσκευή παραγωγής κυμάνσεων (σχ. 39-2).

- Εξακολουθούν να παραμένουν ευθύγραμμα πίσω από τη σχισμή τα κύματα με μεγάλο μήκος κύματος;
- Τι συμβαίνει όταν ελαττώνεις το μήκος κύματος λίγο λίγο;

Δείξε, με μερικά σχήματα πώς αλλάζει η εικόνα των στιγμιοτύπων (κύματος).

Μπορείς πλέον να μελετήσεις πώς επηρεάζει η μεταβολή του πλάτους της σχισμής την εικόνα των στιγμιοτύπων, όταν το μήκος κύματος διατηρείται σταθερό.

- Τι προξενεί η μείωση του πλάτους της σχισμής στο στιγμιότυπο του κύματος;
- Πώς πρέπει να ρυθμίσεις το μήκος κύματος για να αντισταθμίσεις τη μεταβολή που προξενήθηκε από τη μείωση του πλάτους της σχισμής;

Κύματα από δύο σημειακές πηγές

40

Τι θα συμβεί, αν δύο σημειακές πηγές, η μια κοντά στην άλλη, παράγουν περιοδικά κύματα της ίδιας συχνότητας; Δοκίμασέ το στη συσκευή παραγωγής κυματισμών με δύο σημειακές πηγές προσαρμοσμένες στο διεγέρη ευθυγράμμων κυμάτων και σε απόσταση 5 cm περίπου η μια από την άλλη.

- Πώς μπορείς να περιγράψεις το αποτέλεσμά τους από την εικόνα που προκύπτει;
- Υπάρχουν περιοχές, όπου τα κύματα από τις δύο πηγές αλληλοεξουδετρώνονται πάντοτε;
- Πώς αλλάζει η εικόνα του στιγμιότυπου, όταν μεταβάλλεις τη συχνότητα;
- Πώς αυτό επηρεάζει το σχήμα του στιγμιότυπου κύματος;

Άλλαξε την απόσταση μεταξύ των δύο σημειακών πηγών, χωρίς να διακόψεις τη λειτουργία του κινητήρα (για να παραμείνει η συχνότητα σταθερή, δύο είναι δυνατόν).

Αν εφαρμόσεις την αρχή της επαλληλίας, που ήδη έχεις διδαχθεί, για τις δύο αυτές πηγές που βρίσκονται σε φάση, θα διαπιστώσεις ότι η διεύθυνση της νιοστής (n) δεσμικής γραμμής (υπερβολής), σε μεγάλη απόσταση από την πηγή, δίδεται από τη σχέση,

$$\sin \theta_n = \frac{x}{L} = \left(n - \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{d}$$

Επαλήθευσε αυτή την πρόβλεψη βρίσκοντας το μήκος κύματος από την παραπάνω εξίσωση, με τη μέτρηση των x, L, n και d και συγκρίνοντάς το με μια απευθείας μέτρηση του μήκους κύματος. Για να μετρηθεί το x απευθείας, θα έπρεπε να το εντοπίσουμε στο μέσο της μέγιστης αποστάσεως δύο συμμετρικών δεσμικών γραμμών. Αντί γι' αυτό, βρίσκομε το συμμετρικό του στην αντίστοιχη νιοστή δεσμική γραμμή και μετράμε την απόσταση 2x.

Θυμήσου ότι τα ευθύγραμμα κύματα που διέρχονται από στενή σχισμή παθαίνουν έντονη περιθλαση. Και αν οι σχισμές είναι αρκετά στενές, συμπεριφέρονται σαν σημειακές πηγές.

- Μπορείς να επαναλάβεις το πείραμα, χρησιμοποιώντας το διεγέρη ευθυγράμμων κυμάτων και δύο σχισμές, φτιάχνοντάς τις με την κατάληξη τοποθέτηση κομματιών παραφίνης;

41

Συμβολή και φάση

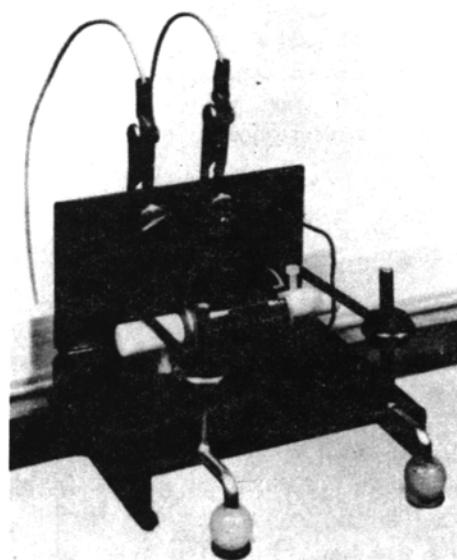
Στο τελευταίο πείραμα μελετήσαμε τη μορφή του στιγμιότυπου της συμβολής κυμάτων, που παράγονται από δύο σημειακές πηγές σε φάση. Στο πείραμα αυτό θα μάθομε πώς μια μεταβολή στην καθυστέρηση φάσεως μεταξύ δύο σημειακών πηγών επηρεάζει τη διεύθυνση των δεσμικών γραμμών στη μορφή του στιγμιότυπου της συμβολής κυμάτων.

Στο σχήμα 41-1 φαίνεται διεγέρτης κυμάτων στον οποίο η διαφορά (καθυστέρηση) φάσεως, μπορεί να ρυθμισθεί. Αφού εκλέξεις μια απόσταση μεταξύ των δύο σημειακών πηγών και μήκη κύματος όμοια με αυτά που χρησιμοποιήσεις στο προηγούμενο πείραμα, δάλε τις πηγές να λειτουργήσουν σε φάση.

- Έχεις την ίδια μορφή στιγμιοτύπων κύματος, όπως αυτή που έδινε ο κανονικός διεγέρτης ευθυγράμμων κυμάτων;

Τώρα άρχισε να μεταβάλεις τη φάση σιγά σιγά και παρατήρησε τη μεταβολή στη διεύθυνση των δεσμικών γραμμών.

- Αν χρησιμοποιήσεις ως σχήμα αναφοράς τη μορφή των στιγμιοτύπων, όταν οι δύο πηγές είναι σε φάση, πώς μεταβάλλεται η θέση της πρώτης δεσμικής γραμμής, καθώς η φάση καθυστερεί από μηδέν σε ένα;
- Πώς αλλάζει η θέση της δεύτερης δεσμικής γραμμής;
- Πώς θα περίμενες να είναι η εικόνα της μορφής του στιγμιότυπου συμβολής, αν μπορούσες ν' αλλάξεις τη φάση των πηγών, καθώς ο διεγέρτης λειτουργεί;



Σχήμα 41-1

Οι δύο πλαστικοί κύλινδροι στις δύο πλευρές του κινητήρα, εφαρμόζουν έκκεντρα. Αν και οι δύο πλαστικές βίδες που φέρουν είναι ταυτόχρονα προς τα επάνω, οι δύο πηγές κυμάτων είναι σε φάση. Αν η μια βίδα είναι προς τα επάνω και η άλλη προς τα κάτω, όπως φαίνεται στη φωτογραφία, η καθυστέρηση φάσεως είναι ένα δεύτερο.

Το πείραμα του Young

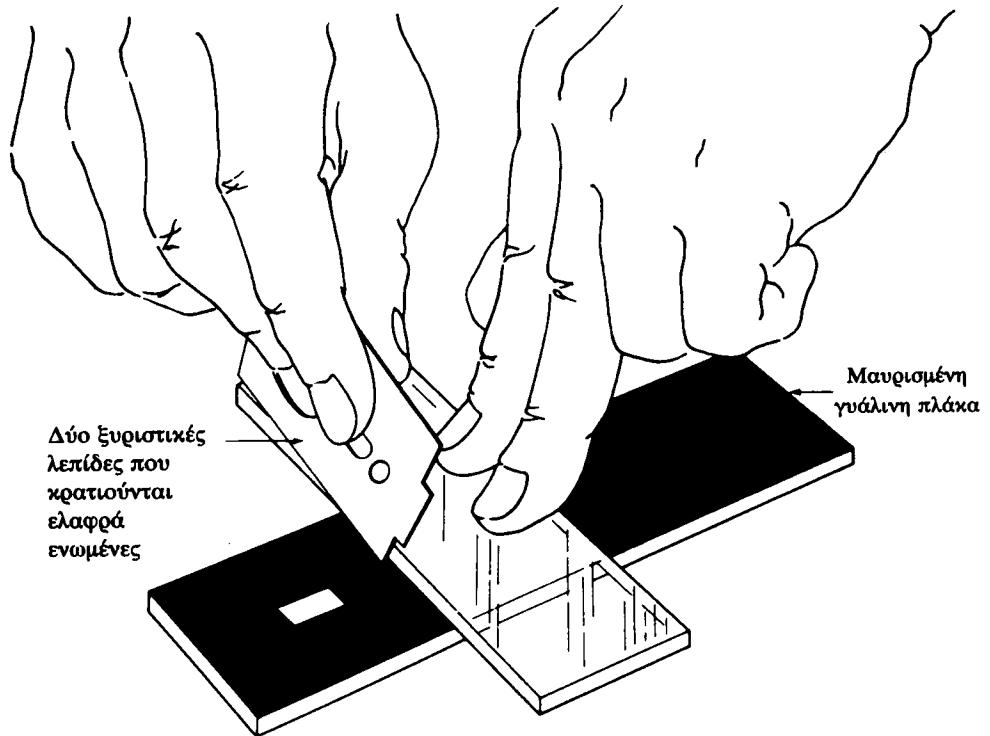
42

Ήδη έχουμε παρατηρήσει την εικόνα του σχήματος της συμβολής από δύο σημειακές πηγές στη συσκευή παραγωγής υδάτινων κυματισμών. Αν παρατηρήσομε δύο φωτεινές πηγές σε φάση, θα περιμένομε να δούμε έντονο φωτισμό κατά ορισμένες διευθύνσεις και καθόλου φως κατά άλλες διευθύνσεις (τις διευθύνσεις δηλαδή των δεσμικών γραμμών). Από τη διεύθυνση των δεσμικών γραμμών και την απόσταση μεταξύ των δύο πηγών, μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος του φωτός.

Δύο στενές σχισμές, που φωτίζονται από λαμπτήρα-προβολέα, αποτελούν τις δύο φωτεινές πηγές. Ο τρόπος κατασκευής τους εξηγείται στο σχήμα 42-1. Κοίταξε διά μέσου των σχισμάτων προς το νήμα του λαμπτήρα από απόσταση δύο μέτρων περίπου.

Για να προφυλάξεις τις σχισμές, καλό είναι να τοποθετήσεις στη μαυρισμένη πλάκα μια άλλη όμοια γυάλινη πλάκα και να τις δέσεις μαζί.

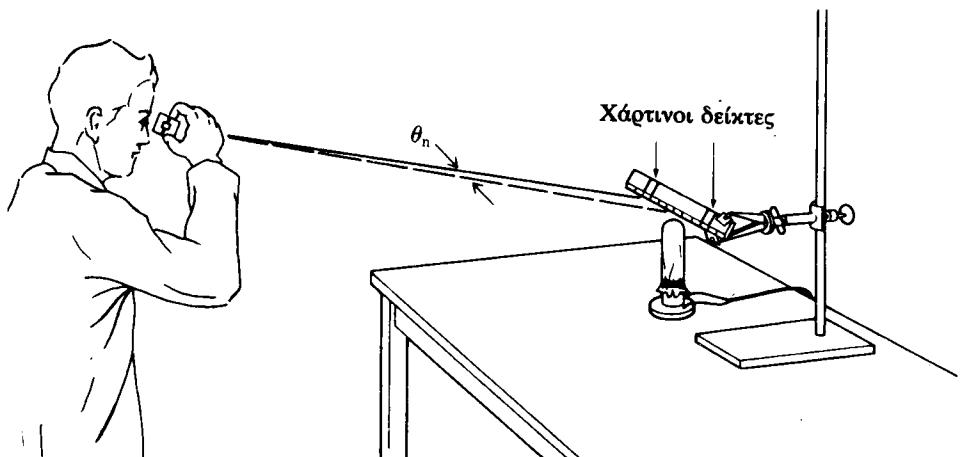
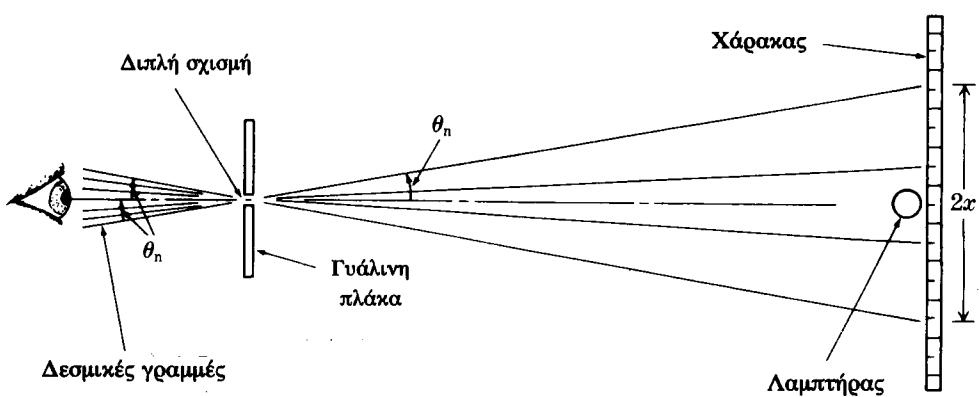
Με τη δοήθεια του σχήματος 42-2 εξήγησε γιατί παρατηρείς φωτεινές και σκοτεινές φασίδες στη μαυρισμένη πλάκα (κροσσούς συμβολής).



Σχήμα 42-1

Κάλυψε μια αντικειμενοφόρο πλάκα με κολλοειδές αιώρημα γραφίτη και άφησέ τη να στεγνώσει. Χάραξε δύο σχισμές, όπως φαίνεται στο σχήμα, κρατώντας τις δύο ξυριστικές λεπίδες μαζί, όχι σφιχτά όμως, και πιέζοντάς τις με δύναμη στο γυαλί. Κάνε αρκετά ζευγάρια σχισμών. Κράτησε αυτές που δείχνουν τουλάχιστον τρεις καθαρές, λευκές γραμμές, όταν τις κοιτάς μπροστά στο λαμπτήρα. Χάραξε ένα «παράθυρο» κάθετα στο κάθε ζεύγος σχισμών. Αυτό θα σε διευκολύνει να παρατηρείς μέσω των σχισμών την εικόνα της συμβολής και να διαβάζεις συγχρόνως την κλίμακα.

Σχήμα 42-2



Σχήμα 42-3

Η εικόνα της συμβολής και οι χάρτινοι δείκτες στο χάρακα μπορούν να παρατηρηθούν ταυτοχρόνως, αν κοιτάξουμε συγχρόνως διά μέσου των δύο σχισμάν και του «παράθυρου» της γυάλινης πλάκας. Το σελοφάν συγχρατείται στο λαμπτήρα με λαστιχάκια.

- Μπορείς να εξηγήσεις γιατί οι φακώδωσεις κοντά στα άκρα της εικόνας συμβολής είναι έγχρωμες;
- Πώς επηρεάζει την εικόνα συμβολής η μερική κάλυψη του λαμπτήρα με κόκκινο σελοφάν;

Τώρα, κάλυψε εξ ολοκλήρου το λαμπτήρα με κόκκινο σελοφάν και τοποθέτησε χάρακα λίγο πιο πάνω του, όπως φαίνεται στο σχήμα 42-3.

- Πώς θα υπολογίσεις το $\sin \theta_n$ για την πιο απομακρυσμένη δεσμική γραμμή που μπορείς να δεις καθαρά;

Μετρώντας το πάχος της ξυριστικής λεπίδας με μικρόμετρο, μπορείς να προσδιορίσεις την απόσταση μεταξύ των δύο σχισμάν.

- Πόσο είναι το μήκος κύματος του κόκκινου φωτός;

Επανάλαβε τις μετρήσεις σου, για να δρεις τι προξενεί το μεγαλύτερο σφάλμα στη μέτρησή σου.

- Με πόση ακρίβεια έγινε ο προσδιορισμός του μήκους κύματος;

Σκέπασε το ένα τμήμα του λαμπτήρα με κόκκινο σελοφάν και το άλλο με μπλε.

- Ποιο από τα δύο χρώματα έχει μικρότερο μήκος κύματος;
 - Κατά προσέγγιση, ποιος είναι ο λόγος του μήκους κύματος του κόκκινου φωτός ως προς το μήκος κύματος του μπλε;
-

- Πώς επηρεάζεται η εικόνα της συμβολής, όταν στρέψεις τη γυάλινη πλάκα, ώστε να σχηματίζει οριζόντια γωνία 30° με τη διεύθυνση διαδόσεως του φωτός, αντί 90° ;
- Πώς το εξηγείς αυτό;

43

Το φάσμα του υδρογόνου και η σταθερά του Planck

Οι φασματικές γραμμές του ατομικού υδρογόνου προσφέρουν μια καλή ευκαιρία για τη σύγκριση θεωρίας και πειραματικής παρατηρήσεως. Στο πείραμα αυτό θα μετρήσεις το μήκος κύματος τριών ή πιθανόν τεσσάρων φασματικών γραμμών του υδρογόνου. Από τις αριθμητικές σχέσεις μεταξύ αυτών των μηκών κύματος και την κυματική θεωρία των ατομικών ενεργειακών σταθμών, θα υπολογίσεις τη σταθερά του Planck.

Το σχηματικό διάγραμμα (σχ. 43-1) και η φωτογραφία (σχ. 43-2) παρουσιάζουν το φασματόμερο που θα χρησιμοποιηθεί. Απαιτούνται αρκετές ρυθμίσεις για την προετοιμασία του φασματόμετρου. Πρώτα πρέπει να εστιάσεις τη διόπτρα στο άπειρο. Είναι προτιμότερο να μετακινήσεις τη διόπτρα από το στήριγμά της για το σκοπό αυτό και να εστιάσεις σε κάποιο μακρινό αντικείμενο. Βάζοντας πάλι τη διόπτρα στο στήριγμά της, παρατήρησε τη φωτεινή πηγή και βεβαιώσου ότι το σταυρόνημα και η σχισμή είναι ευθυγραμμισμένα κατακορύφως. Τώρα, με διαλογόνο το κάλυμμα της σχισμής, κίνησε τη σχισμή μπροσ-πίσω, μέχρι να βρεις τη θέση που σου δίνει το πιο καθαρό είδωλο της σχισμής.

- Πού βρίσκεται το είδωλο της σχισμής;

Για να βεβαιωθείς ότι το φράγμα περιθλάσεως είναι παράληλο στη σχισμή, παρατήρησε μια από τις γραμμές του φάσματος (όχι το κεντρικό μέγιστο), ενώ περιστρέφεις το φράγμα.

- Τι μπορείς να πεις, όταν το φράγμα περιθλάσεως είναι παράλληλο στη σχισμή;

Μια στενή σχισμή, σύμφωνη με ένα λογικά φωτεινό είδωλό της, είναι σκοπιμότερη.

Γνωρίζεις από τη μελέτη των κυμάτων ότι το μήκος κύματος λ , εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των γραμμών του φράγματος d και τη γωνία περιθλάσεως θ , μέσω της εξισώσεως:

$$\lambda = d \sin \theta$$

Μπορείς να βαθμονομήσεις το φασματόμετρο με μια φασματική γραμμή γνωστού μήκους κύματος, σημειώνοντας με τη μύτη, καλοξυσμένου μολυβιού τις θέσεις των χαραγών στο κέντρο της βάσεως της διόπτρας. Η απόσταση μεταξύ των δύο σημαδιών είναι ανάλογη του λ .

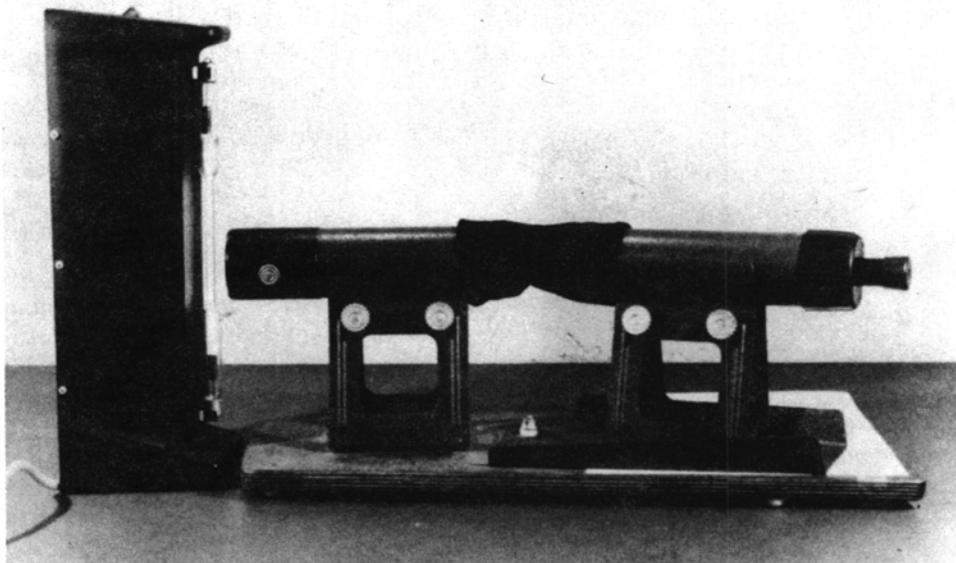
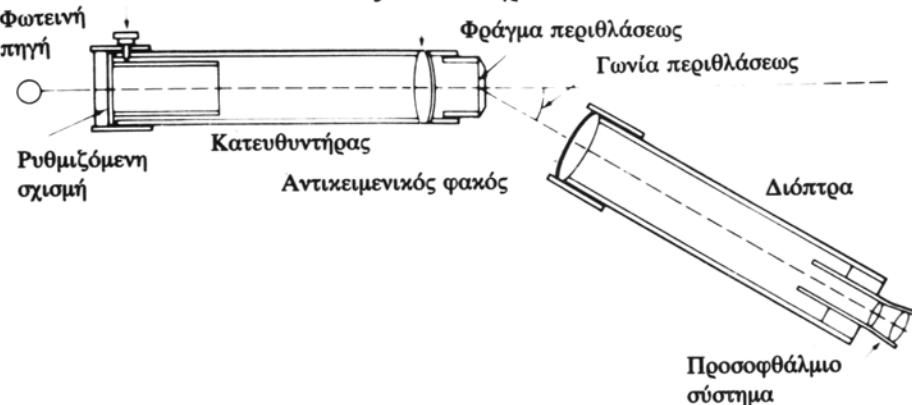
- Ποια είναι η σταθερά αναλογίας;

Μια βολική φασματική γραμμή είναι η πράσινη γραμμή του φάσματος του υδραργύρου (546 nm). Μπορείς να παρατηρήσεις αυτή τη γραμμή και λίγες

Βίδα ρυθμίσεως σχισμής

Φακός κατευθυντήρα

Σχήμα 43-1



Σχήμα 43-2

Βεβαιώσου ότι το φύλλο χαρτιού, κάτω από τη διόπτρα είναι ατσαλάκωτο. Αφού συμπληρωθούν όλες οι ρυθμίσεις στερέωσο τον κατευθυντήρα και τη διόπτρα στα στηρίγματά τους. Γιατί είναι σημαντικό να έχεις το φράγμα ακριβώς πάνω από τον άξονα περιστροφής της διόπτρας;

άλλες, χρησιμοποιώντας ως φωτεινή πηγή ακάλυπτο λαμπτήρα φθορισμού ή λυχνία εκκενώσεως υδραργύρου.

Τώρα, αντικατάστησε το λαμπτήρα φθορισμού με λυχνία εκκενώσεως υδρογόνου. Η φωτοβολία αυτής της λυχνίας είναι πολύ μικρότερη από τη φωτοβολία της λυχνίας υδραργύρου και ίσως αξίζει τον κόπο να εργασθείς μέσα σε σκοτεινό δωμάτιο. Ερεύνησε ολόκληρη την περιοχή των γωνιών που αντιστοιχούν στο ορατό φάσμα.

- Πόσες φασματικές γραμμές παρατηρείς;
- Ποιο είναι το μήκος κύματός τους;

Γνωρίζομε από τη μελέτη της μη ελαστικής κρούσεως μεταξύ ηλεκτρονίων και ατόμων (παράγραφος 26-3 στο βιβλίο σου) ότι η συχνότητα μιας φασματικής

γραμμής εκπομπής v , δίνεται από τη σχέση $v = \frac{E_i - E_f}{h}$, όπου E_i και E_f είναι

οι ενέργειες του ατόμου πριν και μετά την εκπομπή του φωτονίου και h η σταθερά του Planck. Για ατομικό υδρογόνο η κυματική θεωρία των ενεργειακών σταθμών (παράγραφος 27-5 στο βιβλίο σου) μας λέει ότι οι ενεργειακές στάθμες έχουν τις ακόλουθες τιμές:

$$E_n = \frac{2\pi^2 k^2 e^4 m}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

Ας αντικαταστήσουμε στην πρώτη εξίσωση όπου E_i και E_f , τις σχέσεις τους, που προκύπτουν από τη δεύτερη εξίσωση, αν όπου η θέσομε n_i και n_f . Τότε από τις δύο αυτές εξισώσεις προκύπτει:

$$v = \frac{2\pi^2 k^2 e^4 m}{h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

$$\text{ή αφού } v = \frac{e}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 k^2 e^4 m}{h^3 c} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

- Με βάση τις τιμές των αντιστρόφων των μηκών κύματος μπορείς να ξεχωρίσεις ποιες ενεργειακές στάθμες έχουν ως συνέπεια την εκπομπή των φασματικών γραμμών που παρατηρείς; (Υπόδειξη: Υπόθεσε ότι η θεμελιώδης κατάσταση είναι η ίδια για όλες τις φασματικές γραμμές).

Αφού βεβαιωθείς για τις τιμές των n_i και n_f για τις τρεις φασματικές γραμμές, τότε γνωρίζεις όλες τις αριθμητικές τιμές των μεγεθών που υπάρχουν στην τελευταία εξίσωση, εκτός από τη σταθερά του Planck. Υπολόγισέ την.

- Αν λάβεις υπόψη όλες τις πληροφορίες που έχεις με πόση ακρίδεια υπολόγισες το h ;

Παράρτημα 1:

Σημαντικά ψηφία

Οι αριθμοί και οι συνδυασμοί τους μέσω των αριθμητικών πράξεων μας δίνουν ακριβή τρόπο, για να εκφρασθούμε ποσοτικά. Ωστόσο, υπάρχουν όρια στην ακρίβεια των μετρήσεών μας, που, με τη σειρά τους, οριοθετούν τη χρήση των αριθμών κατά την καταγραφή αυτών των μετρήσεών μας.

Ο επιστημονικός συμβολισμός μας δίνει τη δυνατότητα να οριοθετήσουμε την ακρίβεια των μετρήσεών μας. Για παράδειγμα, αντί να γράψουμε το μήκος της ακτίνας της γης ως $6.370.000$ m περίπου, γράφουμε $6,37 \times 10^6$ m. Επίσης, η διάμετρος μιας τρίχας από τα μαλλιά μας, που είναι περίπου $0,0003$ m, μπορεί να γραφεί 3×10^{-5} m. Με αυτό τον τρόπο γραφής των αριθμών δείχνουμε τα περιορισμένα όρια ακρίβειας της γνώσεώς μας, παραλείποντας όλα τα ψηφία για τα οποία δεν είμαστε βέβαιοι. Με άλλα λόγια, όταν γράφουμε για το μήκος της ακτίνας της γης, $6,37 \times 10^6$ m και όχι $6,374 \times 10^6$ m ή $6,370 \times 10^6$ m, δηλώνουμε ότι είμαστε απόλυτα βέβαιοι για το τρίτο ψηφίο, αλλά δε γνωρίζουμε καθόλου την τιμή του τέταρτου ψηφίου. Ο αριθμός των ψηφίων, για τα οποία είμαστε απόλυτα βέβαιοι, ονομάζονται **σημαντικά ψηφία**. Στο παράδειγμα της τρίχας των μαλλιών, έχουμε προσδιορίσει μόνο ένα σημαντικό ψηφίο. Δηλαδή, νομίζουμε ότι ο αριθμός 3 είναι μια πραγματική τιμή, αλλά δεν είμαστε καθόλου βέβαιοι για το επόμενο ψηφίο (το δεύτερο σημαντικό ψηφίο). Ο απλούστερος τρόπος, για να εκφρασθεί αυτή η αξιοπιστία μας, είναι να γράψουμε το σωστό αριθμό των σημαντικών ψηφίων.

Η αναγραφή προσθέτων ψηφίων, που δεν έχουν έννοια, είναι χειρότερη, από ότι η απώλεια χρόνου. Γιατί μπορεί να παραπλανήσουν αυτούς που τα χρησιμοποιούν, καθώς τα εμπιστεύονται. Αυτό είναι σπουδαίο και πρέπει να το έχουμε κατά νου, ιδιαίτερα όταν κάνουμε πράξεις με το κομπιουτεράκι (calculator), κατά πόσο δηλαδή τα 8 ή 20 ψηφία που παρουσιάζονται στο αποτέλεσμα της πράξεως, είναι σημαντικά ή όχι. Για να είμαστε στο πλαίσιο των περιορισμών που φύσει υπάρχουν στις μετρήσεις μας, τροποποιούμε ελαφρά την αριθμητική τους γραφή, με τρόπο, ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι δεν γράφουμε ψηφία χωρίς νόημα στα αποτελέσματά μας.

Υπόθεσε ότι κάνουμε τις ακόλουθες μετρήσεις χρόνου: 27,8 h, 1,324 h και 0,66 h. Τώρα υπέθεσε ότι ζητάμε το άθροισμά τους. Χωρίς να δώσουμε προσοχή στα σημαντικά ψηφία, μπορούμε να γράψουμε:

$$\begin{array}{r}
 27,8 \quad h \\
 1,324 \quad h \\
 0,66 \quad h \\
 \hline
 29,784 \quad h
 \end{array}$$

Τι μας λέει όμως αυτό το αποτέλεσμα; Για την κάθε αριθμητική τιμή μιας μετρήσεως, όλα τα ψηφία, που είναι μετά το τελευταίο σημαντικό ψηφίο, είναι απροσδιόριστα. Για παράδειγμα, οι εκατοντάδες και οι χιλιάδες στην τιμή της

πρώτης από τις παραπάνω μετρήσεις του χρόνου είναι απροσδιόριστες. Αυτοί οι μη προσδιορισμένοι αριθμοί δεν είναι το μηδέν. Είναι φανερό ότι αν προσθέσουμε μιαν άγνωστη, απροσδιόριστη ποσότητα σε μια γνωστή ποσότητα, θα πάρομε μιαν απροσδιόριστη απάντηση. Επομένως, τα δύο τελευταία ψηφία στο άθροισμα της προσθέσεως μας είναι στην πραγματικότητα απροσδιόριστα. Στην περίπτωση αυτή, στρογγυλεύομε τις μετρήσεις μας στο πλησιέστερο δεκαδικό ψηφίο κατά τρόπο, ώστε όλα τα ψηφία να είναι σημαντικά στην απάντηση μας. Αυτό δίνει

$$\begin{array}{r}
 27,8 \text{ h} \\
 1,3 \text{ h} \\
 0,7 \text{ h} \\
 \hline
 29,8 \text{ h}
 \end{array}$$

Έτσι, εφόσον η τιμή της πρώτης μετρήσεως είναι γνωστή με προσέγγιση ενός δεκαδικού ψηφίου, γνωρίζομε το άθροισμα με προσέγγιση ενός μόνο δεκαδικού ψηφίου της ώρας.

Η αφαίρεση γίνεται με όμοιο τρόπο. Δεν έχει, πάλι, νόημα η αφαίρεση γνωστών τιμών από άγνωστες. Ιδιαίτερη όμως προσοχή χρειάζεται στην αφαίρεση δύο αριθμών παραπλησίων μεταξύ τους. Για παράδειγμα, έστω ότι ζητάς να υπολογίσεις τη διαφορά μήκους δύο συρμάτων. Το ένα έχει μετρηθεί και είναι 1,55 m και το άλλο 1,57 m.

$$1,57 \text{ m} - 1,55 \text{ m} = 0,02 \text{ m} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Σημείωσε ότι δεν γράψαμε το αποτέλεσμα ως $2,00 \times 10^{-2} \text{ m}$, επειδή είμαστε κάπως αβέβαιοι για το καθένα από τα τελευταία ψηφία, όπως πράγματι μετρήθηκαν. Η διαφορά δεδομένως έχει μόνο ένα σημαντικό ψηφίο και δεν θα έπρεπε να εκπλαγούμε, αν ήταν είτε διπλάσια είτε μηδέν, αντί των 2 cm. Η αφαίρεση δύο σχεδόν ίσων μεταξύ τους αριθμών καταστρέφει την ακρίβεια (στο αποτέλεσμα). Γι' αυτό το λόγο, θα αναγκαστείς μερικές φορές να πάρεις μετρήσεις πολύ πιο ακριβείς, από ό,τι απαιτούν οι απαντήσεις σου. Για να αποφευχθούν οι πειραματικές δυσκολίες που υπάρχουν στις μετρήσεις πολύ μεγάλης ακρίβειας (κατά τη μέτρηση των συρμάτων στο παράδειγμά μας), δάλε τα δύο σύρματα το ένα δίπλα στο άλλο, αν γίνεται, και μέτρησε απευθείας τη διαφορά τους με ένα διαστημόμετρο (παχυμετρικό διαδήτη), αντί να βρεις τη διαφορά δύο μεγάλων αριθμών (αφαιρώντας δηλαδή τα μήκη τους).

Και για τον πολλαπλασιαμό; Πώς προσδιορίζομε το γινόμενο, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς της μετρήσεως; Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε το εμβαδό μιας μακρόστενης λωρίδας από κασίτερο. Με το χάρακα μετράμε και δρίσκομε το πλάτος της 1,15 cm και το μήκος της 2,002 cm. Στη μέτρησή μας εδώ έχομε ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων για το πλάτος και τεσσάρων σημαντικών ψηφίων για το μήκος. Για να δρούμε το εμβαδό, πολλαπλασιάζομε το μήκος επί το πλάτος. Αν δεν δώσουμε σημασία στα σημαντικά ψηφία, έχομε

$$\begin{aligned}
 A &= 2,002 \text{ m} \times 1,15 \times 10^{-2} \text{ m} \\
 &= 2,30230 \times 10^{-2} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Τώρα όμως, ας σκεφτούμε τι σημαίνει αυτό το αποτέλεσμα. Όταν μετρήσαμε το πλάτος, γράψαμε 1,15 cm, επειδή δεν ήμαστε δέδαιοι κατά πόσον το πραγματικό πλάτος μπορεί να ήταν λίγο μεγαλύτερο ή λίγο μικρότερο, με πιθανότητα 0,01 cm. Αν πράγματι το πλάτος είναι τόσο μεγαλύτερο, έχομε

κάνει λάθος στο εμβαδό, ίσο με το γινόμενο αυτού του σφάλματος στο πλάτος επί το μήκος της λωρίδας, δηλαδή,

$$\begin{aligned}\text{Σφάλμα} &= 0,01 \times 10^2 \text{ m} \times 2,002 \text{ m} \\ &= 0,02 \times 10^{-2} \text{ m}^2\end{aligned}$$

Έτσι, παρατηρούμε ότι έχουμε αδεδαιότητα στο ψηφίο των εκατοντάδων, που σημαίνει ότι ο υπολογισμός του εμβαδού έχει ήδη σφάλμα στο τρίτο σημαντικό ψηφίο. Και όλα τα ψηφία, μετά το τρίτο, δεν είναι σημαντικά. Ο σωστός τρόπος γραφής του εμβαδού είναι $2,30 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, γιατί, όταν πολλαπλασιάζονται δύο αριθμοί μεταξύ τους, το γινόμενο δεν μπορεί να έχει περισσότερα σημαντικά ψηφία, από όσα έχει ο αριθμός με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία.

Ότι ειπώθηκε για τον πολλαπλασιαμό, εφαρμόζεται επακριβώς και στη διαιρέση. Μη συνεχίζεις μια διαιρέση, πέρα από τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων που έχει η λιγότερο ακριβής μέτρηση που έκανες.

Ας σημειωθεί ότι αριθμοί, οι οποίοι δεν είναι το αποτέλεσμα πειραματικής μετρήσεως, μπορούν να έχουν απεριόριστη ακρίβεια και μπορούν να γραφούν στον οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας που απαιτεί η φύση του προβλήματος. Για παράδειγμα, αν μια επιφάνεια μετρήθηκε και δρέθηκε ίση με $3,76 \text{ m}^2$, το διπλάσιο αυτής της επιφάνειας θα είναι $2 \times 3,76 \text{ m}^2 = 7,52 \text{ m}^2$.

Η χρήση των σημαντικών ψηφίων δίνει έναν πρόχειρο μόνο, αλλά χρήσιμο οδηγό της ακρίβειας της μετρήσεως. Μια περισσότερο αξιόπιστη μέθοδος για την έκφραση των πειραματικών σφαλμάτων είναι η έκφραση του σχετικού

σφάλματος $\left| \frac{\text{σχετικό σφάλμα}}{\text{πραγματική τιμή μετρήσεως}} \right|$ επί τοις εκατό.

Πόσα σημαντικά ψηφία υπάρχουν σε κάθε μια από τις παρακάτω μετρήσεις;

- 3,15 mm
- 0,00315 m
- 6,025 cm
- 36 km
- $3,34 \times 10^5$
- 36,00

Η διάμετρος ενός κύκλου είναι 4,24 m.

- Πόσο είναι το εμβαδό του;

Μια ράβδος έχει μήκος 12,132 cm και μια άλλη 12,4 cm.

- Αν οι δύο αυτές ράβδοι τοποθετηθούν η μία πίσω από την άλλη, πόσο είναι το συνολικό μήκος τους;
- Αν αυτές οι ράβδοι τοποθετηθούν η μία δίπλα στην άλλη, ποια είναι η διαφορά των μηχών τους;

Ένας μαθητής μέτρησε ένα κομμάτι ξύλου και δρήκε: μήκος=6,3 cm και ύψος=0,84 cm.

- Πόσος είναι ο όγκος αυτού του κομματιού του ξύλου:
- Υπόθεσε ότι η μέτρηση των μήκους και των πλάτους είναι σωστές. Ωστόσο, μπορείς να πεις ότι η μέτρηση των ύψους αποκλίνει κατά 0,01 cm, συν ή πλην. Πώς αυτό μπορεί να επηρεάσει την απάντησή στο στην αριθμητική τιμή του όγκου;
- Ποιο κλάσμα είναι, σε σχέση με το συνολικό όγκο;

Ένας οδηγός λεωφορείου χρονομέτρησε τους παρακάτω χρόνους ως τιμήματα του δρομολογίου του:

Από τη στάση A στη στάση B 1,63 h

Από τη στάση B στη στάση C 4,7 h

Από τη στάση C στη στάση D 0,755 h

Από τη στάση D στη στάση E 2,00 h

- Πόσο χρόνο χρειάστηκε για να οδηγήσει από τη στάση A στη στάση E;
- Ποιο τμήμα του συνολικού χρόνου της διαδρομής αντιρροσωπεύει ο χρόνος μεταξύ των στάσεων B και D;
- Πόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος από τη στάση A στη στάση C, από ό,τι ο χρόνος από τη στάση C στη στάση E;

Παράρτημα 2:

Ανάλυση ενός πειράματος

Η παρουσίαση και η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι ουσιώδες τιμήμα της φυσικής. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ενός πειράματος φαίνεται στον πίνακα 1. Ζητείται από εσένα να παρουσιάσεις και να αναλύσεις αυτά τα αποτελέσματα σε μορφή, που θα σου επιτρέπει την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων παρόμοιων πειραμάτων.

Το πείραμα ήταν η μελέτη του χρόνου που χρειάζεται το νερό ενός δοχείου για να χυθεί από τρύπα που υπάρχει στον πυθμένα. Όπως γνωρίζεις, ο χρόνος εξαρτάται από το μέγεθος της τρύπας και από την ποσότητα του νερού στο δοχείο.

Έτσι, για να υπολογίσεις ποια σχέση υπάρχει μεταξύ του χρόνου εκροής και του μεγέθους της τρύπας, χρησιμοποίησε τέσσερα μεγάλα κυλινδρικά δοχεία νερού με το ίδιο σχήμα, όπου το νερό εκρέει από στρογγυλά ανοίγματα, διαφορετικής μεταξύ τους διαμέτρου (d σε cm). Για να δρεις τώρα τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του χρόνου εκροής και της ποσότητας του νερού, γέμισε τα ίδια δοχεία με νερό, που η στάθμη του είναι διαφορετική στο καθένα (h σε cm).

Η κάθε μέτρηση έχει επαναληφθεί αρκετές φορές και ο μέσος όρος των χρόνων, που το κάθε δοχείο χρειάστηκε για να αδειάσει, έχει καταχωρισθεί στον πίνακα μετρήσεων.

Όταν χειρίζομαστε χρονόμετρο χεριού, το διάστημα εμπιστοσύνης του δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το ένα δέκατο του δευτερόλεπτου. Έτσι, το τελευταίο ψηφίο στην κάθε τιμή του χρόνου στον πίνακα μετρήσεων, θα έχει σφάλμα μιας μονάδας, συν \pm πλην. Επομένως, το σχετικό σφάλμα είναι μεγαλύτερο για τις μικρότερες τιμές το χρόνου, από ότι για τις πιο μεγάλες.

Πίνακας 1
Χρόνος αδειάσματος (εκροής) σε s

d (σε cm)	h (σε cm)			
	30,0	10,0	4,0	1,0
1,5	73,0	43,5	26,7	13,5
2,0	41,2	23,7	15,0	7,2
3,0	18,4	10,5	6,8	3,7
5,0	6,8	3,9	2,2	1,5

Όλες οι πληροφορίες που θα χρησιμοποιήσουμε δρίσκονται στον πίνακα, αλλά μια γραφική παράσταση θα μας δώσει την ευχέρεια να κάνουμε προβλέψεις και θα μας διευκολύνει πολύ να ανακαλύψουμε τις μαθηματικές σχέσεις που υπάρχουν.

Κατ’ αρχάς, φτιάξε το διάγραμμα του χρόνου ως προς τη διάμετρο της τρύπας στο δοχείο, για σταθερή στάθμη νερού, π.χ. 30,0 cm. Συνηθίζεται να γράφουμε την ανεξάρτητη μεταβλητή (στην περίπτωση αυτή η διάμετρος d) στον οριζόντιο άξονα και την εξαρτημένη (εδώ ο χρόνος t) στον κατακόρυφο άξονα. Για να έχεις τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στο διάγραμμά σου, πρέπει να καλύπτει όλο το χώρο ενός φύλλου χαρτιού. Να εκλέξεις τις ανάλογες κλίμακες στους δύο άξονες, ώστε να είναι ευκολοδιάβαστες.

Σύνδεσε τα σημεία στο διάγραμμα με την περισσότερο ομαλή γραμμή.

- Υπάρχει ένας μόνο τρόπος να το κάνεις;
- Με βάση την καμπύλη σου, με πόση ακρίβεια μπορείς να προβλέψεις το χρόνο που θα χρειαστεί για να αδειάσει το ίδιο δοχείο, αν η διάμετρος του ανοίγματός του ήταν 4,0 cm; 8,0 cm;

Αν και μπορείς να χρησιμοποιήσεις την καμπύλη αυτή για να πάρεις σημεία μεταξύ των τιμών των μετρήσεών σου και σε πρώτη προσέγγιση να επεκταθείς πέρα από αυτές, δεν έχεις ακόμα θρεπεί αλγεβρική έκφραση για τη σχέση μεταξύ t και d. Από την καμπύλη σου μπορείς να παρατηρήσεις ότι το t μειώνεται πιο γρήγορα από ότι αυξάνει το d. Αυτό δηλώνει αντίστροφη σχέση.

Ακόμη είναι δυνατόν να συμφωνήσουμε ότι ο χρόνος ροής πρέπει να συνδέεται με απλή σχέση ως προς το εμβαδό του ανοίγματος, εφόσον, καθώς το εμβαδό της τρύπας αυξάνεται, η ποσότητα του νερού που εκρέει στον ίδιο χρόνο επίσης αυξάνεται. Αυτό οδηγεί στη δοκιμή ενός διαγράμματος t ως προς $1/d^2$.

Για να το κάνεις αυτό, πρόσθεσε στο τετράδιό σου μια στήλη για τις τιμές $1/d^2$ και επιλέγοντας πάλι την κατάλληλη κλίμακα, φτιάξε το διάγραμμα t ως προς $1/d^2$ και ένωσε τα σημεία με την πιο απλή γραμμή.

- Τι δρήκες; Η υπόθεσή σου ήταν σωστή;
- Μπορείς να γράψεις αλγεβρική σχέση μεταξύ t και d για τη συγκεκριμένη στάθμη νερού;
- Μήπως αυτή η σχέση μεταξύ t και d ισχύει επίσης και όταν το δοχείο γεμίζει με νερό σε διαφορετικές στάθμες;

Για να το επαληθεύσεις, πρέπει να φτιάξεις τα διαγράμματα t ως προς $1/d^2$ και για τις άλλες στάθμες στο ίδιο χαρτί (στους ίδιους άξονες).

- Τι συμπεραίνεις;

Σημείωσε ότι το διάγραμμα για $h=1,0$ cm εκτείνεται προς τα επάνω πολύ λίγο. Γι’ αυτό φτιάξε ξεχωριστό διάγραμμα με μεγαλύτερη από ότι προηγούμενως κλίμακα χρόνου, ώστε να καλύπτει όλο το φύλλο του χαρτιού.

- Τι παρατηρείς;

- Από τις μετρήσεις σου τι μπορείς να πεις για την αλγεβρική σχέση μεταξύ t και d , για $h=1,0 \text{ cm}$;

Τώρα μελέτησε τη σχέση μεταξύ t και h , όταν η διάμετρος του ανοίγματος παραμένει σταθερή. Πάρε την περίπτωση όπου $d=1,5 \text{ cm}$ που είναι η πρώτη σειρά στον πίνακα. Φτιάξε ένα διάγραμμα, στο οποίο το h θα βρίσκεται στον οριζόντιο άξονα, και σύνδεσε τα σημεία του διαγράμματος με μια γραμμή. Προέκτεινέ την προς την αρχή των αξόνων.

- Διέρχεται από την αρχή των αξόνων;
- Πώς μπορείς να χρησιμοποιήσεις το διάγραμμα t ως προς $1/d^2$, για να προβλέψεις το t , για $h=20,0 \text{ cm}$ και $d=4,0 \text{ cm}$;

Δεν υπάρχει κάποια απλή γεωμετρική παράσταση, για να μας καθοδηγήσει στη σωστή μαθηματική σχέση μεταξύ t και h . Μπορείς να προσπαθήσεις να το μαντέψεις από τη μορφή της καμπύλης. Ίσως βοηθηθείς, αν στρέψεις το χαρτί με το διάγραμμα κατά 90° και παρατηρήσεις το h ως συνάρτηση του t πρώτα, και μετά το t ως προς h . Αν το πετύχεις, δοκίμασε να βρεις με το κατάλληλο διάγραμμα την ίδια σχέση μεταξύ t και h , για $d=5,0 \text{ cm}$.

Αν είσαι εξοικειωμένος με τους λογάριθμους, έλεγχε να δεις κατά πόσο η σχέση αυτή ανήκει σε μια γενικότερη ομάδα σχέσεων, όπως ο νόμος της εκθετικής δυνάμεως, $t \propto h^n$. Για να το κάνεις αυτό, φτιάξε το διάγραμμα $\log t$ ως προς $\log h$ (ή απλά t ως προς h , σε ένα λογαριθμικό χαρτί).

- Τι βρήκες; Ποια είναι η τιμή του εκθέτη n ;
- Μπορείς να βρεις τη γενική έκφραση του χρόνου εκροής ως συνάρτηση και του h και του d ;

Υπολόγισε το t για $h=20,0 \text{ cm}$ και $d=4,0 \text{ cm}$ και σύγκρινε την απάντηση με αυτό που βρήκες γραφικά.

- Ποιο νομίζεις ότι είναι πιο αξιόπιστο;