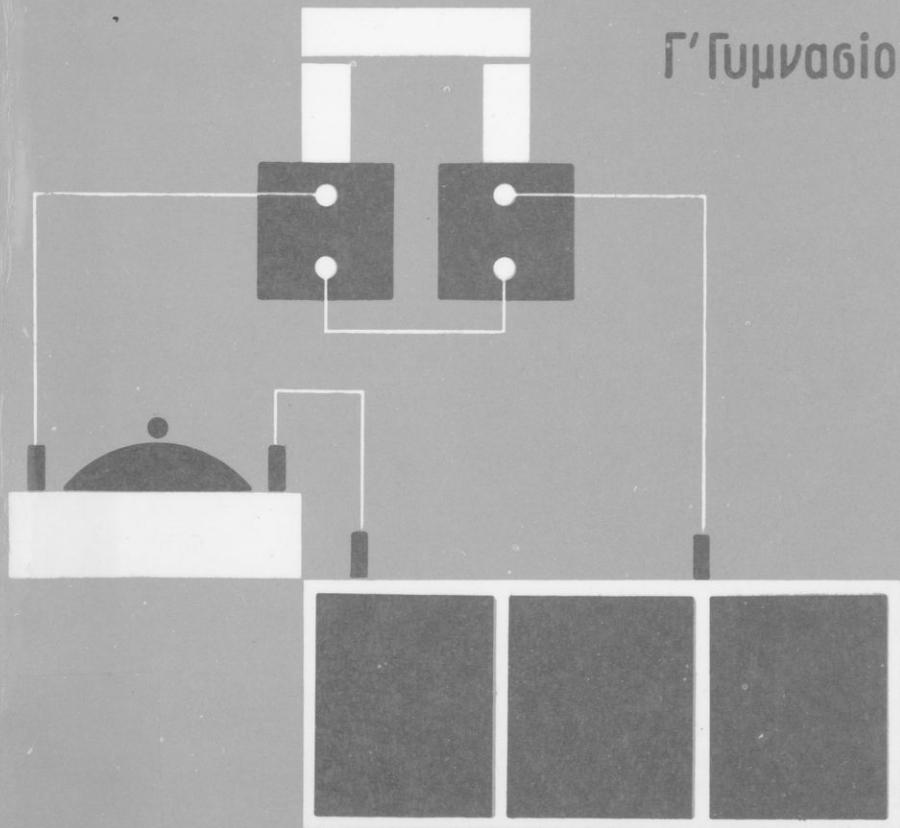


Σαλτερή Γ. Περιστεράου

# Φυσική πειραματική



Γ' Γυμνασίου

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ  
ΑΘΗΝΑΙ 1976

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής



19475

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΣΤΕΡΑΚΗ

ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΘΗΓΟΥΜΕΝΩΝ  
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΘΗΓΟΥΜΕΝΩΝ  
Δ Ο Ρ Ε Α Ν

Η ΕΠΙΔΑΙΜΑΤΙΚΗ ΗΓΚΥΦ

ΤΟ ΙΔΑΙΩΜΑΤΙΚΟ

*Τὸ βιβλίο μεταγλωπτίσθηκε ἀπὸ τὴν Z. Μελᾶ - Ἰωαννίδη, Χημικό, καὶ  
τὸ φιλόλογο K. Μιχρούδη, Ἐπιθεωρητὴν M.E..*

ΣΑΛΤΕΡΗ Γ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΑΚΗ

# ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ

## Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΛΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

AQHNAL 1976

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΑ

# Η ΚΙΤΑΙΓΑ Η ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΑΚΗ

Τ. ΛΥΚΑΙΩΝ

ΟΙ ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΑΙ ΣΤΗΝ ΚΙΤΑΙΓΑ  
από τον φίλαρχο Κ. Μαριάδη, Γερμανική Βονιάντα



## I. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

### A'—ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

**§ 1. Ἡρεμία καὶ κίνηση.** Ἀν ρίξουμε μιὰ ματιὰ γύρω μας, θὰ παρατηρήσουμε διτὶ μερικά σώματα ἀλλάζουν θέση, σχετικά μὲ ἄλλα σώματα. Λέμε τότε διτὶ τὰ σώματα αὐτὰ κινοῦνται καὶ τὰ δυνομάζομε κινητά.

Ἐτσι τὸ λεωφορεῖο, ποὺ ἔκεινησε ἀπὸ τὴν ἀφετηρία του καὶ ἔρχεται πρὸς τὴν στάση, ὅπου βρισκόμαστε, ἀλλάζοντας ἀδιάκοπα θέση, κινεῖται. Ὅσο χρονικὸ διάστημα συνεχίζει τὴν κίνησή του, εἶναι κινητό.

Κινητὰ είναι ἐπίσης διποδηλάτης ποὺ τρέχει στὸν ἀσφαλτοστρωμένο δρόμο, τὸ ἀεροπλάνο ποὺ πετᾶ, τὸ πλοῖο ποὺ ταξιδεύει, διπύραυλος ἄμα ἐκτοξευτεῖ κλπ.

Δὲν κινοῦνται δῆμος δῆλα τὰ σώματα.

Πολλὰ ἀντικείμενα διατηροῦν συνεχῶς τὴν ίδια θέση στὸ χῶρο, διποὺ τὰ γύρω βουνά, τὰ δέντρα, τὰ σπίτια, οἱ βράχοι κλπ. Τὰ σώματα αὐτὰ λέμε διτὶ ἡρεμοῦν.

"Ωστε:

Ἐνα σῶμα κινεῖται, ὅταν ἀλλάζει θέσεις στὸ διάστημα, καὶ ἡρεμεῖ, ὅταν διατηρεῖ τὴν ίδια συνεχῶς θέση.

**§ 2. Φαινομενικὴ καὶ πραγματικὴ κίνηση.** Πολλές φορές η ἡρεμία διαφέρων σωμάτων είναι φαινομενική, δὲν συμβαίνει δηλαδὴ καὶ στὴν πραγματικότητα. Ἐτσι ἐνῶ τὰ ἀντικείμενα στὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς, διποὺ τὰ δέντρα, τὰ σπίτια, οἱ βράχοι κλπ.

μᾶς δίνουν τὴν ἐντύπωση διτή ήρεμούν καὶ εἶναι ἀκίνητα, στὴν πραγματικότητα κυρῶνται. Αὐτὸ συμβαίνει γιατί, ἐνδέ μένουν ἀκλόνητα στὴν ἐπιφάνεια τῆς, ἡ Γῇ τὰ παρασύρει στὴ δική της κίνηση στὸ διάστημα. Ἡ κίνηση αὐτή δὲν γίνεται ἀντιληπτή σὲ μᾶς, γιατὶ ἀπλούστατα δὲν ὑπάρχει κοντά στὸν πλανήτη μας ἔνα ἀκίνητο σῶμα, γιὰ νὰ συγκρίνουμε τὶς ἀποστάσεις μας ἀπὸ αὐτό. "Ωστε:

Ἡ ήρεμία καὶ ἡ κίνηση εἰναι ἔννοιες σχετικές. "Ἐνα σῶμα κινεῖται ἡ ήρεμει ὡς πρὸς ἔνα ἄλλο σῶμα, ποὺ τὸ θεωροῦμε ἀκίνητο.

**§ 3. Ἡ κίνηση στὸ μακρόκοσμο καὶ μικρόκοσμο.** Μὲ τὰ σημερινὰ ἐπιστημονικὰ μέσα παρατηρήσεως μᾶς εἶναι δυνατὸ νὰ μελετήσουμε καὶ ἔξερευνήσουμε τὸν ἀπέραντο κόσμο τοῦ σύμπαντος (*μακρόκοσμος*) καὶ τὸν μικροσκοπικὸ κόσμο τῶν μορίων καὶ τῶν ἀτόμων τῆς ὥλης (*μικρόκοσμος*). Τὰ οὐράνια σώματα, πλανῆτες, ἀπλανεῖς, κομῆτες, νεφελώματα κλπ. βρίσκονται σὲ μιὰν ἀδιάκοπη κίνηση. Οἱ πλανῆτες στρέφονται γύρω ἀπὸ τοὺς κεντρικοὺς ἥλιους. Οἱ κομῆτες ἄλλοτε περιφέρονται στὸ διάστημα καὶ ἄλλοτε πλησιάζουν κάποιον ἥλιο καὶ γίνονται μέλη τῆς πλανητικῆς του οἰκογένειας. Οἱ ἥλιοι κινοῦνται παρασύροντας στὴ δική τους κίνηση τοὺς πλανῆτες, ποὺ τοὺς ἀκολουθοῦν. "Ετσι κάθε οὐράνιο σῶμα συμμετέχει σὲ πολλές διαφορετικὲς κίνήσεις.

Στὸ μικρόκοσμο δλες οἱ διαπιστώσεις μας ὁδηγοῦν στὸ συμπέρασμα διτὴ τὰ μόρια, τὰ ἄτομα, τὰ ἡλεκτρόνια κλπ. βρίσκονται σὲ μιὰν ἀδιάκοπη καὶ περίπλοκη κίνηση. "Ωστε:

Στὴ Φύση ἡ κίνηση ἀποτελεῖ τὸν κανόνα, ἡ ήρεμία τὴν ἔξαίρεσθ.

**§ 4. Κινηματικὰ στοιχεῖα.** "Οταν ἔνα σῶμα κινεῖται, ἀλλάζει διαδοχικὰ θέσεις στὸ χρόνο. "Αν ἐνώσουμε τὶς διαδοχικὲς αὐτὲς θέσεις, θὰ πάρουμε μιὰ συνεχὴ γραμμή, ποὺ δονομάζεται *τροχιά* τοῦ κινητοῦ. "Οταν ἡ τροχιά εἰναι εὐθεία γραμμή, ἡ κίνηση δονομάζεται *εὐθύγραμμη*. "Οταν ἡ τροχιά εἰναι καμπύλη γραμμή, ἡ κίνηση δονομάζεται *καμπυλόγραμμη*. Μερικὴ περιπτωση τῆς καμπυλόγραμμῆς κινήσεως εἰναι ἡ *κυκλικὴ κίνηση* σ' αὐτὴν τὸ κινητὸ κινεῖται σὲ περιφέρεια κύκλου.

Εὐθύγραμμη κίνηση ἐκτελοῦν τὰ βαριὰ σώματα, δταν πέφτουν στὴ Γῇ. Ἡ τροχιά μᾶς πέτρας, ποὺ πετοῦμε μὲ δύναμη μακριά μας, εἰναι καμπυλόγραμμη (σχ. 1).



**Σχ. 1.** Ἡ πέτρα ποὺ ρίχνομε διαγράφει καμπύλη τροχιά.

Κυκλικὴ κίνηση ἐκτελοῦν τὰ διάφορα σημεῖα τῆς περιφέρειας ἐνὸς τροχοῦ ποὺ στρέφεται. Τὸ μῆκος τῆς τροχιᾶς τοῦ κινητοῦ, ἀπὸ τὴν ἀφετηρία τῆς κινήσεως ὡς τὸ τέρμα, λέγεται διάστημα καὶ παριστάνεται συμβολικὰ μὲ τὸ γράμμα s. Ἡ ἀφετηρία τῆς κινήσεως λέγεται καὶ ἀρχὴ τῶν διαστημάτων. "Ἐνα κινητη, γιὰ νὰ διανόσει ἔνα δρισμένο τρῆμα τῆς τροχιᾶς του, χρειάζεται χρόνο. Ὁ χρόνος μᾶς κινήσεως μετριέται ἀπὸ τὴν ἔναρξη τῆς κινήσεως ὡς τὸ τέλος τῆς καὶ παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα t.

**§ 5. Εὐθύγραμμη διμαλὴ κίνηση.** Οἱ κινήσεις ποὺ γίνονται πάνω σὲ εὐθύγραμμη τροχιά δὲν εἰναι δλες ἰδιες. "Ετσι οἱ κινήσεις τοῦ σαλίγκαρου πάνω σ' ἔνα ίσιο ποδιδί, τοῦ ποδηλάτη στὸ εὐθύγραμμο τμῆ-

μα ένδος δρόμου ή τοῦ σιδηροδρομικοῦ συρμοῦ πάνω σὲ εὐθύγραμμες σιδηροτροχίες, εἰναι πολὺ διαφορετικές. "Αν δημοσίες δὲν λάβουμε ὑπ' ὅψη μας πῶς γίνεται ἡ μετάβαση ἀπὸ τὴν κατάσταση τῆς ηρεμίας στὴν κατάσταση τῆς κινήσεως καὶ γιὰ ἀπλούστευση τοῦ πράγματος ὑποθέσουμε πῶς τὸ καθένα ἀπὸ τὰ παραπάνω τρία σώματα κινεῖται μὲ τέτοιον τρόπο, ὥστε σὲ Ἰσούς χρόνους νὰ διανύει ἵστα διαστήματα, τότε ἐκτελοῦν τὴν ἀπλούστερη ἀπὸ τις εὐθύγραμμες κινήσεις. 'Ἐκτελοῦν εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση. "Ωστε:

"Ἐνα κινητὸ ἐκτελεῖ εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση, ὅταν κινεῖται πάνω σὲ εὐθύγραμμη τροχιὰ καὶ διανύει σὲ Ἰσούς χρόνους ἵστα διαστήματα.

Στὴν ἄκρη τῶν μεγάλων αὐτοκινητόδρομῶν ὑπάρχουν κατὰ ἴσες ἀποστάσεις, 1000 μ. συνήθως, μικρὲς τιμεντένεις ἢ μαρμάρινες στῆλες, πάνω στὶς ὁποῖες εἰναι γραμμένες σὲ χιλιόμετρα οἱ ἀποστάσεις ἀπὸ τὴν ἀφετηρία. "Αν ἔνα αὐτοκίνητο κινεῖται πάνω στὸν αὐτοκινητόδρομο καὶ σ' ἔνα μεγάλο εὐθύγραμμο τμῆμα τοῦ δρόμου ἔτσι, ὥστε ὁ δείκτης τοῦ ταχυμέτρου του νὰ παραμένει στὴν ἴδια πάντα θέση, θὰ χρειάζεται τὸν ἕδιο πάντοτε χρόνο, γιὰ νὰ διανύσει τὴν ἀπόσταση ποὺ χωρίζει δυὸ στῆλες, ἔστω 1 πρῶτο λεπτό. Τὸ αὐτοκίνητο αὐτὸ ἐκτελεῖ εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση, δοσο συνεχίζει τὴν κίνησή του μὲ τὶς ἴδιες συνθῆκες.

**§ 6. Ταχύτητα.** Ὁ ρυθμὸς ποὺ παρουσιάζει μιὰ κίνηση, δηλαδὴ ἡ βραδύτητα ἢ γρηγοράδα της χαρακτηρίζεται ἀπὸ ἔνα φυσικὸ μέγεθος, ποὺ λέγεται ταχύτητα καὶ παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα  $v$ . Ἡ ταχύτητα βρίσκεται σὲ ἡμεσο συσχετισμὸ μὲ τὸ διάστημα καὶ τὸ χρόνο, ποὺ ἀπαιτήθηκε γιὰ νὰ διανυθεῖ τὸ διάστημα αὐτό.

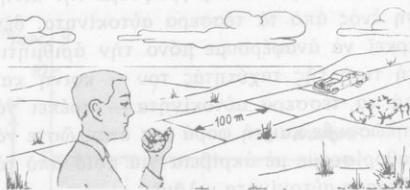
Στὴν εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση δρίζομε σὰν ταχύτητα υ τὸ πηλίκο τοῦ διαστήματος μὲ τὸ χρόνο  $t$ , στὸν ὅποιο διανύθηκε τὸ διάστημα αὐτό.

Δηλαδή:

$$\text{ταχύτητα} = \frac{\text{διάστημα ποὺ διανύθηκε}}{\text{χρόνος ποὺ ἀπαιτήθηκε}}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

Γιὰ νὰ προσδιορίσουμε λοιπὸν τὴν ταχύτητα ἐνὸς σώματος, ποὺ ἐκτελεῖ εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση, πρέπει νὰ μετρήσουμε ἔνα μῆκος καὶ ἔνα χρόνο, τὸ χρόνο ποὺ χρειάστηκε τὸ κινητό, γιὰ νὰ διατρέξει αὐτὸ τὸ μῆκος (σχ. 2). Τὸ πηλίκο τῶν δύο αὐτῶν μετρήσεων μᾶς δίνει τὴν ταχύτητα τοῦ κινητοῦ, ἡ ὅποια — καὶ αὐτὸ εἶναι χαρακτηριστικὸ γιὰ τὴν εὐθύγραμμη ὄμαλὴ κίνηση — δὲν ἔχει τατταὶ ἀπὸ τὸ μῆκος τοῦ διαστήματος ποὺ μετρήσαμε καὶ τὸ χρόνο, στὴ διάρκεια τοῦ ὅποιου διανύθηκε τὸ διάστημα αὐτό.



Σχ. 2. Ἡ ταχύτητα δρίζεται σὰν πηλίκο τοῦ διαστήματος μὲ τὸ χρόνο, στὸν ὅποιο διανύθηκε. Τὸ αὐτοκίνητο τοῦ σχήματος ἔχει ταχύτητα 100 m/sec.

**Μονάδες ταχύτητας.** "Οταν τὸ διάστημα μετρίεται σὲ μέτρα καὶ ὁ χρόνος σὲ δευτέρολεπτα, μονάδα ταχύτητας εἶναι τό:

1 μέτρο τὸ δευτερόλεπτο (1 m/sec)

Ἡ μονάδα αὐτὴ ἀνήκει στὰ συστήματα M.K.S. καὶ στὸ Τεχνικὸ Σύστημα.

Ἀν δημοσίες τὸ διάστημα μετρίεται σὲ ἑκα-

τοστόμετρα και ό χρόνος σε δευτερόλεπτα, τότε μονάδα ταχύτητας είναι τό:

**1 έκατοστόμετρο τό δευτερόλεπτο (1 cm/sec)**

Η μονάδα αυτή άνήκει στὸ σύστημα C.G.S.

Γιὰ τὶς άνάγκες τῆς πρακτικῆς ζωῆς χρησιμοποιοῦμε σὰν μονάδα ταχύτητας τό:

**1 χιλιόμετρο τὴν ὥρα (1 km/h)**

Ἐτσι, ὅταν λέμε πώς ἡ ταχύτητα ἐνὸς αὐτοκινήτου είναι 60 km/h, ἐννοοῦμε ὅτι τὸ αὐτοκίνητο αὐτὸ σὲ χρόνο μιᾶς ὥρας διανει διάστημα 60 km.

Ἡ ταχύτητα τῶν πλοίων ἔκφραζεται σὲ κόμβους:

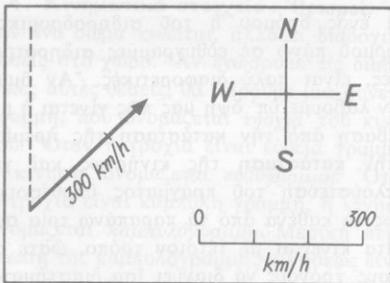
**1 κόμβος = 1 ναυτικὸ μίλι τὴν ὥρα.**

**§ 7. Ἡ ταχύτητα είναι διανυσματικὸ μέγεθος.** Ἀς θεωρήσουμε τέσσερα αὐτοκίνητα, ποὺ ἀπομακρύνονται ἀπὸ μιὰ διαστάυρωση ἀκολουθώντας διαφορετικὲς φορὲς στὴν κίνησή τους, τὰ ταχύμετρά τους δῶμας δείχνουν ὅλα τὴν ἴδια ταχύτητα, 60 km/h.

Ἄν θέλουμε νὰ περιγράψουμε τὴν κίνηση ἐνὸς ἀπὸ τὰ τέσσερα αὐτοκίνητα, δὲν ἀρκεῖ νὰ ἀναφέρουμε μόνο τὴν ἀριθμητικὴ τιμὴ τῆς ταχύτητας του — κοινὴ καὶ γιὰ τὰ τέσσερα αὐτοκίνητα — πρέπει νὰ δηλώσουμε καὶ τὴ φορά της ἔτσι, ὥστε νὰ καθορίσουμε μὲ ἀκρίβεια γιὰ ποιό ἀπὸ τὰ τέσσερα αὐτοκίνητα μιλᾶμε.

Γιὰ νὰ κατανοήσουμε ἐπίσης τὸ πράγμα, ἀς ἀναρωτηθοῦμε τί σημαίνει ἡ δῆλωση: «Ἐνα ἀεροπλάνο πέρασε πετώντας μὲ ταχύτητα 500 km/h πάνω ἀπὸ τὸ παρατηρητήριο». Είναι φανερὸ πώς ἡ κίνηση τοῦ ἀεροπλάνου δὲν καθορίζεται μὲ σαφήνεια, γιατὶ δὲν ἀναφέρεται ἡ διεύθυνση καὶ ἡ φορά τῆς κινήσεώς του.

Ἡ ταχύτητα ἀνήκει, λοιπόν, στὰ φυσικὰ ἐκεῖνα μεγέθη, ποὺ χρειάζονται γιὰ τὸν πλήρη καθορισμό τους τὴν ἔνδειξη



Σχ. 3. Ἡ ταχύτητα είναι διανυσματικὸ μέγεθος. Στὸ σχῆμα ἔχει μέτρο 300 km/h καὶ φορά βορειο-ανατολική.

ἐνὸς μέτρου, μιᾶς διευθύνσεως καὶ μιᾶς φορᾶς (σχ. 3). Ὁστε:

Ἡ ταχύτητα είναι διανυσματικὸ μέγεθος.

**§ 8. Νόμοι τῆς εὐθύγραμμης διαστήματος κινήσεως.** a) Νόμος τῆς ταχύτητας. Στὴν εὐθύγραμμη διαστήματος κίνηση τὸ διάνυσμα τῆς ταχύτητας παραμένει σταθερὸ κατὰ τὸ μέτρο, τὴ διεύθυνση καὶ τὴ φορά.

β) Νόμος τοῦ διαστήματος. Ἀν ἐπιλύσουμε τὸν τύπο τῆς ταχύτητας ως πρὸς s πάρινομε:

$$s = v \cdot t$$

“Ωστε:

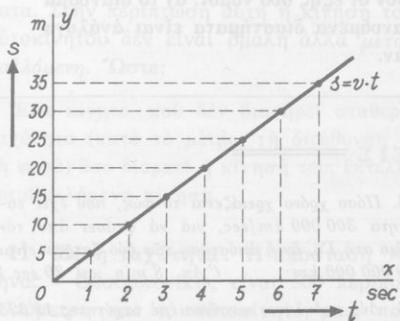
Κατὰ τὴν εὐθύγραμμη καὶ διαστήματος κίνηση τὰ διαστήματα είναι ἀνόλογα μὲ τὸν χρόνον, στοὺς ὅποιους διανύθηκαν.

**§ 9. Διαγράμματα εὐθύγραμμης διαστήματος κινήσεως.** a) Διάγραμμα διαστήματος - χρόνου. Γιὰ νὰ παραστήσουμε γραφικὰ τὴ σχέση τῆς μεταβολῆς τοῦ διαστήματος σὲ συνάρτηση μὲ τὸ χρόνο, θεωροῦμε μιὰ διαστήματος κίνηση ποὺ ἔχει, ὅς ποῦ, ταχύτητα  $v$ , ἵστω πρὸς  $s = v \cdot t$ , ὑπολογίζομε τὰ διαστήματα ποὺ διανύονται ἀπὸ τὸ κινητὸ σὲ

χρόνους 0 sec, 1 sec, 2 sec, 3 sec κλπ. και καταστρώνομε τὸν ἀκόλουθο πίνακα μετρήσεων.

t σὲ sec	0	1	2	3	4	5	6	7
s σὲ m	0	5	10	15	20	25	30	35

Παίρνομε δύο δρθιγώνιους ἄξονες και στὸν δριζόντιο Οχ ἀναφέρομε τοὺς χρόνους (sec), ἐνῷ στὸν κατακόρυφο Ογ τὰ διαστήματα (m). Ὁ Οχ εἶναι ὁ ἄξονας τῶν χρόνων και ὁ Ογ ὁ ἄξονας τῶν διαστημάτων. Διαλέγομε κατάλληλη κλίμακας ἀντιστοιχίας γιὰ τὸν κάθε ἄξονα, γιὰ τὸν Οχ π.χ. 1 cm γιὰ 1 sec και γιὰ τὸν Ογ 1 cm γιὰ 5 m. "Υστερα δρίζομε τὰ παραστατικὰ σημεῖα τοῦ ἐπιπέδου ποὺ ἀντιστοιχοῦν στὰ ζεύγη (0 sec, 0 m), (1 sec, 5 m), (2 sec, 10 m), (3 sec, 15 m) κλπ. Τέλος ἐνώνωμε μὲ συνεχὴ γραμμὴ τὰ παραστατικὰ αὐτὰ σημεῖα. Παρατηροῦμε ὅτι ἡ γραμμὴ αὐτὴ εἶναι εὐθεία, ποὺ περνᾷ ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τῶν ἄξονων (σχ. 4). "Οστε:

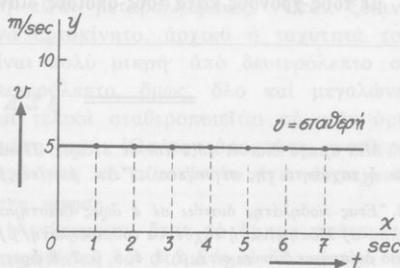


Σχ. 4. Διάγραμμα διαστήματος - χρόνου. Εὐθεία γραμμὴ ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τῶν ἄξονων.

Τὸ διάγραμμα τοῦ διαστήματος, σὲ συνάρτηση πρὸς τὸ χρόνο, στὴν εὐθύγραμμη ὄμαλῃ κίνηση, εἶναι εὐθεία γραμμή, ἡ ὥστα περνᾶ ἀπὸ τὴν ἀρχὴ τῶν ἄξονων.

β) Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου. Παίρνομε και πάλι δύο δρθιγώνιους ἄξονες, τὸν δριζόντιο Οχ, ἄξονα τῶν χρόνων και τὸν κατακόρυφο Ογ, ἄξονα τῶν ταχυτήτων και δριζόμε κατάλληλες κλίμακες ἀντιστοιχίας στοὺς δύο ἄξονες, ἔστω 1 cm γιὰ 1 sec και 3 cm γιὰ 5 m/sec. "Οσο ἡ ταχύτητα μένει σταθερὴ και ἵση πρὸς 5 m/sec, τὰ διάφορα παραστατικὰ σημεῖα τοῦ ἐπιπέδου (1 sec, 5 m/sec), (2 sec, 5 m/sec), (3 sec, 5 m/sec) κλπ. Θὰ προβάλλουνται στὸν ἄξονα τῶν ταχυτήτων στὸ σημεῖο ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὴν ἔνδειξη 5 m/sec. Ἔπομένως θὰ βρίσκουνται πάνω σὲ μιὰν εὐθεία κάθετη πρὸς τὸν ἄξονα τῶν ταχυτήτων και στὴν ἔνδειξη 5 m/sec τοῦ ἄξονα (σχ. 5). "Οστε:

Τὸ διάγραμμα τῆς ταχύτητας, σὲ συνάρτηση πρὸς τὸ χρόνο, εἶναι στὴν εὐθύγραμμη ὄμαλῃ κίνηση εὐθεία παράλληλη μὲ τὸν ἄξονα τῶν χρόνων.



Σχ. 5. Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου. Εὐθεία παράλληλη μὲ τὸν ἄξονα τῶν χρόνων.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Οταν ἔνα σῶμα ἀλλάζει θέση στὸ διάστημα, σχετικὰ μὲ ἔνα ἄλλο σῶμα, λέμε ὅτι τὸ σῶμα κινεῖται. Τὸ σῶμα ηρεμεῖ, οταν διατηρεῖ συνεχῶς τὴν ίδια θέση.

Η ήρεμία, έπομένως, και ή κίνηση είναι ξενοιες σχετικές και άποκτον περιεχόμενο, όταν τις άναφέρουμε σε σώματα, πού τάθεωρούμε άκινητα. Προσεκτικές και λεπτομερείς παρατηρήσεις δείχνουν ότι στη Φύση η κίνηση είναι ό κανόνας και ή ήρεμία ή έξαιρεση.

2. Σὲ ένα κινούμενο σῶμα διακρίνομε: α) τὴν τροχιά, τὴν συνεχὴ δηλαδὴ γραμμή, ποὺ σχηματίζομε, όταν ένώσουμε τὶς διαδοχικὲς θέσεις τοῦ κινητοῦ στὸ διάστημα. Ή γραμμὴ αὐτὴ μπορεῖ νὰ είναι εὐθύγραμμη, καμπυλόγραμμη κλπ., β) τὸ διάστημα s, τὸ μῆκος δηλαδὴ τῆς τροχιᾶς ἀπὸ τὴν ἀφετηρία τῆς κινήσεως ώς τὸ τέρμα τῆς καὶ γ) τὸ χρόνο t, ποὺ χρειάστηκε τὸ κινητὸ νὰ διανύσει τὸ διάστημα s.

3. Οταν τὸ κινητὸ έχει εὐθύγραμμη τροχιὰ καί, ἐνδὸν κινεῖται, διανύει σὲ ίσους χρόνους ίσα διαστήματα, λέμε ότι ἔκτελει εὐθύγραμμη διαδικασία κίνησης.

4. Ταχύτητα ν, στὴν εὐθύγραμμη διαδικασία κίνησης, δρίζομε τὸ πηλικό τοῦ διαστήματος s, ποὺ διανύθηκε σὲ χρόνο t, μὲ τὸ χρόνο t. Έπομένως θὰ έχουμε:

$$v = \frac{s}{t}$$

5. Η ταχύτητα μετριέται σὲ m/sec ή σὲ cm/sec. Στὴν πρακτικὴ ζωὴ μετριέται σὲ km/h, ἐνδὸν η ταχύτητα τῶν πλοίων ἐκφράζεται σὲ κόμβους, σὲ ναυτικὰ δηλαδὴ μῆλια τὴν ὥρα.

6. "Αν λόσουμε τὴν έξισωση τῆς ταχύτητας ώς πρὸς s, παίρνομε:  $s = v \cdot t$ .

7. Η ίδια έξισωση όταν λυθεῖ ώς πρὸς t, δίνει:  $t = s/v$ .

8. Η ταχύτητα είναι διανυσματικὸ μέγεθος.

9. Στὴν εὐθύγραμμη διαδικασία κίνησης ισχύουν οἱ έξι ίδιοι νόμοι: α) τὸ διάνυσμα τῆς ταχύτητας παραμένει σταθερό, β) τὰ διανύόμενα διαστήματα είναι άναλόγα μὲ τοὺς χρόνους κατὰ τοὺς ὁποίους διανύθηκαν.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Μιὰ ἄμαξα διανύει 43,2 km σὲ 3 ὀρες. Ποιά είναι η ταχύτητα τῆς σὲ m/sec; (Απ. 4 m/sec.)

2. "Ένας ποδηλάτης διανύει σὲ 4 ὀρες διάστημα 46 km. α) Πόση είναι η ταχύτητα τοῦ ποδηλάτη; β) Πόσο διάστημα διανύει σὲ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ὀρες; γ) Νὰ παραστήσετε γραφικὰ τὴν σχέσην μεταξὺ ταχύτητας καὶ χρόνου, δ) διαστήματος καὶ χρόνου. (Απ. α) 11,5 km/h, β) 11,5 km, 23 km, 34,5 km, 46 km, 57,5 km, 69 km, 80,5 km, 92 km.)

3. Η μέση ἀπόσταση Σελήνης — Γῆς είναι 384 000 km. Πόσο χρόνο θὰ χρειαζόταν μᾶλα σφαίρᾳ πυροβόλουν ὅπλου, γιὰ νὰ φτάσει στὴ Σελήνη, ἀν διατηροῦσε σταθερὴ τὴν ἀρχικὴ τῆς ταχύτητα, ίση μὲ 800 m/sec; (Απ. 5 ήμέρες, 13 ὀρες, 20 πρᾶτα λεπτά.)

4. Πόσο χρόνο χρειάζεται τὸ φῶς, ποὺ έχει ταχύτητα 300 000 km/sec, γιὰ νὰ φτάσει ἀπὸ τὸν "Ηλίο στὴ Γῆ, ἀν ἡ ἀπόσταση τῶν δύο ἀστρῶν είναι 150 000 000 km; (Απ. 8 min καὶ 20 sec.)

5. Δύο ποδηλάτες κινοῦνται μὲ ταχύτητες 18 325 m/h καὶ 18 328 m/h, καὶ είναι δεμένοι μὲ σκονὶ μήκους 5 m. Πόσο χρόνο θὰ κινοῦνται οἱ ποδηλάτες ὥστουν τεντωθεῖ τὸ σκονί, ἀν στὴν ἐκκίνηση ὡνεια βρισκόταν πλάι στὸν ἄλλο; (Απ. 1 h 40 min.)

6. Σὲ πόσο χρόνο διατρέχει ἕνας συρόμενος μήκους 120 m, ποὺ κινεῖται μὲ ταχύτητα 18 m/sec, μὰ γέφυρα μήκους 600 m; (Απ. 40 sec.)

7. "Ένα τραίνο πρόκειται νὰ άνατιναχτεῖ σὲ ἑνα σημεῖο ὅπου η ταχύτητα τὸν είναι 72 km/h. Τὸ

βραδύνουστο πυραγωγό σκοινί πού θὰ προκαλέσει τὴν ἀνάφλεξη τῆς ἐκπρικτικῆς ὑλῆς, ἔχει μῆκος 50 cm καὶ καύεται μὲ ταχύτητα 5 cm/sec. Πόση ἀπόσταση πρέπει νὰ χωρίζει τὸ τραίνο ἀπὸ τὸ συνεργεῖο ανατολάξεως τὴν στιγμὴν τῆς πυροδοτήσεως, ὥστε ἡ ἐκφρηση νὰ συμβεῖ, ὅταν ἡ ἀτμομηχανὴ φτάσει ἐπάνω ἀπὸ τὴν ἐκφρικτικὴν ὑλην; (*Ap. 200 m.*)

8. Ἀπὸ δύο τόπους ποὺ ἀπέχουν 12 km ἔχειν τὸν συγχρόνως, γιὰ νὰ συναντηθοῦν, ἔνας ποδηλάτης κι ἕνας πεζός. Οἱ ταχύτητες εἰναι 15 km/h ποδηλάτη καὶ 5 km/h τοῦ πεζοῦ. Πότε θὰ συναντηθοῦν καὶ ποῦ βρίσκεται τὸ σημεῖο συναντήσεως των; (*Ap. a' 36 min. b' 9 km ἀπὸ τὴν ἀφετηρία τοῦ ποδηλάτη.*)

## B' — ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ

**§ 10. Μεταβαλλόμενη κίνηση.** Ἐστω διτὶ ταξιδεύομε ἀπὸ τὴν Ἀθήνα στὴ Θεσσαλονίκη καὶ καταγράφομε σὲ διάφορες χρονικὲς στιγμὲς τὶς ταχύτητες, ποὺ μᾶς δείχνει τὸ ταχύμετρο τοῦ αὐτοκινήτου μας. Παρατηροῦμε τότε πῶς δεῖχτης τοῦ ταχυμέτρου δὲν μένει συνεχῶς σὲ μιὰ ὀρισμένη ὑποδιαίρεση. Ἐτσι ἡ ταχύτητα εἶναι σχετικὰ μεγάλη στὰ εὐθύγραμμα τμῆματα τοῦ δρόμου καὶ μικρότερη στὶς στροφές καὶ στὶς διασταυρώσεις. Ἐπομένως μποροῦμε νὰ ποῦμε πῶς τὸ αὐτοκίνητό μας δὲν διανύει σὲ ἵσους χρόνους ἵσα διαστήματα. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ κίνηση τοῦ αὐτοκινήτου δὲν εἶναι διμαλὴ ἀλλὰ μεταβαλλόμενη. "Ωστε:

"Ἐνα κινητό, ποὺ δὲν διατηρεῖ σταθερὴ ταχύτητα (κατὰ τὸ μέτρο, τῇ διεύθυνση ἢ τῇ φορᾷ) δύο διαρκεῖ ἡ κίνησή του, ἐκτελεῖ μεταβαλλόμενη κίνηση.

**§ 11. Μέση ταχύτητα.** Ἡ ἀπόσταση Ἀθήνας - Θεσσαλονίκης εἶναι 500 περίπου χιλιόμετρα καὶ τὸ αὐτοκίνητό μας, ποὺ κινεῖται μὲ μεταβαλλόμενη κίνηση, τὴν διανύει, ἔστω, σὲ 10 δρες.

"Ἄς φανταστοῦμε πῶς ἔνα ἄλλο αὐτοκίνητο ἔκεινα ἀπὸ τὴν Ἀθήνα ταυτόχρονα μὲ τὸ δίκο μας καὶ, κινούμενο μὲ ταχύτητα σταθεροῦ μέτρου, φτάνει σύγχρονα μὲ μᾶς στὴ Θεσσαλονίκη. Ἡ ταχύτητα τοῦ δεύτερου αὐτοῦ αὐτοκινήτου, ποὺ θὰ ἔχει σταθερὸ μέτρο:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{500}{10} \frac{\text{km}}{\text{h}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

λέγεται μέση ταχύτητα τοῦ δίκο μας αὐτοκινήτου, ποὺ κινεῖται μὲ μεταβαλλόμενη κίνηση. "Ωστε:

Μέση ταχύτητα ἔνὸς κινητοῦ, ποὺ κινεῖται μὲ μεταβαλλόμενη κίνηση, ὀνομάζεται ἡ σταθερὴ ταχύτητα ἔνὸς ἄλλου κινητοῦ, ποὺ διανύει τὸ ἴδιο διάστημα μὲ τὸ πρῶτο κινητὸ καὶ στὸν ἴδιο μὲ ἐκείνῳ χρόνο.

**§ 12. Εύθυγραμμη ὁμαλὰ μεταβαλλόμενη κίνηση.** Ἐπιτάχνυση. Οἱ περισσότερες κινήσεις ποὺ παρατηροῦμε στὴ Φύση εἶναι μεταβαλλόμενες. "Οταν ἔκεινα ἔνα αὐτοκίνητο, ἀρχικὰ ἡ ταχύτητά του εἶναι πολὺ μικρή ἀπὸ δευτερόλεπτο σὲ δευτερόλεπτο, δύως, δύο καὶ μεγαλώνει καὶ τελικὰ σταθεροποιεῖται σὲ μιὰν ὀρισμένη τιμὴ. "Ωστότου ἀποχτήσει σταθερὴ ταχύτητα, τὸ αὐτοκίνητο ἔχει ἐπιταχνόμενη κίνηση.

"Ἀντίστροφα, ὅταν τὸ δύχημα πρέπει νὰ σταματήσει, τὸ σταμάτημα δὲν γίνεται ἀπότομα. Ὁ δόηγός, χρησιμοποιώντας κατάλληλα τὶς τροχοπέδες, ἐλαττώνει ὀλοένα τὴν ταχύτητα καὶ τελικά τῇ μηδενίζει. Ἀπὸ τὴν χρονικὴ στιγμὴ ποὺ ἀρχίζει ἡ ἐλάττωση τῆς ταχύτητας, ὥστου τὸ δύχημα ἡρεμήσει, ἐκτελεῖ ἐπιβραδυνόμενη κίνηση.

"Ἡ ἐπιταχνόμενη καὶ ἡ ἐπιβραδυνόμενη κίνηση εἶναι δύο περιπτώσεις μεταβαλλόμενης κινήσεως.

"Οπως άναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο, στή μεταβαλλόμενη κίνηση τὸ διάνυσμα τῆς ταχύτητας δὲν μένει σταθερό, ἀλλὰ μεταβάλλεται. "Ενα διάνυσμα ὅμοιο μπορεῖ νὰ μεταβληθεῖ κατὰ τρεῖς τρόπους: α) μὲ μεταβολὴ τοῦ μέτρου του, β) μὲ μεταβολὴ τῆς φορᾶς του, γ) μὲ σύγχρονη μεταβολὴ μέτρου καὶ φορᾶς.

'Απὸ τις τρεῖς περιπτώσεις μεταβολῆς τοῦ διανύσματος τῆς ταχύτητας θὰ περιοριστοῦμε σ' ἑκείνη, ποὺ μεταβάλλεται μόνο τὸ μέτρο, ἐνδὴ ἡ διεύθυνση καὶ ἡ φορὰ διατηροῦνται σταθερές. Αὐτὸ συμβαίνει π.χ. σὲ ἔνα αὐτοκίνητο, ποὺ κινεῖται σ' ἔναν εὐθύγραμμο δρόμο. Καὶ σ' αὐτὴν δυμῶς τὴν περίπτωσην ὑπάρχουν πολλὲς δυνατότητες. 'Εμεῖς θὰ περιοριστοῦμε στὴν ὑποπερίπτωση ἑκείνη, δην ἡ ταχύτητα μεταβάλλεται σὲ ἴσους χρόνους μὲ τὸ ἴδιο μέτρο. Σὲ χρόνους, π.χ. κάθε 5 sec, μεταβάλλεται πάντοτε κατὰ 12 m/sec. 'Η κίνηση αὐτὴ δονομάζεται εὐθύγραμμη ὅμαλὰ μεταβαλλόμενη.

"Ωστε:

Εὐθύγραμμη, ὅμαλὰ μεταβαλλόμενη δοματίζομε τὴν κίνηση, στὴν ὁποία οἱ μεταβολὲς τῆς ταχύτητας είναι ἴσες σὲ ἴσους χρόνους.

"Αν ἡ σταθερὴ μεταβολὴ τῆς ταχύτητας

είναι θετική, ἀν δηλαδὴ ἡ ταχύτητα ὀλοένα αὐξάνεται, ἡ κίνηση λέγεται εὐθύγραμμη ὅμαλὰ ἐπιταχνόμενη κίνηση. "Αν ἡ σταθερὴ μεταβολὴ τῆς ταχύτητας είναι ἀρνητική, ἀν δηλαδὴ ἡ ταχύτητα ἐλαττώνεται ἀδιάκοπα, ἡ κίνηση λέγεται εὐθύγραμμη ὅμαλὰ ἐπιβραδυνόμενη κίνηση.

'Η εὐθύγραμμη ὅμαλὰ μεταβαλλόμενη κίνηση είναι δυνατὸ νὰ περιγραφεῖ μὲ ἀκρίβεια, ἀν χρησιμοποιήσουμε ἔνα νέο φυσικὸ μέγεθος, ποὺ δονομάζεται ἐπιτάχυνση καὶ παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα γ.

"Ορίζομε ως ἐπιτάχυνση γ μιᾶς εὐθύγραμμης καὶ ὅμαλὰ μεταβαλλόμενης κινήσεως τὸ πηλικό τῆς μεταβολῆς τῆς ταχύτητας μὲ τὸ χρόνο, ποὺ χρειάστηκε γιὰ νὰ γίνει ἡ μεταβολὴ αὐτῆ.

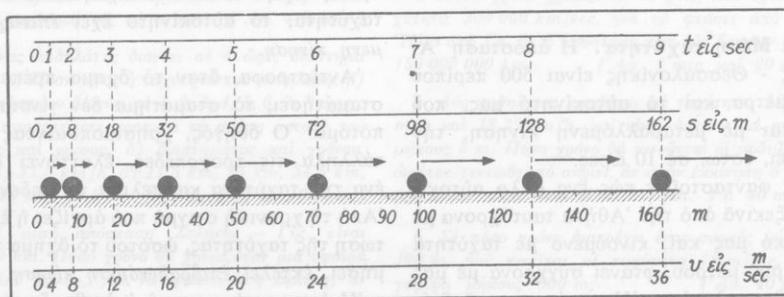
"Αν ἐπομένως μέσα σὲ χρονικὸ διάστημα  $t = 5 \text{ sec}$  ἡ ταχύτητα μεταβλήθηκε ἀπὸ τὴν τιμὴ  $v_1 = 0 \text{ m/sec}$  στὴν τιμὴ  $v_2 = 20 \text{ m/sec}$  (σχ. 6), ἐπειδὴ ἡ μεταβολὴ τῆς ταχύτητας είναι:

$$v_2 - v_1 = 20 \text{ m/sec} - 0 \text{ m/sec} = 20 \text{ m/sec}$$

ἡ ἐπιτάχυνση γ θὰ είναι ἴση μὲ:

$$\gamma = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{20 \text{ m/sec}}{5 \text{ sec}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec} \cdot \text{sec}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

"Έχομε συνεπῶς τὴν ἑξῆς ἔκφραση τῆς ἐπιταχύνσεως:



Σχ. 6. Εὐθύγραμμη ὅμαλὰ ἐπιταχνόμενη κίνηση μιᾶς σφαίρας μὲ σταθερὴ ἐπιτάχυνση  $\gamma = 4 \text{ m/sec}^2$ . Δείχνεται ἡ σχέση χρόνου, διαστήματος καὶ ταχύτητας.

$$\text{επιτάχυνση} = \frac{\text{μεταβολή τῆς ταχύτητας}}{\text{χρόνος ποὺ ἀπαιτήθηκε}}$$

$$\eta \quad \gamma = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

**Μονάδες επιταχύνσεως.** "Οταν ή ταχύτητα μετριέται σὲ μέτρα τὸ δευτερόλεπτο καὶ ὁ χρόνος σὲ δευτερόλεπτα, μονάδα επιταχύνσεως είναι τό:

1 μέτρο τὸ δευτερόλεπτο τετράγωνο  
(1 m/sec<sup>2</sup>).

Αὐτὸς σημαίνει ὅτι ἡ μεταβολὴ τῆς ταχύτητας είναι 1 m/sec σὲ κάθε δευτερόλεπτο.

'Η μονάδα αὐτὴ ἀνήκει στὰ συστήματα M.K.S. καὶ *Τεχνικὸ Σύστημα*.

Χρησιμοποιοῦμε ἐπίσης καὶ τὴ μονάδα:

1 ἑκατοστόμετρο τὸ δευτερόλεπτο τετράγωνο (1 cm/sec<sup>2</sup>).

'Η μονάδα αὐτὴ ἀνήκει στὸ *Σύστημα C.G.S.*

'Ο ἀνθρώπινος δργανισμὸς ἀνέχεται τὶς μεγάλες ταχύτητες δὲν ἀντέχει δῆμας στὶς μεγάλες επιταχύνσεις. "Οταν δὲ ἀνθρωπὸς κινεῖται κατὰ τὴ διεύθυνση τοῦ ὄψους του, ἀντέχει σὲ επιταχύνσεις ὡς 40 m/sec<sup>2</sup>. γιὰ πολὺ μικρὰ χρονικὰ διαστήματα ἀντέχει καὶ ὡς 180 m/sec<sup>2</sup>. Σὲ μεγαλύτερες τιμὲς επιταχύνσεως παθαίνει κατάγματα στὴ σπονδυλικὴ στήλῃ.

'Επιταχύνσεις κάθετες πρὸς τὴ διεύθυνση τοῦ ὄψους του είναι εὐκολότερα ὑποφερτὲς ἀπὸ τὸν ἀνθρωπὸ. Μετρήσεις καὶ πειράματα ἔδειξαν ὅτι στὴν περίπτωση αὐτὴ δὲ ἀνθρωπὸς μπορεῖ νὰ ἀντέχει σὲ επιταχύνσεις ὡς 120 m/sec<sup>2</sup>, γιὰ πολλὰ λεπτά, χωρὶς νὰ πάθει βλάβες τὸ κυκλοφοριακὸ σύστημα ἢ νὰ ἔχει ἀπώλεια τῶν αἰσθήσεων.

*§ 13. Νόμοι τῆς εὐθύγραμμης καὶ ὀμαλὰ επιταχύνσεων κινήσεως.* Πειρα-

ματικὰ βρέθηκαν οἱ ἔξῆς δύο νόμοι τῆς ὀμαλὰ επιταχύνσεων κινήσεως:

**α) Νόμος τῶν ταχυτήτων.** Οἱ ταχύτητες είναι ἀνάλογες πρὸς τοὺς χρόνους, κατὰ τοὺς ὀποίους ἀποκτήθηκαν.

'Ο νόμος αὐτὸς διατυπώνεται καὶ μὲ τὴ σχέση:

$$v = \gamma \cdot t$$

ὅπου γ είναι ἡ ἐπιτάχυνση τῆς κινήσεως, τὸ χρόνος τῆς κινήσεως καὶ υ ἡ ταχύτητα τοῦ κινητοῦ στὸ τέλος τοῦ χρόνου t.

**β) Νόμος τῶν διαστημάτων.** Τὰ διαστήματα είναι ἀνάλογα πρὸς τὰ τετράγωνα τῶν χρόνων, κατὰ τοὺς ὀποίους διανύθηκαν.

'Ο νόμος αὐτὸς διατυπώνεται καὶ μὲ τὴν ἔξισωση:

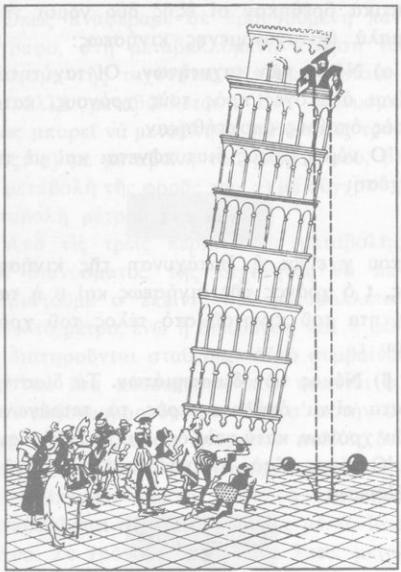
$$s = \frac{1}{2} \gamma \cdot t^2$$

ὅπου γ είναι ἡ ἐπιτάχυνση τῆς κινήσεως, τὸ χρόνος τῆς κινήσεως καὶ s τὸ διάστημα ποὺ διανύθηκε στὸ χρόνο αὐτὸ.

**Σημείωση.** Οἱ παραπάνω δύο ἔξισώσεις ἰσχύουν γιὰ τὴν περίπτωση ποὺ τὸ κινητὸ ζεκινᾶ ἀπὸ τὴν ἡρεμία, μὲ ἀρχικὴ δηλαδὴ ταχύτητα μηδενική.

**§ 14. Ἐλεύθερη πτώση τῶν σωμάτων.** **Πείραμα 1.** Ἀφήνομε νὰ πέσουν ταυτόχρονα στὸ ἔδαφος ἀπὸ ἔνα δρισμένο ὕψος μία πέτρα, ἔνα φτερὸ καὶ ἔνα φύλλο χαρτί. Παρατηροῦμε ὅτι τὰ τρία αὐτὰ σώματα φτάνουν σὲ διαφορετικὸς χρόνους στὸ ἔδαφος: πρώτη φτάνει ἡ πέτρα καὶ τελευταῖο τὸ φύλλο τὸ χαρτί. "Ετσι μᾶς δημιουργεῖται ἡ ἐντύπωση ὅτι ἡ ἐλεύθερη πτώση γίνεται μὲ διαφορετικὸ ρυθμό, γιὰ τὰ διάφορα σώματα καὶ σχηματίζομε τὴ σφαλερὴ ἐντύπωση ὅτι τὰ βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα πρὸς τὴ Γῆ.

'Ο *Γαλιλαῖος* ἔδειξε πρῶτος πῶς αὐτὸ δὲν είναι σωστὸ (σχ. 7). Πραγματικά, ὅπως



**Σχ. 7.** Ό Γαλιλαῖος μελέτησε πρώτος τοὺς νόμους τῆς πτώσης τῶν σωμάτων, ἀφήνοντας νά πέσουν ἐλεύθερα βαριές σφαίρες ἀπὸ τὸν πύργο τῆς Πίζας.

ἀπόδειξε δὲ Γαλιλαῖος, στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ ἐλεύθερη πτώση, ἡ κίνηση δηλαδὴ τῶν διαφόρων σωμάτων πρὸς τὴν Γῆ, δταν τὰ σώματα ἀφεθοῦν ἐλεύθερα, ἐμποδίζεται ἀπὸ ἔωτερικοὺς παράγοντες.

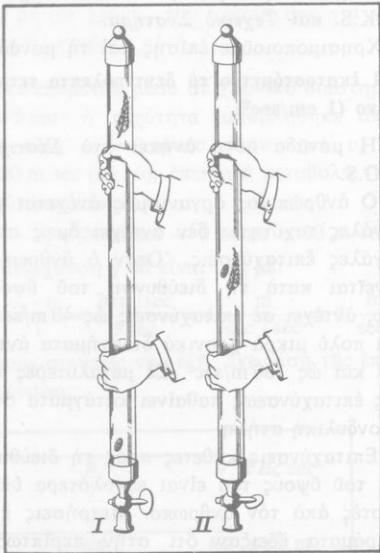
"Οπως γνωρίζομε, ἡ πτώση τῶν σωμάτων εἰναι ἀποτέλεσμα τῆς ἐλκτικῆς δυνάμεως ποὺ ἀσκεῖ σ' αὐτὰ δὲ πλανήτης μας, ἐλκονάς τα πρὸς τὸ κέντρο του. "Αν δηλουμε νά μελετήσουμε τὴν κίνηση ποὺ προκαλεῖ ἡ ἐλξη αὐτή, πρέπει νά ἔχουνετερώσουμε τὰ αἴτια ποὺ τὴν ἀλλοιώνουν, ἀνάμεσα στὰ δύο τα κυριότερο εἰναι δὲ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα.

**Πείραμα 2.** Ό μεγάλος Ἀγγλος Μαθηματικός και Φυσικός Νεύτων (1642 - 1727) ἐκτέλεσε τὸ ἀκόλουθο πείραμα:

Μέσα σ' ἑνα γαλάινο κυλινδρικὸ σωλήνα, μήκου 2 m περίπου, κλειστὸ στὰ δύο ἄκρα

του, βάζομε διάφορα σώματα, δπως π.χ. ἑνα φτερό κι' ἑνα νόμισμα (σχ. 8,I). "Αν μέσα στὸ σωλήνα ὑπάρχει ἀέρας και ἀναστρέψουμε ἀπότομα τὸν σωλήνα, θὰ παρατηρήσουμε, δτι τὰ δύο σώματα δὲν πέφτουν ταυτόχρονα, ἀλλὰ πρότα τὸ νόμισμα και μετά τὸ φτερό. "Αν δηλως συνδέσουμε τὸ στόμιο τοῦ σωλήνα, ποὺ εἶναι ἐφοδιασμένο μὲ στρόφιγγα, μὲ μιὰν ἀεραντλία και, ἀφοῦ ἀφαιρέσουμε τὸν ἄέρα, ἐπαναλάβουμε τὸ πείραμα, παρατηροῦμε δτι και τὰ δύο σώματα πέφτουν ταυτόχρονα και φτάνουν σύγχρονα στὸν πυθμένα (σχ. 8,II). "Ωστε:

Στὸ κενὸν ὅλα τὰ σώματα πέφτουν συγχρόνως.



**Σχ. 8.** Μὲ τὸν σωλήνα τοῦ Νεύτωνα ἀποδεικνύομε τὴν ταυτόχρονη πτώση τῶν σωμάτων.

**§ 15. Ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας.** Ή ἐλεύθερη πτώση τῶν σωμάτων εἰναι, δπως ἀποδεικνύεται, περίπτωση ειδύλληραμμῆς και δημάλα ἐπιτάχυνομένης κινήσεως.

"Η ἐπιτάχυνση τῆς κινήσεως αὐτῆς δνο-

μάζεται έπιτάχυνση τής βαρύτητας και παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα g.

Μὲ διάφορα πειράματα βρέθηκε ὅτι είναι:

$$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$$

**§ 16.** Έξισώσεις τῆς ἐλεύθερης πτώσης τῶν σωμάτων. Ἀφοῦ ἡ ἐλεύθερη πτώση τῶν σωμάτων είναι εὐθύγραμμη ὀμαλὰ ἐπιταχυνόμενη κίνηση μὲ ἐπιτάχυνση g, οἱ ταχύτητες τῆς κινήσεως αὐτῆς στοὺς διάφορους χρόνους τῆς πτώσης θὰ δίνονται ἀπὸ τὴν ἔξισωση:

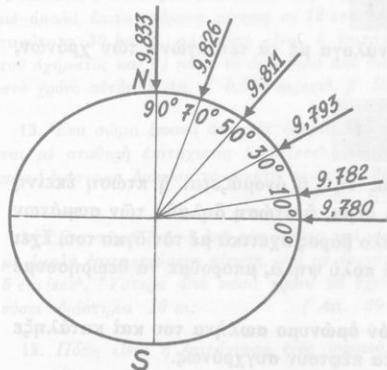
$$v = g \cdot t$$

ἐνδὸν τὰ διαστήματα, ποὺ διανύθηκαν στοὺς ἀντίστοιχους χρόνους t, ἀπὸ τὴν ἔναρξη τῆς πτώσης, ἀπὸ τὴν ἔξισωση:

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

"Ωστε:

Ἡ ἐλεύθερη πτώση τῶν σωμάτων είναι εὐθύγραμμη ὀμαλὰ ἐπιταχυνόμενη κίνηση, ἡ σταθερὴ ἐπιτάχυνση τῆς ὁποίας ὀνομάζεται ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας και είναι ἵση μὲ 9,81 m/sec<sup>2</sup>.

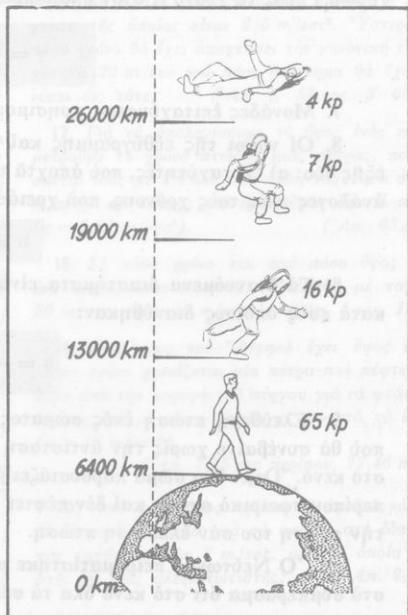


**Σχ. 9.** Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας αδέσανεται, δταν πλησιάζουμε πρὸς τοὺς Πόλους.

**Σημείωση 1.** Ἀκριβεῖς μετρήσεις τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας ἔδωσαν διαφορετικὲς τιμές, ποὺ βρέθηκε ὅτι ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὸ γεωγραφικὸ πλάτος τοῦ τόπου, ὅπου γίνεται ἡ μέτρηση. Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας ἐλάττωνται ὅσο ἀπομακρυνόμαστε ἀπὸ τοὺς Πόλους καὶ κατευθυνόμαστε πρὸς τὸν Ἰσημερινὸ (σχ. 9).

Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας ἐλάττωνται ἐπίστις καὶ μὲ τὸ ὑψος, ὅσο ἀπομακρυνόμαστε δηλαδὴ ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς, πράγμα ποὺ συνεπάγεται τὴν ἐλάττωση τοῦ βάρους τῶν σωμάτων μὲ τὸ ὑψος (σχ. 10).

**Σημείωση 2.** Οἱ νόμοι τῆς ἐλεύθερης πτώσης τῶν σωμάτων ἴσχουν κατὰ προσέγγιση καὶ γιὰ σώματα ποὺ πέφτουν μέσα στὸν ἀτμοσφαιρικὸ ἄέρα, μὲ τὴν προϋπόθεση διμως, ὅτι δὲν είναι πολὺ μεγάλο τὸ



**Σχ. 10.** Ἡ ἐλάττωση τῆς ἐπιταχύνσεως μὲ τὸ ὑψος ἔχει ὡς συνέπεια τὴν ἐλάττωση τοῦ βάρους τῶν σωμάτων.

1. "Οταν ένα σώμα πού κινεῖται δέν διατηρεί σταθερή ταχύτητα, δόσο διαρκεῖ ή κίνησης του, άλλα τη μεταβάλλει κατά τὸ μέτρο, τὴ διεύθυνση ἢ τὴ φορά, λέμε δὲ ἐκτελεῖ μεταβαλλόμενη κίνηση.

2. Στὴ μεταβαλλόμενη κίνηση, χρήσιμο είναι νὰ ξέρουμε τὴ μέση ταχύτητα ποὺ διατηρεῖ σταθερὸ μέτρο δόσο διαρκεῖ ή κίνηση. Τὸ σταθερὸ μέτρο είναι ίσο μὲ τὸ πηλίκο τοῦ διαστήματος μὲ τὸ χρόνο διάρκειας τῆς κινήσεως.

3. "Οταν ἡ ταχύτητα μιᾶς μεταβαλλόμενης κινήσεως αὐξάνεται, ή κίνηση είναι ἐπιταχυνόμενη, ἐνῶ ἀντίθετα ὅταν ἐλαττώνεται ή ταχύτητα, ή κίνηση χαρακτηρίζεται ως ἐπιβραδυνόμενη. Σὲ δοποιαδήποτε περίπτωση μεταβαλλόμενης κινήσεως, μεταβάλλεται ἀδιάκοπα τὸ διάνυσμα τῆς ταχύτητας.

4. "Οταν ἡ μεταβαλλόμενη κίνηση είναι εὐθύγραμμη καὶ ἡ ταχύτητα παρουσιάζει σταθερὸ μεταβολὴ στὴν κάθε χρονικὴ μονάδα, ή κίνηση ὁνομάζεται εὐθύγραμμη δομαλὰ μεταβαλλόμενη.

5. "Η σταθερὴ μεταβολὴ τῆς ταχύτητας στὴ μονάδα τοῦ χρόνου ὁνομάζεται ἐπιτάχυνση τῆς εὐθύγραμμῆς καὶ δομαλὰ μεταβαλλόμενης κινήσεως.

6. "Η ἐπιτάχυνση γ είναι ίση μὲ τὸ πηλίκο τῆς μεταβολῆς τῆς ταχύτητας ( $v_2 - v_1$ ) πρὸς τὸ χρόνο  $t$ , στὸν δοποῖο πραγματοποιήθηκε ή μεταβολὴ αὐτῆς:

$$\gamma = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

7. Μονάδες ἐπιταχύνσεως χρησιμοποιοῦμε τὸ 1 m/sec ἢ τὸ 1 cm/sec<sup>2</sup>.

8. Οἱ νόμοι τῆς εὐθύγραμμῆς καὶ δομαλὰ ἐπιταχυνόμενης κινήσεως είναι οἱ ἔξις δύο: α) Οἱ ταχύτητες, ποὺ ἀποχτᾶ τὸ κινητὸ στὴ διάρκεια τῆς κινήσεως, είναι ἀνάλογες πρὸς τοὺς χρόνους, ποὺ χρειάστηκαν γιὰ νὰ ἀποχτηθοῦν:

$$v = \gamma \cdot t$$

β) Τὰ διανυόμενα διαστήματα είναι ἀνάλογα μὲ τὰ τετράγωνα τῶν χρόνων, κατὰ τοὺς δοποίους διανύθηκαν:

$$s = \frac{1}{2} \gamma \cdot t^2$$

9. "Ελεύθερη πτώση ἐνός σώματος πρὸς τὴ Γῆ ὁνομάζεται ή πτώση ἐκείνη ποὺ θὰ συνέβαινε χωρὶς τὴν ἀντίσταση τοῦ ἀέρα, ή πτώση δηλαδὴ τῶν σωμάτων στὸ κενό. "Οταν ένα σώμα παρουσιάζει μεγάλο βάρος σχετικὰ μὲ τὸν ὅγκο του, ἔχει περίπου σφαιρικὸ σχῆμα καὶ δέν πέφτει ἀπὸ πολὺ ψηλά, μποροῦμε νὰ θεωρήσουμε τὴν πτώση του σὰν ἐλεύθερη πτώση.

10. "Ο Νεύτωνας πειραματίστηκε μὲ τὸν διάρρυντο σωλήνα του καὶ κατάληξε στὸ συμπέρασμα δὲ στὸ κενὸ δῆλα τὰ σώματα πέφτουν συγχρόνως.

11. "Η ἐλεύθερη πτώση τῶν σωμάτων είναι περίπτωση εὐθύγραμμῆς καὶ δομαλὰ ἐπιταχυνόμενης κινήσεως, μὲ ἐπιτάχυνση 981 cm/sec<sup>2</sup>. "Η ἐπιτάχυνση αὐτῆς ὁνομάζεται ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας  $g$ .

12. Στήν περίπτωση τής έλευθερης πτώσης τῶν σωμάτων οἱ έξισώσεις τῆς ταχύτητας καὶ τοῦ διαστήματος παίρνουν ἀντίστοιχα τὴν μορφή:

$$v = g \cdot t \quad s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

Στὶς δυό αὐτές έξισώσεις περιλαμβάνονται οἱ νόμοι τῆς πτώσης τῶν σωμάτων:

α) Ἡ έλευθερη πτώση τῶν σωμάτων εἶναι εδόγραμμη ὅμαλὰ ἐπιταχνούμενη κίνηση μὲ σταθερὴ ἐπιταχνηση  $g$ . β) Οἱ ταχύτητες, πὸν ἀποχτᾶ τὸ σῶμα ποὺ πέφτει, εἶναι ἀνάλογες μὲ τοὺς χρόνους τῆς πτώσης. γ) Τὰ διανυόμενα διαστήματα εἶναι ἀνάλογα μὲ τὰ τετράγωνα τῶν χρόνων τῆς πτώσης.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

9. Πόσο διάστημα διανύει σὲ 6 ὥρες ἔνα αὐτοκίνητο ποὺ τρέχει μὲ μέση ταχύτητα  $70 \text{ km/h}$ ; ( $\text{Άπ. } 420 \text{ km.}$ )

10. Ἡ ταχύτητα ἐνός σώματος αὐξάνεται μέσα σὲ χρόνο  $5 \text{ sec}$  ἀπὸ  $90 \text{ m/sec}$  σὲ  $160 \text{ m/sec}$ . Πόση εἶναι ἡ ἐπιτάχνηση τοῦ σώματος; ( $\text{Άπ. } 14 \text{ m/sec}^2$ .)

11. Ἐπάνω σ' ἔνα κεκλιμένο ἐπίπεδο κυλᾶ πρὸς τὰ κάτω ἔνα σῶμα ἔτσι, ὅπει σὲ κάθε δευτερόλεπτο ἡ ταχύτητά του νὰ αὐξάνεται  $6 \text{ cm/sec}$ . Πόση εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ σώματος  $8$  δευτερόλεπτα ὑστερα ἀπὸ τὴν ἔναρξη τῆς κινήσεως καὶ πόσο διάστημα ἔχει διανύσσει τὸ σῶμα στὸ χρόνο αὐτὸν; ( $\text{Άπ. } \alpha' 48 \text{ cm/sec. } \beta' 1,92 \text{ m.}$ )

12. Ἔνα αὐτοκίνητο ξεκινᾶ ἀπὸ τὴν ἡρεμία καὶ μὲ ὅμαλὰ ἐπιταχνούμενη κίνηση σὲ  $12 \text{ sec}$  ἀποχτᾶ ταχύτητα  $30 \text{ km/h}$ . α) Πόση εἶναι ἡ ἐπιτάχνηση τοῦ δχήματος καὶ β) πόσο τὸ διάστημα ποὺ διάνυσε στὸ χρόνο αὐτὸν; ( $\text{Άπ. } \alpha' 0,694 \text{ m/sec}^2. \beta' 50 \text{ m.}$ )

13. Ἔνα σῶμα ξεκινᾶ ἀπὸ τὴν ἡρεμία καὶ κινεῖται μὲ σταθερὴ ἐπιτάχνηση  $6 \text{ cm/sec}^2$ . Νὰ βρεθεῖ πόσο διάστημα διάνυσε τὸ κινητὸ σὲ χρόνο  $20 \text{ sec}$ . ( $\text{Άπ. } 12 \text{ m.}$ )

14. Ἔνα σῶμα ξεκινᾶ ἀπὸ τὴν ἡρεμία καὶ κινεῖται μὲ ὅμαλὰ ἐπιταχνούμενη κίνηση, καὶ μὲ ἐπιτάχνηση  $5 \text{ cm/sec}^2$ . Υστερα ἀπὸ πόσο χρόνο θὰ ἔχει διανύσσει διάστημα  $10 \text{ m.}$  ( $\text{Άπ. } 20 \text{ sec.}$ )

15. Πόση εἶναι ἡ ἐπιτάχνηση ἐνός συγμοῦ, ποὺ

ξεκινᾶ ἀπὸ τὴν ἡρεμία καὶ μὲ ἐπιτάχνηση σταθερὴ διανύει σὲ χρόνο  $1 \text{ min}$  διάστημα  $540 \text{ m}$ , καὶ πόση εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ συγμοῦ τῇ στιγμῇ ἔκεινη; ( $\text{Άπ. } 0,3 \text{ m/sec}^2, 18 \text{ m/sec.}$ )

16. Ἐνας σιδηροδρομικὸς συγμὸς κινεῖται μὲ εὐθύγραμμη ὅμαλὰ μεταβαλλόμενη κίνηση, ἡ ἐπιτάχνηση τῆς ὥποιας εἶναι  $2/5 \text{ m/sec}^2$ . "Υστερα ἀπὸ πόσο χρόνο θὰ ἔχει ἀποχτῆσαι τὴν κανονικὴ τοῦ ταχύτητα  $22 \text{ m/sec}$  καὶ πόσο διάστημα θὰ ἔχει διανύσσει ὡς τότε; ( $\text{Άπ. } \alpha' 55 \text{ sec. } \beta' 605 \text{ m.}$ )

17. Γιὰ νὰ ὑπολογίσουμε τὸ ὑψος ἐνὸς πύργου, μετροῦμε τὸ χρόνο πτώσης μᾶς πέτρας, ποὺ βρίσκεται ἵστος μὲ  $3,6 \text{ sec}$ . Μὲ πόση ταχύτητα συναντᾶ ἡ πέτρα τὸ ἔδαφος καὶ πόσο ὑψος ἔχει ὁ πύργος; ( $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ ). ( $\text{Άπ. } 63,57 \text{ m.}$ )

18. Σὲ πόσο χρόνο καὶ ἀπὸ πόσο ὑψος πέφτει σὸν σῶμα, ὅπα συναντᾶ τὸ ἔδαφος μὲ ταχύτητα  $50 \text{ m/sec}$ ; ( $g = 10 \text{ m/sec}^2$ ). ( $\text{Άπ. } 5 \text{ sec}, 125 \text{ m.}$ )

19. Ὁ πύργος τοῦ "Αἰφελ" ἔχει ὑψος  $300 \text{ m}$ . Πόσο χρόνο χρειάζεται μία πέτρα ποὺ πέφτει ἐλεύθερα ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ πύργου γιὰ νὰ φτάσει στὸ ἔδαφος καὶ μὲ πόση ταχύτητα συναντᾶ τὸ ἔδαφος; ( $g = 10 \text{ m/sec}^2$ ). ( $\text{Άπ. } 7,75 \text{ sec περίπου}, 77,46 \text{ m/sec.}$ )

20. Ἀπὸ ποιό υψος πρέπει νὰ ἀφεῖται νὰ πέσει ἐλεύθερα ἓνα δτομο, γιὰ νὰ φτάσει στὸ ἔδαφος μὲ τὴν ταχύτητα τῶν  $7 \text{ m/sec}$ , μὲ τὴν ὥποια φθάνει στὴ Γῆ ἔνας ἀλεξιπτωτιστής; ( $\text{Άπ. } 2,45 \text{ m.}$ )

## Γ' — ΑΔΡΑΝΕΙΑ. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

**§ 17. Γενικότητης.** Γιά νά μετακινήσουμε ἔνα σῶμα ποὺ ἡρεμεῖ, εἶναι ἀπαραίτητο, ὅπως μᾶς εἶναι γνωστό, νά τὸ τραβῆξουμε, νά τὸ ὀθήσουμε ἢ νά ἐπιδράσουμε πάνω σ' αὐτὸ μὲ κάποιον ἄλλο τρόπο. Τὸ ἵδιο συμβαίνει καὶ μὲ τὰ σώματα ποὺ κινοῦνται. Δὲν σταματοῦν, δὲν ἐπιταχύνουν οὔτε ἐπιβραδύνουν τὴν κίνησή τους, ἀν δὲν ἐνεργήσει ἐπάνω τους ἔνα ἔξωτερικό αἴτιο, μιὰ δύναμη.

Πραγματικά, γιὰ νά κινήσουμε ἔνα σῶμα ποὺ ἡρεμεῖ ἢ γιὰ νά τροποποιήσουμε κατά ὅποιοδήποτε τρόπο τὴν κίνηση ἐνὸς σώματος ποὺ κινεῖται, πρέπει νά ἀσκήσουμε σ' αὐτὸ μία δύναμη. "Ωστε:

Οἱ δυνάμεις προκαλοῦν τὶς μεταβολὲς στὴν κινητική κατάσταση τῶν σωμάτων.

"Οπως ὅμως μᾶς εἶναι ἐπίσης γνωστὸ ἀπὸ τὸ ἀξίωμα δράσεως καὶ ἀντιδράσεως, δταν σ' ἔνα σῶμα ἀσκοῦμε μία ὁρισμένη δύναμη τὸ σῶμα ἀντιδρᾶ μὲ δύναμη ἵσου μέτρου καὶ ἀντίθετης φορᾶς, πράγμα ποὺ γίνεται ἅμεσα ἀντιληπτό, δταν εἴμαστε ἐμεῖς ἐκεῖνοι ποὺ ἀσκοῦμε τὴ δύναμη." Οσο μεγαλύτερη προσπάθεια καταβάλλομε, γιὰ νά κινήσουμε π.χ. ἔνα μικρὸ ἀντοκίνητο, ποὺ ἔπαθε βλάβη δ κινητήρας του, σπρώχνοντάς το, τόσο μεγαλύτερη ἀντίσταση νιώθομε νά προβάλλει τὸ ἀντοκίνητο. Τὸ ἵδιο συμβαίνει καὶ μὲ σώματα ποὺ κινοῦνται ἀσκώντας ἐπάνω τους μιὰ δύναμη ἐπιδίωκομε νά τὰ σταματήσουμε ἢ νά τροποποιήσουμε τὴν κινητική τους κατάσταση. Τὰ σώματα ποὺ κινοῦνται παρουσιάζουν καὶ αὐτὰ μιὰν ἀντιδραση στὴν προσπάθειά μας καὶ εἶναι ἡ ἀντιδρασή τους αὐτὴ τόσο ἐντονότερη, δσο ἡ προσπάθειά μας εἶναι μεγαλύτερη. "Ωστε:

Τὰ ὄντικὰ σώματα ἀντιστέκονται σε κάθε δύναμη ποὺ ἐπιδιώκει τὴ μεταβολὴ στὴν κινητική τους κατάσταση.

**§ 18. Ἀδράνεια τῆς ὅλης.** Ἀπὸ ὅσα μάθαμε φτάνομε στὸ συμπέρασμα δτι δὲν εἶναι δυνατὸ νά πάθει ὁποιαδήποτε κινητική μεταβολὴ ἡ ὅλη, ἀν δὲν δεχτεῖ τὴν ἐπίδραση κάποιας δυνάμεως. Τὸ συμπέρασμα αὐτὸ τὸ ἐκφράζομε λέγοντας δτι ἡ ὅλη εἶναι ἀδράνης ἢ δτι ἡ ὅλη παρουσιάζει ἀδράνεια. Ἡ ἀδράνεια ἐκδηλώνεται καὶ μὲ τὴν ἀντιδραση ποὺ προβάλλει ἡ ὅλη σε κάθε ἀλλαγὴ τῆς κινητικῆς της καταστάσεως. Μποροῦμε λοιπὸν νά ποδμε δτι:

"Ἀδράνεια εἶναι ἡ χαρακτηριστικὴ ἰδιότητα τῆς ὅλης γά ἀντιστέκεται σε κάθε δύναμη ποὺ ἐπιδιώκει νά μεταβάλει τὴν κινητική της κατάσταση.

**Παρατήρηση.** Ἀπὸ τὴν πεῖρα μας γνωρίζομε δτι, δσο μεγαλύτερη μάζα ἔχει ἔνα σῶμα, τόσο ἐντονότερη ἀδράνεια παρουσιάζει. Μποροῦμε συνεπῶς νά συμπεράνουμε δτι:

Ἡ μάζα ἐκφράζει τὸ μέτρο τῆς ἀδράνειας ἐνὸς σώματος.

**§ 19. Ἀρχὴ τῆς ἀδράνειας.** Ἀν κυλίσουμε στὸ δάπεδο τὸ δωματίου μας μία σφαίρα, παρατηροῦμε δτι μὲ τὴν πάροδο τοῦ χρόνου ἡ ταχύτητά της ἐλαττώνεται καὶ τελικὰ ἡ σφαίρα σταματᾷ. Μὲ τὴν ἵδια ὅθηση ἡ σφαίρα διανύει μεγαλύτερο διάστημα, ἀν τὸ δάπεδο εἶναι περισσότερο λεῖο.

Φαινομενικὰ στὴν κίνηση τῆς σφαίρας κανένα ἔξωτερικό αἴτιο δὲν ἀντιδρᾶ. Στὴν πραγματικότητα δμως ἀντιδροῦν δύο κυρίως αἴτια: ἡ τριβὴ, ποὺ προκαλεῖται ἀπὸ τὴν ἐπαφὴ τῆς σφαίρας μὲ τὸ λιγότερο ἡ περισσότερο ἀνώμαλο ἔδαφος, καὶ ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα. Ἡ τριβὴ καὶ ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα εἶναι δυνάμεις ποὺ ἀντιδροῦν στὴν κίνηση τῆς σφαίρας καὶ δλοένα τὴν ἐπιβραδύνουν. "Ἄν δὲν ὑπῆρχαν αὐτὲς οἱ δύο

δυνάμεις, ή σφαίρα θὰ συνέχιζε νὰ κινεῖται εἰδύγραμμα καὶ δμαλά, χωρὶς νὰ σταματᾶ ποτέ.

Ἡ διαπίστωση αὐτὴ σὲ συνδυασμὸ μὲ τὸ γεγονός δτ ἔνα σῶμα ἡρεμεῖ, ἀν δὲν ἐνεργεῖ καμία δύναμη ἐπάνω του, δόηγησαν στὴ διατύπωση τῆς ἀρχῆς τῆς ἀδράνειας, ποὺ λέγει ὅτι:

Κάθε σῶμα διατηρεῖ τὴν κατάσταση τῆς ἡρεμίας ή τῆς εἰδύγραμμης καὶ ὄμαλῆς κινήσεως, ὅσο δὲν ἀσκεῖται ἐπάνω του καμία δύναμη.

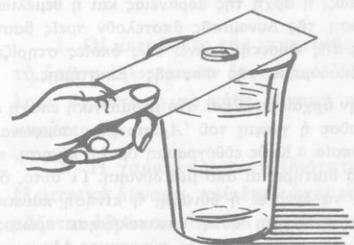
Ἡ ἀρχὴ τῆς ἀδράνειας διατυπώθηκε γάρ πρώτη φορὰ ἀπὸ τὸν Γαλιλαῖο καὶ πῆρε τὴν δριστικὴ μορφὴ τῆς ἀπὸ τὸν Νεύτωνα.

### § 20. Ἀποτελέσματα τῆς ἀδράνειας.

α) "Αν ἔνα ὅχημα ποὺ κινεῖται σταματήσει ἀπότομα, οἱ ἐπιβάτες κλίνουν πρὸς τὰ ἐμπρός καὶ δοσι ἀπὸ τοὺς ὅρθιους δὲν στηρίζονται στὶς χειρολαβές πέφτουν δ ἔνας ἐπάνω στὸν ἄλλο, διατρέχοντας κίνδυνο τραυματισμοῦ. Ἀντίθετα, ἀν ἔνας ἄπειρος δόηγός προκαλέσει ἀπότομο ἔκεινημα, οἱ ἐπιβάτες πέφτουν πρὸς τὰ πίσω.

β) "Οταν πρόκειται νὰ κατεβεῖ κανεὶς ἀπὸ δχῆμα ποὺ κινεῖται, πρέπει, ἐνῷ πηδᾶ, νὰ κλίνει τὸ σῶμα του πρὸς τὰ πίσω, γιὰ νὰ μὴν πέσει καὶ χτυπήσει στὸ ἔδαφος.

γ) Στὰ χειλὶ ἔνδις ποτηριοῦ ὑπάρχει ἔνα κομμάτι χαρτόνι καὶ ἐπάνω σ' αὐτὸ ἔνα νό-



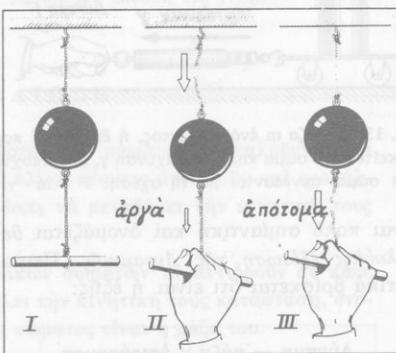
Σχ. 11. Ἐξαιτίας τῆς ἀδράνειας παρασύρεται καὶ τὸ νόμισμα στὴν ἀργὴ κίνηση του χαρτονιοῦ.

μισμα (σχ. 11). Ἐν τραβήξουμε σιγά - σιγά τὸ χαρτόνι, τὸ νόμισμα θὰ παρασύρεται καὶ θὰ μείνει στὴν ἐπιφάνεια τοῦ χαρτονιοῦ. Ἐν δωμας τὸ σύρουμε ἀπότομα, τὸ νόμισμα δὲ θὰ παρασύρεται, ἀλλὰ θὰ πέσει μέσα στὸ ποτήρι. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ ἀδράνεια τῆς ὥλης ἐκδηλώνεται ἐντονότερα.

δ) Δένομε μιὰ βαριά σφαίρα μὲ ἔνα λεπτὸ καὶ δυνατὸ νῆμα, ὥστε νὰ μὴ σπάει ἀπὸ τὸ βάρος της, καὶ τὴν ἀκουμποῦμε στὸ ἔδαφος. Ἐν τραβήξουμε τὸ νῆμα ἀργὰ καὶ μὲ προσοχὴ, ἀνυψώνομε τὴ σφαίρα. Ἐν δωμας τραβήξουμε ἀπότομα τὸ νῆμα, αὐτὸ κόβεται.

Ἐνάλογα συμβαίνουν καὶ στὴν περίπτωση ποὺ ἡ βαριά σφαίρα εἶναι κρεμασμένη μὲ νῆμα ἀπὸ ἔνα ἀκλόνητο στήριγμα. Ἐν τραβήξουμε μὲ νῆμα τὴ σφαίρα πρὸς τὰ κάτω, θὰ συμβοῦν τὰ ἔξης: 1) ἀν τραβήξουμε ἀργά, θὰ κοπεῖ τὸ ἐπάνω νῆμα: 2) ἀν τραβήξουμε ἀπότομα, κόβεται τὸ κατώτερο τμῆμα τοῦ νήματος (σχ. 12).

ε) Ἡ ἀδράνεια προκαλεῖ πολλὰ ἀπὸ τὰ τροχαῖα δυστυχήματα. Ὁταν γιὰ δόποιαδηποτε αἴτια ἔνα μεταφορικὸ μέσο, ποὺ κινεῖται μὲ μεγάλη ταχύτητα, ἀναγκαστεῖ νὰ σταματήσει ἀπότομα, οἱ ἐπιβάτες τινάζονται ἀπότομα πρὸς τὰ ἐμπρός, μὲ ἀποτέλεσμα τὸν τραυματισμό τους καὶ τὴ βλάβῃ ἡ κα-



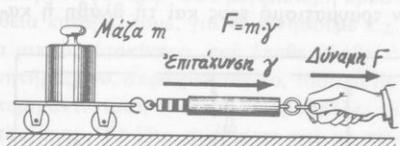
Σχ. 12. Ἐν τραβήξουμε ἀργά, κόβεται τὸ ἐπάνω νῆμα. Ἐν τραβήξουμε ἀπότομα, τὸ κάτω νῆμα.

ταστροφή του δύχηματος. Έπισης δταν για μιά όποιαδήποτε αιτία σταματήσει άποτομα ή μηχανή ένός τραίνου, τά βαγόνια έξαιτίας της άδρανειας δὲν σταματοῦν ταυτόχρονα μὲ τὴ μηχανὴ κι ἔτσι χτυπᾶ τὸ ἔνα ἐπάνω στὸ ἄλλο, συντρίβονται καὶ ἐκτροχιάζονται.

**§ 21. Θεμελιώδης ἔξισωση τῆς Δυναμικῆς.** Σύμφωνα μὲ τὴν ἀρχὴν τῆς ἀδράνειας, ἂν σὲ ἔνα σῶμα δὲν ἀσκοῦνται δυνάμεις, τὸ σῶμα ἡρεμεῖ ἢ κινεῖται εὐθύγραμμα καὶ δυμαλά. Ἐπομένως δοῦ ένα σῶμα δέχεται τὴ δράση μιᾶς δυνάμεως, ἡ κίνηση του θὰ εἶναι μεταβαλλόμενη, τὸ σῶμα δηλαδὴ μὲ τὴ δράση τῆς δυνάμεως θὰ ἀποχτήσει ἐπιτάχυνση. “Ωστε:

“Οταν μία δύναμη ἐνεργεῖ πάνω σ’ ἔνα σῶμα, προσδίδει στὸ σῶμα ἐπιτάχυνση.

’Απὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε δτι ἡ δύναμη  $F$ , ποὺ ἐνεργεῖ πάνω σ’ ἔνα σῶμα, ἡ μάζα του σώματος καὶ ἡ ἐπιτάχυνση  $\gamma$ , ποὺ ἀποχτᾶ τὸ σῶμα ἀπὸ τὴ δράση τῆς δυνάμεως, πρέπει νὰ συνδέονται μὲ μιὰ δρισμένη σχέση (σχ. 13). Ἡ σχέση αὐτὴ



Σχ. 13. Ἡ μάζα την δύναμη  $F$  ποὺ ἀσκεῖται στὸ σῶμα καὶ ἡ ἐπιτάχυνση  $\gamma$ , ποὺ ἀποχτᾶ τὸ σῶμα, συνδέονται μὲ τὴ σχέση:  $F = m \cdot \gamma$ .

εἶναι πολὺ σημαντικὴ καὶ δύνομάζεται θεμελιώδης ἔξισωση τῆς Δυναμικῆς. Πειραματικὰ βρίσκεται δτι εἶναι ἡ ἔξῆς:

$$\text{Δύναμη} = \text{μάζα} \times \text{ἐπιτάχυνση}$$

$$F = m \cdot \gamma$$

”Οταν σὲ ἔνα σῶμα μὲ μάζα την ἐνεργεῖ ἡ ἐλκτικὴ δύναμη τῆς Γῆς, ἡ δύναμη αὐτὴ δίνει στὸ σῶμα ἐπιτάχυνση  $\gamma$ , καὶ ἡ δύναμη ποὺ ἀσκεῖται στὸ σῶμα εἶναι ἵση μὲ τὸ βάρος του. Ἡ τιμὴ της εἶναι:

$$B = m \cdot g$$

’Απὸ τὴ θεμελιώδη ἔξισωση τῆς Δυναμικῆς συμπεραίνομε τὰ ἔξῆς:

a) ”Οταν σ’ ἔνα σῶμα ἐνεργήσουν διάφορες δυνάμεις, τὸ σῶμα ἀποχτᾶ ἐπιτάχυνσεις ἀνάλογες μὲ τὶς δυνάμεις ποὺ τὶς προκαλοῦν.

Αὐτὸ σημαίνει δτι, ἀν σ’ ἔνα σῶμα ἀσκεῖται μία δύναμη  $F$  καὶ προκαλέσει ἐπιτάχυνση  $\gamma$ , μία δύναμη διπλάσια τῆς  $F$  θὰ προκαλέσει διπλάσια ἐπιτάχυνση κ.λπ.

b) ”Οταν μία δρισμένη δύναμη ἀσκεῖται σὲ διάφορα σώματα, τότε οἱ ἐπιτάχυνσεις ποὺ δίνει ἡ δύναμη αὐτὴ εἶναι ἀντίστροφα ἀνάλογες πρὸς τὴ μάζα τῶν σωμάτων.

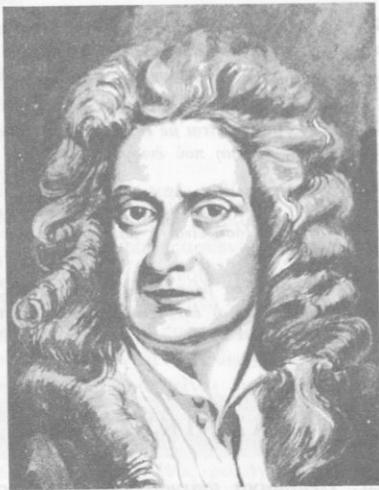
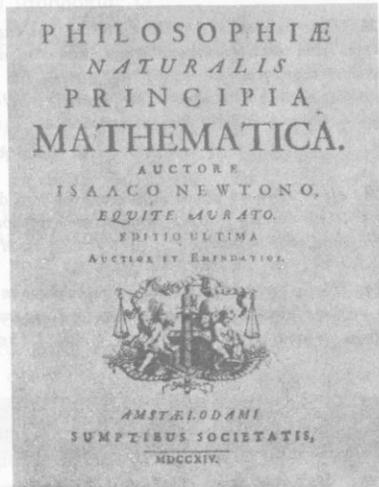
Δηλαδὴ ἀν μία δρισμένη δύναμη  $F$  ἀσκεῖται σὲ ἔνα σῶμα μάζας  $m$  καὶ προσδίδει στὸ σῶμα ἐπιτάχυνση  $\gamma$ , σὲ σῶμα μὲ διπλάσια μάζα θὰ προσδίδει τὴ μισή ἐπιτάχυνση. Σὲ σῶμα μὲ τριπλάσια μάζα, ἐπιτάχυνση ἵση τοῦ 1/3 τῆς γ κλπ.

**§ 22. Ιστορικό.** ’Η ἀρχὴ τῆς δράσεως καὶ ἀντίδρασεως, ἡ ἀρχὴ τῆς ἀδράνειας καὶ ἡ θεμελιώδης ἔξισωση τῆς Δυναμικῆς ἀποτελοῦν τρεῖς βασικὲς ἀρχὲς τῆς Φυσικῆς, πάνω στὶς διόπεις στηρίζεται τὸ οἰκοδόμημα τῆς Φυσικῆς ‘Επιστήμης.

Στὴν ἀρχαιότητα καὶ στὴ μεσαιωνικὴ ἐποχὴ ἐπικρατοῦσε ἡ γνώμη τοῦ ‘Αριστοτέλη, σύμφωνα μὲ τὴν ὁποῖα «Κάθε ειδύθυγραμμη δυμαλὴ κίνηση, πρέπει νὰ διατρέπεται ἀπὸ μιὰ δύναμη. Γι’ αὐτὸ, δταν πάψει νὰ ἐνεργεῖ ἡ δύναμη, ἡ κίνηση παύει».

Τὴν ἀντίληψη αὐτὴ καταπολέμησε πρῶτος ὁ Γαλιλαῖος, ὁ ἰδρυτής τῆς σύγχρονης Μηχανικῆς, τῆς Φυσικῆς δηλαδὴ ‘Επιστήμης ποὺ μελετᾷ τὴν κίνηση τῶν σωμάτων, τὰ αιτία ποὺ τὴν προκαλοῦν, δπως ἐπίσης καὶ τὶς ἀπαραίτητες καὶ ἀναγκαῖες

συνθήκες της Ισορροπίας. 'Ο Νεύτωνας, δ θεμελιώτης της Δυναμικής, της Φυσικής δηλαδή ἐπιστήμης που έξετάζει τις κινήσεις, μελετώντας τις σχέσεις που ισχύουν ἀνάμεσα στις δυνάμεις και τις ἐπιταχύνσεις, συμπλήρωσε και ἀναμόρφωσε τὴ διδασκαλία τοῦ Γαλιλαίου. Τὸ 1686 ἐκδόθηκε τὸ περίφημο ἔργο του «Philosophiae naturalis principia mathematica» (Μαθηματικές ἀρχές τῆς φυσικῆς φιλοσοφίας), ὅπου περιέχονται καὶ οἱ τρεῖς βασικὲς ἀρχές τῆς Φυσικῆς, ποὺ εἶναι γνωστές καὶ μὲ τὴν δύναμασιά «ἀξιώματα τοῦ Νεύτωνος». Οἱ θεμελιώδεις ἀρχές δὲν ἀποδεικνύονται θεωρητικά. Συμφωνοῦν δμως μὲ τὴ λογική, δδηγοῦν σε σωτά συμπεράσματα καὶ ἐπιδέχονται πειραματική ἐπαλήθευση.



**Σχ. 14.** 'Ο διάσημος Μαθηματικός, Φυσικός καὶ Φιλόσοφος Sir Isaac Newton (1642 - 1727) καὶ τὸ ἐξώφυλλο τοῦ περίφημου βιβλίου του (σε ἑκδοση τοῦ 1714).

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι μεταβολές τῆς κινητικῆς καταστάσεως τῶν σωμάτων προκαλοῦνται ἀπὸ τὴ δράση ἐξωτερικῶν δυνάμεων. Ωστόσο τὰ ὄντικά σώματα ἀντιδροῦν καὶ προβάλλουν ἀντίσταση σὲ κάθε δύναμη ποὺ ἐπιδιώκει νὰ μεταβάλει τὴν κινητική τους κατάσταση.
- Ἡ χαρακτηριστικὴ ἰδιότητα τῶν ὄντικῶν σωμάτων νὰ ἀντιδροῦν σὲ κάθε ἐξωτερική δύναμη, ποὺ ἐπιδιώκει νὰ μεταβάλει τὴν κινητική τους κατάσταση, δυναζέται ἀδράνεια. Μέτρο τῆς ἀδράνειας ἐνὸς σώματος εἶναι ἡ μάζα του.
- Ἡ ἀρχὴ τῆς ὀδράνειας ἐκφράζει ὅτι κάθε σῶμα συνεχίζει νὰ διατηρεῖ τὴν κινητική του κατάσταση τῆς ἡρεμίας ἢ τῆς εὐθύγραμμης καὶ ὁμαλῆς κινήσεως, δόσο δὲν ἐνεργεῖ καμία δύναμη στὸ σῶμα.

4. Όταν μία δύναμη ένεργει έπάνω σ' ένα σώμα, μεταβάλλει τήν κινητική κατάσταση του σώματος, προσδίδοντας σ' αυτό έπιτάχυνση.

5. Ή μάζα  $m$  ένός σώματος, ή δύναμη  $F$  πού ένεργει στό σώμα και ή έπιτάχυνση  $\gamma$ , πού άποχτα τό σώμα άπο τή δράση της δυνάμεως, συνδέονται με τή σχέση:  $F = m \cdot \gamma$  πού έκφραζει τή θεμελιώδη έξισωση της Δυναμικής.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

21. Νά προσδιοιστείτε τήν έπιτάχυνση στίς άκολουθες περιπτώσεις: α) Δύναμη  $1,6 \text{ kp}$  ένεργει σέ σώμα μάζας  $0,8 \text{ kg}$ . β) δύναμη  $1 \text{ kp}$  ένεργει σέ σώμα μάζας  $1 \text{ kg}$ . ('Απ. α'  $19,6 \text{ m/sec}^2$ . β'  $9,81 \text{ m/sec}^2$ .)

22. Μάζα  $5 \text{ kg}$  κινεῖται μέτρη έπιτάχυνση  $2 \text{ m/sec}^2$ . Πόση είναι ή δύναμη πού ένεργει στό σώμα; ('Απ.  $10 \text{ N}$ .)

23. Δύναμη  $300 \text{ N}$  προσδίδει σ' ένα σώμα έπιτάχυνση  $6 \text{ m/sec}^2$ . Πόση είναι ή μάζα τού σώματος; ('Απ.  $50 \text{ kg}$ .)

24. Πόσο είναι τό βάρος ένδος σώματος μάζας  $9 \text{ kg}$ , σέ τόπο όπον ή έπιτάχυνση τής βαρύτητας είναι  $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ ; ('Απ.  $88,3 \text{ N}$ .)

25. Ένας γερανός έχει μάζα  $2\,800 \text{ kg}$  και έπιταχύνεται άπο έναν ήλεκτροκινητήρα, πού τού άναπτύσσει ταχύτητα  $1,8 \text{ m/sec}$  σέ χρόνο  $1,5 \text{ sec}$

α) Πόση είναι ή έπιτάχυνση τού γερανού; β) Πόση είναι ή έλκτική δύναμη τού κινητήρα;

('Απ. α'  $1,2 \text{ m/sec}^2$ . β'  $342,6 \text{ kp}$ .)

26. Πόσο είναι τό βάρος ένδος σώματος πού άντρψεται μέτρη δύναμη  $180 \text{ kp}$ , ή όποια τού προσδίδει έπιτάχυνση  $0,4 \text{ m/sec}^2$ ; ('Απ.  $4,42 \text{ Mp}$ .)

27. Πόσος χρόνος άπαιτείται γιά νά δόσουμε σέ ένα γερανό, βάρους  $8\,100 \text{ kp}$ , ταχύτητα  $75 \text{ m/min}$ , άσκωντας δύναμη  $860 \text{ kp}$ ; ('Απ.  $1,2 \text{ sec}$ .)

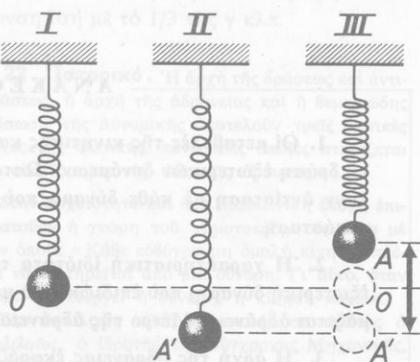
## Δ' — ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

§ 23. Περιοδικά φαινόμενα. Στή Φύση συμβαίνουν ένα πλήθος φαινόμενα, πού χαρακτηρίζονται άπο μία περιοδική έπαναληψη. Τό φαινόμενο δηλαδή διάστημα και υστερα έπαναλαμβάνεται στόν ίδιο χρόνο και κατά τόν αυτό τρόπο.

Η κίνηση τής Σελήνης γύρω άπο τή Γη και ή περιστροφή τών πλανητῶν γύρω άπο τόν "Ηλιο είναι περιοδικά φαινόμενα, γιατί χρειάζονται δρισμένο χρόνο και πάντα τόν ίδιο, γιά νά έξελιχθούν, και έπαναλαμβάνονται κατόπι κατά τόν ίδιο τρόπο. "Ωστε:

Περιοδικό φαινόμενο δημοάζομε τό φαινόμενο πού έξελισσεται μέσα σέ δρισμένο χρόνο και έπαναλαμβάνεται άδιάκοπα κατόπι με τόν ίδιο τρόπο.

§ 24. Ταλάντωση. Πείραμα 1. Θεωρούμε ένα μικρό σφαιρίδιο, πού συγκρατείται άπο ένα έλατήριο, στερεωμένο στό άλλο

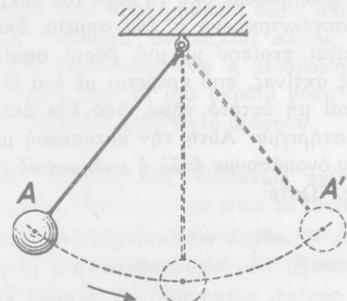


Σχ. 15. Τό συγκρατόμενο άπο τό έλατήριο σφαιρίδιο έκτελει ταλάντωση.

ἄκρο του ἀπὸ ἔνα ἀκλόνητο σημεῖο (σχ. 15). Οταν ἡρεμήσει τὸ σύστημα, τεντώνομε τὸ ἐλατήριο, τραβώντας τὸ πρὸς τὰ κάτω καὶ ἀπομακρύνοντας τὸ σφαιρίδιο ἀπὸ τὴν θέση ἰσορροπίας του. Θά παρατηρήσουμε τότε μιὰ παλινδρομική κίνηση του σφαιριδίου, ἀνάμεσα σὲ δύο ἀκραίες θέσεις Α καὶ Α', που ἀπέχουν τὴν ἴδια ἀπόσταση ἀπὸ τὴν θέση ἰσορροπίας Ο.

**Πείραμα 2.** Δένομε ἔνα βαρὺ σφαιρίδιο στὸ ἄκρο ἐνὸς νῆματος καὶ τὸ κρεμοῦμε ἀπὸ ἔνα ἀκλόνητο σημεῖο. Ἀφήνομε τὸ σφαιρίδιο νά ἡρεμήσει στὴν θέση τὴν κατακόρυφη καὶ ὑστερα τὸ ἀπομακρύνομε ἀπὸ τὴν θέση ἰσορροπίας του, φέροντάς το σὲ μιὰ θέση Α (σχ. 16) καὶ ἀφήνοντάς το κατόπιν ἐλεύθερο. Τὸ σφαιρίδιο κινεῖται τότε πρὸς τὴν θέση ἰσορροπίας του, μὲ δόλο-ένα αὐξανόμενη ταχύτητα, περνᾶ ἀπὸ αὐτὴ καὶ συνεχίζει τὴν κίνησή του μὲ ὅλοντα ἐλαττούμενη ταχύτητα, ὥστου ἀνυψωθεῖ καὶ φτάσει σὲ μιὰ θέση Α', συμμετρικὴ τῆς Α ὡς πρὸς τὴν κατακόρυφο ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὴν θέση ἰσορροπίας. Στὴ θέση αὐτὴ σταματᾷ ἐπιστρέφοντας πρὸς τὴν θέση Α καὶ τὸ φαινόμενο συνεχίζεται.

Είναι βέβαιο πώς καὶ στὶς δύο περιπτώσεις πρόκειται γιὰ μεταβαλλόμενες κινήσεις, γιατὶ ἡ ταχύτητα μεταβάλλει δόσο



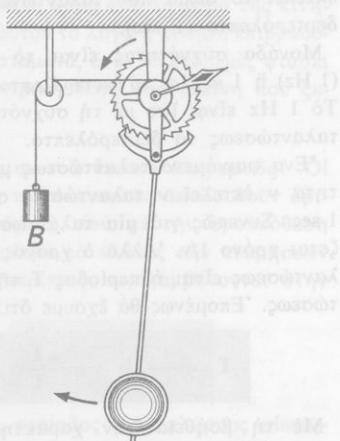
Σχ. 16. Κινούμενο ἀπλὸ ἐκκρεμές.

διαρκεῖ τὸ φαινόμενο, καὶ ἀριθμητικὴ τιμὴ καὶ διεύθυνση. Τὸ ἴδιαίτερο ὅμως χαρακτηριστικὸ στὶς κινήσεις αὐτοῦ τοῦ εἰδους είναι ὅτι, τὰ σώματα ἐκτελοῦν περιοδικὴ κίνηση ἀνάμεσα σὲ δύο ἀκραία σημεῖα τῆς τροχιᾶς τους. Σ' αὐτὰ τὰ σημεῖα μηδενίζεται στιγμαίᾳ ἡ ταχύτητα. Κινήσεις αὐτοῦ τοῦ εἰδους δνομάζονται ταλαντώσεις. "Ωστε:

Ταλαντώσεις ὁνομάζονται περιοδικὲς παλινδρομικὲς κινήσεις, ποὺ ἐκτελοῦνται ἀνάμεσα σὲ δύο ἀκραίες θέσεις τῆς τροχιᾶς ἐνὸς κινητοῦ.

**Σχ. 25. Ἀμείωτη καὶ φθίνουσα ταλάντωση.** Τὰ παραπάνω πειράματα δείχνουν ὅτι οἱ ταλαντώσεις ἔξασθενίζουν κατὰ τὴν ἔξελιξη τοῦ φαινομένου καὶ ὑστερα ἀπὸ δρισμένο χρόνο τὸ κινητὸ ἡρεμεῖ στὴ θέση ἰσορροπίας του. Οἱ ταλαντώσεις αὐτοῦ τοῦ εἰδους δνομάζονται φθίνονσες. Αἰτία τῆς ἔξασθενήσεώς τους είναι ἡ τριβὴ καὶ ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα.

Αν προσέξουμε τὶς ταλαντώσεις ποὺ ἐκτελεῖ τὸ ἐκκρεμές ἐνὸς ρολογιοῦ τοῦ τοίχου (σχ. 17), θὰ παρατηρήσουμε ὅτι δὲν



Σχ. 17. Κινούμενο ἐκκρεμές ρολογιοῦ τοίχου.

έξασθενίζουν. Αύτό δφείλεται στὸ δι τοι ταλαντώσεις αὐτὲς διατηροῦνται ἀμείωτες ἀπὸ τὸ κουρδισμένο ἐλατήριο καὶ ὀνομάζονται γι' αὐτὸ ἀμείωτες ταλαντώσεις.

**§ 26. Χαρακτηριστικὰ μεγέθη μιᾶς ταλαντώσεως.** Γιὰ νὰ περιγράψουμε μιὰ ταλαντώση, πρέπει νὰ μᾶς γίνουν γνωστὰ ὄρισμένα φυσικὰ μεγέθη:

**α)** Ἀπομάκρυνση ὄνομάζεται ἡ ἀπόσταση μιᾶς τυχαίας θέσης τοῦ σώματος ποὺ ταλαντεύεται ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας του. Ἡ μέγιστη ἀπομάκρυνση, ποὺ παρατηρεῖται ὅταν τὸ σῶμα βρίσκεται σὲ μᾶλι ἀπὸ τὶς δύο ἀκραίες θέσεις τῆς τροχιᾶς του, ὄνομάζεται πλάτος τῆς ταλαντώσεως.

**β)** Ταλαντώση ἡ αἰώρηση ὄνομάζεται μιὰ πλήρης ἔξελιξη τοῦ φαινομένου, ποὺ περιλαμβάνει ἀναχώρηση καὶ ἐπιστροφὴ στὸ σημεῖο ἀναχωρήσεως τοῦ σώματος ποὺ ταλαντεύεται.

**γ)** Περίοδος Τ μιᾶς ταλαντώσεως ὄνομάζεται ὁ χρόνος μέσα στὸν οποῖο γίνεται μιὰ ταλαντώση.

**δ)** Συχνότητα ν μιᾶς ταλαντώσεως ὄνομάζεται ὁ ἀριθμὸς τῶν ταλαντώσεων, ποὺ ἐκτελεῖ τὸ σῶμα ποὺ ταλαντεύεται σὲ 1 δευτερόλεπτο (1 sec).

Μονάδα συχνότητας εἶναι τὸ 1 Χέρτης (1 Hz) ή 1 κύκλος τὸ δευτερόλεπτο (1c/sec). Τὸ 1 Hz εἶναι ἵσο μὲ τὴ συχνότητα μιᾶς ταλαντώσεως τὸ δευτερόλεπτο.

"Ἐνα φαινόμενο ταλαντώσεως μὲ συχνότητα ν ἐκτελεῖ ν ταλαντώσεις σὲ χρόνο 1 sec. Συνεπῶς γιὰ μία ταλάντωση χρειάζεται χρόνο 1/v. Ἀλλὰ ὁ χρόνος μιᾶς ταλαντώσεως εἶναι ἡ περίοδος Τ τῆς ταλαντώσεως. Ἐπομένως θὰ ἔχουμε διτι:

$$T = \frac{1}{v} \quad \text{ἢ} \quad v = \frac{1}{T}$$

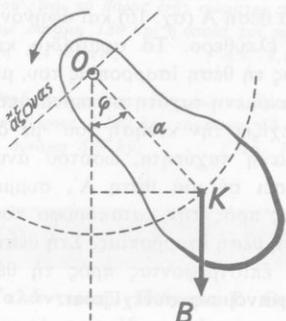
Μὲ τὴ βοήθεια τῶν χαρακτηριστικῶν μεγεθῶν μιᾶς ταλαντώσεως μποροῦμε τώ-

ρα νὰ δώσουμε τὸν ἀκόλουθο ὄρισμὸ τῶν ἀμείωτων καὶ φθινουσῶν ταλαντώσεων:

Μία ταλάντωση ὄνομάζεται ἀμείωτη, ὅταν τὸ πλάτος τῆς παραμένει ἀμετάβλητο, ἐνῶ, ὅταν τὸ πλάτος τῆς ἐλαττώνεται μὲ τὴν πάροδο τοῦ χρόνου, ὄνομάζεται φθίνουσα.

**§ 27. Τὸ ἐκκρεμές.** Στὴ Φυσικὴ ὄνομάζομε ἐκκρεμές κάθε βαρὺ σῶμα ποὺ μπορεῖ νὰ κινηθεῖ γύρω ἀπὸ ἔναν ὄριζόντιο ἄξονα, δ ὅποιος δὲν περνᾷ ἀπὸ τὸ κέντρο βάρους τοῦ σώματος (σχ. 18).

Τὸ ἐκκρεμές αὐτὸ ὄνομάζεται ιδιαίτερα φυσικὸ ἐκκρεμές.



Σχ. 18. Φυσικὸ ἐκκρεμές: στερεό, ποὺ στρέφεται γύρω ἀπὸ ὄριζόντιο ἄξονα, ποὺ δὲν περνᾷ ἀπὸ τὸ κέντρο βάρους του.

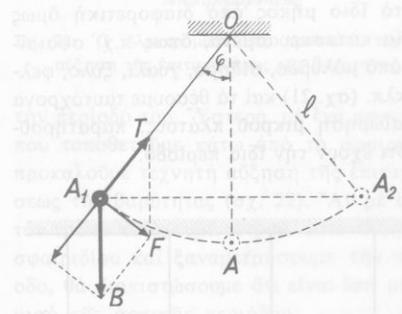
"Ἄς θεωρήσουμε ὅλη τὴ μάζα τοῦ ἐκκρεμοῦς συγκεντρωμένη σ' ἔνα σημεῖο, δπως συμβαίνει περίπου μὲ μιὰ βαριὰ σφαίρα μικρῆς ἀκτίνας, ποὺ κρέμεται μὲ ἔνα ἐλαφρῷ καὶ μὴ ἐκτατὸ νῆμα, ἀπὸ ἔνα ἀκλόνητο στήριγμα. Αὐτὴ τὴν κατασκευὴ μας θὰ τὴν ὄνομάσουμε ἀπλὸ ἢ μαθηματικὸ ἐκκρεμές. "Ωστε:

"Ἀπλὸ ἢ μαθηματικὸ ἐκκρεμές ὄνομάζομε μιὰ διάταξη ποὺ περιλαμβάνει μιὰ μικρὴ βαριὰ σφαίρα, κρεμασμένη μὲ ἐλαφρό καὶ μὴ ἐκτατὸ νῆμα ἀπὸ ἔνα ἀκλόνητο στήριγμα.

**§ 28. Χαρακτηριστικά μεγέθη τοῦ μαθηματικοῦ ἐκκρεμοῦς.** Ἡ ἀπόσταση τοῦ κέντρου τῆς σφαίρας ἀπὸ τὸ ἀκλόνητο σημεῖο ἔξαρτήσεως δονομάζεται μῆκος τοῦ ἐκκρεμοῦς καὶ παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα  $l$  (σχ. 19).

Ἡ γωνία φ, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν θέση ίσορροπίας καὶ τὴν θέση μέγιστης ἀπομακρύσεως, δονομάζεται πλάτος τοῦ ἐκκρεμοῦς.

Ο χρόνος ποὺ χρειάζεται τὸ ἐκκρεμές γιὰ νὰ ἐπιστρέψει στὴν ἀκραία θέση, ἀπὸ τὴν ὅποια ἔκεινησε, δονομάζεται περίοδος  $T$  τοῦ ἐκκρεμοῦς.



**Σχ. 19.** Τὸ ἐκκρεμές ἐκτελεῖ ταλαντώσεις μὲ τὴν ἐπίδραση τῆς συνιστώσας τοῦ βάρους του, ἡ ὅποια ἐφάπτεται στὴν τροχιά.

Ἡ μετάβαση τέλος τοῦ ἐκκρεμοῦς ἀπὸ τὴν μία ἀκραία θέση στὴν ἄλλη καὶ ἡ ἐπιστροφὴ στὴν πρώτη ἀκραία θέση, ἀπὸ τὴν ὅποια ἔκεινησε, δονομάζεται πλήρης αἰώνηση ἢ ταλάντωση, ἐνῶ ἡ μετάβαση τοῦ ἐκκρεμοῦς ἀπὸ τὴν μία ἀκραία θέση στὴν ἄλλη ἀποτελεῖ μιὰν ἀπλὴν αἰώνηση.

**§ 29. Μελέτη τῆς κινήσεως τοῦ ἐκκρεμοῦς.** "Οποιο καὶ νὰ είναι τὸ ἐκκρεμές, ίσορροπεῖ, δταν ἡ κατακόρυφος ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὸ κέντρο βάρους του περνᾶ καὶ ἀπὸ τὸ σημεῖο ἔξαρτήσεως.

"Αν ἀπομακρύνουμε τὸ ἐκκρεμές ἀπὸ τὴν

θέση ίσορροπίας του  $A$ , φέρνοντάς το σὲ μία θέση  $A_1$  καὶ ὑστερα τὸ ἀφήσουμε ἐλεύθερο, παρατηροῦμε ὅτι στὴ θέση αὐτὴ δὲν ίσορροπεῖ, ἀλλὰ κινεῖται διαγράφοντας τόξο  $A_1 A_2$  (βλ. σχ. 19).

Στὸ σφαιρίδιο τοῦ ἐκκρεμοῦς ἐνεργοῦν δύο δυνάμεις: α) Τὸ βάρος  $B$  τοῦ ἐκκρεμοῦς, μὲ κατακόρυφη διεύθυνση καὶ φορὰ πρὸς τὰ κάτω, καὶ β) ἡ ἀντίδραση  $T$  τοῦ νήματος ἔξαρτήσεως, μὲ διεύθυνση τὴν εὐθεία ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς σφαίρας καὶ ἀπὸ τὸ ἀκλόνητο σημεῖο ἔξαρτήσεως τοῦ νήματος, καὶ φορὰ ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς σφαίρας πρὸς τὸ σημεῖο ἔξαρτήσεως.

Οι δύο αὐτές δυνάμεις δὲν ίσορροποῦν, ἀφοῦ εἰναι συντρέχουσες καὶ σχηματίζουν γωνία. Ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων αὐτῶν κινεῖ τὸ σφαιρίδιο πρὸς τὴ θέση ίσορροπίας. "Οσο δῶμας κατεβαίνει τὸ σφαιρίδιο, τόσο μεγαλώνει ἡ γωνία τῶν  $B$  καὶ  $T$ , μὲ ἀποτέλεσμα νὰ μικράνει ἡ συνισταμένη τους. Στὴ θέση ίσορροπίας οἱ  $B$  καὶ  $T$  είναι ἵσες καὶ ἀντίθετες καὶ ἡ συνισταμένη τους μηδενίζεται, τὸ σφαιρίδιο δῶμας ἔξαιτιας τῆς ἀδράνειας συνεχίζει τὴν κίνησή του, ὅποτε οἱ  $B$  καὶ  $T$  σχηματίζουν καὶ πάλι γωνία, ἡ συνισταμένη τους δῶμας ἔχει τώρα ἀντίθετη φορὰ ἀπὸ τὴ φορὰ τῆς κινήσεως. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο ἡ κίνηση ἐπιβραδύνεται καὶ σταματᾷ, δταν τὸ ἐκκρεμές φτάσει στὴ συμμετρικὴ θέση ἀπὸ ἐκείνη ποὺ ἔκεινησε.

**§ 30. Νόμοι τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς.** Οἱ αἰωρήσεις τοῦ ἐκκρεμοῦς ἀκολουθοῦν δρισμένους νόμους, ποὺ, μὲ τὴν προϋπόθεση ὅτι είναι μικρὸ τὸ πλάτος τῶν αἰωρήσεων (ἴσαμε 3<sup>ο</sup> περίπου), περιλαμβάνονται στὴν ἔξισωση:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

ὅπου  $T$  ἡ περίοδος μιᾶς πλήρους αἰωρήσεως,  $\pi = 3,14$ ,  $l$  τὸ μῆκος τοῦ ἐκκρεμοῦς

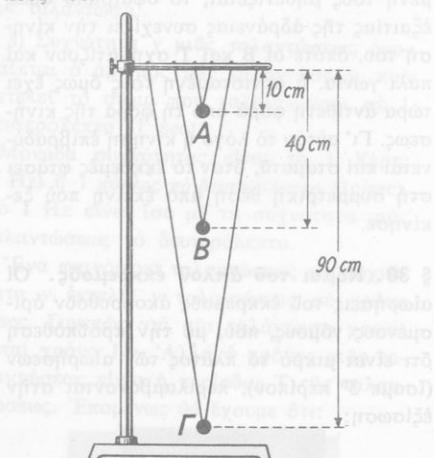
καὶ γὰρ ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας στὸν τόπον ὅπου γίνεται η αἰώρηση.

Οἱ νόμοι τοῦ ἐκκρεμοῦς, δῆλος βγαίνουν ἀπὸ τὴν παραπάνω ἔξισωση καὶ γὰρ μικρὰ πλάτη αἰώρησεων, εἰναι οἱ ἄκολουθοι:

α) Ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνέξαρτη ἀπὸ τὸ πλάτος.

Πειραματικὴ ἀπόδειξη. Θέτομε τὸ ἐκκρεμὲς σὲ αἰώρηση μὲ μικρὸ πλάτος καὶ μὲ τὸ χρονόμετρο μετροῦμε τὸ χρόνο 20, π.χ., πλήρων αἰώρησεων. Διαιροῦμε τὸ χρόνο αὐτὸ μὲ τὸν ἀριθμὸ τῶν πλήρων αἰώρησεων καὶ ὑπολογίζομε τὸ χρόνο μιᾶς πλήρους αἰώρησεως, δηλαδὴ τὴν περίοδο τοῦ ἐκκρεμοῦς. Κατόπι μὲ τὸν ἴδιο τρόπο ὑπολογίζομε τὴν περίοδο τοῦ ἐκκρεμοῦς γιὰ ἕνα ἄλλο μικρὸ πλάτος, διαφορετικὸ ἀπὸ τὸ πρῶτο. Συγκρίνοντας τοὺς χρόνους τῶν δύο περιόδων τοὺς βρίσκομε περίπου ἵσους.

β) Ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴν τετραγωνικὴν ρίζα τοῦ μήκους τοῦ.

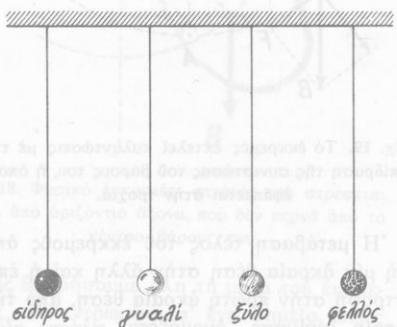


Σχ. 20. Γιὰ τὴν ἀπόδειξη τῆς σχέσης ἀναλογίας τῆς περιόδου τοῦ ἐκκρεμοῦς πρὸς τὴν τετραγωνικὴν ρίζα τοῦ μήκους τοῦ.

Πειραματικὴ ἀπόδειξη. Θέτομε ταυτόχρονα σὲ αἰώρηση, μὲ τὸ ἴδιο μικρὸ πλάτος, τρία δμοια ἐκκρεμῆ, ποὺ ἔχουν μήκη 10 cm, 40 cm, 90 cm (σχ. 20), δηλαδὴ δῆλος οἱ ἀριθμοὶ 1, 4, 9. Παρατηροῦμε τότε ὅτι ἡ περίοδος τοῦ δεύτερου ἐκκρεμοῦς εἶναι διπλάσια καὶ τοῦ τρίτου τριπλάσια ἀπὸ τὴν περίοδο τοῦ πρώτου ἐκκρεμοῦς.

γ) Ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνέξαρτη ἀπὸ τὴν μάζα καὶ τὸ ὄλικο ποὺ ἀποτελοῦν τὸ ἐκκρεμές.

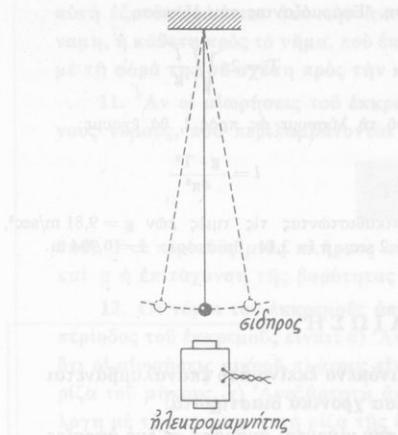
Πειραματικὴ ἀπόδειξη. Ἀν κρεμάσουμε ἀπὸ ἕνα ὑποστήριγμα διάφορα ἐκκρεμῆ μὲ τὸ ἴδιο μῆκος ἀπὸ διαφορετικὴν δύναμιν κατασκευασμένα, δῆλος π.χ. σφαιρίδια ἀπὸ μόλυβδο, σίδηρο, γυαλί, ἥψιλο, φελλὸ κλπ. (σχ. 21) καὶ τὰ θέσουμε ταυτόχρονα σὲ αἰώρηση μικροῦ πλάτους, παρατηροῦμε δητὶ ἔχουν τὴν ἴδια περίοδο.



Σχ. 21. Ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνέξαρτη ἀπὸ τὸ ὄλικο ποὺ εἶναι κατασκευασμένο τὸ ἐκκρεμές.

δ) Ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὴν τετραγωνικὴν ρίζα τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας.

Πειραματικὴ ἀπόδειξη. Θέτομε σὲ αἰώρηση ἕνα ἐκκρεμές μὲ σιδερένιο σφαιρίδιο καὶ μὲ τὸ χρονόμετρο προσδιορίζομε



Σχ. 22. Ο ηλεκτρομαγνήτης προκαλεῖ τεχνητή αύξηση της έπιταχύνσεως της βαρύτητας.

τὴν περίοδό του. "Υστερα, μὲν ἔνα μαγνῆτη, ποὺ τοποθετοῦμε κάτω ἀπὸ τὸ σφαιρίδιο, προκαλοῦμε τεχνητὴ αὔξησην τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας (σχ. 22)." Αν μὲν αὐτὸν τὸν τρόπο πετυχόουμε τετραπλάσια ἔλξη τὸν σφαιρίδιον καὶ ξαναμετρήσουμε τὴν περίοδο, θὰ διαπιστώσουμε διτὶ εἰναι ἵση μὲν τὸ μισὸν τῆς ἀρχικῆς περιόδου.

§ 31. Ἐφαρμογές τοῦ ἐκκρεμοῦ. α) Μέτρηση τοῦ χρόνου. Τὸ ἴσοχρονο τῶν αἰωρήσεων μικροῦ πλάτους, τὸ διτὶ δηλαδὴ οἱ αἰωρήσεις μικρῶν πλατῶν γίνονται σὲ ἵσα χρονικὰ διαστήματα, βρίσκει σπουδαία ἐφαρμογὴ στὴν κατασκευὴ τῶν ρολογιῶν μὲν ἐκκρεμές γιὰ τὴν ἀκριβὴ μέτρηση τοῦ χρόνου.

"Ολα τὰ ὅργανα ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὸν πρακτικὸ βίο γιὰ τὴ μέτρηση τοῦ χρόνου λειτουργοῦν μὲ βάση περιοδικὰ φαινόμενα. Τὰ ρολόγια ἀκριβείας τῶν ἀστεροσκοπίων λειτουργοῦν μὲ ἐκκρεμή, ποὺ ἔχουν περίοδο ἵση μὲ 2 sec.

Τὰ ρολόγια τῆς τσέπης ἢ τοῦ χεριοῦ ἔχουν στὸ μηχανισμό τους ἔνα τροχίσκο,

ποὺ μὲ τὴν ἐπίδραση ἐνὸς σπειροειδοῦς ἐλατηρίου ἐκτελεῖ ταλαντώσεις γύρω ἀπὸ τὸν ἄξονά του. Ἀλλὰ καὶ τὰ κάθε εἰδούς ρολόγια περιέχουν στὸ μηχανισμό τους εἰδικές διατάξεις, ποὺ ἐκτελοῦν ταλαντώσεις. "Ετσι τὰ ἡλεκτρικὰ ρολόγια χρησιμοποιοῦν ταλαντώσεις ἡλεκτρικές μὲ περίοδο 1/50 sec ἐνῷ τὰ ἐξαιρετικῆς ἀκριβείας ρολόγια μὲ χαλαζία περιέχουν ἔναν κρύσταλλο ἀπὸ χαλαζία ποὺ διεγείρεται ἡλεκτρικὰ σὲ ταλαντώσεις περιόδου 1/60 000 sec.

β) Μέτρηση τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας. Λύνοντας τὴν ἐξίσωση τοῦ ἐκκρεμοῦς ως πρὸς g, παίρνομε:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad T^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{l}{g}, \quad T^2 \cdot g = 4\pi^2 \cdot l, \\ g = \frac{4\pi^2 \cdot l}{T^2}$$

Γιὰ νὰ υπολογίσουμε λοιπὸν τὴν ἐπιτάχυνση g τῆς βαρύτητας σ' ἔνα τόπο, ἀρκεῖ νὰ γνωρίζουμε τὸ μῆκος ἐνὸς ἐκκρεμοῦς καὶ τὴν περίοδό του.

γ) Ἀπόδειξη τῆς περιστροφῆς τῆς Γῆς. Τὸ ἐπίπεδο, πάνω στὸ δόποιο γίνονται οἱ αἰωρήσεις τοῦ ἐκκρεμοῦς, μένει σταθερό.

Παίρνομε ἔνα ἐκκρεμές μὲ πολὺ μακρὺ σύρμα καὶ βαριά σφαιρά, ποὺ ἔχει στὸ κάτω τῆς μέρους μιὰ αἰχμὴ καὶ προκαλοῦμε τὴν αἰωρήσην του. Ἡ αἰχμή, σὲ κάθε πέρασμά της ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας, χαράζει μιὰ γραμμὴ σ' ἔνα δριζόντιο ἐπίπεδο στρωμένο μὲ ἅμμο. Ἀφοῦ ἐπαναλάβουμε τὸ πείραμα πολλὲς φορές, διακόπτομε τὶς αἰωρήσεις καὶ παρατηροῦμε διτὶ οἱ γραμμὲς ποὺ χάραξε ἡ αἰχμὴ δὲν συμπίπτουν, ἀλλὰ τέμνονται. Ἀφοῦ οἱ αἰωρήσεις τοῦ ἐκκρεμοῦς γίνονται στὸ ἴδιο πάντα ἐπίπεδο, φτάνομε στὸ συμπέρασμα διτὶ δὲν στράφηκε τὸ ἐπίπεδο αἰωρήσεως, ἀλλὰ στράφηκε τὸ δριζόντιο ἐπίπεδο, διότου σημειώθηκαν ἀπὸ τὴν αἰχμὴ οἱ γραμμὲς καὶ ἐπομένως διτὶ ἡ Γῆ περιστρέφεται.

Τὸ πείραμα αὐτὸν ἔκανε γιὰ πρώτη φορά

(1851) ό Γάλλος Φουκώ (Foucault) θέλοντας ν' αποδείξει την περιστροφική κίνηση της Γης. Ο Φουκώ κρέμασε τό μεγάλο του έκκρεμές (μήκος σύμφωνας 67 m, βάρος σφαιρίας 28 kg) άπό τό θόλο τού Πανθέου στο Παρίσι.

'Αριθμητική έφαρμογή. Πόσο είναι τό μήκος ένός έκκρεμούς πού γιά μιά άπλη αιώρηση χρειάζεται χρόνο 1 sec;

Λύση. Έφαρμόζοντας τήν έξισωση

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

αφού τή λύσουμε ώς πρός  $l$ , θά έχουμε:

$$l = \frac{g \cdot T^2}{4\pi^2}$$

'Αντικαθιστώντας τίς τιμές τῶν  $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ ,  $T = 2 \text{ sec}$ ,  $\pi = 3,14$  βρίσκομε:  $l = 0,994 \text{ m}$ .

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Περιοδικό φαινόμενο όνομάζεται τό φαινόμενο έκεινο πού έπαναλαμβάνεται συνεχῶς κατά τὸν ίδιο άκριβῶς τρόπο και σὲ ἵσα χρονικά διαστήματα.

2. Οι περιοδικές παλινδρομικές κινήσεις, πού γίνονται άνάμεσα σὲ δυὸς άκραίς θέσεις τῆς τροχιᾶς ένός κινητοῦ, όνομάζονται ταλαντώσεις.

3. Η κίνηση τῶν πλανητῶν γύρω άπό τὸν "Ηλίο είναι περιοδικό φαινόμενο. Η κίνηση τῆς προβολῆς ένός σημείου, πού διαγράφει μὲ σταθερή ταχύτητα μιὰ περιφέρεια κύκλου έπάνω σὲ μιὰ διάμετρο τοῦ κύκλου, είναι ταλάντωση.

4. "Οταν ή ταλάντωση συνεχίζεται, χωρὶς έξασθενηση, όνομάζεται άμειωτη. Οι ταλαντώσεις πού έξασθενίζουν μὲ τὴν πάροδο τοῦ χρόνου λέγονται φθίνουσες.

5. Μιὰ τυχαία άπόσταση τοῦ ταλαντεύομένου σώματος άπό τὴ θέση ισορροπίας του λέγεται άπομάκρυνση. Η μέγιστη άπομάκρυνση όνομάζεται πλάτος τῆς ταλαντώσεως.

6. Αιώρηση ή ταλάντωση όνομάζομε μία πλήρη έξέλιξη τοῦ φαινομένου. Περίοδος Τ μᾶς ταλαντώσεως όνομάζεται ό χρόνος πού χρειάζεται γιὰ νὰ γίνει μία αιώρηση, ένω συχνότητα τῆς ταλαντώσεως ο άριθμός τῶν αιωρήσεων πού γίνονται σὲ 1 sec.

7. Η περίοδος μετριέται σὲ δευτερόλεπτα και ή συχνότητα σὲ Χέρτς (Hz) ή κύκλους τὸ δευτερόλεπτο (c/sec).

8. Η περίοδος Τ και ή συχνότητα ν είναι άριθμοι άντιστροφοι και συνδέονται μὲ τή σχέση:

$$T = \frac{1}{v}$$

9. Τὸ άπλο ή μαθηματικὸ έκκρεμές είναι διάταξη ποὺ περιλαμβάνει μιὰ μικρὴ βαριὰ σφαίρα, κρεμασμένη μὲ έλαφρὸ και μὴ έκτατὸ νῆμα άπό άκλόνητο στήριγμα. "Οταν άπομακρύνουμε ένα έκκρεμές άπό τὴ θέση τῆς ισορροπίας του και τὸ άφήσουμε έπειτα έλεύθερο νὰ κινηθεῖ, έκτελεῖ ταλαντώσεις.

10. "Αν θεωρήσουμε τὸ έκκρεμές σὲ μιὰ θέση διαφορετική άπό τὴ θέση ισορροπίας του, τότε μποροῦμε νὰ άναλύσουμε τὸ βάρος τοῦ σφαιριδίου σὲ δυὸ δυνάμεις, τὴν μία κάθετη πρός τὸ νῆμα και τὴν ἄλλη νὰ έχει τὸ νῆμα γιὰ φορέα. Η τελευταία

αύτή έξουσιερώνεται άπό την άντιδραση τοῦ νήματος καὶ ἀπομένει ἡ ἄλλη δύναμη, ἡ κάθετη πρὸς τὸ νῆμα, ποὺ ἐπιταχύνει τὸ ἐκκρεμὲς ἢ τὸ ἐπιβραδύνει, ἀνάλογα μὲ τὴ φορὰ τῆς σὲ σχέση πρὸς τὴν κίνηση.

11. Ἀν οἱ αἰωρήσεις τοῦ ἐκκρεμοῦ ἔχουν μικρὸ πλάτος, ἀκολουθοῦν δρισμένους νόμους, ποὺ περιλαμβάνονται στὴν ἔξισσωση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

ὅπου  $T$  = περίοδος μιᾶς πλήρους αἰωρήσεως,  $\pi = 3,14$ ,  $l$  = μῆκος τοῦ ἐκκρεμοῦ καὶ  $g$  ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας στὸν τόπο τοῦ πειράματος.

12. Οἱ νόμοι τοῦ ἐκκρεμοῦ ἀποδεικνύονται πειραματικὰ καὶ ἐκφράζονται ὅτι ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦ εἶναι: α) Ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ πλάτος. Ὁ νόμος αὐτὸς ὁρίζει ὅτι οἱ αἰωρήσεις μικροῦ πλάτους εἶναι ἴσοχρονες. β) Ἀνάλογη μὲ τὴν τετραγωνικὴν ρίζα τοῦ μήκους. γ) Ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν μάζα καὶ τὸ ὑλικό. δ) Ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὴν τετραγωνικὴν ρίζα τῆς ἐντάσσεως τῆς βαρύτητας.

13. Τὸ ἐκκρεμὲς χρησιμοποιεῖται στὴ μέτρηση τοῦ χρόνου, στὴ μέτρηση τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας, στὴν ἀπόδειξη τῆς περιστροφικῆς κινήσεως τῆς Γῆς κ.λ.π.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

28. Πόση είναι ἡ περίοδος ἐνὸς ἐκκρεμοῦ, μήκους  $130\text{ m}$ ; ( $g = 9,81\text{ m/sec}^2$ ) ('Απ. 22,86 sec.)

29. Πόσες ἀπλές αἰωρήσεις ἐκτελεῖ σὲ ἔνα λεπτὸν ἔνα ἐκκρεμὲς μήκους  $1,09\text{ m}$ ; ( $g = 9,81\text{ m/sec}^2$ ). ('Απ. 57.)

30. Πόσο είναι τὸ μῆκος ἐνὸς ἐκκρεμοῦ, ποὺ ἐκτελεῖ 50 ταλαντώσεις σὲ ἔνα λεπτό; ( $g = 9,81\text{ m/sec}^2$ ). ('Απ. 0,36 m περίστον.)

31. Ποιά είναι ἡ τιμὴ τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας στὸν Ἰσημερινό, ἀνά ἔνα ἐκκρεμὲς μήκους  $991,03\text{ mm}$  ἔχει περίοδο  $2\text{ sec}$ ; ('Απ.  $g = 9,771\text{ m/sec}^2$ .)

32. Λόγο ἐκκρεμῆς ἐκτελοῦν αἰωρήσεις. "Οταν τὸ ἔνα πραγματοποιήσει 3 ἀπλές αἰωρήσεις, τὸ ἄλλο ἐκτελεῖ 7 ἀπλές αἰωρήσεις. Ποιός είναι ὁ λόγος ποὺ ἔχουν τὰ μήκη τῶν δύο ἐκκρεμῶν; ('Απ. 9,49.)

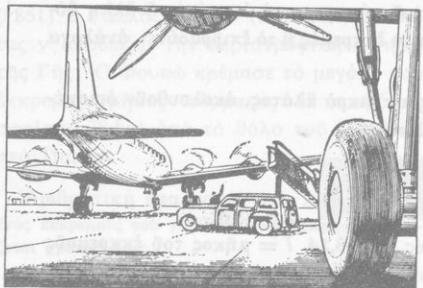
## Ε — ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

§ 32. 'Ομαλὴ κυκλικὴ κίνηση. 'Ορισμοί. 'Ως τώρα ἀσχοληθήκαμε μὲ εὐθύγραμμες κυρίως κινήσεις. 'Ενα ἄλλο εἶδος κινήσεων είναι οἱ κυκλικές (σχ. 23).

Σὲ δλες τὶς μηχανὲς ποὺ χρησιμοποιοῦν ἴμαντες γιὰ τὴ μετάδοση τῶν κινήσεων ἡ δόδοντωτοὺς τροχούς γίνονται κυκλικές κινήσεις. Οἱ κινήσεις αὐτὲς είναι περιοδικές, κατὰ τὶς δποῖες τὸ κινητὸ διαγράφει, καθὼς κινεῖται, περιφέρεια κύκλου ἢ τόξο περι-

φέρειας. 'Απὸ τὸ πλῆθος τῶν κυκλικῶν κινήσεων ἰδιαίτερο ἐνδιαφέρον παρουσιάζει ἡ κυκλικὴ κίνηση, κατὰ τὴν ὁποία τὸ κινητὸ διαγράφει ἵσα τόξα σὲ ἵσους χρόνους. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ κυκλικὴ κίνηση δνομάζεται ὅμαλή. 'Ωστε:

'Ομαλὴ κυκλικὴ κίνηση δνομάζεται ἡ κυκλικὴ κίνηση, κατὰ τὴν ὁποία τὸ κινητὸ διαγράφει σὲ ἵσους χρόνους ἵσα τόξα τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς του.



Σχ. 23. Στά διάφορα μεταφορικά μέσα έκμεταλλεύδημαστε τήν κυκλική κίνηση τῶν τροχῶν.

**α) Γιά νά διανύσει όλόκληρη τήν περιφέρεια τό κινητό, χρειάζεται ένα δρισμένο χρόνο  $T$ , δύποιος είναι ίσος μὲ τήν περίοδο τῆς κυκλικῆς κινήσεως. "Ωστε:**

Περίοδος μιᾶς όμαλῆς κυκλικῆς κινήσεως δυνομάζεται ό χρόνος κατά τὸν όποιο τό κινητό όλοκληρώνει μιὰ περιστροφή.

"Η κίνηση τῆς Γῆς γύρω ἀπὸ τὸν ἄξονα τῆς είναι όμαλὴ κυκλικὴ κίνηση μὲ περίοδο 24 ώρῶν. "Η κίνηση τῆς Γῆς γύρω ἀπὸ τὸν "Ηλιο είναι περίπου κυκλικὴ μὲ περίοδο ἐνὸς ἔτους.

**β) Τό κινητό, ἀν κινεῖται όμαλὰ στήν κυκλικὴ τροχιά του, θά ἐκτελεῖ έναν δρισμένο ἀριθμὸ στροφῶν ν στήν μονάδα τοῦ χρόνου. Ο ἀριθμὸς αὐτὸς ἐκφράζει τή συχνότητα τῆς κινήσεως. "Ωστε:**

Συχνότητα ἐνὸς κινητοῦ, ποὺ ἐκτελεῖ όμαλὴ κίνηση, δυνομάζεται ό ἀριθμὸς τῶν περιστροφῶν τοῦ κινητοῦ σὲ μία χρονικὴ μονάδα.

"Η συχνότητα ἐκφράζεται σὲ Χέρτς (Hz) ή κύκλους τὸ δευτερόλεπτο (c/sec), δταν ή περίοδος μετριέται σὲ δευτερόλεπτα.

"Η περίοδος καὶ η συχνότητα είναι ποσὰ ἀντίστροφα καὶ συνδέονται μὲ τή γνωστή σχέση:

$$T = \frac{1}{v} \quad \text{ἢ} \quad v = \frac{1}{T}$$

**γ) Γραμμικὴ ταχύτητα.** Αφοῦ τό κινητό διανύει σὲ ίσους χρόνους ίσα τόξα, συμπεριάνομε δτι τό μηκος τοῦ τόξου, ποὺ διατρέχει σὲ μία χρονικὴ μονάδα, θά είναι σταθερό. Τό μηκος τοῦ σταθεροῦ αὐτοῦ τόξου δυνομάζεται γραμμικὴ ταχύτητα τοῦ κινητοῦ. "Ωστε:

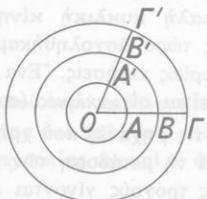
Γραμμικὴ ταχύτητα ν ἐνὸς κινητοῦ, ποὺ ἐκτελεῖ όμαλὴ κυκλική κίνηση, δυνομάζεται τό μηκος (ἀνάπτυγμα) τοῦ τόξου, ποὺ διανύει τό κινητό σὲ μία χρονικὴ μονάδα.

\*Αρα:  $v = \frac{\text{μῆκος τόξου}}{\text{χρόνος}} \quad \text{ἢ} \quad v = \frac{s}{t}$

"Οπως στίς εὐθύγραμμες κινήσεις, ἔτσι καὶ στήν όμαλὴ κυκλικὴ κίνηση ἡ γραμμικὴ ταχύτητα μετριέται μὲ τίς ἴδιες μονάδες.

**δ) Γωνιακὴ ταχύτητα.** "Ας θεωρήσουμε τρία κινητά A, B, Γ, ποὺ κινοῦνται όμαλὰ σὲ τρεῖς όμοκεντρες κυκλικές τροχιές ἔτσι, ὅστε νά βρίσκονται πάντοτε στήν ίδια ἀκτίνα τῆς μεγαλύτερης περιφέρειας (σχ. 24)

"Εστω δτι τά κινητά βρίσκονται ἀρχικά ἐπάνω στήν ίδια ἀκτίνα τῆς ἔξωτερης περιφέρειας, τό A κινούμενο ἐπάνω στήν μικρότερη περιφέρεια καὶ τό Γ στήν μεγαλύτερη, καὶ δτι σὲ χρόνο 1 sec, ἀφοῦ ξεκινήσουν ταυτόχρονα καὶ τά τρία, μεταφέρονται στίς θέσεις A', B', Γ', ποὺ βρίσκονται καὶ πάλι στήν ίδια ἀκτίνα τῆς ἔξωτερης περιφέρειας.



Σχ. 24. Τά σημεῖα A, B, Γ, ποὺ βρίσκονται πάνω στήν ίδια στρεφόμενη ἀκτίνα, έχουν ίσες γωνιακές ταχύτητες.

Σὲ χρόνο 1 sec τὸ κινητὸ Α διάγραψε τὸ τόξο ΑΑ', τὸ κινητὸ Β τὸ τόξο ΒΒ' καὶ τὸ κινητὸ Γ τὸ τόξο ΓΓ'. Τὰ τόξα δύμως αὐτὰ δὲν ἔχουν τὸ ίδιο ἀνάπτυγμα, συνεπῶς τὰ τρία κινητὰ δὲν ἔχουν τὴν ίδια γραμμικὴ ταχύτητα. "Αν θεωρήσουμε δύμως τὶς ἀκτίνες, ἐπάνω στὶς οποῖες κινοῦνται τὰ τρία κινητά, οἱ ἀκτίνες αὐτὲς διαγράφουν σὲ μιὰ χρονικὴ μονάδα τὴν ίδια γωνία. Ἡ γωνία αὐτὴ δύνομάζεται γωνιακὴ ταχύτητα τῶν κινητῶν.

"Ωστε:

Γωνιακὴ ταχύτητα ω ἐνὸς κινητοῦ, τὸ δοποῖο ἐκτελεῖ δύμαλὴ κυκλικὴ κίνηση, δύνομάζεται ἡ γωνία ποὺ διαγράφει στὴ μονάδα τοῦ χρόνου μιὰ ἀκτίνα τοῦ κόκλου, ή ὅποια παρακολουθεῖ τὸ κινητό.

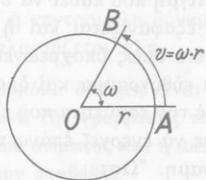
Ἐπομένως:

$$\text{γωνιακὴ ταχύτητα} = \frac{\text{γωνία στροφῆς}}{\text{χρόνος}}$$

$$\text{ή } \omega = \frac{\varphi}{t}$$

Ἡ γωνιακὴ ταχύτητα μετριέται σὲ μοῖρες τὸ δευτερόλεπτο η συνηθέστερα σὲ ἀκτίνη τὸ δευτερόλεπτο (rad/sec).

§ 33. Σχέση μεταξὺ τῆς γραμμικῆς καὶ τῆς γωνιακῆς ταχύτητας. "Εστω ὅτι ἔνα κινητὸ ἐκτελεῖ δύμαλὴ κυκλικὴ κίνηση ἐπάνω σὲ μία περιφέρεια μὲ ἀκτίνα γ. "Αν τὸ κινητὸ σὲ χρόνο 1 sec διανύσει τὸ τόξο ΑΒ, καὶ ἡ ἀκτίνα ἐπάνω στὴν οποία κινεῖται



Σχ. 25. Ἡ γωνιακὴ ταχύτητα ω, ἡ γραμμικὴ ταχύτητα v καὶ ἡ ἀκτίνη τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς r, συνδέονται μὲ τὴ σχέση:  $v = \omega \cdot r$ .

διαγράψει τὴν γωνία ΑΟΒ, τὸ μῆκος υ τοῦ τόξου ΑΒ εἶναι ἡ γραμμικὴ ταχύτητα τοῦ κινητοῦ καὶ ἡ γωνία ΑΟΒ = ω ἡ γωνιακὴ του ταχύτητα (σχ. 25).

"Αν ἡ ω μετριέται σὲ ἀκτίνια, τότε τόξο ἀναπτύγματος υ ἀντιστοιχεῖ σὲ γωνία ω, καὶ τόξο  $2\pi$ , δηλαδὴ δόλοκληρη ἡ περιφέρεια, σὲ γωνία  $2\pi$ . Στὴν ίδια δύμως περιφέρεια τὰ τόξα καὶ οἱ ἐπίκεντρες γωνίες εἶναι ποσὰ ἀνάλογα. Ἐπομένως:

$$\frac{v}{2\pi} = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{ή } \frac{v}{r} = \omega \quad \text{ή } v = \omega \cdot r$$

"Ωστε:

Ἡ γραμμικὴ ταχύτητα εἶναι ἴση μὲ τὸ γινόμενο τῆς γωνιακῆς ταχύτητας ἐπὶ τὴν ἀκτίνα τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς.

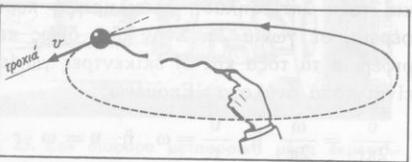
§ 34. Σχέση μεταξὺ γωνιακῆς ταχύτητας ω καὶ συχνότητας ν. "Απὸ τὴν ἔξισθωση  $v = \omega \cdot r$ , ἔχομε ὅτι  $\omega = v/r$ . "Αλλὰ καὶ  $v = \frac{2\pi r}{T}$ , ἐπομένως καταλήγομε σὲ  $\omega = \frac{2\pi r}{T} \cdot \frac{1}{r} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ .

"Ωστε:

$$v = 2\pi \cdot \nu$$

§ 35. Κεντρομόλα δύναμη καὶ φυγόκεντρη ἀντίδραση. Σύμφωνα μὲ τὸ ἀξιώμα τῆς ἀδράνειας, ὅταν σὲ ἔνα σῶμα δὲν ἀσκεῖται καμία δύναμη, τὸ σῶμα ἰσορροπεῖ ἡ κινεῖται εὐθύγραμμα καὶ ὁμαλά. Ἐπομένως ὅταν ἔνα σῶμα ἐκτελεῖ κυκλικὴ κίνηση, πρέπει νὰ ἐνεργεῖ ἐπάνω του μιὰ δύναμη, ποὺ νὰ τὸ ἀναγκάζει νὰ κινεῖται κυκλικὰ καὶ νὰ τὸ διευθύνει πρὸς τὸ κέντρο τῆς περιφέρειας, ποὺ διαγράφει τὸ σῶμα.

Πειράμα. Δένομε στὸ ἄκρο ἐνὸς σπάγγου μιὰ πέτρα καὶ, κρατώντας τὸ ἄλλο ἄκρο μὲ τὸ χέρι μας, δίνομε στὴ πέτρα κυκλικὴ κίνηση, περιστρέφοντάς την σὲ ὀριζόντιο ἐπίπεδο (σχ. 26, ἄνω). Ἡ δύναμη ποὺ ἔχαναγκάζει τὴν πέτρα σὲ περιστροφὴ προ-



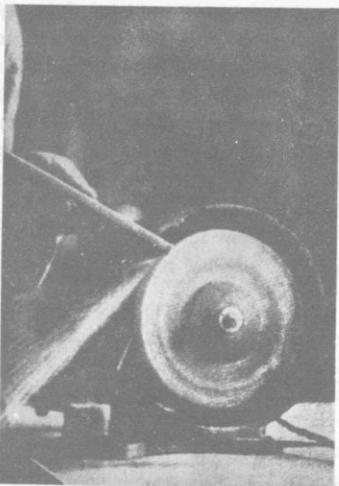
**Σχ. 26.** Ή κεντρομόλα δύναμη περιστρέφει τὴν πέτρα, ποὺ ἀντιδρᾶ μὲ τὴν φυγόκεντρη δύναμη, ἀντίθετη πρὸς τὴν κεντρομόλα. Όταν κοπεῖ ὁ σπάγγος, ἡ πέτρα κινεῖται ἀκολουθώντας τὴν ἐφαπτομένη τῆς τροχιᾶς.

έρχεται ἀπὸ τὸ χέρι μας, ἀσκεῖται στὴν πέτρα μὲ τὸ σπάγγο καὶ διευθύνεται πρὸς τὸ χέρι μας, πρὸς τὸ κέντρο δηλαδὴ τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς ποὺ διαγράφει ἡ πέτρα. Ή δύναμη αὐτὴ δονομάζεται κεντρομόλα δύναμη. "Ωστε:

Κεντρομόλα δύναμη δονομάζεται η δύναμη ποὺ ἔξαναγκάζει ἔνα σῶμα νὰ κινηθεῖ ἐπάνω σὲ κυκλικὴ τροχιά. Η δύναμη αὐτὴ ἔχει, σὲ κάθε χρονικὴ στιγμή, διεύθυνση τὴν ἀκτίνα καὶ φορὰ πρὸς τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς.

**§ 36. Φυγόκεντρη ἀντίδραση.** "Οταν ἐκτελοῦμε τὸ παραπάνω πείραμα, χρειάζεται νὰ καταβάλουμε ἀρκετή προσπάθεια γιὰ νὰ συγκρατήσουμε τὴν πέτρα, ποὺ τείνει διολένα νὰ ἐκτιναχτεῖ. Αὐτὸ δοφείλεται στὸ γεγονός δτὶ η πέτρα, σύμφωνα μὲ τὸ ἀξιώμα δράσεως καὶ ἀντιδράσεως, προβάλλει στὴν κεντρομόλα δύναμη ἀντίδραση ἵσου μέτρου καὶ ἀντίθετης φορᾶς, η δοπία τείνει νὰ ἀπομακρύνει τὴν πέτρα ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς. Η δύναμη αὐτὴ δονομάζεται φυγόκεντρη δύναμη.

"Η φυγόκεντρη δύναμη δὲν εἶναι δύναμη ποὺ ἀσκεῖται ἀπὸ ἔξωτερικὰ αἴτια στὸ σῶμα,



**Σχ. 27.** Οι σπινθῆρες κινοῦνται ἔξαιτιας τῆς ἀδράνειας, κατὰ τὴν ἐφαπτομένη τῆς τροχιᾶς τοῦ τροχοῦ, στὸ σημεῖο ποὺ παράγονται.

ἀλλὰ δύναμη η δοπία ἔξαιτιας τῆς ἀδράνειας ἀναπτύσσεται στὸ σῶμα ἀπὸ τὸ ἴδιο τὸ σῶμα. Γι' αὐτό, ὅν σὲ μιὰ στιγμὴ κοπεῖ διπλάνος η ἀντίθετη τὸν ἀφῆσουμε, η πέτρα συνεχίζει τὴν κίνησή της, εὐθύγραμμα καὶ ὀμαλά, ἀκολουθώντας τὴν ἐφαπτομένη τῆς τροχιᾶς στὸ σημεῖο ποὺ βρισκόταν, δταν κόπηκε διπλάνος (σχ. 26, κάτω).

Τὸ ἴδιο φαινόμενο παρατηροῦμε, δταν παρακολουθοῦμε τοὺς σπινθῆρες ποὺ προκαλεῖ διπλάνος σμυριδοτροχός (σχ. 27).

'Απὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε δτὶ, ἀπὸ τὴ στιγμὴ ποὺ παύει νὰ ἐνεργεῖ η κεντρομόλα, ἔξαφανίζεται καὶ η φυγόκεντρη. Η ἀδράνεια δμως ὑποχρεώνει τὸ σῶμα νὰ συνεχίζει εὐθύγραμμα καὶ ὀμαλὰ τὴν κίνησή του, μὲ τὴν ταχύτητα ποὺ είχε τὴ στιγμὴ ποὺ ἔπαψε νὰ ἐνεργεῖ ἐπάνω του η κεντρομόλα δύναμη. "Ωστε:

"Η φυγόκεντρη δύναμη ἀναπτύσσεται σὲ νέα σῶμα ποὺ κινεῖται κυκλικὰ σὰν ἀντίδραση τοῦ σώματος πρὸς τὴν κεντρομόλα.

Έχει το ίδιο μέτρο με τὴν κεντρομόλα καὶ ἀντίθετη φορά, τείνει δηλαδὴ νὰ ἀπομακρύνει τὸ σῶμα ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς.

**§ 37.** Μέτρο τῆς κεντρομόλας καὶ τῆς φυγόκεντρης δυνάμεως. Ἀν ἔνα σῶμα, μάζας  $m$ , κινεῖται διαγράφοντας κυκλικὴν τροχιὰν ἀκτίνας  $r$ , μὲ σταθεροῦ μέτρου γραμμικῆς ταχύτητας  $v$ , τότε, δημοσιεύεται, τὸ μέτρο τῆς κεντρομόλας δυνάμεως  $F_{kev}$  δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$F_{kev} = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (1)$$

Ἐπειδὴ δῆμος ἡ φυγόκεντρη  $F_{phy}$  καὶ ἡ κεντρομόλα δύναμη  $F_{kev}$  ἔχουν ἵσα μέτρα, θὰ ἔχουμε:

$$F_{phy} = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (2)$$

**§ 38. Νόμοι τῆς κεντρομόλας δυνάμεως.** Ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (1) τῆς προηγούμενης παραγράφου προκύπτουν οἱ ἐξῆς νόμοι τῆς κεντρομόλας δυνάμεως:

α) Ἡ κεντρομόλα δύναμη εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴν μάζα τοῦ κινητοῦ, ὅταν ἡ γραμμικὴ ταχύτητα του καὶ ἡ ἀκτίνα περιστροφῆς παραμένουν σταθερές.

“Οταν δηλαδὴ ἡ μάζα τοῦ στρεφόμενου σώματος γίνει διπλάσια, τριπλάσια κλπ., ἐνῷ συγχρόνως παραμένουν σταθερές ἡ γραμμικὴ ταχύτητα καὶ ἡ ἀκτίνα περιστροφῆς, τότε καὶ ἡ κεντρομόλα δύναμη διπλασιάζεται, τριπλασιάζεται κλπ.

β) Ἡ κεντρομόλα δύναμη εἶναι ἀνάλογη μὲ τὸ τετράγωνο τῆς γραμμικῆς ταχύτητας, ὅταν ἡ μάζα τοῦ σώματος καὶ ἡ ἀκτίνα περιστροφῆς μένουν σταθερές.

“Οταν δηλαδὴ διπλασιάστῃ, τριπλασιάστῃ κλπ. ἡ γραμμικὴ ταχύτητα τοῦ σώματος, ἐνῷ ἡ ἀκτίνα περιστροφῆς παραμέ-

νει ἡ ἴδια, ἡ κεντρομόλα δύναμη τετραπλασιάζεται, ἐννεαπλασιάζεται κλπ.

γ) Ἡ κεντρομόλα δύναμη εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὴν ἀκτίνα, ὅταν ἡ μάζα τοῦ σώματος καὶ ἡ γραμμικὴ ταχύτητα του διατηροῦνται σταθερές.

“Οταν δηλαδὴ ἔνα σῶμα ἐκτελεῖ ὄμαλὴ κυκλικὴ κίνηση καὶ διατηρώντας σταθερὴ τὴν γραμμική του ταχύτητα διπλασιάσει, τριπλασιάσει κλπ. τὴν ἀκτίνα περιστροφῆς του, ἡ κεντρομόλα δύναμη γίνεται ἵση μὲ τὸ ἔνα δεύτερο, τὸ ἔνα τρίτο κλπ. τῆς ἀρχικῆς τιμῆς της.

Ἡ ἐξίσωση τῆς φυγόκεντρης καὶ τῆς κεντρομόλας δυνάμεως δὲν περιέχει τὸ χρόνο ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ γίνει μιὰ περιστροφὴ τοῦ κινητοῦ, δηλαδὴ τὴν περίοδο τῆς κινήσεως.

Ἐστω  $T$  ἡ περίοδος. Ἐπειδὴ τὸ κινητὸ σὲ χρόνο  $T$  διαγράφει περιφέρεια  $2\pi$  μὲ ισοταχὴ κίνηση, θὰ ἔχει ταχύτητα:

$$v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$$

καὶ ἐπειδὴ  $v^2 = \frac{4\pi^2 \cdot r^2}{T^2}$  ἡ ἐξίσωση (1) τῆς

§ 37 θὰ πάρει τὴν μορφή:  $F_{kev} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$ .

Ἐπομένως:

δ) Ἡ κεντρομόλα δύναμη εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴν ἀκτίνα περιστροφῆς, ὅταν ἡ περίοδος διατηρεῖται σταθερή.

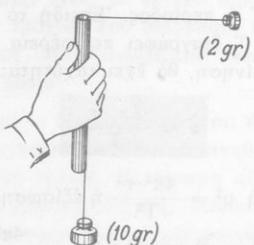
“Οταν δηλαδὴ διατηρεῖται σταθερὴ ἡ περίοδος ἐνὸς σώματος ποὺ στρέφεται καὶ διπλασιάστει, τριπλασιάστει κλπ. ἡ ἀκτίνα περιστροφῆς, τότε διπλασιάζεται, τριπλασιάζεται κλπ. καὶ ἡ κεντρομόλα δύναμη, ποὺ ἀναπτύσσεται στὸ σῶμα.

Σύμφωνα μὲ τὸ νόμο αὐτὸν ἔνα σῶμα ποὺ βρίσκεται στὸν Ἰσημερινὸ τῆς Γῆς, ὑπόκειται σὲ μεγαλύτερη φυγόκεντρη δύναμη ἀπὸ ἔνα σῶμα τῆς ἴδιας μάζας, ποὺ βρί-

σκεται σὲ ἄλλη περιοχὴ τῆς ἐπιφάνειας τῆς Γῆς. Καὶ τὰ δύο σώματα διαγράφουν κυκλικὲς τροχιές μὲ τὴν ἴδια περίοδο, ποὺ εἰναι Ἰση μὲ τὴν περίοδο περιστροφῆς τῆς Γῆς γύρω ἀπὸ τὸ ἄξονά της, δηλαδὴ Ἰση μὲ 24 ώρες, ἡ κυκλικὴ τροχιά δύμως τοῦ σώματος ποὺ βρίσκεται στὸν Ἰσημερινό ἔχει μεγαλύτερη ἀκτίνα.

**Σημείωση.** Οἱ νόμοι τῆς κεντρομόλας δυνάμεως ἰσχύουν καὶ γιὰ τὴ φυγόκεντρη δύναμη.

**§ 39. Πειραματικὴ ἀπόδειξη τῶν νόμων τῆς κεντρομόλας καὶ τῆς φυγόκεντρης δυνάμεως.** Ἡ ἀλήθεια τῶν νόμων τῆς κεντρομόλας καὶ τῆς φυγόκεντρης δυνάμεως ἀποδεικνύεται μὲ τὸ ἀκόλουθο πείραμα (σχ. 28).



Σχ. 28. Πείραμα γιὰ τὴν ἐπαλήθευση τῶν νόμων τῆς κεντρομόλας δυνάμεως.

Στὶς ἄκρες ἐνὸς σπάγγου, ποὺ γλιστρᾶ μέσα σ' ἕνα γυάλινο σωλήνα μήκους 25 cm περίπου, δένομε δύο σταθμὰ μὲ μάζες:  $m_1 = 2 \text{ gr}$  καὶ  $m_2 = 10 \text{ gr}$ . Ὅστερα τινάζομε τὴ μάζα  $m_1$  καὶ τὴν περιστρέφομε μὲ τυχαία ἀλλὰ σταθερὴ περίοδο  $T$ , γύρω ἀπὸ τὸν γυάλινο σωλήνα, ποὺ τὸν κρατοῦμε σὲ κατακόρυφη θέση. Τὸ βάρος  $B$  τῆς μάζας  $m_2$  ἐνεργεῖ σὰν κεντρομόλα δύναμη  $F_{\text{kev}}$  τῆς περιστροφῆς κινήσεως τῆς μάζας  $m_1$ . Ὁ σπάγγος μοιράζεται ἔτσι, ὥστε ἡ ἀπόσταση τῆς μάζας  $m_1$  ἀπὸ τὸν σωλήνα νὰ ἔχῃ

μῆκος  $r$ , σὲ τρόπο ποὺ νὰ ἰσχύει ἡ σχέση:

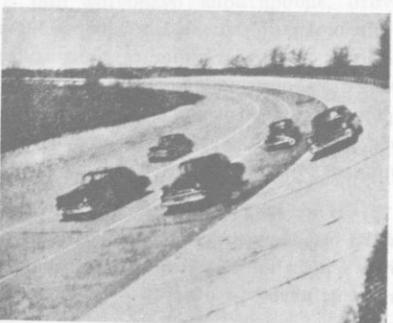
$$B = F_{\text{kev}} = \frac{4\pi^2 \cdot m_1 \cdot r}{T^2}$$

**§ 40. Φαινόμενα καὶ ἐφαρμογὲς τῆς κεντρομόλας δυνάμεως.** α) Οἱ ἵππεῖς, οἱ ποδηλάτες καὶ οἱ δρομεῖς στὶς στροφές τῶν δρόμων κλίνουν τὸ σῶμα πρὸς τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς τους, γιὰ νὰ μὴν ἀνατραποῦν ἔξαιτίας τῆς φυγόκεντρης δυνάμεως, ποὺ ἀναπτύσσεται στὸ σῶμα τους.

β) Στὶς στροφές τῶν σιδηροδρομικῶν γραμμῶν ἡ ἔξωτερικὴ γραμμὴ τοποθετεῖται ψηλότερα ἀπὸ τὴν ἄλλη, δηλαδὴ σὲ ἄλλο δριζόντιο ἐπίπεδο, γιὰ νὰ ἔξουδετερώνεται ἡ φυγόκεντρη δύναμη, μὲ τὴν κλίση τῆς ἀτμομηχανῆς καὶ τῶν βαγονιῶν πρὸς τὸ ἐσωτερικὸ τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς. Ἐπίσης οἱ ὁδηγοὶ τῶν σιδηροδρομικῶν συρμῶν μετριάζουν στὶς καμπὲς τὴν ταχύτητα, ἐλαττώντας ἔτσι τὴ φυγόκεντρη δύναμη. Μὲ τὰ μέτρα αὐτὰ ἀποφένγεται ἡ ἐκτροχιασμὸς τοῦ τραίνου.

Ἄναλογα μέτρα παίρνονται καὶ στὶς καμπὲς τῶν αὐτοκινητοδρόμων (σχ. 29).

γ) Ἐξαιτίας τῆς φυγόκεντρης δυνάμεως οἱ τροχοὶ τῶν διαφόρων μεταφορικῶν μὲ σων τινάζουν μακριὰ τὴ λάσπη ποὺ κολλιέπανταν τους.

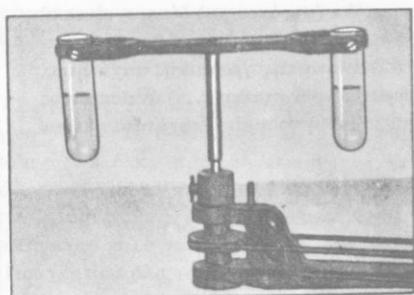


Σχ. 29. Οἱ αὐτοκινητόδρομοι κατασκευάζονται μὲ ἀνυψώσεις στὶς καμπές, ὥστε τὰ ὀχήματα νὰ κλίνουν πρὸς τὸ ἐσωτερικὸ τῆς καμπύλης τροχιᾶς.

δ) Ή Γῇ είναι δξογκωμένη στὸν Ἰσημερινό, δπου ἡ φυγόκεντρη δύναμη ποὺ ἀναπτύσσεται ἀπὸ τὴν ἡμερήσια περιστροφὴ τοῦ πλανῆτη μας γύρω ἀπὸ τὸν δξονάτον είναι μεγαλύτερη, καὶ συμπιεσμένη στὸν Πόλους.

ε) Πολλές καὶ διάφορες ἐφαρμογές βρίσκεται ἡ φυγόκεντρη δύναμη στὸν καθημερινὸν βίο καὶ στὴ βιομηχανία. Οἱ φυγοκεντρικὲς ἀντλίες είναι μιὰ ἀπὸ τὶς πιὸ συνηθισμένες καὶ τὶς πιὸ σπουδαῖες ἐφαρμογές της, δπως ἐπίσης καὶ οἱ φυγοκεντρικοὶ διαχωριστῆρες, ποὺ χρησιμεύουν στὸ διαχωρισμὸν ἀνακατεμένων ὑγρῶν μὲ διαφορετικὰ εἰδικὰ βάρη, καθὼς ἐπίσης καὶ στὸ διαχωρισμὸν ὑγρῶν μειγμάτων, ποὺ περιέχουν στερεὰ συστατικά.

Τὸ ὑγρὸ μείγμα τοποθετεῖται μέσα στὸ διαχωριστήρα καὶ κατόπιν ἡ μηχανὴ ἀρχίζει νὰ περιστρέφεται. Τὰ συστατικὰ τοῦ



Σχ. 30. Φυγοκεντρικὸς διαχωριστήρας.

μείγματος, ἀφοῦ ἔχουν διαφορετικὰ εἰδικὰ βάρη, ἀναπτύσσουν διαφορετικὴ φυγόκεντρη δύναμη καὶ διαχωρίζονται. Τὰ πιὸ βαριὰ τινάζονται πρὸς τὰ ἔξω, τὰ ἐλαφρότερα πιὸ μέσα (σχ. 30).

Μὲ τὴν μέθοδο αὐτὴ διαχωρίζομε τὸ βούτυρο ἀπὸ τὸ γάλα, τὴν μούργα ἀπὸ τὸ λάδι κλπ. Φυγοκεντρικὲς μηχανὲς χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης στὰ ξηραντήρια τῶν ὑφασμάτων. Τὰ ὑφάσματα τοποθετοῦνται σὲ κατάλληλα δοχεῖα, ποὺ περιστρέφονται κατόπιν μὲ μεγάλη ταχύτητα. Τὸ νερὸ χτυπᾶ μὲ δύναμη στὰ διάτρητα τοιχώματα τῶν δοχείων καὶ ξεφεύγει δρμητικὰ ἀπὸ τὶς τρύπες ἀφήνοντας τὰ ὑφάσματα σχεδὸν στεγνά.

**Ἀριθμητικὴ ἐφαρμογὴ.** Ἐνα σῶμα μὲ μάζα 100 gr είναι δεμένο στὴ μιὰ ἄκρη ἐνὸς νήματος μῆκους 1 m καὶ ἐκτελεῖ ὅμαλὴ περιστροφικὴ κίνηση σὲ ὄριζόντιο ἐπίπεδο, διαγράφοντας πέντε στροφὲς σὲ χρόνο 5 sec. Νὰ οπολογίσετε τὴν τάση τοῦ νήματος. (Τὸ  $\pi^2 \simeq 9.87$  νὰ τὸ πάρετε ίσο μὲ 10).

**Δύση:** Ἡ τάση F τοῦ νήματος είναι ίση μὲ τὴ φυγόκεντρη δύναμη F<sub>φυ</sub> τῆς περιστροφικῆς κινήσεως. Ἐπομένως θὰ είναι:

$$F = F_{\text{φυ}} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$$

Αντικαθιστώντας στὴν ἔξισηση αὐτὴ τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος, στὸ Σύνταγμα M.K.S., δηλαδὴ m = 100 gr = 0,1 kg, r = 1 m, T = 1 sec, (γιατί, ἀφοῦ κάνει 5 στροφές σὲ 5 sec, γιά μιὰ στροφὴ χρειάζεται 1 sec, ἀλλὰ ὁ χρόνος μιᾶς περιστροφῆς είναι ίσος μὲ τὴν περίοδο) καὶ  $\pi^2 = 10$ , βρίσκομε:

$$F = \frac{4 \cdot 10 \cdot 0,1 \cdot 1}{1^2} = 4 \text{ Νιούτον.}$$

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ἡ κυκλικὴ κίνηση είναι περίπτωση καμπυλόγραμμης κινήσεως. Ἰδιαίτερο ἐνδιαφέρον παρουσιάζει ἡ ὅμαλὴ κυκλικὴ κίνηση, κατὰ τὴν ὁποία τὸ κινητὸ διανύει σὲ ίσους χρόνους ἵσα τόξα τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς τοῦ. Ἡ ὅμαλὴ κυκλικὴ κίνηση είναι λοιπὸν περιοδικὸ φαινόμενο καὶ γι' αὐτὸ χαρακτηρίζεται ἀπὸ δρισμένη περίοδο καὶ ἀντίστοιχη συχνότητα.

2. Γραμμικὴ ταχύτητα υ μιᾶς ὅμαλῆς κυκλικῆς κινήσεως ὀνομάζομε τὸ μῆκος τοῦ τόξου, ποὺ διανύει τὸ κινητὸ στὴ μονάδα τοῦ χρόνου. Ἡ γραμμικὴ ταχύτητα μετριέται σὲ m/sec ἢ cm/sec ἢ km/h κ.λ.π.

3. Γωνιακή ταχύτητα ω μιᾶς όμαλής κυκλικής κινήσεως όνομάζεται ή γωνία πού διαγράφει στή μονάδα τοῦ χρόνου μιὰ άκτινα τοῦ κύκλου, παρακολουθώντας τὸ κινητὸ στὴν κίνησή του. Ἡ γωνιακή ταχύτητα μετρέται σὲ μοῖρες τὸ δευτερόλεπτο ή άκτινα τὸ δευτερόλεπτο.

4. Ἡ γραμμική ταχύτητα ν, ή γωνιακή ταχύτητα ω καὶ ή άκτινα γ τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς συνδέονται μὲ τὴ σχέση:  $v = \omega \cdot r$ .

5. "Ενα σῶμα κινεῖται ἀκολουθώντας κυκλική τροχιά, γιατὶ ὀσκεῖται ἐπάνω του μιὰ δύναμη, ποὺ διευθύνεται σταθερὰ πρός τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς καὶ όνομάζεται κεντρομόλα δύναμη.

6. Ἡ κεντρομόλα δύναμη προκαλεῖ, σὰν ἀντίδραση τοῦ σώματος, τὴ φυγόκεντρη δύναμη, ποὺ ἔχει τὸ ἴδιο μέτρο μὲ τὴν κεντρομόλα καὶ ἀντίθετη φορὰ ἀπὸ ἑκείνη· τείνει δηλαδὴ ή φυγόκεντρη νὰ ἀπομακρύνει τὸ σῶμα ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς.

7. Σ' ἔνα σῶμα μὲ μάζα m, ποὺ κινεῖται όμαλὰ σὲ κυκλική τροχιὰ άκτινας γ καὶ ἔχει γραμμική ταχύτητα v, ἐνεργεῖ κεντρομόλα δύναμη  $F_{KEV}$ . Τὸ σῶμα ἔχαλλον ἀντιδρᾶ μὲ φυγόκεντρη δύναμη  $F_{FUG}$ . Γιὰ τὰ μέτρα τῶν δυνάμεων αὐτῶν ίσχύει ή σχέση:

$$F_{KEV} = F_{FUG} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

8. 'Απὸ τὴν παραπάνω ἔξισωση βγαίνουν οἱ νόμοι τῆς κεντρομόλας (φυγόκεντρης) δυνάμεως. Σύμφωνα μὲ αὐτούς, ή κεντρομόλα (φυγόκεντρη) δύναμη εἶναι α) ἀνάλογη μὲ τὴν μάζα τοῦ κινητοῦ, ὅταν η γραμμική ταχύτητα καὶ η άκτινα περιφορᾶς μένουν σταθερές. β) ἀνάλογη μὲ τὸ τετράγωνο τῆς γραμμικῆς ταχύτητας, ὅταν η μάζα τοῦ σώματος καὶ η άκτινα περιφορᾶς μένουν σταθερές. γ) ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὴν άκτινα περιφορᾶς, ὅταν η μάζα καὶ η γραμμική ταχύτητα μένουν σταθερές.

9. Ἡ ἔξισωση τῆς κεντρομόλας (φυγόκεντρης) δυνάμεως, ἀν ἀντικαταστήσουμε τὸ v μὲ τὸ īσο του  $2\pi r/T$ , γίνεται:

$$F_{KEV} = F_{FUG} = \frac{4\pi^2 \cdot m \cdot r}{T^2}$$

10. Ἡ σχέση αὐτὴ ἐκφράζει τὸν τέταρτο νόμο, σύμφωνα μὲ τὸν ὅποιο ή κεντρομόλα (φυγόκεντρη) δύναμη εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴν άκτινα περιφορᾶς, ὅταν διατηρεῖται σταθερὴ η περίοδος.

11. Πολλὰ φαινόμενα ὀφείλονται στὴν κεντρομόλα δύναμη, ὅπως τὸ τίναγμα τῆς λάσπης ἀπὸ τοὺς τροχοὺς τῶν αὐτοκινήτων, ή ἔξογκωση τῆς Γῆς στὸν Ἰσημερινό, ή κλίση τῶν δρομέων, ἵππεων, ποδηλατιστῶν κλπ. πρὸς τὸ κοῖλο τῆς καμπῆς. Γιὰ νὰ ἔξουδετερωθεῖ η φυγόκεντρη δύναμη στὶς στροφές τῶν σιδηροδρομικῶν γραμμῶν, κατασκευάζεται ψηλότερη η ἔξωτερική γραμμή.

12. Ἡ φυγόκεντρη δύναμη βρίσκει καὶ βιομηχανικές ἐφαρμογές, ὅπως εἶναι οἱ φυγοκεντρικές ἀντλίες, οἱ φυγοκεντρικοὶ διαχωριστῆρες, οἱ φυγοκεντρικοὶ ξηραντῆρες κλπ.

33. Πόση είναι ή συχνότητα ένδος τροχοῦ διαμέτρου 150 mm, όταν ή γραμμική ταχύτητα τῶν σημείων τῆς περιφέρειάς του είναι 35 m/sec;

('Απ. 4 459 στρ./min.)

34. Πόση είναι ή μέση γραμμική ταχύτητα τῆς Γῆς κατά τὴν κίνησή της γύρω ἀπὸ τὸν "Ηλιο", ἢν η τροχιά τῆς θεωρηθεῖ σὰν κύκλος μὲ ἀκτίνα 15. 10<sup>7</sup> km καὶ τὴν περίοδο τῆς κινήσεως τὴν πάσονται ἵση μὲ 365,25 μέσες ημιακές ημέρες; ('Απ. 30 km/sec.)

35. "Ερας τροχός κάνει 96 στροφές/min. α) Πόση είναι ή γραμμική ταχύτητα τοῦ τροχοῦ; β) "Αν ή γραμμική ταχύτητα τῶν σημείων τῆς περιφέρειάς του είναι 25 m/min, πόση είναι ή διάμετρος τοῦ τροχοῦ; ('Απ. α' 603,28 cm/min. ή' 0,0828 m.)

36. "Ερας τροχός ἔχει διάμετρο 20 cm καὶ κάνει 1 200 στροφές/min. Πόση είναι ή ταχύτητα ένδος σημείου τῆς περιφέρειας τοῦ τροχοῦ;

('Απ. 12,56 m/sec.)

37. Οἱ τροχοὶ ένδος αὐτοκινήτου ἔχον διάμετρο 550 mm. Πόσες στροφές τὸ λεπτὸ κάνον οἱ τροχοὶ, ὅταν τὸ αὐτοκίνητο κινεῖται μὲ ταχύτητα 80 km/h; ('Απ. 773 στρ./min.)

38. Πόση κεντρομόλα δύναμη πρέπει νὰ ἀσκηθεῖ σ' ἓνα αὐτοκίνητο βάρους 1 200 kp, γιὰ νὰ περάσει μιὰ καμπή ἐνδος δρόμου ἀκτίνας 40 m μὲ ταχύτητα 24 km/h; ('Απ. 136 kp περίπου.)

39. Αὐτοκίνητο μὲ μᾶζα 2 τόνων κινεῖται σὲ μιὰ καμπή ἀκτίνας 200 μ. Πόση πρέπει νὰ είναι τὸ πολὺ ή γραμμική ταχύτητα τοῦ ὁχήματος, γιὰ νὰ μὴν ξεπεράσει ἡ φυγόκεντρη δύναμη τὴν τιμὴ τῶν 49 kp; ('Απ. 25,2 km/h = 7,07 m/sec περίπου.)

40. Σῶμα μᾶζας 50 gr κάνει ὄμαλή κυκλικῆ κίνηση ἀκτίνας 40 cm μὲ συχνότητα 3 000 στροφῶν τὸ λεπτό. Πόση είναι ή φυγόκεντρη δύναμη ποὺ ἀναπτύσσεται στὸ σῶμα καὶ πόσες φορές είναι μεγαλύτερη ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ σώματος;

('Απ. α' 200 kp. β' 4 000 φορές.)

## ΣΤ' — ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΛΞΗ

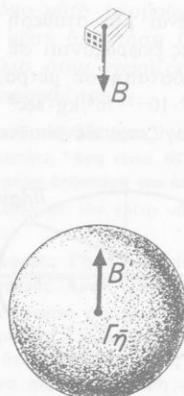
§ 41. Νόμος τῆς παγκόσμιας ἔλξης. Ἡ γῆλην βαρύτητα, ή δύναμη δηλαδὴ μὲ τὴν δοποίᾳ ή Γῆ ἔλκει πρὸς τὸ κέντρο τῆς τὰ διάφορα σώματα, ποὺ βρίσκονται κοντά στὴν ἐπιφάνεια τῆς, ἀποτελεῖ μερικὴ περίπτωση ένδος πολὺ γενικότερου φαινομένου.

Πραγματικὰ δλα τὰ σώματα τοῦ Σύμπαντος ἔλκονται ἀμοιβαίᾳ (σχ. 31), δηλαδὴ ἔλκεται τὸ ἔνα ἀπὸ τὸ ἄλλο. "Ετσι ή Γῆ ἔλκει τὴ Σελήνη καὶ ἀντίστροφα ή Σελήνη ἔλκει τὴ Γῆ. Ο "Ηλιος ἔλκει τὴ Γῆ καὶ ἀντίστροφα ή Γῆ ἔλκει τὸν "Ηλιο καὶ γενικὰ δλα τὰ οὐράνια σώματα, δηλαδὴ τὰ ἀστέρια, ἔλκονται ἀμοιβαίᾳ.

Τὸ γενικὸ φαινόμενο τῆς ἀμοιβαίας ἔλξης τῶν οὐρανίων σωμάτων δινομάζεται παγκόσμια ἔλξη.

Παρ' ὅλη τὴν ἀμοιβαίᾳ ἔλξη τους, τὰ οὐράνια σώματα δὲν πέφτουν τὸ ἔνα ἐπάνω

στὸ ἄλλο, ἐπειδὴ κινοῦνται, ἀκολουθώντας κλειστὲς καμπύλες τροχιές, καθὼς περιστρέφονται γύρω ἀπὸ ἄλλα κεντρικὰ ἄστρα.



Σχ. 31. Η Γῆ ἔλκει τὰ διάφορα σώματα πρὸς τὸ κέντρο τῆς.

Οι τροχιές αυτές μοιάζουν με λιγότερο ή περισσότερο συμπιεσμένους κύκλους, που δονομάζονται έλλειψεις (σχ. 32). Η έλξη τού κεντρικού αστρου, που γύρω του περιφέρεται μιά διάδικτη από μικρότερα, ένεργει σάν κεντρομόλα δύναμη τής κινήσεως. Τήν ιδέα τής παγκόσμιας έλξης συνέλαβε πρώτος ο Νεύτωνας και διατύπωσε μαθηματικά τό μέτρο  $F$  τής έλκτικής δυνάμεως, ή όποια άναπτύσσεται άναμεσα σε δύο σώματα με μάζες  $m_1$  και  $m_2$ , που βρίσκονται σε απόσταση  $r$  τό ενα από τό άλλο (σχ. 33).

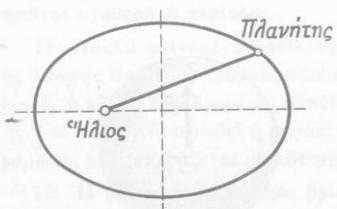
Ο νόμος τής παγκόσμιας έλξης έκφραζει διτι:

Η έλκτική δύναμη  $F$ , που άναπτύσσεται άναμεσα σε δύο μάζες  $m_1$  και  $m_2$ , διαν τις χωρίζει απόσταση  $r$ , είναι άναλογη με τό γινόμενο τῶν μαζῶν και άντιστρόφως άναλογη με τό τετράγωνο τῆς αποστάσεώς τους.

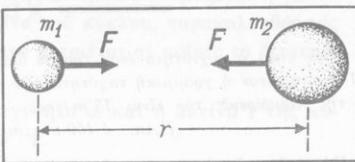
Μαθηματικά ο νόμος έκφραζεται στή σχέση:

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

όπου τό  $k$  είναι μία σταθερή ποσότητα. "Οταν οι μάζες έκφραζονται σε χιλιόγραμμα και ή απόσταση σε μέτρα, ή  $k$  έχει τιμή  $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{sec}^2$  και ή δύναμη  $F$  ύπολογίζεται σε Νιούτον (N).



Σχ. 32. Οι τροχιές τῶν πλανητῶν γύρω από τὸν "Ηλιο είναι έλλειψεις.



Σχ. 33. Άναμεσα σε δύο μάζες  $m_1$  και  $m_2$ , που άπέχουν απόσταση  $r$ , άναπτύσσονται έλκτικές δυνάμεις.

**§ 42. Κίνηση τῶν πλανητῶν.** Ο ξαστρος οὐρανός. "Αν ρίξουμε μιά προσεχτική ματιά στὸ νυκτερινὸ οὐρανό, παρατηροῦμε ένα μεγάλο πλήθος από αστρα, που μποροῦμε νὰ δοῦμε μὲ γυμνὸ μάτι και ποὺ τὰ κατατάσσομε σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

Στήν πρώτη κατηγορία άνήκουν οἱ ἀπλανεῖς ἀστέρες, ποὺ είναι ή συντριπτικὴ πλειονότητα τῶν οὐράνιων σωμάτων. Είναι αστρα ποὺ βρίσκονται σε τεράστιες αποστάσεις από τή Γῆ μας, τόσο μεγάλες, ποὺ τό φῶς τους χρειάζεται χρόνια γιὰ νὰ φτάσει στὸν πλανήτη μας. Είναι δπως ὁ "Ηλιος μας, κι διαν τὰ κοιτοῦμε, τρεμοσβήνουν (μαρμαίρουν), παρουσιάζουν, δπως λέμε, στίλβη. Η δονομασία τους δφείλεται στὸ γεγονός διτι τὰ αστρα αυτὰ διατηροῦν σταθερές, γιὰ ένα γήινο παρατηρητή, αποστάσεις μέσα στὸ χρονικὸ διάστημα μιᾶς ἀνθρώπινης ζωῆς. Έπομένως δὲν πλανῶνται, δὲν μετακινοῦνται δηλαδὴ στὸν οὐράνιο θόλο. Παρακολουθοῦν τή φαινομενική κίνηση τῆς οὐράνιας σφαιράς σάν νὰ ηταν κολλημένα στὸ έσωτερικό της.

Η ήμερησια κίνηση τῆς οὐράνιας σφαιράς είναι φαινομενική, φαίνεται δηλαδὴ σε μᾶς διτι γίνεται έτσι, ένδ πραγματικὰ δφείλεται στήν περιστροφή τῆς Γῆς γύρω από τὸν ζξονά της. Έδω συνεπῶς συμβαίνει ένα φαινόμενο άναλογο μὲ αυτὸ ποὺ παρατηροῦμε, διαν τρέχονται μὲ ένα γρήγορο αυτοκίνητο σ' έναν άνοιχτὸ κάμπο. Ένδ έμεις προσπερνοῦμε τρέχονταις τὰ δέντρα και τὰ σπίτια, ποὺ βρίσκονται δίπλα στὸ

δρόμο, μᾶς δημιουργεῖται ή έντύπωση πώς τὰ δέντρα καὶ τὰ σπίτια κινοῦνται ταχύτατα πρὸς τὸ μέρος μας.

Στὴ δεύτερη κατηγορίᾳ ἀνήκουν οἱ πλανῆτες. Αὐτοὶ ἀποτελοῦν τὴν συντριπτικὴν μειονότητα τῶν ἀστρων, ἀφοῦ οἱ μεγάλοι εἰναι μόλις ἐννέα. Είναι ἀστέρια ἀνάλογα μὲ τὴ Γῆ μας, δὲν ἔχουν δικό τους φῶς, ἀλλὰ ἀντανακλοῦν τὸ φῶς τοῦ "Ηλιου. Δὲν διατηροῦν σταθερές θέσεις, ἀλλὰ κινοῦνται, πλανῶνται, ἀνάμεσα στοὺς ἀπλανεῖς.

Στὴν ἀρχαιότητα, ἐκτὸς ἀπὸ μερικὲς φωτεινὲς ἔξαιρεσις, δῆλος π.χ. ὁ Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος (γύρω στὰ 250 π.Χ.), οἱ ἄνθρωποι πίστευαν διτὶ ἡ οὐράνια σφαίρα στρέφεται μαζὶ μὲ δλα τὰ ἀστρα γύρω ἀπὸ τὴ Γῆ, ἡ δοπία ἀποτελοῦσε, σύμφωνα μὲ τὴν ἀντίληψή τους, τὸ κέντρο τοῦ κόσμου. Ἡ διδασκαλία αὐτὴ λέγεται *Γεωκεντρικὸ Σύστημα*.

Ο Γερμανοπολωνὸς μοναχὸς **Κοπέρνικος** (1473 - 1543) μελέτησε τὰ συγγράμματα τῶν ἀρχαίων Ἑλλήνων καὶ ὑστερα ἀπὸ πολυχρόνιες παρατηρήσεις κατάληξε στὸ συμπέρασμα διτὶ ἡ Γῆ δὲν εἰναι κέντρο τοῦ κόσμου, ἀλλὰ ἔνας πλανῆτης, ποὺ περιστρέφεται, δῆλος καὶ οἱ ἄλλοι πλανῆτες, γύρω ἀπὸ τὸν "Ηλιο, ποὺ τὸν θεώρησε ως τὸ κέντρο τοῦ Σύμπαντος. Ἡ νέα διδασκαλία ὀνομάστηκε *Κοπερνίκειο* ή *"Ηλιοκεντρικὸ Σύστημα*.

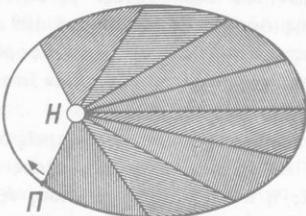
Τὴ διδασκαλία τοῦ Κοπέρνικου συμπλήρωσε ὁ Γερμανὸς ἀστρονόμος **Κέπλερος** (1571 - 1630), ποὺ ἀνακάλυψε καὶ τοὺς νόμους τῆς κινήσεως τῶν πλανητῶν γύρω ἀπὸ τὸν "Ηλιο.

Οἱ νόμοι τοῦ Κέπλερου εἰναι οἱ ἀκόλουθοι τρεῖς:

**α)** Οἱ πλανῆτες περιστρέφονται γύρω ἀπὸ τὸν "Ηλιο διαγράφοντας ἔλλειπτικὲς τροχιές.

Οἱ ἔλλειψεις αὐτὲς παρουσιάζουν μικρὴ διαφορὰ ἀπὸ τὸν κύκλο. Όστόσο, ἔχαιτίας τῶν ἔλλειπτικῶν τροχιῶν τους, οἱ ἀποστάσεις τῶν πλανητῶν ἀπὸ τὸν "Ηλιο δὲν διατηροῦνται σταθερές.

**β)** Η ἀκτίνα ποὺ συνδέει τὸν "Ηλιο καὶ τὸν πλανῆτη διαγράφει σὲ ίσους χρόνους ίσα ἐμβαδά (σχ. 34).



Σχ. 34. Γιὰ τὴν κατανόηση τοῦ δεύτερου νόμου τοῦ Κέπλερου.

Ἄπὸ τὸ νόμο αὐτὸ συμπεραίνομε διτὶ ἡ ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ πλανῆτη δὲν εἰναι σταθερή. "Οταν βρίσκεται μακρύτερα ἀπὸ τὸν "Ηλιο, κινεῖται καὶ ἀργότερα.

**γ)** Τὰ τετράγωνα τῶν περιόδων δύο πλανητῶν εἰναι ἀνάλογα μὲ τοὺς κύβους τῶν μέσων ἀποστάσεών τους ἀπὸ τὸν "Ηλιο.

Μὲ τὸ νόμο αὐτὸ μποροῦμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴ μέση ἀπόσταση ἐνὸς πλανῆτη ἀπὸ τὸν "Ηλιο, δταν γνωρίζουμε τὴν περίοδο τῆς περιφορᾶς του.

**Άριθμητικὸ παράδειγμα.** Ἡ περίοδος περιφορᾶς τοῦ πλανῆτη Ἀρη είναι 687 γήνες μέρες. Πόση εἰναι ἡ μέση ἀπόστασή του ἀπὸ τὸν "Ηλιο.

Αύστη. Σύμφωνα μὲ τὸν τρίτο νόμο τοῦ Κέπλερου θὰ ἔχουμε:

$$(\text{περίοδος περιφορᾶς } \Gamma\eta\varsigma)^2 = \frac{(\text{ἀκτίνα περιφ. } \Gamma\eta\varsigma)^3}{(\text{περίοδος περιφορᾶς } \text{Ἀρη})^2}$$

'Αλλὰ είναι γνωστὸ διτὶ ἡ περίοδος περιφορᾶς  $\Gamma\eta\varsigma = 365$  μέρες καὶ ἡ περίοδος περιφορᾶς  $\text{Ἀρη} = 687$  μέρες, διτὶ ἀκτίνα περιφορᾶς  $\Gamma\eta\varsigma = 150 \cdot 10^6$  km καὶ ἀκτίνα περιφορᾶς  $\text{Ἀρη} = x$ . Ἐπομένως θὰ είναι:

$$\frac{365^2}{687^2} = \frac{(150 \cdot 10^6)^3}{x^3} \quad \Delta\eta\cdot x = 228 \cdot 10^8 \text{ km.}$$

§ 43. Τὰ σώματα τοῦ ἡλιακοῦ μας συστήματος. Ὁ "Ἡλιος, οἱ πλανῆτες καὶ οἱ δορυφόροι τους καὶ ἔνας ἄγνωστος ἀριθμὸς ἀπὸ κομῆτες καὶ μετεωρίτες ἀποτελοῦν τὸ ἡλιακό μας σύστημα.

Οἱ "Ἡλιος εἶναι τὸ κεντρικὸ σῶμα μὲν μάζα 800 φορές περίπου μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν συνολικὴν μάζα δῶν τῶν ὑπόλοιπων σωμάτων τοῦ συστήματος. Ἡ ἀκτίνα τῆς ἡλιακῆς σφαίρας εἶναι ἵση μὲ 109 γήινες ἀκτίνες, ἐνῶ ἡ ἀκτίνα τῆς περιφορᾶς τῆς Σελήνης γύρω ἀπὸ τὴν Γῆ εἶναι ἵση μὲ 60 περίπου γήινες ἀκτίνες.

Οἱ πλανῆτες χωρίζονται σὲ τρεῖς ὁμάδες: στοὺς ἐσωτερικοὺς πλανῆτες, στοὺς πλανῆτοις εἰδῆς ἢ ἀστεροειδῆς καὶ στοὺς ἐξωτερικοὺς πλανῆτες.

Οἱ ἐσωτερικοὶ πλανῆτες ὡς πρὸς τὴν σειρὰ ἀποστάσεών τους ἀπὸ τὸν "Ἡλιο" εἶναι οἱ ἔξης: Ἐρμῆς, Ἀφροδίτη, Γῆ, Ἀρης.

Οἱ πλανῆτοις εἰδῆς ἢ ἀστεροειδῆς περιστρέφονται γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο" καὶ στὸ χῶρο ποὺ βρίσκεται ἀνάμεσα στὶς τροχιές τοῦ "Ἀρη" καὶ τοῦ Δία (σχ. 35). Ὡς σήμερα εἶναι γνωστοὶ 2 000 περίπου. Κανένας ἀπὸ αὐτοὺς δὲν φτάνει τὸ μέγεθος τῆς Σελή-

νης καὶ ἡ διάμετρος μερικῶν εἶναι μικρότερη ἀπὸ 10 χιλιόμετρα.

Οἱ ἐξωτερικοὶ πλανῆτες εἶναι οἱ: Δίας (Ζεύς), Κρόνος, Οὐρανός, Ποσειδῶν καὶ Πλούτων.

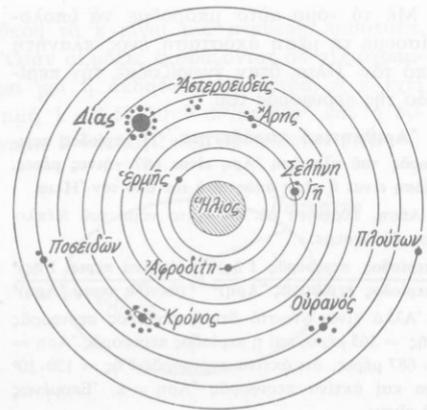
Οἱ κομῆτες καὶ οἱ μετεωρίτες ἀνήκουν κατὰ ἓνα μέρος στὸ ἡλιακό μας σύστημα, Οἱ τροχιές τῶν περιοδικῶν κομητῶν, ἐκείνων δηλαδὴ ποὺ κάνουν τὴν ἐμφάνισή τους σὲ δρισμένα χρονικά διαστήματα, εἶναι πολὺ συμπιεσμένες ἐλλείψεις.

Ἡ Γῆ, ὡς πλανῆτης ποὺ κατοικοῦμε, ἀνήκει στοὺς ἐσωτερικοὺς πλανῆτες καὶ ἔχει ἓνα δορυφόρο, τὴν Σελήνην. Οἱ δορυφόροι εἶναι μικροὶ πλανῆτες, ποὺ στρέφονται γύρῳ ἀπὸ ἄλλους πλανῆτες, ἐνῶ ταυτόχρονα τοὺς ἀκολουθοῦν στὴν περιστροφὴν γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο".

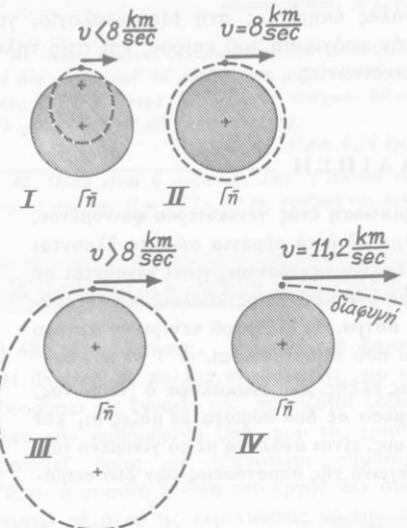
§ 44. Τεχνητοὶ δορυφόροι. "Οταν ἐκσφενδονίσουμε μὲ δύναμη ἔνα βαρὺ σῶμα, αὐτὸ διαγράφει μιὰ καμπύλη τροχιά, ποὺ τὸ κοῖλο μέρος τῆς εἶναι στραμμένο πρὸς τὴν Γῆ. Ἔτοι τὸ σῶμα ἀπὸ κάποια στιγμὴ καὶ ἔπειτα κινεῖται πλησιάζοντας δόλοένα τὴν Γῆ καὶ τέλος πέφτει ἐπάνω στὴν ἐπιφάνειά της.

"Αν κατὰ τὴν ἐκσφενδονίση καταβάλουμε μεγαλύτερη δύναμη, τὸ σῶμα θὰ πέσει σὲ μεγαλύτερη ἀπόσταση, κι ἂν διαθέτουμε μιὰ βλητικὴ μηχανή, τέτοια ὥστε νὰ μποροῦμε νὰ αὐξάνουμε τὴ δύναμη ἐκτοξεύσεως, θὰ πετυχαίνουμε δόλοένα καὶ μεγαλύτερες ἀποστάσεις ἀνάμεσα στὸ σημεῖο βολῆς καὶ στὸ σημεῖο προσκρούσεως ἐπάνω στὸ ἔδαφος.

Αὐξάνοντας τὴ δύναμη ἐκτοξεύσεως μεγαλώνομε τὴν ταχύτητα ἐκτοξεύσεως, μὲ τὴν ὅποια τὸ σῶμα δὲν ξαναπέφτει στὴ Γῆ. Ἡ ταχύτητα αὐτὴ δονομάζεται ταχύτητα διαφυγῆς καὶ εἶναι ἵση μὲ 8 km/sec, ὅταν δὲν ὑπολογίζεται ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα (σχ. 36). "Αν λοιπὸν ἀπὸ ἔνα ἀρκετὰ ψηλό



Σχ. 35. Τὰ οὐράνια σώματα ποὺ ἀποτελοῦν τὸ ἡλιακό μας σύστημα.



Σχ. 36. Τὸ εἶδος τῆς τροχιᾶς ἐνὸς σώματος, ποὺ βάλλεται ὀριζόντιᾳ, ἔξαρται ἀπὸ τὴν ἀρχικὴν του ταχύτητα.

σημεῖο ἐκσφενδονίσουμε ὀριζόντια ἔνα σῶμα μὲ ταχύτητα 8 km/sec, τὸ σῶμα αὐτὸ δὲν ἔναντεψέται στὴ Γῆ, ἀλλὰ στρέφεται γύρω ἀπὸ τὴ Γῆ σὲ κυκλικὴ τροχιά. Τὸ σῶμα τότε γίνεται τεχνητὸς δορυφόρος. "Αν ἡ ταχύτητα διαφυγῆς εἴναι μεγαλύτερη ἀπὸ 8 km/sec, ἀλλὰ μικρότερη ἀπὸ 11,2 km/sec, τὸ σῶμα διαγράφει ἐλλειπτικὴ τροχιά. Τέλος τὸ σῶμα ἔφενεγε ἀπὸ τὴν Ἐλξὴ τῆς Γῆς καὶ χάνεται στὸ Διάστημα, ὅταν ἡ ταχύτητα διαφυγῆς ἔπεράσει τὰ 11,2 km/sec (σχ. 36, IV).

"Ο αἰώνας μας χαρακτηρίζεται ἀπὸ ἔντονη προσπάθεια τοῦ ἀνθρώπου νὰ εἰσχωρήσει στὰ μυστικὰ τῆς Φύσης καὶ νὰ ἔξηγήσει ὅλα τὰ φυσικὰ φαινόμενα. "Ενας ἀπὸ τοὺς τρόπους ποὺ δείχνουν τὴν προσπάθεια αὐτὴ είναι καὶ ἡ ἔξερεύνηση τοῦ Διαστήματος, ποὺ γίνεται μὲ τοὺς τεχνητὸς δορυφόρους: γιὰ τὴν ἐκτόξευση τοὺς χρησιμοποιοῦνται εἰδικοὶ πύραυλοι.

"Η πρώτη σοβαρὴ προσπάθεια κατασκευῆς πυραύλων ἔγινε κατὰ τὰ τέλη τοῦ Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ὅταν οἱ Γερμανοὶ μηχανικοὶ κατασκεύασαν τὶς λεγόμενες ἵπτάμενες βόμβες τύπου V - 2. Μετὰ τὸ τέλος τοῦ πολέμου οἱ πύραυλοι V - 2 χρησιμοποιήθηκαν γιὰ καθαρὰ ἐπιστημονικοὺς σκοπούς, δὲν ἦταν ὅμως σὲ θέση νὰ ἀναπτύξουν τὴν ταχύτητα διαφυγῆς καὶ νὰ ἀποδεσμευτοῦν ἀπὸ τὴ γήινη Ἐλξη. Τὸ πρόβλημα λύθηκε μιὰ δεκαετία περίπου ἀργότερα, ὅταν Ἀμερικανοὶ καὶ Ρώσοι ἐπιστήμονες, ἐργαζόμενοι ξεχωριστά, κατασκεύασαν πολυώροφους πυραύλους, ἡ ἀρχὴ τῆς λειτουργίας τῶν ὁποίων είναι ἡ ἀκόλουθη:

"Οταν ὁ πύραυλος ἀνεβεῖ σὲ ἔνα ὄρισμένο ὑψος καὶ καταναλώσει τὰ καύσιμα τοῦ κατώτερου δρόφου του, τότε ἀποχωρίζεται τὸν δροφο αὐτό, ἐνῶ ταυτόχρονα πυροδοτεῖται ὁ ἐπόμενος δροφος. "Η διαδικασία αὐτὴ συνεχίζεται, ὥστοι χρησιμοποιηθοῦν δλοὶ οἱ δροφοί, δηπότε ὁ πύραυλος ἔχει ἀνεβεῖ στὸ ἐπιθυμητὸ ὑψος.

"Ο πολυώροφος πύραυλος ἔχει στὴν κορυφὴ του τὸ δορυφόρο, ποὺ τὸν θέτει σὲ τροχιά γύρω ἀπὸ τὴ Γῆ ὁ τελευταῖος δροφος. Κατὰ τὴν πυροδότησή του ὁ δροφος αὐτὸς ἔχει τέτοια θέση, ὥστε νὰ ἐκτοξεύσει τὸ δορυφόρο παράλληλα πρὸς τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς.

"Οι τεχνητοὶ δορυφόροι είναι ἐφοδιασμένοι μὲ ἐπιστημονικὰ ὅργανα καὶ μεταδίδουν, μὲ τὴ βοήθεια κωδικοποιημένων σημάτων, τὰ ἀποτελέσματα διαφόρων μετρήσεων.

"Ο πρῶτος τεχνητὸς δορυφόρος ἔξαπλύθηκε ἀπὸ τοὺς Ρώσους στὶς 4 Ὁκτωβρίου 1957 (Σπούτνικ I). "Ο ἀμέσως ἐπόμενος τεχνητὸς δορυφόρος ἦταν Ἀμερικανικὸς καὶ ἐκτοξεύτηκε στὶς 31 Ἰανουαρίου 1958 ἀπὸ τὶς Ἕνωμένες Πολιτεῖες (Explorer I, Ἐξερευνητὴς I). Σήμερα πιά γίνονται καὶ ἐπανδρωμένες πτήσεις. Κατὰ τὴν διάρκεια τῶν πτήσεων αὐτῶν πραγματοποιοῦνται ἐκπληκτικὰ πειράματα, ὅπως τὸ βάδισμα στὸ

Διάστημα, ή προσέγγιση τῶν διαστημο-  
πλοίων, ή πτήση τους σὲ σχηματισμό κ.λπ.  
Οἱ τεχνητοὶ δορυφόροι προσφέρουν με-

γάλες ύπηρεσίες στὴ Μετεωρολογία, γιὰ  
τὴν πρόγνωση τοῦ καιροῦ, καὶ στὶς τηλε-  
πικοινωνίες.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ἡ γήινη βαρύτητα εἶναι μερικὴ περίπτωση ἐνὸς γενικότερου φαινομένου, ποὺ ὀνομάζεται παγκόσμια ἔλξη. Σύμφωνα μὲ αὐτὸ τὰ οὐδράνια σώματα ἔλκονται ἀμοιβαῖα. Παρ' ὅλα αὐτά, τὰ ἄστρα δὲν ἀλληλοσυγκρούονται, γιατὶ κινοῦνται σὲ κλειστὲς καμπύλες τροχιές, ποὺ μοιάζουν μὲ συμπιεσμένους κύκλους καὶ ὀνομά-  
ζονται Ἑλλείψεις, γύρῳ ἀπὸ ἄλλα κεντρικὰ ἄστρα. Ἡ ἔλξη τοῦ κεντρικοῦ ἄστρου ἐνεργεῖ σάν κεντρομόλα δύναμη τοῦ ἄστρου ποὺ περιστρέφεται.

2. Σύμφωνα μὲ τὸ νόμο τῆς παγκόσμιας ἔλξης, ποὶ ἀνακάλυψε ὁ Νεύτωνας, ἡ ἑλκτικὴ δύναμη  $F$ , ποὺ ἀναπτύσσεται ἀνάμεσα σὲ δυὸ σώματα μὲ μάζες  $m_1$  καὶ  $m_2$  ὅταν βρίσκονται σὲ ἀπόσταση  $r$  μεταξὺ τους, εἶναι ἀνάλογη μὲ τὸ γινόμενο τῶν μαζῶν καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὸ τετράγωνο τῆς ἀποστάσεως τῶν δύο σωμά-  
των. Δηλαδή:

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

ὅπου τὸ  $k$  εἶναι μία σταθερὴ ποσότητα, ποὺ τὴν ὀνομάζομε σταθερὴ τῆς παγκόσμιας ἔλξης.

3. Τὰ ἀστέρια τοῦ οὐρανοῦ εἶναι κυρίως ἀπλανεῖς καὶ πλανῆτες. Οἱ ἀπλανεῖς, ποὺ ἀποτελοῦν τὴ συντριπτικὴ πλειονότητα τῶν οὐράνιων σωμάτων, εἶναι σάν τὸν "Ἡλιο μας, ἀπέχουν τεράστιες ἀποστάσεις ἀπὸ τὴ Γῆ μας καὶ στὸ σύντομο διάστημα μιᾶς ἀνθρώπινης ζωῆς φαίνονται σάν νᾶ μήν ἔχον μετακινηθεῖ ἐπάνω στὴν οὐρά-  
νια σφαίρα. Οἱ πλανῆτες στρέφονται γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο καὶ οἱ μεγάλοι ἀπὸ αὐτοὺς εἶναι, μαζὶ μὲ τὴ Γῆ, ἐννέα. Αὗτοὶ κινοῦνται σχετικὰ μὲ τοὺς ἀπλανεῖς.

4. Στὴν ἀρχαιότητα πίστευαν ὅτι ἡ Γῆ ἀποτελεῖ τὸ κέντρο τοῦ κόσμου. Ὁ Κο-  
πέρνικος ὑστερα ἀπὸ πολυετεῖς μελέτες καὶ παρατηρήσεις, ἔφτασε στὸ συμπέρασμα,  
ὅτι τὸ κέντρο τοῦ κόσμου εἶναι ὁ "Ἡλιος καὶ ὅτι οἱ πλανῆτες, ὅπως καὶ ἡ Γῆ, στρέ-  
φονται γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο. Τὴ θεωρία τοῦ Κοπέρνικου τελειοποίησε ὁ Κέπλερος  
ποὺ ἀνακάλυψε καὶ τοὺς νόμους τῆς περιφορᾶς τῶν πλανητῶν γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο.  
Σήμερα οἱ ἀστρονόμοι πιστεύουν ὅτι τὸ ἥλιακό μας σύστημα εἶναι ἔνα ἀπὸ τὰ  
ἀπειράθιμα ἀνάλογα συστήματα τοῦ Σύμπαντος.

5. Οἱ μικροὶ πλανῆτες, ποὺ στρέφονται γύρῳ ἀπὸ ἔνα μεγαλύτερο πλανήτη  
καὶ τὸν ἀκολουθοῦν συγχρόνως στὴν περιφορά του γύρῳ ἀπὸ τὸν "Ἡλιο, λέγονται  
δορυφόροι. Ἡ Σελήνη π.χ. εἶναι δορυφόρος τῆς Γῆς.

6. Τὰ τελευταῖα χρόνια οἱ ἐπιστήμονες ἐκτόξευσαν τεχνητοὺς δορυφόρους γιὰ  
τὴν ἔξερεύνηση τοῦ Διαστήματος, ὅπως ἐπίσης καὶ γιὰ πρακτικοὺς τηλεπικοινωνια-  
κούς σκοπούς. Οἱ τεχνητοὶ δορυφόροι εἶναι ἐπίσης οἱ πρόδρομοι τῶν διαστημο-  
πλοίων.

41. Πόση έλκτική δύναμη άναπτνεσσεται άνάμεσα σε δύο πλοία, που τὸ καθένα ἔχει μάζα  $20\,000$  τόνων και τὰ κέντρα βάρους τους απέχουν  $60\text{ m}$ ; ( $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}^{-2}$ ).

('Απ.  $0,74\text{ kp}$ .)

42. Πόση είναι ή μάζα τῆς Γῆς; ('Ακτίνα τῆς γήινης σφαιρώς  $R = 6,37 \cdot 10^6\text{ m}$ , σταθερὴ τῆς παγ-

κόσμιας έλξης  $k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}^{-2}$ ). ('Απ.  $5,97 \cdot 10^{24}\text{ kg}$ .)

43. Εγα σῶμα ζηγίζεται στήν έπιφάνεια τῆς Γῆς 100 kp. a) Πόσο είναι τὸ βάρος τοῦ σώματος σὲ ὑψος 4 000 m; β) Σὲ πόσο ὑψος τὸ βάρος τοῦ σώματος φτάνει τὰ 99,8 kp; ('Η ἀκτίνα τῆς Γῆς νὰ ληφθεῖ ἵση μὲ 6 366 km). ('Απ. α' 99,937 kp. β' 6 300 m.)

## Z — ΕΡΓΟ ΔΥΝΑΜΕΩΣ

§ 45. Γενικότητες. "Εννοια τοῦ ἔργου. "Η Φυσικὴ σὲ πολλὲς περιπτώσεις, γιὰ νὰ ἐκφράσει τὶς ἔννοιες τῆς, δανείζεται λέξεις ἀπὸ τὴν καθημερινὴ ζωὴ, ποὺ τὶς χρησιμοποιεῖ δύμως μὲ στενότερη σημασία. "Ετσι ή φυσικὴ ἔννοια τοῦ ἔργου δὲν συμπίπτει σὲ ὅλες τὶς περιπτώσεις μὲ τὴν ἔννοια τοῦ ἔργου στὴν καθημερινὴ διμίλια. Πραγματικὰ δὲ πολὺς κόσμος ἔννοει ἔργο τὸ ἀποτέλεσμα μιᾶς κουπαστικῆς και κουραστικῆς ἔργασίας. Γι' αὐτὸν χωρὶς ἄλλο δὲ κοινὸς ἀνθρωπος θὰ χαρακτηρίσει σὰν ἔργο τὴν προσπάθεια ἐνὸς ἀτόμου νὰ κρατήσει γιὰ ἔνα χρονικὸ διάστημα ἔνα βάρος μὲ ἀκίνητο και δριζόντιο τὸ χέρι του. 'Απὸ φυσικὴ δύμως ἄποψη στὴν περίπτωση αὐτὴ δὲν πραγματοποιήθηκε κανένα ἔργο. Σὲ ἄλλες δύμως περιπτώσεις ὑπάρχει ταύτιση τῶν δύο ἔννοιῶν.

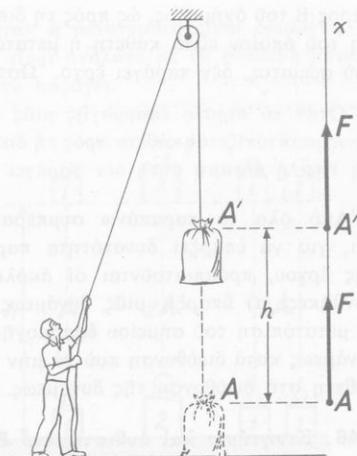
"Ετσι, δταν σηκώνουμε ἔνα σῶμα ἀπὸ τὸ ἔδαφος και τὸ τοποθετοῦμε ἐπάνω στὸ τραπέζι, ἐκτελοῦμε ἔργο, σύμφωνα μὲ τὴ γλώσσα τῆς καθημερινῆς χρήσης και τῆς Φυσικῆς.

Τὸ ἴδιο συμβαίνει, δταν ἔνα ἄλογο σέρνει μιὰν ἄμαξα η ἔνας ἔργατης μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς τροχαλίας ἀνυψώσει ἔνα φορτίο (σχ. 37).

Τὸ ἄλογο ἀσκεῖ, μὲ τὴ ζεύξη, μιὰ δύναμη στὴν ἄμαξα και δ ἔργατης, γιὰ νὰ ἀνυψώσει τὸ φορτίο, ἀσκεῖ μιὰ δύναμη στὸ σκοινί, ποὺ μεταβιβάζεται στὸ φορτίο ποὺ ἀνυψώνεται.

Τὸ βασικὸ στὰ φαινόμενα αὐτὰ είναι δτι καταβάλλεται μιὰ δύναμη, ποὺ μετακινεῖ ἀδιάκοπα τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς. Στὴν περίπτωση π.χ. τοῦ ἔργατη ποὺ ἀνυψώνει τὸ φορτίο, τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς δυνάμεως μετατοπίστηκε ἀπὸ τὸ σημεῖο Α στὸ Α'. Τότε λέμε δτι ή δύναμη παράγει ἔργο. "Ωστε:

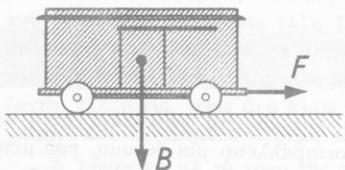
Στὴ Φυσικὴ λέμε δτι μιὰ δύναμη παράγει ἔργο, δταν μετατοπίζει τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς.



Σχ. 37. Ο ἔργατης, ποὺ ἀνυψώνει τὸ σακὶ χρησιμοποιώντας τὴν τροχαλία, παράγει ἔργο.

Δὲν πρέπει ώστόσο νὰ νομίζουμε δι τι γιὰ δόποιαδήποτε διεύθυνση τῆς μετακινήσεως τοῦ σημείου έφαρμογῆς τῆς δυνάμεως παράγεται ἔργο. Πραγματικά, ἀς θεωρήσουμε τὸ ἀκόλουθο παράδειγμα:

Ἐνα σιδηροδρομικὸ δχῆμα (σχ. 38) κινεῖται ἐπάνω σὲ δριζόντιες ράγιες. Ἐν δὲν



Σχ. 38. Τὸ βάρος B τοῦ ὁχήματος ποὺ κινεῖται δριζόντια δὲν παράγει ἔργο.

ἀσκεῖται ἐπάνω τοῦ καμιὰ ἄλλῃ δύναμη, ἔκτὸς ἀπὸ τὸ βάρος τοῦ B, θὰ μένει ἀκίνητο. Ἐν ἀσκήσουμε μιὰ δριζόντια δύναμη F στὸ δχῆμα, αὐτὸ δὲν κινεῖται δριζόντια καὶ ἡ δύναμη F θὰ παράγει ἔργο.

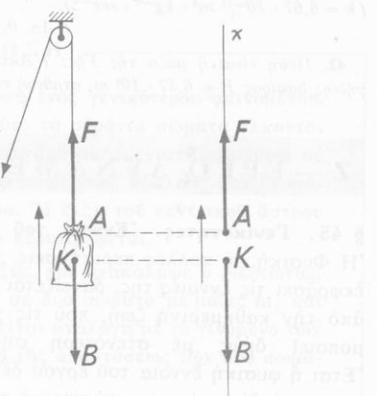
Ἡ κίνηση δφειλεται ἀποκλειστικὰ στὴ δύναμη F, ἄρα καὶ τὸ ἔργο ποὺ παράγεται προέρχεται μόνο ἀπὸ τὴ δύναμη αὐτῆ. Τὸ βάρος B τοῦ ὁχήματος, ὡς πρὸς τὴ διεύθυνση τοῦ δόποιου εἶναι κάθετη ἡ μετατόπιση τοῦ σώματος, δὲν παράγει ἔργο. Ὡστε:

“Οταν τὸ σημεῖο έφαρμογῆς μιᾶς δυνάμεως μετατοπίζεται κάθετα πρὸς τὴ διεύθυνση τῆς, ἡ δύναμη αὐτὴ δὲν παράγει ἔργο.

Ἄπο ὅλα τὰ παραπάνω συμπεραίνομε δι, γιὰ νὰ ὑπάρξει δυνατότητα παραγωγῆς ἔργου, προαιποῦνται οἱ ἀκόλουθες συνθῆκες: α) ὑπαρξη μιᾶς δυνάμεως καὶ β) μετατόπιση τοῦ σημείου έφαρμογῆς τῆς δυνάμεως κατὰ διεύθυνση ποὺ νὰ μήν εἶναι κάθετη στὴ διεύθυνση τῆς δυνάμεως.

**§ 46. Κινητήριο καὶ ἀνθιστάμενο ἔργο.** “Οταν ὁ ἐργάτης τραβᾷ τὸ σκοινὶ τῆς τροχαλίας, στὸ σακὶ ἀσκοῦνται δύο κατακόρυφες ἵσες καὶ ἀντίθετες δυνάμεις: Τὸ

βάρος τοῦ B, μὲ διεύθυνση πρὸς τὰ κάτω, καὶ ἡ ἐλκτικὴ δύναμη F, ποὺ τὴν ἀσκεῖ μὲ τὸ σκοινὶ ὁ ἐργάτης καὶ ποὺ κατευθύνεται πρὸς τὰ πάνω (σχ. 39).



Σχ. 39. Τὸ σακὶ ποὺ ἀνυψώνεται δέχεται τὴ δράση δύο ἀντίθετων δυνάμεων.

α) ”Οταν τὸ φορτίο ἀνυψώνεται, τὸ σημεῖο έφαρμογῆς A τῆς F μετατοπίζεται πρὸς τὰ πάνω, κατὰ τὴ φορά δηλαδὴ τῆς δυνάμεως. Στὴν περίπτωση αὐτὴ λέμε δι τὴ δύναμη παράγει κινητήριο ἔργο ἢ δι παράγεται ἔργο κινητήριας δυνάμεως. Ὡστε:

“Οταν ἡ φορὰ τῆς μετατοπίσεως συμπίπτει μὲ τὴ φορὰ τῆς δυνάμεως, λέμε δι ἡ δύναμη παράγει κινητήριο ἔργο.

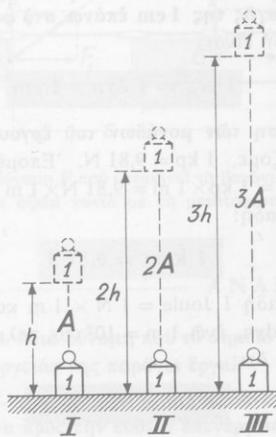
β) ”Οταν ἀνυψώνουμε τὸ φορτίο, τὸ βάρος B τοῦ σακιοῦ ἀντιστέκεται στὴ δύναμη F ποὺ τὸ ἀνυψώνει. Τὸ σημεῖο έφαρμογῆς τοῦ βάρους B, δηλαδὴ τὸ κέντρο βάρους K, μετατοπίζεται ἐπίσης. Ἡ φορὰ δημοσιεύεται πρὸς τὴ φορὰ τῆς δυνάμεως, γιατὶ τὸ βάρος κατευθύνεται πρὸς τὰ κάτω, ἐνῶ τὸ σημεῖο έφαρμογῆς του K μετατοπίζεται πρὸς τὰ πάνω. Στὴν περίπτωση αὐτὴ λέμε δι παράγεται ἀνθιστάμενο ἔργο ἢ ἔργο ἀνθιστάμενης δυνάμεως. Ὡστε:

"Οταν ή φορά τῆς μετατοπίσεως καὶ ἡ φορά τῆς δυνάμεως είναι ἀντίθετες, λέμε ὅτι παράγεται ἀνθιστάμενο ἔργο.

γ) Ἀντίστροφα, ἂν κρατώντας τὸ σκοινὶ κατεβάζουμε σιγὰ - σιγὰ τὸ σακὶ, τότε τὸ βάρος Β θὰ παράγει κινητήριο ἔργο, ἐνῶ ἡ δύναμη F ἀνθιστάμενο ἔργο.

**§ 47. Χαρακτῆρες τοῦ ἔργου.** A) Τὴ μετατόπιση συμπίπτει μὲ τῇ κατεύθυνση τῆς δυνάμεως. 1. Μεταφέρομε ἔνα κιβώτιο στὸν τρίτο δρόφο μιᾶς πολυκατοικίας. Στὴ μεταφορὰ αὐτὴ ἡ δύναμη ποὺ καταβάλλομε παράγει ἔνα ὄρισμένο ἔργο, τὸ όποῖο θὰ είναι βέβαια μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ θὰ παραχθεῖ, ἂν μεταφερθεῖ τὸ κιβώτιο στὸν πρῶτο ἢ στὸν δεύτερο δρόφο.

Ἄς παραστήσουμε μὲ Α τὸ ἔργο ποὺ ἀπαιτεῖται, γιὰ νὰ ἀνυψώσουμε ἔνα βάρος 1 kp σὲ ὕψος h (σχ. 40, I). Γιὰ νὰ ἀνυψώσουμε τὸ ἴδιο βάρος σὲ διπλάσιο ὕψος 2h (σχ. 40, II), θὰ χρειαστοῦμε δύο φορὲς συνολικὰ τὸ προηγούμενο ἔργο, δηλαδὴ 2A. Γιὰ νὰ τὸ ἀνυψώσουμε σὲ ὕψος 3h, θὰ χρειαστοῦμε ἔργο 3A (σχ. 40, III) κ.ο.κ.



Σχ. 40. "Οταν ἡ δύναμη είναι ὄρισμένη, τὸ ἔργο είναι ἀνάλογο μὲ τὴ μετατόπιση.

"Ωστε:

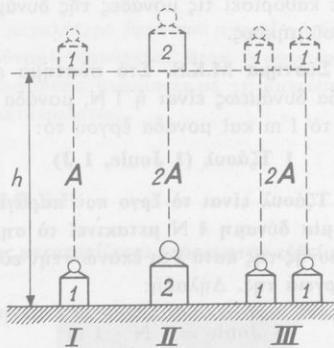
Τὸ ἔργο ποὺ παράγει μιὰ σταθερὴ δύναμη είναι ἀνάλογο πρὸς τὸ διάστημα, ποὺ διανύει τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς δυνάμεως στὴ διάρκεια τῆς μετατοπίσεως.

2. Δύο ἐργάτες ἀνεβάζουν σὲ μιὰν ἀποθήκη δύο βαριὰ σακιὰ, διαφορετικὸν δῆμος βάρους. Ο πρῶτος μεταφέρει σακὶ βάρους 25 kp καὶ ὁ δεύτερος σακὶ 50 kp. Είναι λογικὸν νὰ βγάζουμε τὸ συμπέρασμα ὅτι ὁ ἐργάτης ποὺ μεταφέρει τὸ σακὶ μὲ τὸ διπλάσιο βάρος, δηλαδὴ τὸ σακὶ τῶν 50 kp, παράγει διπλάσιο ἔργο ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ παράγει ὁ ἄλλος ἐργάτης.

Πραγματικά, ἔστω Α τὸ ἔργο ποὺ ἀπαιτεῖται, γιὰ νὰ ἀνυψώσουμε σὲ ὕψος h ἔνα βάρος 1 kp (σχ. 41, I). Γιὰ νὰ ἀνυψώσουμε στὸ ἴδιο ὕψος ἔνα βάρος 2 kp (σχ. 41, II), πρέπει νὰ καταβάλλομε ἔργο ίσοδύναμο μὲ ἑκεῖνο ποὺ ἀπαιτεῖται, γιὰ νὰ ἀνυψωθοῦν στὸ ἴδιο ὕψος h χωριστὰ δύο βάρη τοῦ 1 kp τὸ καθένα, δηλαδὴ ἔργο 2 A (σχ. 41, III).

"Ωστε:

"Οταν ἡ μετατόπιση είναι ὄρισμένη, τὸ ἔργο είναι ἀνάλογο μὲ τὴ σταθερὴ δύναμη ποὺ τὸ παράγει.



Σχ. 41. "Οταν ἡ ἀπόσταση είναι ὄρισμένη, τὸ ἔργο είναι ἀνάλογο μὲ τὴ δύναμη.

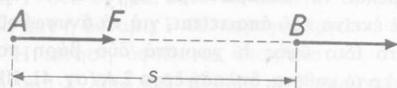
**Έξισωση τοῦ ἔργου.** Ἀπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι τὸ ἔργο A, ποὺ παράγει μία σταθερὴ δύναμη F, ὅταν μετακινεῖ τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της κατά διάστημα s, σὲ κατεύθυνση ποὺ συμπίπτει μὲ τὴν κατεύθυνσή της (σχ. 42), εἶναι ἀνάλογο μὲ τὴν δύναμη καὶ μὲ τὴν μετατόπισην. Ἐπομένως μποροῦμε νὰ γράψουμε ὅτι:

$$A = F \cdot s$$

Έργο = δύναμη × μετατόπιση

Η ἔξισωση αὐτὴ ἐκφράζει ὅτι:

Τὸ ἔργο μιᾶς δυνάμεως F, ποὺ μεταπίζει τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειά της, εἶναι ἴσο μὲ τὸ γινόμενο τοῦ μέτρου τῆς δυνάμεως ἐπὶ τὸ μῆκος τῆς μετατοπίσεως.



Σχ. 42. Η δύναμη F μεταθέτει τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της κατά διάστημα s καὶ παράγει ἔργο A = F · s.

**Μονάδες ἔργου.** Οἱ μονάδες ἔργου ὁρίζονται ἀπὸ τὴν ἔξισωση  $A = F \cdot s$ , ἀφοῦ ἔχομε καθορίσει τὶς μονάδες τῆς δυνάμεως καὶ τοῦ μήκους.

**α) Σύστημα M.K.S.** Στὸ σύστημα αὐτὸ μονάδα δυνάμεως εἶναι ἡ 1 N, μονάδα μήκους τὸ 1 m καὶ μονάδα ἔργου τό:

1 Τζάουλ (1 Joule, 1 J)

Τὸ Τζάουλ εἶναι τὸ ἔργο ποὺ παράγεται, ὅταν μία δύναμη 1 N μετακινεῖ τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της κατά 1 m ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειά της. Δηλαδή:

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$$

Όστε, ὅταν στὴν ἔξισωση τοῦ ἔργου ἐκφράζουμε τὴν δύναμη σὲ μονάδες Νιούτον

καὶ τὴν μετατόπιση σὲ μέτρα, τὸ ἔργο βρίσκεται σὲ Τζάουλ.

Πολλαπλάσιο τοῦ Τζάουλ εἶναι τὸ κιλοτζάουλ (1 kJ). Τὸ 1 kJ = 1 000 J.

**β) Τεχνικό Σύστημα.** Στὸ σύστημα αὐτὸ μονάδα δυνάμεως εἶναι τὸ 1 kp, μονάδα μήκους τὸ 1 m καὶ μονάδα ἔργου τό:

1 κιλοποντόμετρο (1 kpm)

Τὸ κιλοποντόμετρο εἶναι τὸ ἔργο ποὺ παράγεται, ὅταν μία δύναμη 1 kp μετακινεῖ τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της κατά 1 m ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειά της. Δηλαδή:

$$1 \text{ kpm} = 1 \text{ kp} \times 1 \text{ m}$$

“Ωστε, ὅταν στὴν ἔξισωση τοῦ ἔργου ἐκφράζουμε τὴν δύναμη σὲ κιλοπόντα καὶ τὴν μετατόπιση σὲ μέτρα, τὸ ἔργο βρίσκεται σὲ κιλοποντόμετρα.

**γ) Σύστημα C.G.S.** Στὸ σύστημα αὐτό, ὅπου μονάδα δυνάμεως εἶναι ἡ 1 δύνη (1 dyn) καὶ μονάδα μήκους τὸ 1 cm, μονάδα ἔργου ἔχομε τό: 1 ἔργιο (1 erg).

Τὸ ἔργο εἶναι τὸ ἔργο ποὺ παράγεται, ὅταν μία δύναμη 1 dyn μεταθέτει τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς της 1 cm ἐπάνω στὸ φορέα της. Δηλαδὴ εἶναι:

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \times 1 \text{ cm}$$

Σχέση τῶν μονάδων τοῦ ἔργου. Κάθως γνωρίζομε, 1 kp = 9,81 N. Ἐπομένως:  $1 \text{ kpm} = 1 \text{ kp} \times 1 \text{ m} = 9,81 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 9,81 \text{ J}$ .

Δηλαδὴ:

$$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J}$$

Ἐπειδὴ  $1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m}$  καὶ  $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$ , ἐνῶ  $1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm}$ , τελικῶς βρίσκομε ὅτι:

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ erg}$$

**Αριθμητικὴ ἐφαρμογὴ.** Νὰ βρεθεῖ τὸ ἔργο ποὺ πραγματοποιεῖ ὁ κινητήρας ἐνὸς γερανοῦ, ὅταν πέννωνε σὲ ύψος 15 m φορτίο βάρους 1800 kp.

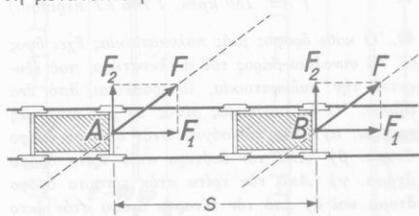
**Λύση.** α) **Τεχνικό Σύστημα.** Αντικαθιστώντας τά δεδομένα τον προβλήματος στήν εξίσωση  $A = F \cdot s$ , δηλαδή  $F = 1800 \text{ kp}$  και  $s = 15 \text{ m}$ , βρίσκουμε  $A = 1800 \text{ kp} \cdot 15 \text{ m} = 27000 \text{ kpm}$ .

β) **Σύστημα M.K.S.** Για νά λύσουμε τό πρόβλημα στό σύστημα αύτό, πρέπει νά τρέψουμε τά κιλοπόντα σε Νιούτον.

Γνωρίζουμε ότι  $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$ , έπομένων έχουμε ότι  $1800 \text{ kp} = 1800 \cdot 9,81 \text{ N}$ , όποτε ή εξίσωση τού δργου μάς δίνει:

$$A = 1800 \cdot 9,81 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} = 264870 \text{ Joule.}$$

**Β)** Ή μετατόπιση και ή δύναμη έχουν διαφορετικές διευθύνσεις. Στά προηγούμενα υπόθεσαμε ότι η δύναμη μεταβέτει τό σημείο έφαρμογῆς της έπάνω στήν εύθειά έπενέργειάς της. Πολὺ συχνά δύος ή μετακίνηση τού σημείου έφαρμογῆς μιᾶς δυνάμεως και ή δύναμη έχουν διαφορετικές κατεύθυνσεις, δηλαδή συμβαίνει στήν περίπτωση τού σιδηροδρομικού βαγονιού τού σχήματος 43, τό δηποτού σύρεται άπό τό σημείο A στό σημείο B άπό τή δύναμη F. Ή κατεύθυνση της δυνάμεως σχηματίζει γωνία διαφορετική άπό τή δρθή ώς πρός τή μετατόπιση.



Σχ. 43. Η δύναμη F που μετακινεῖ τά βαγόνια σχηματίζει δξειά γωνία με τή μετατόπιση.

Όστόσο γνωρίζομε ότι η δύναμη F μπορεῖ νά αναλυθεῖ σε δύο συνιστώσες,  $F_1$  και  $F_2$ , άπο τίς όποιες ή  $F_1$  νά έχει τή φορά τής μετατόπισεως και ή  $F_2$  νά είναι κάθετη με αύτή. Τό έργο πού παράγει ή F κατά τή μετακίνηση θά είναι ίσο με τό άθροισμα τῶν έργων πού παράγουν οι συνιστώσες της  $F_1$  και  $F_2$ .

Έπειδή δύος ή μετατόπιση γίνεται κάθετα πρός τήν  $F_2$ , τό έργο τής δυνάμεως αύτής θά είναι μηδέν. Άπομένει συνεπώς τό έργο τής  $F_1$ , πού είναι ίση με τήν προβολή τής δυνάμεως F έπάνω στή μετατόπιση. "Ωστε:

Τό έργο A μιᾶς δυνάμεως F, πού μετακινεῖ τό σημείο έφαρμογῆς της κατά διάστημα s, έτσι ώστε νά σχηματίζει γωνία με τή κατεύθυνση της, είναι ίσο με τό έργο πού παράγει η προβολή  $F_1$  τής δυνάμεως F έπάνω στή μετατόπιση.

Δηλαδή:

$$A = F_1 \cdot s$$

Έπειδή η προβολή  $F_1$  τής F είναι μικρότερη άπό αύτή και έλαττόνεται, οσο μεγαλώνει η γωνία πού σχηματίζει η δύναμη με τήν μετατόπιση, συμπεραίνομε ότι:

Τό μεγαλύτερο έργο πού μπορεῖ νά δώσει μία δύναμη παράγεται, όταν η κατεύθυνση της δυνάμεως συμπίπτει με τή κατεύθυνση τής μετατόπισεως.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Μιὰ δύναμη πού τό σημείο έφαρμογῆς της μετατοπίζεται έπάνω στήν εύθειά έπενέργειάς της παράγει έργο.
- Δὲν παράγει έργο μιὰ δύναμη, όταν τό σημείο έφαρμογῆς της μετατοπίζεται κάθετα πρός τήν εύθειά έπενέργειάς της.
- Μιὰ δύναμη παράγει κινητήριο έργο, όταν η φορά τής μετατόπισεως τού σημείου έφαρμογῆς της συμπίπτει με τή φορά τής δυνάμεως.

**4.** Μιὰ δύναμη παράγει ἀνθιστάμενο ἔργο, ὅταν ἡ φορὰ τῆς μετατοπίσεως τοῦ στημείου ἐφαρμογῆς τῆς καὶ ἡ φορὰ τῆς δυνάμεως εἰναι ἀντίθετες.

**5.** "Οταν τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς μιᾶς σταθερῆς δυνάμεως  $F$  μετατοπίζεται πάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειάς τῆς κατὰ  $s$ , ὑπολογίζεται τὸ ἔργο τῆς  $F$  ἀπὸ τὴν δύναμην:

$$A = F \cdot s$$

**6.** Μιὰ δύναμη μέτρου 1 kp, ποὺ τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς μετατοπίζεται 1 m ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειας τῆς δυνάμεως, παράγει ἔργο 1 kpm (1 κιλοποντομέτρου). Μιὰ δύναμη μέτρου 1 N, ποὺ τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς μετατοπίζεται 1 m ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειας τῆς δυνάμεως, παράγει ἔργο 1 Joule (1 Τζάουλ). "Ισχύει ἡ σχέση:

$$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ Joule}$$

**7.** "Οταν ἡ κατεύθυνση μιᾶς δυνάμεως  $F$  σχηματίζει μὲ τὴ μετατόπιση γωνία διαφορετική ἀπὸ τὴν ὀρθή, τότε τὸ ἔργο τῆς δυνάμεως  $F$  εἰναι ἵσο μὲ τὸ ἔργο τῆς προβολῆς τῆς ἐπάνω στὴ μετατόπιση.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**44.** Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ ἔργο ποὺ θὰ καταναλωθεῖ γὰρ νὰ ἀνηγωθεῖ κατακόνφα 12 m μάζα βάρους 125 kp. (*Απ.* 1 500 kp.)

τὸ ἔργο ποὺ παράγεται, ὅταν ὁ κάδος ἀνεβαίνει 15 m. (*Νὰ ἐκφράστε τὸ ἔργο σὲ kpm καὶ kJ.*)

(*Απ.* 180 kpm, 1 766 kJ περίπου.)

**45.** Τὸ σκοινὶ ποὺ σύρει ἔνα μικρὸ βαγόνι ἀσκεῖ δύναμη μέτρου 100 kp. Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ ἔργο τῆς κινητήριας αὐτῆς δυνάμεως, ἀν τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς μετατοπίστει 20 m. (*Απ.* 2 000 kpm.)

**49.** Ό κάθε δροφος μιᾶς πολυκατοικίας ἔχει ὑψος 3 m. Τὸ συνολικὸ βάρος τοῦ ἀνελκυστήρα, ποὺ ἔξυπητετ τὴν πολυκατοικία, ἰσορροπεῖται ἀπὸ ἔνα ἀντίβαρο. "Ο ἀνελκυστήρας αὐτὸς σὲ μιὰ διαδομὴ μεταφέρει: α) Ἀπὸ τὸ ἴσδυγειο στὸν δευτερο ὅροφο 8 ἄτομα. β) Ἀπὸ τὸν δευτέρῳ στὸν τέταρτο ὅροφο 6 ἄτομα. γ) Ἀπὸ τὸν τέταρτο στὸν τέταρτο ὅροφο 5 ἄτομα καὶ δ) ἀπὸ τὸν τέταρτο ὅροφο στὸν ἔκτο 2 ἄτομα. Ζητεῖται τὸ ἔργο ποὺ ἔδωσε ὁ κινητήρας τοῦ ἀνελκυστήρα κατὰ τὴ διαδομὴ αὐτῆς, ἀν τὸ μέσο βάρος ἐνὸς ἄτομου εἴναι 60 kp. (*Απ.* 5.580 kpm.) \*

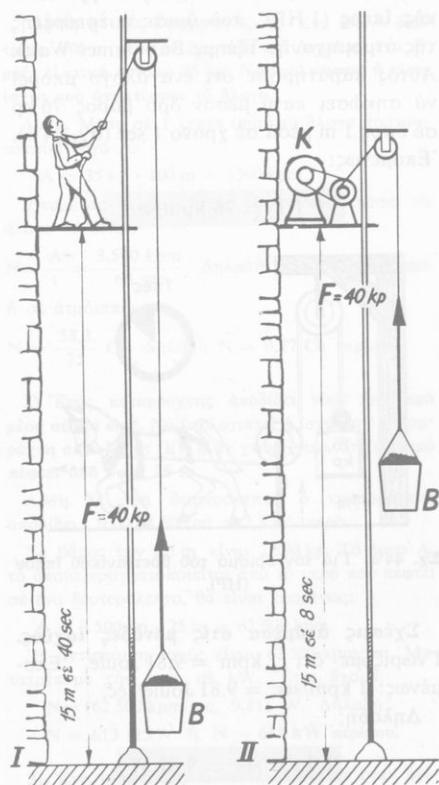
**47.** Γιὰ νὰ βγάλουμε τὸ πῶμα μᾶς φάλλης, ἀσκοῦμε ἐπάνω στὸν ἐπωματιστὴ μέση ἐλκτικὴ δύναμη μέτρου 6 kp. Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ ἔργο ποὺ θὰ παραχθεῖ ἀπὸ τὴ δύναμη, ἀν τὸ πῶμα μετανηθεῖ 3 cm. (*Απ.* 1,77 J περίπου.)

**50.** "Ἐνα ὑδροηλεκτρικὸ ἐργοστάσιο τροφοδοτεῖται μὲ νερὸ ἀπὸ μιὰ τεχνητὴ λίμνη. "Η ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τῆς λίμνης παρουσιάζει ὑψομετρικὴ διαφορὰ 40 m ἀπὸ τὸν ὑδροστροβύλους τοῦ ἐργοστασίου. Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ ἔργο ποὺ παράγεται ἀπὸ τὸ νερὸ σὲ κάθε δευτερόλεπτο. ἀν στὸ χρονικὸ αὐτὸς διάστημα κυκλοφορεῖ στοὺς ὑδροστροβύλους δύκος 100 m<sup>3</sup> νεροῦ. (*Απ.* 4 000 000 kpm.)

**48.** Γιὰ νὰ ἀνεβάσουμε ἀπὸ τὸ βάθος ἐνὸς πηγαδοῦ ἔναν κάδο γεμάτο χώματα, χρησιμοποιοῦμε μηχανῆμα, ποὺ ἀσκεῖ στὸ σκοινὶ μιᾶς τροχαλίας σταθερὴ ἐλκτικὴ δύναμη μέτρου 12 kp. Νὰ ὑπολογιστεῖ

§ 48. "Εννοια τῆς ισχύος. Ός τώρα μελετήσαμε τὸ ἔργο μᾶς δυνάμεως, χωρὶς νὰ ἐνδιαφερθοῦμε γιὰ τὸ χρόνο ποὺ χρειάστηκε γιὰ νὰ γίνει τὸ ἔργο αὐτό.

Ἡ πρακτικὴ ἀξία δημος ἐνὸς κινητῆρα, μᾶς διατάξεως δηλαδὴ ποὺ παράγει ἔνα μηχανικὸ ἔργο, δὲν ἔξαρταται μόνο ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ μπορεῖ νὰ ἀποδώσει, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ τὸν χρόνο ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ ἀπο-



Σχ. 44. Ο χρόνος ποὺ χρειάζεται ὁ κινητήρας γιὰ νὰ ἀνυψώσει τὸν κάδο είναι τὸ 1/5 τοῦ χρόνου ποὺ χρειάζεται ὁ ἐργάτης. Ἡ ισχὺς τοῦ κινητῆρα είναι λοιπὸν πενταπλάσια ἀπὸ τὴν ισχὺ τοῦ ἐργάτη.

δώσει τὸ ἔργο αὐτό. Πραγματικὰ ἔνας δημοσ δημοσήποτε κινητῆρας ὅταν ἐργαστεῖ ἀρκετὸ χρόνο, μπορεῖ νὰ ἀποδώσει δημοσ δημοσήποτε ἔργο.

**Παράδειγμα.** Υποθέτομε ὅτι ἔνας ἐργάτης χρειάζεται 40 δευτερόλεπτα γιὰ νὰ ἀνεβάσει, μὲ τὴ βοήθεια μᾶς τροχαλίας, ἔναν κάδο 40 kp βάρους σὲ μιὰ σκαλωσιά ὑψους 15 m. Ἔνα ἀναβατόριο, ποὺ λειτουργεῖ μὲ κινητήρα, ἀνυψώνει τὸν ἴδιο κάδο στὸ ἴδιο ὑψος, ἀλλὰ σὲ χρόνο 8 δευτερολέπτων (σχ. 44).

Ο ἐργάτης καὶ ὁ κινητήρας κατανάλωσαν τὸ ἴδιο ἔργο A, ἵσο μέ:

$$A = 40 \text{ kp} \times 15 \text{ m} = 600 \text{ kpm},$$

ὁ κινητήρας δημος σὲ πέντε φορὲς μικρότερο χρόνο ἀπὸ ἐκεῖνον ποὺ χρειάστηκε ὁ ἐργάτης.

Γ' αὐτὸ λέμε ὅτι ὁ κινητήρας είναι πιὸ ισχυρὸς ἀπὸ τὸν ἐργάτη, ἢ ὅτι ἡ ισχὺς τοῦ κινητῆρα είναι μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ισχὺ τοῦ ἐργάτη.

Τὰ παραπάνω μᾶς δύνησιν στὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ ἀξία μᾶς μηχανῆς ἐκτιμᾶται ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ είναι σὲ θέση νὰ ἀποδώσει στὴ μονάδα τοῦ χρόνου. Τὸ ἔργο αὐτὸ δημοσάζεται ισχὺς τῆς μηχανῆς καὶ συμβολίζεται μὲ τὸ γράμμα N. "Ωστε:

"Ισχὺς N μᾶς μηχανῆς δημοσάζεται τὸ ἔργο A ποὺ παράγει ἡ μηχανὴ στὴ μονάδα τοῦ χρόνου.

Δηλαδὴ:

$$\text{Ισχὺς} = \frac{\text{Έργο}}{\text{Χρόνος}} \quad N = \frac{A}{t}$$

Σχέση ἀνάμεσα σὲ ισχὺ, δύναμη καὶ ταχύτητα μετατοπίσεως στὴν παραγωγὴ μηχανικοῦ ἔργου. Ἀπὸ τὴ γνωστὴ σχέση  $N = A/t$ , ἐπειδὴ  $A = F \cdot s$  καὶ  $s/t = v$ , παίρνομε:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v$$

Ωστε:

Στήν παραγωγή μηχανικοῦ ἔργου ή ισχύς τῆς μηχανῆς είναι ίση μὲ τὸ γινόμενο τῆς δυνάμεως ποὺ παράγει τὸ ἔργο ἐπὶ τὴν ταχύτητα μετατοπίσεως.

**Μονάδες ισχύος.** Οἱ μονάδες ισχύος ὁρίζονται ἀπὸ τὴν ἔξισωση τῆς ισχύος, ἀφοῦ προηγουμένως καθοριστοῦν οἱ μονάδες τοῦ ἔργου καὶ τοῦ χρόνου.

**α) Σύστημα M.K.S.** Στὸ σύστημα αὐτὸ μονάδα ἔργου είναι τὸ 1 Τζάουλ, χρόνου τὸ 1 δευτερόλεπτο καὶ μονάδα ισχύος τὸ:

**1 Τζάουλ τὸ δευτερόλεπτο (1 Joule/sec)**  
ποὺ συνήθως δονομάζεται **1 Βάτ (1 Watt, 1 W).** "Ωστε:

$$1 W = 1 \text{ Joule/sec}$$

Τὸ Βάτ είναι ή ισχὺς μιᾶς μηχανῆς, ποὺ παράγει ἔργο 1 Τζάουλ σὲ κάθε δευτερόλεπτο.

Ἐπομένως ἂν στήν ἔξισωση τῆς ισχύος ἐκφράζουμε τὸ ἔργο σὲ Τζάουλ καὶ τὸ χρόνο σὲ δευτερόλεπτα, ή ισχὺς θὰ βρίσκεται σὲ Βάτ. Πολλαπλάσιο τοῦ Βάτ είναι τὸ κιλοβάτ (1 kW) καὶ συγκεκριμένα:

$$1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$$

**β) Τεχνικό Σύστημα.** Στὸ σύστημα αὐτὸ μονάδα ἔργου είναι τὸ κιλοποντόμετρο, χρόνου τὸ δευτερόλεπτο καὶ μονάδα ισχύος τό:

**1 κιλοποντόμετρο τὸ δευτερόλεπτο  
(1 kpm/sec)**

**γ) Ἀλλες μονάδες ισχύος.** Τὸ Βάτ καὶ τὸ κιλοποντόμετρο είναι μικρές μονάδες γιὰ τὶς ἀνάγκες τῆς καθημερινῆς ζωῆς Γι'

αὐτὸ στὴν Τεχνικὴ κυρίως χρησιμοποιοῦν καὶ τὶς ἀκόλουθες μονάδες:

**I. Τὸν ἵππο ἢ ἀτμόπιπο, ποὺ είναι:**

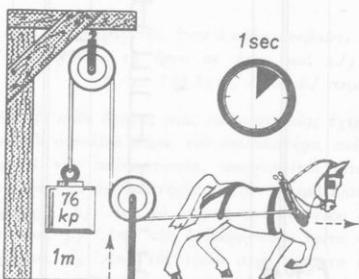
$$1 \text{ ίππος (1 Ch ἢ 1 PS)} = 75 \text{ kpm/sec}$$

"Ωστε:

"Ενας κινητήρας ἔχει ισχὺ ἑνὸς ίππου, ὅταν παράγει ἔργο 75 kpm τὸ δευτερόλεπτο.

**II. Στὶς ἀγγλοσαξονικὲς χῶρες χρησιμοποιεῖται σὰν μονάδα ισχύος ὁ βρεττανικὸς ίππος (1 HP), ποὺ δηρισε ὁ ἐφευρέτης τῆς ἀτμομηχανῆς Τζέημς Βάτ (James Watt). Αὐτὸς παρατήρησε ὅτι ἔνα ἀλογο μπορεῖ νὰ σηκώσει κατὰ μέσον ὅρο βάρος 76 kp σὲ ὑψος 1 m μέσα σὲ χρόνο 1 sec (σχ. 44 a). "Επομένως:**

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ kpm/sec}$$



Σχ. 44 a. Γιὰ τὸν ὄρισμό του βρεττανικοῦ ίππου (HP).

Σχέσεις ὀνάμεσα στὶς μονάδες ισχύος. Γνωρίζομε ὅτι  $1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ Joule}$ . Ἐπομένως:  $1 \text{ kpm/sec} = 9,81 \text{ Joule/sec}$ .

Δηλαδή:

$$1 \text{ kpm/sec} = 9,81 \text{ W}$$

'Απὸ τὴν παραπάνω σχέση βρίσκομε ὅτι:

$$1 \text{ Ch} = 75 \text{ kpm/sec} = 9,81 \text{ W} \cdot 75 = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ kpm/sec} = 9,81 \text{ W} \cdot 76 = 746 \text{ W}$$

**Παραδείγματα ισχύων.** Στὸν παρακάτω πίνακα άναγράφονται οἱ τιμὲς ισχύος σὲ ἵπους (Ch), σὲ δρισμένες κλασικὲς περιπτώσεις.

"Ανθρωπος .....	ἀπό 1/30 μέχρι 1/10
"Άλογο .....	» 1/2 μέχρι 3/4
'Ηλεκτρικό ψυγείο ..	» 1/4 μέχρι 1/3
'Ατμομηχανή .....	» 1 000 μέχρι 6 000
Πύρωνις .....	ἄνω τῶν 100 000
Μηχανὴ πλοίου .....	ἔως 150 000
'Ηλεκτρικό ἐργοστάσιο	ἔως 700 000

**Άριθμητικὲς ἐφαρμογές.** 1) Ἐνα ἄλογο διατρέχει 100 m μέσα σὲ ἔνα μίν καὶ ἀσκεῖ σὲ ἔνα ἄμαξὶ ἐλκτικὴ δύναμη 35 kp. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ μέση ισχὺς ποὺ ἀναπτύσσει τὸ ἄλογο.

Λύση. Μέσα σὲ 1 λεπτὸ (min) τὸ ἄλογο πραγματοποεῖ ἔργο A:

$$A = 35 \text{ kp} \cdot 100 \text{ m} = 3500 \text{ kpm.}$$

Ἐπομένως ἡ μέση ισχὺς N ποὺ ἀναπτύσσει τὸ ἄλογο θὰ είναι:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{3.500 \text{ kpm}}{60 \text{ sec}}. \Delta\text{ηλαδὴ } N = 58,3 \text{ kpm/sec}$$

ἢ σὲ ἀτμόπιπους:

$$N = \frac{58,3}{75} \text{ Ch. } \Delta\text{ηλαδὴ } N = 0,77 \text{ Ch περίπου.}$$

2) Ἐνας καταρράχτης ἀποδίει 9000 m<sup>3</sup> νερὸ μέσα σὲ μία ὥρα. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ισχὺς τοῦ καταρράχτη σὲ κιλοβάτ (kW), ἀν γνωρίζουμε ὅτι τὸ νερὸ πέφτει ἀπό ὄψη 25 m.

Λύση. Σὲ ἔνα δευτερόλεπτο ὁ καταρράχτης ἀποδίει:  $9000/3600 \text{ m}^3 = 2,5 \text{ m}^3$  νερό.

Τὸ βάρος τῶν 2,5 m είναι 2 500 kp. Τὸ ἔργο A, τὸ όποιο πραγματοποεῖται ἀπὸ τὸ νερὸ ποὺ πέφτει σὲ ἔνα δευτερόλεπτο, θὰ είναι ἐπομένως:

$$A = 2 500 \text{ kp} \cdot 25 \text{ m} = 62 500 \text{ kpm.}$$

Ἡ ἀντίστοιχη ισχὺς είναι 62 500 kpm/sec. Μετατρέπομε τὴν ισχὺν σὲ kW. Ἔτσι ἔχομε:

$$N = (62 500 \text{ kpm/sec. } 9,81) \text{ W. } \Delta\text{ηλαδὴ:}$$

$$N = 613 125 \text{ W } \text{ἢ } N = 613 \text{ kW περίπου.}$$

3) Ἐνα αὐτοκίνητο κινεῖται ἐπάνω σὲ ἔναν δριζόντιο εύθυγραμμὸ δρόμῳ μὲ ταχύτητα 72 km/h. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ μέση ισχὺς ποὺ ἀναπτύσσει ὁ κινητῆρας τοῦ αὐτοκινήτου, ἀν γνωρίζουμε ὅτι ἡ δύναμη ποὺ ἀσκεῖ είναι σταθερὴ καὶ ἔχει μέτρο 1840 Nioύντον (1840 N).

**Λύση.** Σὲ ἔνα δευτερόλεπτο τὸ αὐτοκίνητο διανύει ἀπόσταση:

$$s = \frac{72 \cdot 1 000}{3 600} \text{ m} = 20 \text{ m}$$

\*Αρα τὸ ἔργο A ποὺ πραγματοποεῖται σὲ ἔνα δευτερόλεπτο ἀπὸ τὴ δύναμη τοῦ κινητῆρα είναι:

$$A = 1 840 \cdot 20 \text{ m} = 36 800 \text{ Joule.}$$

\*Η ισχὺς ἐπομένως N τοῦ κινητῆρα είναι:

$$N = 36 800 \text{ Watt καὶ } N = \frac{36 800}{736} \text{ Ch. } \Delta\text{ηλαδὴ:}$$

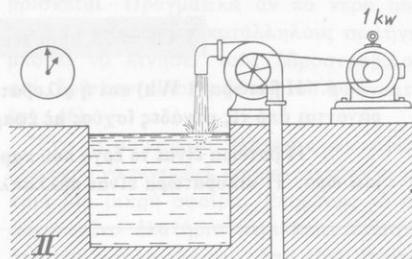
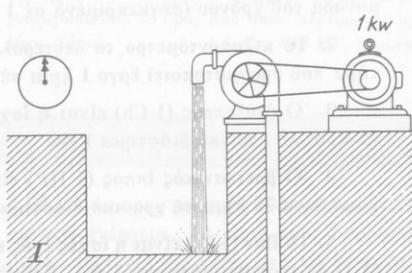
$$N = 50 \text{ Ch}$$

\*Αλλες μονάδες ἔργου. \*Αν τὸν τύπο N = A/t τῆς ισχύος λύσουμε ως πρὸς A, παίρνομε:

$$A = N \cdot t$$

\*Ωστε:

Τὸ ἔργο A ποὺ παράγει μία μηχανὴ ισχύος N, ποὺ ἐργάζεται γιὰ χρόνο t, είναι ίσο μὲ τὸ γινόμενο τῆς ισχύος ἐπὶ τὸ χρόνο λειτουργίας τῆς μηχανῆς.



Σχ. 45. Ἐνα κινητῆρας ισχύος 1 kW παράγει, διαταράχτηση μετρούμενη μία ὥρα, ἔργο μιᾶς κιλοβατώρας.

Από την παραπάνω έξισωση του έργου συμπεραίνουμε, όλωστε, ότι μπορούμε νά όρισουμε καινούριες μονάδες έργου με τη βοήθεια των μονάδων της ισχύος και του χρόνου:

**α) Βατώρα (1 Wh).** Η μονάδα αυτή όριζεται από την παραπάνω έξισωση του έργου, όταν  $N = 1 \text{ W}$  και  $t = 1 \text{ h}$ . Δηλαδή:

$$1 \text{ Wh} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h}$$

Ωστε: Η βατώρα (1 Wh) είναι τὸ έργο ποὺ παράγεται σὲ μιὰ ώρα (1 h) απὸ μιὰ μηχανὴ ισχύος ἐνὸς Βάτ (1 W).

Πολλαπλάσιο τῆς βατώρας είναι ή κιλοβατώρα (1 kWh) (σχ. 45):

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

**β) Σχέση Τζάουλ καὶ βατώρας.** Αφοῦ τὸ 1 W ἀντιστοιχεῖ σὲ παραγωγὴ έργου 1 Joule/sec, ἐπόμενο εἶναι ότι:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Wh} &= 1 \text{ W} \times 3600 \text{ sec} = (1 \text{ W} \cdot 1 \text{ sec}) \cdot 3600 \\ &= 1 \text{ Joule} \cdot 3600 = 3600 \text{ Joule}. \end{aligned}$$

Ωστε:

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Joule}$$

Πρέπει νὰ προσέξουμε ίδιαίτερα ότι τὸ Βάτ καὶ τὸ κιλοβάτ είναι μονάδες ισχύος, ἐνῶ ή βατώρα καὶ ή κιλοβατώρα είναι μονάδες έργου.

### A N A K E F A L A I Ω S H

1. Ισχὺς ἐνὸς κινητήρα όριζεται τὸ έργο ποὺ πραγματοποιεῖ ὁ κινητήρας στὴ μονάδα του χρόνου (συγκεκριμένα σὲ 1 sec).
2. Τὸ κιλοποντόμετρο τὸ δευτερόλεπτο (1 kpm/sec) είναι ή ισχὺς ἐνὸς κινητήρα ποὺ πραγματοποιεῖ έργο 1 kpm σὲ χρονικὸ διάστημα 1 sec.
3. Ο ἀτμόπονος (1 Ch) είναι ή ισχὺς ἐνὸς κινητήρα, ποὺ πραγματοποιεῖ έργο 75 kpm σὲ χρονικὸ διάστημα 1 sec.
4. Ο βρεττανικὸς ἵπος (1 HP) είναι ή ισχὺς ἐνὸς κινητήρα, ποὺ πραγματοποιεῖ έργο 76 kpm σὲ χρονικὸ διάστημα 1 sec.
5. Τὸ Βάτ (1 W) είναι ή ισχὺς ἐνὸς κινητήρα, ποὺ πραγματοποιεῖ έργο 1 Τζάουλ (1 J) σὲ χρονικὸ διάστημα 1 sec. Ἐπομένως ισχύει ή σχέση:

$$1 \text{ Ch} = 75 \text{ kpm/sec} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW}$$

6. Η βατώρα (1 Wh) καὶ ή κιλοβατώρα (1 kWh) είναι μονάδες έργου, ποὺ πάραγονται απὸ τὶς μονάδες ισχύος μὲ ἐφαρμογὴ τῆς έξισωσεως:  $A = N \cdot t$ .
7. Η βατώρα είναι τὸ έργο ποὺ παράγει μιὰ μηχανὴ ισχύος 1 W, όταν έργαστει μία ώρα. Η κιλοβατώρα είναι πολλαπλάσιο της:  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$ .

**51.** Νά υπολογιστεί σε  $kpm/sec$ , σε  $Ch$  και σε  $kW$  ή ισχύς πού άναπτύσσεται από ένα αλογό, άν γνωρίζουμε ότι κινεῖται με ταχύτητα  $4 km/h$  και άσκει έλκτική δύναμη  $30 kp$ .

(*Απ. 33,3 kpm/sec, 0,44 Ch, 0,324 kW.*)

**52.** "Ενας γερανός μπορεί νά άνεβάσει φορτίο βάρους  $2 Mp$  σε ύψος  $12 m$ , σε χρόνο  $24 sec$ . Νά υπολογιστεί (σε  $Ch$  και  $kW$ ) ή ισχύς πού άναπτύσσεται από τὸν κινητήρα τοῦ γερανοῦ.

(*Απ. 13,3 Ch, 9,91 kW.*)

**53.** "Ενας ποδηλάτης κινεῖται σε οριζόντιο δρόμο με ταχύτητα  $18 km/h$ . Μέ αυτή τὴν ταχύτητα ή συνισταμένη τῶν δυνάμεων ποὺ άντιστέκεται στὴν πορεία του καὶ τὴν όποια πρέπει νὰ υπερνικήσει έχει μέτρο  $1,2 kp$ . Ζητεῖται ή ισχύς πού άναπτύσσει σε ποδηλάτης.

(*Απ. 6 kpm/sec.*)

**54.** "Ενας αντοκάνητος κινεῖται σε οριζόντιο δρόμο με ταχύτητα  $72 km/h$ . Μέ αυτή τὴν ταχύτητα ή συνισταμένη τῆς άντιστάσεως τοῦ άέρου καὶ τῶν δυνάμεων τριβῆς έχει μέτρο  $30 kp$ . Νά υπολογιστεί μὲ τὶς προϋποθέσεις αὐτὲς ή ισχύς πού άναπτύσσει σε κινητήρας τοῦ αντοκάνητου.

(*Απ. 600 kpm/sec.*)

**55.** "Ο κινητήρας ένδος αντοκινήτου παρέχει, σε

όριζόντιο δρόμο, ίσχὺν  $12 Ch$ . Τὸ αντοκάνητο κινεῖται μὲ ταχύτητα  $90 km/h$ . Νά υπολογιστεί ή συνολική δύναμη πού άντιστέκεται στὴν κίνηση τοῦ αντοκινήτου.

(*Απ. 36 kp.*)

**56.** Μία δεξαμενὴ έχει χωρητικότητα  $1\,500 λίτρα$  καὶ τροφοδοτεῖται μὲ νερό ἀπὸ ένα πηγάδι μὲ τὴν βοήθεια μιᾶς ἀντλίας. Ἡ ἐλεύθερη ἐπιφάνεια τοῦ νεροῦ στὸ πηγάδι βρίσκεται σε βάθος  $12 m$  ἀπὸ τὸ ἄνοιγμα, ἀπὸ δὲ ποὺ μπαίνει τὸ νερὸ στὴ δεξαμενή. Νά υπολογιστοῦν: α) Τὸ ἔργο ποὺ πρέπει νὰ παραχθεῖ ἀπὸ τὸν κινητήρα τῆς ἀντλίας, γιὰ νὰ γεμίσει ή δεξαμενὴ μὲ νερό. β) Ἡ ισχὺς ποὺ πρέπει νά άντιτίνει ὁ κινητήρας, ώστε η ἐργασία αὐτὴ νὰ τελειώσει σὲ μισή ώρα. (Τὸ ἔργο νά ἐκφραστεῖ σὲ  $kJ$  καὶ  $kWh$ ).

(*Απ. 176,6 kJ·0,05 kWh, περίπου, β' 98,1 Watt.*)

**57.** "Ενας ἀνθρωπός βάζοντς  $75 kp$  ἀνεβαίνει τρέχοντας μία σκάλα κατακόρυφον ὃφους  $4,50 m$  σὲ χρονικό διάστημα  $5 sec$ . Νά υπολογιστεῖ ή ισχύς πού άναπτυνεῖ ὁ ἀνθρωπός.

(*Απ. 67,5 kpm/sec, 0,9 Ch.*)

**58.** "Ενας καταρράκτης ἀποδίδει  $9\,000 m^3$  νερὸ τὴρ ώρα. Νά υπολογιστεῖ ή ισχύς τοῦ σε  $kW$ , ἀν γνωρίζουμε ότι τὸ υψος ἀπὸ δὲ πέρφον τὰ νερὰ είναι  $25 m$ .

(*Απ. 613 kW περίπου.*)

## Θ' — ΕΝΕΡΓΕΙΑ

**§ 49. Γενικότητες.** "Εννοια τῆς ἐνέργειας. Τὰ φυσικὰ σώματα έχουν, γιὰ διαφορετικοὺς λόγους, τὴν ίκανότητα νὰ παράγουν ἔργο, ὅταν τοὺς δοθοῦν οἱ κατάλληλες προϋποθέσεις καὶ βρεθοῦν σὲ εἰδικές συνθήκες.

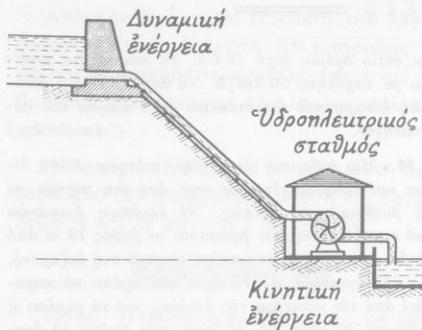
"Οταν ένα σῶμα γιὰ όποιοδήποτε λόγο έχει τὴν δυνατότητα παραγωγῆς ἔργου, λέμε ότι τὸ σῶμα περικλείει ἐνέργεια.

"Η ἐνέργεια ποὺ περικλείει ένα σῶμα έκτιμαται μὲ τὸ ἔργο ποὺ μπορεῖ νὰ δώσει· γι' αὐτὸν τὸ λόγο μετριέται καὶ ίπολογίζεται μὲ τὶς γνωστὲς μονάδες τοῦ ἔργου.

"Ανάλογα δύμως μὲ τὴν προέλευσή της ή ἀνέργεια έχει διάφορες δύνομασίες.

**§ 50. Διάφορες μορφές ἐνέργειας.** a) **Μηχανικὴ ἐνέργεια.** Τὸ νερὸ ἐνὸς υδροφράγματος περιέχει ἐνέργεια ἀπὸ τὴ θέση διου βρίσκεται. Πραγματικὰ ἀν τὸ νερὸ αὐτὸ διφερεῖ νὰ τρέξει σὲ κατάλληλους σωλήνες, μπορεῖ νὰ κινήσει τοὺς υδροστρόβιλους ποὺ βρίσκονται στὴ βάση τοῦ φράγματος (σχ. 46).

"Ενα συμπιεσμένο ἐλατήριο ἀν ἀφεθεῖ ἐλεύθερο νὰ τεντωθεῖ, μπορεῖ νὰ τινάξει μακριὰ μιὰ μικρὴ σφαίρα. Ἐπομένως τὸ συσπειρωμένο ἐλατήριο περικλείει ἐνέργεια ἀπὸ τὴν κατάστασή του, ὅσο είναι συμπιεσμένο. Ἡ ἐνέργεια αὐτὴ στὴν κατάλληλη στιγμὴ μεταβάλλεται σὲ ἔργο.



**Σχ. 46.** Τό νερό τού άνδροφράγματος περικλείει δυναμική ένέργεια, πού τελικά κινεῖ τούς άνδροστρόβιλους ένδος έργοστασίου.

Ή ένέργεια πού περικλείει ένα σώμα πού βρίσκεται σε όρισμένη θέση ή όρισμένη κατάσταση ονομάζεται δυναμική ένέργεια.

Άπο τά παραπάνω συμπεραίνομε, ότι ή δυναμική ένέργεια πού περικλείει τό σώμα θά είναι ίση με τό έργο πού άπαιτήθηκε, γιά νά ξελθει τό σώμα στή θέση ή τήν κατάσταση πού βρίσκεται. "Ετσι ένα σώμα βάρους  $B$ , πού μεταφέρεται σε ύψος  $h$  άπο τό δάπεδο, έχει σχετικά με τό δάπεδο δυναμική ένέργεια  $E_{\text{δυν}}$  ίση με:

$$E_{\text{δυν}} = B \cdot h$$

Πραγματικά γιά νά άνεβαστει τό σώμα σε ύψος  $h$ , άσκηθηκε έπάνω του μία δύναμη ίση με τό βάρος του  $B$ , ή όποια κατά τήν άνυψωση πρόσφερε έργο  $A$  ίσο μέ:  $A = B \cdot h$ . Τό έργο άκριβως αυτό άποθηκεύτηκε στό σώμα με μορφή δυναμικής ένέργειας.

Στήν περίπτωση ένδος συσπειρωμένου έλατηρίου ή δυναμική ένέργεια είναι ίση με τό έργο πού καταναλώθηκε γιά τή συσπείρωσή του.

Ή μάζα τού νερού πού πέφτει άπο ύψος θέτει σε πειριστροφή τούς τροχούς τού άνδροστρόβιλου. Ό ανεμος, ή κινούμενη δηλαδή μάζα άερα, κινεῖ τό ίστιοφόρο ή τόν

άνεμόμυλο. Τά σώματα λοιπόν πού κινοῦνται διαθέτουν ένέργεια χάρη στήν ταχύτητά τους.

Ή ένέργεια πού περικλείει ένα σώμα χάρη στήν ταχύτητά του ονομάζεται κινητική ένέργεια.

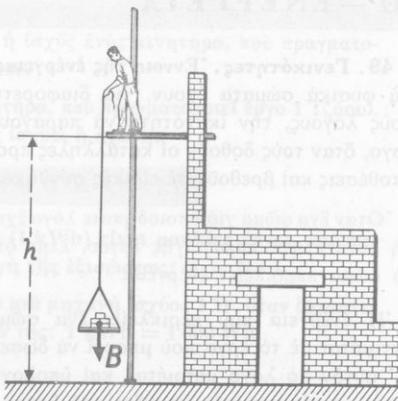
Τά πειράματα και οι υπολογισμοί μας παρέχουν τή σχέση πού συνδέει τήν κινητική ένέργεια  $E_{\text{κιν}}$  ένός σώματος με τή μάζα του  $m$  και με τήν ταχύτητά του  $v$ :

$$E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Μέ τήν κινητική ένέργεια πού έχει ένας ποδηλάτης μπορεί νά συνεχίσει γιά λίγο τήν κίνησή του χωρίς νά ένεργει στά πετάλια.

Ή δυναμική και ή κινητική ένέργεια είναι δύο μορφές τής μηχανικής ένέργειας.

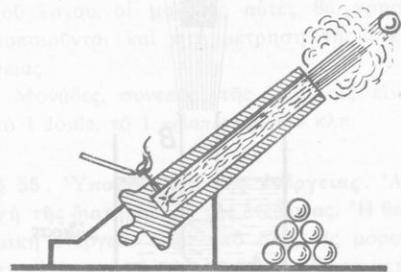
Β) "Ενας έργατης μπορεί, χρησιμοποιώντας τή δύναμη τῶν μυώνων του, νά μεταφέρει ή νά άνεβάσει δλικά, με τή βοήθεια



**Σχ. 47.** Ο έργατης διαθέτει μυϊκή ένέργεια και χάρη σ' αυτή άνεβάζει τό δίσκο με τά ίιλικά.

μιᾶς κατάλληλης διατάξεως. Ὁ ἐργάτης διαθέτει **μυϊκή ἐνέργεια** (σχ. 47).

γ) Τὸ ἐκρηκτικὸ γέμισμα ἐνὸς πυροβόλου ὅπλου περιέχει ἐνέργεια. Πραγματικά, ὅταν πυροδοτηθεῖ, εἶναι σὲ θέση νὰ ἐκτινάξει τὸ βλῆμα σὲ ἀρκετὴ ἀπόσταση, ποὺ κυμαίνεται ἀνάλογα μὲ τὸ εἰδος τοῦ ὅπλου καὶ τὴν ποσότητα τοῦ ἐκρηκτικοῦ γεμίσματος. Ἐπειδὴ ἡ ἐνέργεια αὐτὴ εἶναι ἀποτέλεσμα διαφόρων χημικῶν ἀντιδράσεων, δονομάζεται **χημική ἐνέργεια** (σχ. 48).



Σχ. 48. Ὅταν πυροδοτηθεῖ τὸ ἐκρηκτικὸ γέμισμα, ἐλευθερώνεται χημικὴ ἐνέργεια, ποὺ παράγει μηχανικὸ ἔργο.

δ) Ἡ ἐνέργεια ποὺ περιέχει ἕνα σῶμα ἔχαιτιας τῆς θερμικῆς του καταστάσεως δονομάζεται **θερμικὴ ἐνέργεια**. Ἡ ἐνέργεια τῆς μορφῆς αὐτῆς ἀποδίδεται ὅσο καιγεται τὸ σῶμα.

ε) Ἀλλες μορφές ἐνέργειας εἶναι ἡ **ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια**, ποὺ παράγεται ἀπὸ εἰδικές μηχανές (ἐναλλακτῆρες τῶν σταθμῶν ἡλεκτροπαραγωγῆς), ἡ **φωτεινὴ ἐνέργεια**, καὶ **μαγνητικὴ ἐνέργεια** κλπ.

Οἱ διάφορες ἀκτινοβολίες, ὅπως οἱ ἀκτίνες Χ, τὰ ραδιοφωνικὰ κύματα, οἱ ἀκτινοβολίες τῶν ραδιενέργων σωμάτων κλπ., μεταφέρουν ἐνέργεια, ποὺ δονομάζεται **ἀκτινοβόλα ἐνέργεια**.

στ) Τὰ τελευταῖα χρόνια οἱ «ἀτομικὲς βόμβες» μᾶς ἔκαναν νὰ γνωρίσουμε τὴν **πυρηνικὴ ἐνέργεια**. Ἡ ἐνέργεια αὐτὴ μετα-

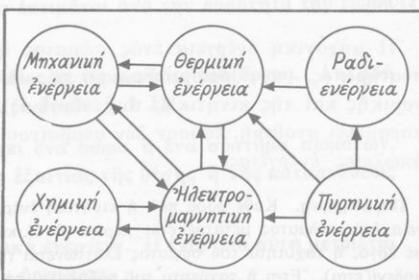
τρέπεται στοὺς ἀτομικοὺς ἀντιδραστῆρες σὲ θερμικὴ ἐνέργεια, ἡ ὥστα μὲ τὴ σειρά της μετατρέπεται στοὺς ἀτομικοὺς ἡλεκτροπαραγωγικοὺς σταθμοὺς καὶ δίνει ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια.

**§ 51. Μετατροπὲς τῆς ἐνέργειας.** Ὅταν μᾶς δοθεῖ ἐνέργεια μιᾶς ὄρισμένης μορφῆς, εἶναι δυνατὸ νὰ τὴ μετατρέψουμε, σὲ ἔνα ἡ περισσότερα στάδια, σὲ ἐνέργεια ἄλλης μορφῆς.

Ἡ ἐνέργεια δὲν δημιουργεῖται οὔτε καταστρέφεται, ἀλλὰ ἀπλῶς μετασχηματίζεται. Ἐτσι ὁ γαιάνθρακας, ποὺ περιέχει χημικὴ ἐνέργεια, ὅταν καεῖ, δίνει θερμικὴ ἐνέργεια, ἡ ὥστα μεταβάλλει τὸ νερὸ ἐνὸς καζανιοῦ σὲ ἀτμό. Ὁ ἀτμὸς αὐτὸς μὲ ἔνα παλινόρομο κινεῖ τελικὰ τοὺς τροχούς μιᾶς ἀτμομηχανῆς ἡ περιστρέφει ἔναν κινητήρα, δίνοντας ἔτσι μηχανικὴ ἐνέργεια. Τέλος ὁ κινητήρας μπορεῖ νὰ θέσει σὲ λειτουργία μιὰ ἡλεκτρογενήτρια, μετατρέποντας τὴ μηχανικὴ σὲ ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια.

Ἡ ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια μπορεῖ ἐπίσης νὰ μετατραπεῖ σὲ μηχανικὴ ἐνέργεια καὶ νὰ κινήσει ἔνα τραίνο, ἢ σὲ φωτεινὴ ἐνέργεια ἢ σὲ θερμικὴ ἐνέργεια.

Τὸ σχῆμα 49 δίνει μιὰ γενικὴ εἰκόνα γιὰ τὶς σπουδαιότερες μορφές ἐνέργειας καὶ



Σχ. 49. Οἱ σπουδαιότερες μορφές ἐνέργειας καὶ οἱ πιο συνηθισμένες δυνατότητες μετατροπῆς τους.

γιὰ τὶς δυνατότητες μετατροπῆς τους ἀπὸ τὴν μιὰ μορφὴν στὴν ἄλλην, διποτὶς δείχνει ή φορὰ τὸν βελδῶν.

**§ 52. Μηχανικὴ ἐνέργεια.** Σχέση ἀνάμεσα στὴ δυναμικὴ καὶ στὴν κινητικὴ ἐνέργεια ἐνὸς σώματος. Ἐνα σῶμα ἡ σύστημα σωμάτων μπορεῖ νὰ ἔχει μόνο κινητικὴ ἢ μόνο δυναμικὴ ἐνέργεια. Μπορεῖ δῆμος νὰ ἔχει ταυτόχρονα καὶ κινητικὴ καὶ δυναμικὴ ἐνέργεια.

Πραγματικά, ἐνα σῶμα ποὺ κινεῖται σ' ἔνα ὄριζόντιο ἐπίπεδο ἔχει σχετικὰ μὲ τὸ ἐπίπεδο αὐτὸν μηδενικὴ δυναμικὴ ἐνέργεια. Τὸ σῶμα δῆμος ἔχειτας τῆς ταχύτητάς του ἔχει κινητικὴ ἐνέργεια.

Ἐνα σῶμα ποὺ βρίσκεται ἐπάνω στὸ τραπέζι ἔχει ὡς πρὸς τὸ δάπεδο δυναμικὴ ἐνέργεια, καὶ, ὅσο ἡρεμεῖ, ἔχει μηδενικὴ κινητικὴ ἐνέργεια. Ἀν δῆμος ἀφήσουμε τὸ σῶμα νὰ πέσει, μὲ τὴν κίνησή του ἀποχῆται κινητικὴ ἐνέργεια. Κατὰ τὴν πτώση του δῆμος πρὸς τὸ δάπεδο ὀλοένα καὶ χάνει ὑψος, ἐπομένως ἐλαττώνεται ἡ δυναμικὴ του ἐνέργεια, ἐνῷ παράλληλα αὔξανεται ἡ ταχύτητά του, πράγμα ποὺ σημαίνει ὅτι μεγαλώνει ἡ κινητική του ἐνέργεια.

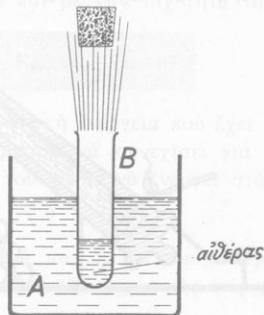
Ἡ αὐξομείωση·τῶν δύο μορφῶν τῆς μηχανικῆς ἐνέργειας, ἐφόσον δὲν συμβαίνουν ἀπώλειες, γίνεται κατὰ τέτοιον τρόπο, ὥστε τὸ ἄθροισμά τους νὰ παραμένει σταθερό. Ὡστε:

Ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια ἐνὸς σώματος ἡ συστήματος, (τὸ ἄθροισμα δηλαδὴ τῆς δυναμικῆς καὶ τῆς κινητικῆς του ἐνέργειας), παραμένει σταθερή, ἐφόσον δὲν συμβαίνουν ἀπώλειες ἐνέργειας.

**Παρατήρηση.** Κάθε φορά ποὺ ἡ κινητικὴ ἐνέργεια ἐνὸς σώματος μετατρέπεται μερικὰ ἢ δοικά σὲ ἔργο, ἡ ταχύτητα τοῦ σώματος ἐλαττώνεται (ἢ μηδενίζεται). Ἐτσι τὴν ταχύτητα τοῦ ποδιλάτη, ποὺ χάρη στὴν κινητική του ἐνέργεια ἀνεβαίνει σὲ μιὰν ἀνηφόρα χωρὶς νὰ κινεῖ τὰ πετάλια, ἐλαττώνεται δολοένα καὶ τέλος μηδενίζεται. Γιὰ τὸν ίδιο

λόγο καὶ ἡ μάζα τοῦ σφυριοῦ ἀκινητεῖ, σταν μπήξει τὸ καρφὶ λίγα χιλιοστόμετρα μέσα στὸ ξύλο.

**§ 53. Θερμικὴ ἐνέργεια.** Πείραμα. Θερμαίνομε τὸ δοχεῖο Α τοῦ σχήματος 50 ἔτσι, ὥστε τὸ νερό ποὺ περιέχεται σ' αὐτὸν νὰ ἀποχήσει περίπου τὴ θερμοκρασία τοῦ βρασμοῦ. Βάζομε τώρα μέσα στὸ δοχεῖο Α ἔναν πωματισμένο δοκιμαστικὸ σωλήνα Β, ποὺ περιέχει λίγον αἰθέρα. Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὸ πῦρα ἐκσφενδονίζεται βίᾳα.



**Σχ. 50.** Ἡ θερμότητα, ποὺ τὸ νερὸ πρόσφερε στὸν αἰθέρα, παράγει μηχανικὸ ἔργο. Τὸ ζεστὸ νερὸ περιέχει θερμικὴ ἐνέργεια.

Ἡ ἔξηγηση τοῦ φαινομένου εἶναι ἡ ἔξης: Τὸ θερμὸ νερὸ μεταβίβασε θερμότητα στὸν δοκιμαστικὸ σωλήνα, μὲ ἀπότελεσμα νὰ ἔξαερωθεῖ ὁ αἰθέρας. Οἱ ἀτμοὶ τοῦ αἰθέρα ἀσκησαν μία πιέζουσα δύναμη στὸ πῦρα καὶ τὸ ἐκτίναξαν.

Ἀφοῦ τὸ πῦρα ἐκσφενδονίστηκε, οἱ πιέζουσες δυνάμεις ἀπόδωσαν ἔργο (γιατὶ μετακινήθηκε τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τους). Δηλαδὴ τὸ ζεστὸ νερὸ μεταβίβαζοντας θερμότητα στὸν αἰθέρα τοῦ δημιούργησε τὴ δυνατότητα παραγωγῆς ἔργου. Αὐτὸν σημαίνει ὅτι τὸ νερό, ἔχαιτας τῆς θερμικῆς του καταστάσεως, περιεῖχε ἐνέργεια. Ὡστε:

Ἡ θερμικὴ ἐνέργεια ποὺ ἀποδίδει ἔνα σῶμα ποὺ ψύχεται μπορεῖ νὰ μετατραπεῖ σὲ μηχανικὴ ἐνέργεια.

**§ 54. Μονάδες ένέργειας.** Ἀναφέραμε διτή ή ένέργεια είνας σώματος ή ένδος συστήματος, δύποιασδήποτε μορφής, είναι δυνατό νά εκτιμηθεῖ μὲ τὸ ἔργο στὸ ὄποιο μπορεῖ νά μετατραπεῖ. Ἡ διαπίστωση αὐτὴ μᾶς ὀδηγεῖ στὸ συμπέρασμα διτή ή ένέργεια καὶ τὸ ἔργο είναι φυσικὰ μεγέθη τῆς ἴδιας φυσικῆς ύποστάσεως, πράγμα ποὺ ἔχει γιά συνέπεια νά μετριοῦνται μὲ τὶς ἴδιες μονάδες.

Ἄφοῦ λοιπὸν ἔχομε δρίσει τὶς μονάδες τοῦ ἔργου, οἱ μονάδες αὐτὲς θὰ χρησιμοποιοῦνται καὶ στὴ μέτρηση τῆς ένέργειας.

Μονάδες, συνεπῶς, τῆς ένέργειας είναι τὸ 1 Joule, τὸ 1 κιλοποντόμετρο κλπ.

**§ 55. Υποβάθμιση τῆς ένέργειας.** Ἀρχὴ τῆς διατηρήσεως τῆς ένέργειας. Ἡ θερμικὴ ένέργεια είναι ἀπὸ δλες τὶς μορφὲς τῆς ένέργειας αὐτὴ ποὺ δυσκολότερα μετατρέπεται σὲ ἄλλη μορφή. Κατὰ τὴ μετατρο-

πή της σὲ ένέργεια ἄλλης μορφῆς μένει πάντοτε ἕνα ὑπόλοιπο θερμικῆς ένέργειας, ποὺ δὲν μποροῦμε νά τὸ χρησιμοποιήσουμε. Ἀντίθετα οἱ ἄλλες μορφὲς ένέργειας μετατρέπονται σχετικά εύκολα η μία στὴν ἄλλη. Ἐπειδὴ ὅμως στὶς μετατροπές αὐτὲς ἔνα μέρος ένέργειας μετασχηματίζεται σὲ θερμότητα, λέμε διτή μετατροπὴ τῆς ένέργειας συμβαίνει υποβάθμιση.

Μὲ ἄλλα λόγια, η ένέργεια διατρεπίται σὲ ποσότητα, ἄλλὰ χάνει σὲ ποιότητα.

Ἀν εἴχαμε ἔνα ἀπομονωμένο σύστημα, ἔνα σύστημα δηλαδὴ τὸ ὄποιο οὔτε νά παιρίνει ἀπὸ τὸ περιβάλλον του ένέργεια οὔτε νά ἀποδίδει ένέργεια σ' αὐτό, τότε ἡ δλικὴ ένέργεια τοῦ συστήματος (τὸ ἀθροίσμα δηλαδὴ τῶν διαφόρων μορφῶν ένέργειας, ποὺ περιέχονται στὸ σύστημα, ὁποιεσδήποτε κι ἀν είναι οἱ ἐσωτερικές μετατροπές τους) παραμένει σταθερή.

Ἡ παραπάνω πρόταση δονομάζεται ἀρχὴ τῆς διατηρήσεως τῆς ένέργειας.

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Ἐνα σῶμα η ἔνα σύστημα σωμάτων ἔχει ένέργεια, διταν είναι ίκανὸ νά παράγει ἔργο.

2. "Ἡ ένέργεια ποὺ περιέχει ἔνα σῶμα ἐκτιμᾶται ἀπὸ τὴν ποσότητα τοῦ ἔργου ποὺ μπορεῖ νά ἀποδώσει.

3. Οἱ μονάδες τῆς ένέργειας είναι οἱ ἴδιες μὲ τὶς μονάδες τοῦ ἔργου. Δηλαδὴ τὸ κιλοποντόμετρο (1 kpm) καὶ τὸ Τζάουλ (1 Joule η 1 J).

4. "Ἡ δυναμικὴ ένέργεια, ποὺ περιέχει ἔνα σῶμα η ἔνα σύστημα σωμάτων, είναι η ένέργεια ποὺ ἔχει ἀποθηκευμένη ἔξαιτίας τῆς θέσης η τῆς καταστάσεως του τὸ σῶμα η τὸ σύστημα.

5. "Ἐνα σῶμα ποὺ κινεῖται ἔχει κινητικὴ ένέργεια. Ἡ ένέργεια αὐτὴ μετριέται ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ ἀποδίδει τὸ σῶμα, ώστου ηρεμήσει.

6. "Ἡ κινητικὴ καὶ η δυναμικὴ ένέργεια είναι δύο μορφὲς τῆς μηχανικῆς ένέργειας.

7. Ή ένέργεια ανάλογα μὲ τὴ προέλευσή της διακρίνεται σὲ μηχανική (δύναμική ἢ κινητική), μοϊκή, χημική, φωτεινή, θερμική, ἀκτινοβόλα, ηλεκτρική, μαγνητική, πυρηνική κλπ.

8. Ή ένέργεια ούτε δημιουργεῖται ούτε καταστρέφεται, ἀλλὰ ἀπλῶς μετατρέπεται ἀπὸ μία σὲ ἄλλη μορφή. Ή μετατροπὴ τῆς ένέργειας γίνεται μὲ σύγχρονο ύποβιθασμό της.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

59. "Εγα σῶμα βάροντς 15 kp έχει άνυψωθεῖ 200 m από τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς. Νὰ βρεθεῖ ἡ δυναμικὴ ἐνέργεια ποὺ έχει τὸ σῶμα σ' αὐτὴ τὴν θέση.

( $A\pi \cdot 3,000 \text{ km}^2$ )

**60.** Σώμα μάζας  $200 \text{ kg}$  κινείται μὲ σταθερὴ ταχύτητα  $2 \text{ m/sec}$ . Νὰ βρεθεὶ ἡ κινητικὴ ἐνέργεια ποὺ ἔχει ἀπογήσει τὸ σῶμα.

( $A\pi \cdot 400$  Joule = 407 kpm.)

61. Μία πέτρα ἔχει μάζα 20 gr και βάλλεται κατακόρυφα μὲ ἀρχική ταχύτητα  $20 \text{ m/sec}$ . Νὰ βρεθεῖ ἡ κυρτικὴ ἐνέργεια. ( $\text{A.P. } 40\,000\,000 \text{ erg}$ )

62. Μία όβιδα πνοοβόλου βάρους 1 250 kp έχει ταχύτητα  $800 \text{ m/sec}$ , όταν βγαίνει από τὸ στόμιο τοῦ πνοοβόλου. Νὰ ἐπολογηστεῖ ἡ κινητικὴ ἑνέργεια τοῦ βλήματος α) σὲ μονάδες τοῦ συστήματος M.K.S. καὶ β) σὲ μονάδες τοῦ Τερζικοῦ Συστήματος.

*(Απ. 400 000 000 Joule. β' 40 775 000 kpm.)*

**63.** Μία σφράγιδα βάρους 100 kp αννιψώνεται 2,8 m και έπειτα πέτρει έλενθερα πάνω σε ένα καρφί. Νά βρεθεί ή ένεργουα της σφράγας κατά τή στιγμή της κρούσης.

## II. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Ι' – ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΙΚΗ

**§ 56. Οι τριβές ἐλεύθερών ουν θερμότητα.**  
"Οταν ἀνοίγουμε τρύπα σε ἔνα ξύλο, τὸ τρυπάνι ποὺ χρησιμοποιοῦμε θερμαίνεται. "Οταν τροχίζουμε ἔνα ἐργαλεῖο μὲ τὴ βοήθεια τοῦ σμυριδοτροχοῦ, παρατηροῦμε δὴ τινάζονται πολυάριθμοι σπινθῆρες ἀπὸ τὸ σημεῖο ἐπαφῆς τοῦ ἐργαλείου μὲ τὸ σμυριδοτροχό, ἐνῶ τροχός καὶ ἐργαλεῖο θερμαίνονται. "Οταν τὸ χειμώνα τὰ χέρια μας είναι κρύα, τὰ τρίβουμε τὸ ἔνα μὲ τὸ ἄλλο, γιὰ νὰ ζεσταθοῦν. "Οταν θέλουμε νὰ ἀνάψουμε ἔνα σπίρτο, τὸ τρίβουμε στὴν πλευρικὴ ἐπιφάνεια τοῦ κουτιοῦ του. Οι ἄγριοι χρησιμοποιοῦν ἀκόμη γιὰ τὸ ἄναμμα τῆς φωτιᾶς δύο ξερά ξύλα, ποὺ τὰ τρίβουν ἀναιμεταξύ τους, ὡσπου νὰ πυρακτωθοῦν (σχ. 51).

"Ωστε:

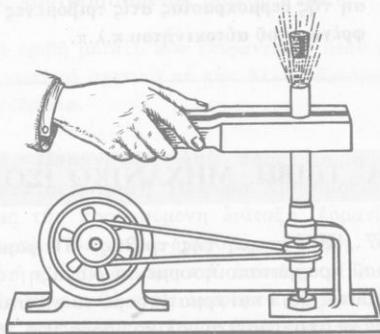
Οι τριβές παράγουν θερμότητα, πού θερμαίνει τις έπιφανειες πού τριβονται.

**Πείραμα.** Ἔνα κυλινδρικό δρειχάλκινο δοχεῖο είναι γεμάτο αιθέρα ώς τη μέση και βουλωμένο μὲν ἔνα πῦμα ἀπὸ φελλό. Μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς στροφάλου στρέφομε τὸν κύλινδρο, ἐνῶ ταυτόχρονα ἐμποδίζομε λίγο τὴν περιστροφὴ του μὲν μιὰ ἔυλολαβίδα (σχ. 52). Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὸ πῦμα σὲ λίγο ἐκτινάσσεται.

"Οσο στρέφεται ἐλεύθερο τὸ δρειχάλκινο δοχεῖο, μιὰ δύναμη μικροῦ μέτρου ἀρκεῖ γιὰ νὰ τὸ διατηροῖ σὲ κίνηση. "Οταν



**Σχ. 51.** Στούς πρωτόγονους λαούς, πού ἀγνοοῦν τὰ σπίρτα, τὸ ἄναμμα τῆς φωτιᾶς γίνεται μὲ τὴν τριβὴ δύο ξερῶν ξύλων.



**Σχ. 52.** Ἡ τριβή τῆς ξυλολαβίδας ἐπάνω στὸ μεταλλικὸ δοχεῖο ἀναπτύσσει θερμότητα ποὺ ἔξαερώνει τὸν αἰθέρα τοῦ δοχείου.

δημοσίευτης είναι άπο τήν ξυλολαβίδα, πρέπει νά καταβάλουμε μεγαλύτερη δύναμη, δηλαδή νά δώσουμε περισσότερο έργο.

Στή δύναμη πού προκαλεῖ τήν περιστροφή τοῦ κυλινδρικοῦ δοχείου, άντιστέκεται μιά άλλη πού προκαλεῖται άπο τήν τριβή τῆς ξυλολαβίδας στὸ δοχεῖο. Ἡ ἐνέργεια πού ἀπορροφᾶται άπο τήν τριβή μετατρέπεται σὲ θερμική ἐνέργεια, πού ύψωνει τήν θερμοκρασία τοῦ αιθέρα καὶ τὸν ἔξαιρών. Οἱ πιέζουσες δυνάμεις τοῦ ἀτμοῦ τοῦ αιθέρα πετοῦν μὲ δρμῇ τὸ πῦρο.

“Ωστε:

Ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια πού ἀπορροφᾶται άπο τὶς τριβές μετατρέπεται σὲ θερμικὴ ἐνέργεια.

”Ο,τι συμβαίνει μὲ τὶς τριβές παρατηρεῖται καὶ κατά τὶς συγκρούσεις τῶν διαφόρων σωμάτων. Καὶ στὶς περιπτώσεις αὐτές δύχομε σχεδὸν πάντοτε ἐμφάνιση θερμότητας.

Ἐφαρμογές. Τὸ τύμπανο τῶν φρένων στὸν τροχοὺς τοῦ αὐτοκινήτου θερμαίνεται, ὅταν φρενάρουμε. Ἔνα μέρος τῆς κινητικῆς ἐνέργειας τοῦ ὁχήματος μετατρέπεται σὲ θερμικὴ ἐνέργεια.

Γι' αὐτὸν τὸ λόγο στὰ μηχανουργικὰ ἐργαστήρια ὅταν πρόκειται νά κατεργαστοῦν σκληρὰ μέταλλα μὲ μεταλλικὰ ἐργαλεῖα, βρέχουν κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐργασίας συνεχῶς τὸ ἐργαλεῖο μὲ σπαωνοδιάλυμα, ψύχοντάς το μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο καὶ ἀποτρέποντας τὴν ἐρυθροπύρωσή του, ἔξαιτίας τῆς ὁποίας θὰ μποροῦσε καὶ νά καταστραφεῖ τὸ ἐργαλεῖο.

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Οἱ τριβές προκαλοῦν θερμότητα.

2. Ὄταν ἔνα σῶμα ἡ σύστημα σωμάτων κινεῖται, παρατηρεῖται αὔξηση τῆς θερμοκρασίας του, πού προέρχεται άπο τὴ μετατροπή, ἔξαιτίας τῶν τριβῶν, ἐνὸς μέρους τῆς μηχανικῆς κινητικῆς ἐνέργειας σὲ θερμική.

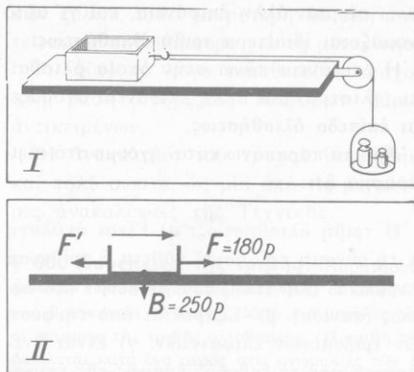
3. Ἡ μετατροπὴ τῆς μηχανικῆς κινητικῆς ἐνέργειας σὲ θερμικὴ ἐνέργεια, ἔξαιτίας τῆς τριβῆς, μᾶς ἐπιτρέπει νά ἀνάψουμε ἔνα στίρτο καὶ προκαλεῖ τὴν αὔξηση τῆς θερμοκρασίας στὶς τριβόμενες ἐπιφάνειες τῶν ἐργαλείων, στὸ τύμπανο τῶν φρένων τοῦ αὐτοκινήτου κ.λ.π.

#### ΙΑ' ΤΡΙΒΗ. ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΔΑΣ

§ 57. Ἡ δύναμη τῆς τριβῆς. Πείραμα. Ἀφοῦ πραγματοποιήσουμε τὴ διάταξη τοῦ σχήματος 53, Ι καὶ ἐρματίσουμε τὸ κιβώτιο, ὥστε νά ἀποχτήσει συνολικὸ βάρος  $B = 250$  p, φορτίζομε προσεχτικά τὸ δίσκο, ὥστου ἀρχίσει νά γλιστρᾶ τὸ κιβώτιο ἐπάνω στὴν ὁριζόντια σανίδα. Σημειώνομε

τὸ βάρος πού είχαν τὰ σταθμὰ τὴ στιγμὴ ποὺ ἄρχισε ἡ δλίσθηση καὶ ἔστω ὅτι βρίσκομε 180 p. Στὸ κιβώτιο ἀσκεῖται τώρα μιὰ ὁριζόντια δύναμη  $F = 180$  p (σχ. 53, II).

α) Ὄταν δὲν ἀσκεῖται ἔλξη στὸ κιβώτιο, αὐτὸν ὑπόκειται στὴ δράση τοῦ βάρους του καὶ στὴν ἀντίδραση ποὺ ἀσκεῖ ἡ σανίδα.



Σχ. 53. Διάταξη γιά τή μελέτη της τριβής κατά την ορίζοντια δλίσθηση (I). Συνολικό βάρος 250 p μετακινείται με δριζόντια δύναμη 180 p (II).

Έφόσον τὸ κιβώτιο μένει ἀκίνητο, πρέπει ή συνισταμένη τῶν δυνάμεων ποὺ ἐνεργοῦν ἐπάνω του νὰ είναι ἵση μὲ μηδέν. Ἡ ἀντίδραση συνεπῶς τῆς σανίδας ἔχει κατακόρυφη διεύθυνση, φορά πρὸς τὰ ἐπάνω καὶ μέτρο ἵσο μὲ τὸ βάρος τοῦ κιβωτίου.

β) Τοποθετοῦμε στὸ δίσκο σταθμὰ μὲ συνολικὸ βάρος μικρότερο ἀπὸ τὰ 180 p., δόποτε παραπτροῦμε ὅτι τὸ σῶμα μένει ἀκίνητο. Καὶ στὴν περίπτωση δῆμως ἀντὴ ὑπάρχει μιὰ ἐλκτικὴ δύναμη, ἵση μὲ τὸ βάρος τῶν σταθμῶν: Ἡ δύναμη ἀντὴ ἀσκεῖται στὸ κιβώτιο ἀπὸ τὸ ορίζοντιο σκοινὶ. Ἀφοῦ δῆμως τὸ κιβώτιο ἀκίνητει, συμπεραίνομε ὅτι ὑπάρχει καὶ μία ἄλλη δύναμη  $F'$ , ἀντίθετη πρὸς τὴν ἐλκτικήν, ἡ ὁποία ἐνεργεῖ στὸ κιβώτιο καὶ ἔξουδετερώνει τὴν ἐλκτικὴ δύναμη.

γ) Φορτίζομε τὸ δίσκο μὲ σταθμὰ βάρους 180 p καὶ τότε ξαναρχίζει ἡ δλίσθηση τοῦ κιβωτίου.

Ἄπὸ τὸ παραπάνω πείραμα συμπεραίνομε ὅτι, ὅταν ἀσκεῖται στὸ κιβώτιο μιὰ δριζόντια ἐλκτικὴ δύναμη  $F < 180$  p, τὸ κιβώτιο δέχεται τὴ δράση μιᾶς ἄλλης δυνάμεως  $F'$ , ἵσης σὲ μέτρο μὲ τὴν  $F$ , ἀλλὰ

ἀντίθετης φορᾶς ἀπὸ ἐκείνη. Ἡ δύναμη αὐτὴ  $F'$  ἀσκεῖται ἀπὸ τὴν δριζόντια σανίδα στὸ κιβώτιο. Μόλις ἡ δριζόντια ἐλκτικὴ δύναμη  $F$  γίνει ἵση μὲ 180 p, ἀρχίζει ἡ δλίσθηση τοῦ κιβωτίου. Ἡ δύναμη ἐπομένως  $F'$ , ποὺ ἐμφανίζεται, δταν ἀσκηθεῖ μιὰ δριζόντια δύναμη  $F$  στὸ κιβώτιο, δὲν μπορεῖ, μὲ τὶς συνθήκες τοῦ πειράματος, νὰ ἀποχτήσει μέτρο μεγαλύτερο ἀπὸ τὰ 180 p.

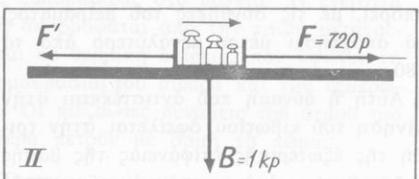
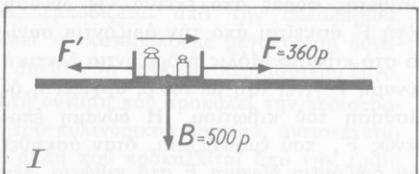
Αὐτὴ ἡ δύναμη ποὺ ἀντιστέκεται στὴν κίνηση τοῦ κιβωτίου ὀφείλεται στὴν τριβὴ τῆς ἔξωτερικῆς ἐπιφάνειας τῆς βάσης τοῦ κιβωτίου ἐπάνω στὴν ἐπιφάνεια τῆς δριζόντιας σανίδας καὶ δονομάζεται δύναμη τριβῆς ἢ ἀπλῶς τριβή. Ἐπομένως:

"Οταν ἔνα σῶμα κινεῖται μὲ τρόπο ποὺ νὰ βρίσκεται συνεχῶς σὲ ἐπαφὴ μὲ ἕνα ἄλλο σῶμα, τότε ἀναπτύσσεται μία δύναμη ποὺ ἀντιστέκεται στὴ δύναμη ποὺ κινεῖ τὸ σῶμα. Ἡ δύναμη ποὺ ἀντιστέκεται στὴν κίνηση ὁνομάζεται τριβή.

"**Η τριβὴ ἀπορροφᾶ ἐνέργεια.** Ἡ δύναμη τῆς τριβῆς  $F'$ , τῆς ὁποίας τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς μετατοπίστηκε ἐπάνω στὴν εὐθεία ἐπενέργειάς της, ἔδωσε ἔργο, τὸ ὁποῖο ἀπορρόφησε ἔνα μέρος τῆς δυναμικῆς ἐνέργειας τοῦ φορτισμένου δίσκου. "Ωστε:

"Η τριβὴ μεταξὺ δύο ἐπιφανειῶν, ὅταν ἡ μία κινεῖται σχετικὰ μὲ τὴν ἄλλη, ἀπορροφᾷ ἐνέργεια.

**§ 58. Παράγοντες ἀπὸ τοὺς ὁποίους ἔχαρτάται ἡ τριβή. Πείραμα.** Χρησιμοποιώντας τὴν προηγούμενη διάταξη, ἔρματίζομε τὸ κιβώτιο μὲ διαφορετικὰ βάρη, δόποτε ἡ κάθετη δύναμη ποὺ ἀσκεῖ ἡ τρίβουσα ἐπιφάνεια θὰ είναι διαφορετική, ἀνάλογα μὲ τὸ βάρος τοῦ ἔρματος, καὶ καταγράφομε τὸ ἐλάχιστο φορτίο ποὺ πρέπει νὰ ὑπάρχει στὸ δίσκο σὲ κάθε περίπτωση, γιὰ νὰ ἀρχίσει δλίσθηση τοῦ κιβωτίου



**Σχ. 54.** Η τριβή δλισθήσεως είναι άναλογη πρός τό βάρος του σώματος που δλισθαίνει.

(σχ. 54, I, II). Κατόπιν έπαναλαμβάνομε τό πείραμα χρησιμοποιώντας για όριζόντιο έπιπεδο μιά πολὺ λεία σανίδα. Στὸν άκολουθο πίνακα άναγράφονται τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεών μας.

Βάρος κιβωτίου Β σὲ p	Βάρος σταθμῶν δίσκου		
	Άνωμαλη έπιφάνεια, F σὲ p	Λεία έπιφάνεια, f σὲ p	
250	180	70	
500	360	140	
750	540	210	
1000	720	280	

Απὸ τὸν παραπάνω πίνακα παρατηροῦμε ὅτι οἱ λόγοι  $F/B$  καὶ  $f/B$  είναι σταθεροί. Μὲ τὰ συγκεκριμένα δεδομένα τοῦ πίνακα ξέχουμε ὅτι:

$$F/B = 0,72 \text{ καὶ } f/B = 0,28$$

Αν έπαναλάβουμε τό πείραμα βάζοντας διαδοχικά τὶς διάφορες ζῆρες τοῦ κιβωτίου σὲ ἐπαφὴ μὲ τὴ σανίδα, θὰ πάρουμε τὰ ἔδια ἀποτελέσματα, δηλαδὴ:

$$F/B = 0,72 \text{ καὶ } f/B = 0,28$$

Η τριβὴ ποὺ μελετήσαμε ἐμφανίζεται, ὅταν μία έπιφάνεια δλισθαίνει (γλιστρᾶ).

πάνω σὲ μιὰν ἄλλην έπιφάνεια, καὶ γι' αὐτὸ δονομάζεται ίδιαίτερα τριβὴ δλισθήσεως.

Η έπιφάνεια πάνω στὴν ὥποια δλισθαίνει (γλιστρᾶ) μιὰ ἄλλη έπιφάνεια δονομάζεται ἐπίπεδο δλισθήσεως.

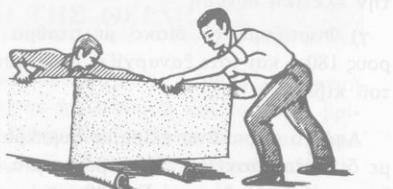
Απὸ τὰ παραπάνω καταλήγουμε στὸ συμπέρασμα ὅτι:

Η τριβὴ δλισθήσεως: α) Είναι ἀνάλογη μὲ τὴ δύναμη ποὺ ἀσκεῖ κάθετα ἡ τριβουσα έπιφάνεια (κιβώτιο) στὸ ἐπίπεδο δλισθήσεως (σανίδα). β) Ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τῶν τριβομένων έπιφανειῶν. γ) Είναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ ἐμβαδὸν ἐπαφῆς τῆς έπιφάνειας ποὺ τριβεῖ καὶ δ) είναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν ταχύτητα μεταποίεσως (ὅπως ἀποδεικνύεται ἀπὸ πειράματα καὶ ἀκριβεῖς μετρήσεις).

**Σχ. 59.** Τριβὴ κυλίσεως. Τριβὴ δὲν ἀναφίνεται μόνο ὅταν ἔνα σῶμα γλιστρᾶ ἐπάνω σ' ἔνα ἄλλο, ἄλλα καὶ ὅταν κυλᾶ ἐπάνω σ' ἔνα ἄλλο.

Η τριβὴ ποὺ παράγεται στὴν περίπτωση αὐτὴ δονομάζεται τριβὴ κυλίσεως.

Η τριβὴ δλισθήσεως καταναλῶνει περισσότερο ἔργο ἀπὸ τὴν τριβὴ κυλίσεως. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο, ὅταν θέλουμε νὰ μετακινήσουμε ἔνα βαρὺ ἀντικείμενο, τοποθετοῦμε κάτω ἀπὸ αὐτὸν δύο μακριὰ κυλινδρικὰ ξύλα καὶ σπρώχνομε τὸ ἀντικείμενο, μετατρέποντας τὴν τριβὴ δλισθήσεως σὲ τριβὴ κυλίσεως (σχ. 55). Παρατηροῦμε τότε ὅτι ὅσο μεγαλύτερη είναι ἡ διάμετρος τῶν κυλινδρι-



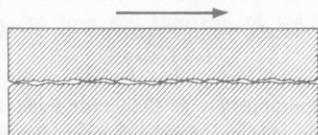
**Σχ. 55.** Η τριβὴ κυλίσεως ξέουδετερώνεται εὐκολότερα ἀπὸ τὴν τριβὴ δλισθήσεως.

κῶν ζύλων, τόσο μικρότερη δύναμη ἀπαιτεῖται νά καταβάλουμε γιά τή μετακίνηση.

Γι' αὐτὸ τὸ λόγο τοποθετοῦμε τροχούς στὴ βάση στηρίξεως διαφόρων βαριῶν ἀντικειμένων.

Ἡ ἀνακαλύψη τοῦ τροχοῦ θεωρήθηκε, καὶ πολὺ σωστά, ως μία ἀπὸ τις μεγαλύτερες ἀνακαλύψεις τῆς Τεχνικῆς.

**§ 60. Συνέπειες τῆς τριβῆς.** Παρατηροῦμε διτὸ περισσότερο ἀνώμαλες είναι οἱ ἐπιφάνειες ποὺ βρίσκονται σὲ ἐπαφή, τόσο πιὸ μεγάλες είναι οἱ δύναμεις τῆς τριβῆς δλισθήσεως. Ἡ τριβὴ αὐτὴ ὀφείλεται κατὰ ἔνα μέρος στὶς ἀνωμαλίες τῶν δύο ἐπιφανειῶν ποὺ βρίσκονται σὲ ἐπαφή. Αὖτε οἱ ἀνωμαλίες μπλέκονται μεταξὺ τους καὶ ἀντιστέκονται στὴν κίνηση (σχ. 56).



Σχ. 56. Οἱ τριβῆς ὀφείλονται κατὰ ἔνα μέρος στὶς ἀνωμαλίες τῶν ἐπιφανειῶν τῶν σωμάτων.

Ο δεύτερος παράγοντας ποὺ συντείνει στὴν ἐμφάνιση τῆς τριβῆς είναι οἱ παραμορφώσεις ποὺ δημιουργοῦνται στὶς δύο ἐπιφάνειες, ὅταν αὖτε συμπλέζονται μεταξὺ τους. Βέβαια τὶς περισσότερες φορές αὖτε οἱ παραμορφώσεις δὲν γίνονται ἀντιληπτές, ὡστόσο δύως δὲν παύουν νά υπάρχουν.

Ἡ δεύτερη δύο ἐπιφανειῶν ἔχει ώς ἀποτέλεσμα τὴν ἔξομάλυνση τῶν ἀνωμαλιῶν τους. "Ενα μέρος τῆς ἔνεργειας ποὺ παρέχομε σὲ μιὰ μηχανή, καταναλώνεται καὶ ἀπορροφᾶται ἀπὸ τὶς δύναμεις τριβῆς καὶ μετατρέπεται σὲ θερμικὴ ἔνεργεια, ἡ οποία μᾶς είναι ἀχρηστή.

Παράλληλα δύως ή τριβὴ δημιουργεῖ καὶ χρήσιμα ἀποτελέσματα. "Ενα σῶμα π.χ., ποὺ βρίσκεται ἐπάνω σὲ ἔνα κεκλιμένο ἐπίπεδο, μένει ἀκίνητο καὶ δὲν γλιστρᾷ πρός τὰ κατώτερα σημεῖα τοῦ ἐπιπέδου ἔχαστις τῶν δυνάμεων τριβῆς.

Χωρὶς τὶς δυνάμεις τριβῆς θὰ μᾶς ήταν ἀδύνατο νά σταθοῦμε δρθιοι καὶ νά περπατήσουμε. Γνωρίζομε διτὸ τὸ χειμώνα, ὅταν κάνει παγωνιά, μᾶς είναι πολὺ δύσκολο νά περπατήσουμε ἐπάνω σὲ παγοκρύσταλλους καὶ συχνά γλιστροῦμε καὶ πέφτομε.

"Ἐπισης δὲν θὰ ήταν δυνατὸ νά κρατήσουμε ἕνα ἀντικείμενο στὰ χέρια μας, ἀφοῦ τὰ πάντα θὰ γλιστροῦσαν.

"Αν δὲν ὑπῆρχε τριβὴ, θὰ μᾶς ήταν ἀδύνατο νά κατασκευάσουμε διτὸ ἄποτε. "Αν δὲν ὑπῆρχε τριβὴ, δὲν θὰ ὑπῆρχαν καὶ ἀνωμαλίες στὴν ἐπιφάνεια π.χ. τοῦ καρφοῦ καὶ στὴ σανίδα, ὅποτε τὸ καρφὸ δὲν θὰ στερεωνόταν στὴ τρύπα τῆς σανίδας. Δηλαδὴ καθεὶς ἀπόπειρα γιά νά συνδέσουμε δύο κομμάτια ἔνδιο μεταξὺ τους θὰ ήταν μάταιη.

Δυνάμεις τριβῆς είναι καὶ ἑκείνες ποὺ ἀσκοῦνται ἀπὸ τὰ φρένα στοὺς τροχούς τῶν αὐτοκινήτων καὶ μᾶς ἐπιτρέπουν νά σταματήσουμε τὰ ὄχηματα ή νά μετράσουμε τὴν ταχύτητά τους.

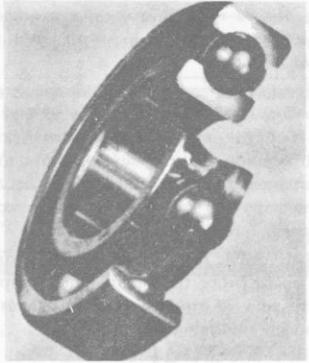
**§ 61. Τρόποι ἐλαττώσεως ἢ αύξησεως τῶν τριβῶν.** "Ας ξαναγυρίσουμε στὸ ἀρχικό μας πείραμα γιά τὴ μελέτη τῆς τριβῆς, χρησιμοποιώντας μιὰ λεία σανίδα, μὲ τὴ διαφορά διτὸ τὸν ἔχομε ἐπιστρώσει μὲ σπανοδιάλυμα. Παρατηροῦμε τότε διτὸ, ἀν καὶ ἐρματίζουμε τὸ κιβώτιο μὲ 1 000 p, ἄρκει μιὰ ὁρίζοντα δύναμη 120 p γιά νά προκαλέσει διλίσθηση τὸν κιβωτίον.

Γιά νὰ ἐλαττώσουμε τὴν τριβὴ ἀλείφουμε τὶς ἐπιφάνειες ποὺ βρίσκονται σὲ ἐπαφή μὲ λιπαντικὲς ουσίες. Γιά νὰ μην καταστραφοῦν ἀπὸ τὴν τριβὴ τὰ μέταλλα ποὺ βρίσκονται σ' ἐπαφή μεταξὺ τους στὸν μηχανισμὸ π.χ. ἐνὸς αὐτοκινήτου, στὴ μηχανὴ βάζουμε εἰδικὸ λάδο καὶ λαδόνομε τὸ σύστημα διηγήσεως καὶ τοὺς ἄξονες τῶν τροχῶν.

"Ενα ποδήλατο μὲ καλολαδωμένους τοὺς ἄξονες τῶν τροχῶν του τρέχει καλύτερα καὶ γρηγορότερα ἀπὸ ἔνα ἄλλο, τοῦ ὅποιον είναι ἀλαδωτὰ καὶ ξερά τὰ κινούμενα μέρη τουν. "Ενας κινητήρας ποὺ λειτουργεῖ χωρὶς νά λαδώνεται ἀχρηστεύεται πολὺ γρήγορα.

Σημαντικά ἐλαττώνεται ἡ τριβὴ, διτὸ, σπως ἀναφέρουμε, μετατρέψουμε τὴν διλίσθηση σὲ κύλιση. Αὐτὸ τὸ πετυχαίνουμε παρεμβάλλοντας ἀνάμεσα στὶς δύο ἐπιφανειῶν ποὺ τριβοῦνται μὲ διλίσθηση μικρὰ κυλινδρικὰ στελέχη, πάνω στὰ ὅποια ἀκομπά τὸ μετατοπίζομενο βαρὺ ἀντικείμενο. Τὰ κυλινδρικὰ στελέχη είναι κάθετα πρός τὴ δύναμη ποὺ ἔλκει.

"Ἐφαρμογὴ αὐτῆς τῆς παρατηρήσεως είναι ἡ κατασκευὴ τῶν ἔνσφαιρων τριβέων (κοινῶς ρουλεμάν), ποὺ ἔχουν μεγάλες ἐφαρμογές στὴν Τεχνική. Ἀπλὸ παράδειγμα τῆς ἐφαρμογῆς τους ἔχουμε στὸ ποδήλατο. Οἱ ἄξονες τῶν τροχῶν τοῦ ποδηλάτου δὲν ἀκομποῦν ἀμεσα στὰ περιαξόνια τους, ἀλλὰ μὲ παρεμβολὴ ἔνσφαιρων τριβέων. Οἱ



Σχ. 57. Ενσφαιροι τριβεις (ρουλεμάν)

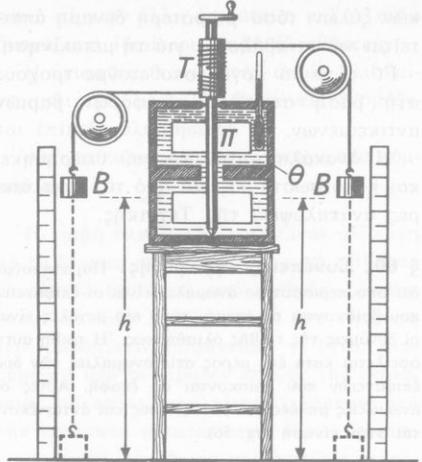
Ενσφαιροι τριβεις περιέχουν μικρές χαλύβδινες σφαίρες, που παρεμβάλλονται άνάμεσα στις τριβόμενες έπιφανειες (σχ. 57).

Αντίθετα, γιά νά άποφύγουμε τήν δλίσθηση τών τροχῶν μιας άτμομηχανής έπάνω στις σιδηροδρομικές γραμμές, τις έπικαλύπτουμε με άμμο, γιά νά ανδήσουμε τήν τραχυτήτα τους. Γιά μιάν άναλογη αιτία ρίχνουμε άμμο έπάνω σέ έναν δρόμο, που έχει καλύψει με παγοκρύσταλλον.

Τα σαγόνια των φέρων στά αύτοκινητα και οι δίσκοι των συμπλεκτῶν (άμπραγιάς) είναι έφοδιασμένα με ειδικές μηχανικές διατάξεις, που αύξανουν τήν τριβή. Όσο περισσότερο συμπιέζονται μεταξύ τους δύο έπιφανειες που έφαπτονται, — είτε με τή βοήθεια μοχλῶν, που πολλαπλασιάζουν τις μεταξύ τους δυνάμεις (φρένα), είτε με τή βοήθεια ίσχυρῶν έλατηριών (συμπλέκτης), — τόσο ή τριβή πολύ άναπτυσσεται άνάμεσα στις δύο αυτές έπιφανειες αύξανεται.

**§ 62. Μηχανικό ισοδύναμο τῆς θερμίδας. Πείραμα τοῦ Τζάουλ.** Ο Αγγλος Φυσικός Τζάουλ (James Prescott Joule) είναι ο πρώτος που μελέτησε συστηματικά τὸ φαινόμενο τῆς μετατροπῆς τοῦ μηχανικοῦ ἔργου σε θερμότητα και βρήκε τήν ποσοτική σχέση άνάμεσα στις μονάδες τῆς μηχανικῆς και τῆς θερμικῆς ένέργειας. Γιά νά κάνει τά πειράματά του, χρησιμοποίησε τήν άκόλουθη συσκευή:

α) Περιγραφὴ τῆς συσκευῆς. Μέσα σὲ



Σχ. 58. Διάταξη γιά τήν έκτελεση τοῦ πειράματος τοῦ Τζάουλ.

ένα θερμιδόμετρο Θ βυθίζεται ένας κατακόρυφος ξένονας έφοδιασμένος μὲ πτερύγια Π (σχ. 58). Αυτὸς ο ξένονας συνδέεται μὲ ένα κυλινδρικό τύμπανο Τ, που μπορεῖ νὰ περιστραφεῖ γύρω άπὸ τὸν γεωμετρικὸ του ξένονα μὲ τή βοήθεια δύο βαρῶν B και B, τὰ οποῖα πέφτουν συγχρόνως και άπὸ τὸ ίδος υψος h.

β) Λειτουργία τῆς συσκευῆς. Όταν πέφτουν τὰ βάρη, τὸ τύμπανο περιστρέφεται και παρασύρει στήν κίνησή του τὸν ξένονα μὲ τὰ πτερύγια, τὰ οποῖα τότε άνακατεύουν τὸ νερό τοῦ θερμιδομέτρου. Αυτὸ τὸ άνακάτωμα γίνεται πιὸ ξηνόν μὲ τή βοήθεια δύο άκιντων πτερυγίων, που είναι στερεωμένα στὸ έσωτερικὸ τείχωμα τοῦ θερμιδομέτρου. Ή τριβή τοῦ νεροῦ μὲ τὰ πτερύγια παράγει θερμότητα, που αύξανει τή θερμοκρασία τοῦ νεροῦ στὸ θερμιδόμετρο. Επειδὴ δύμως αὐτή ή αὔξηση τῆς θερμοκρασίας είναι πολὺ μικρή, πρέπει νὰ έκτελεσσούμε μιὰ δλόκληρη σειρά διαδοχικῶν πτώσεων τῶν βαρῶν (περίπου είκοσι), γιά νά έχουμε αἰσθητή αὔξηση τῆς θερμοκρα-

σίας. Τό μηχανικό έργο που παράγεται μὲ τὴν πτώση τῶν βαρῶν εἶναι ἐκεῖνο ποὺ μετατρέπεται σὲ θερμότητα ἔξαιτιας τῶν τριβῶν.

Ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἐλεύθερωθήκε βρίσκεται, ἀν μετρήσουμε τὴν αὐξηση τῆς θερμοκρασίας καὶ ὥν γνωρίζουμε τὴ μάζα τοῦ νεροῦ ποὺ περιέχεται στὸ θερμιδόμετρο.

γ) Ἀριθμητικό παράδειγμα: Σὲ μᾶλα στιρά πειραμάτων μὲ τὴ διάταξη τῆς συσκευῆς Τζάουλ ἔγιναν οἱ ἀκόλουθες μετρήσεις: 1) Ὁλικό ίσοδύναμο σὲ νερὸ τοῦ θερμιδόμετρου = 3070 cal/grad. 2) Κοινὸ βάρος τῶν δύο σωμάτων ποὺ κατεβαίνουν = 12 kp. 3) Ὅψος τῆς πτώσης = 3 m. 4) Ἀριθμός τῶν πτώσεων 20. 5) Υψηση τῆς θερμοκρασίας = 1,1 °C. Νὰ βρεθεῖ τὸ μηχανικό ίσοδύναμο τῆς θερμίδας, ἡ ἀριθμητικὴ σχέση ἴστητας, δηλαδὴ, μεταξὺ θερμίδας καὶ Joule.

Ἄσητ. Τὸ έργο ποὺ παράγεται σὲ μᾶλα πτώση τῶν δύο σωμάτων ἀπὸ ὅψος  $h$  εἶναι  $I$ σο μὲ:

$$2B \cdot h = 12 \text{ kp} \cdot 3 \text{ m} \cdot 2 = 72 \text{ kpm.}$$

Kai ἐπειδὴ 1 kp = 9,81 Joule, ἔχομε:

$$2B \cdot h = 72 \cdot 9,81 \text{ Joule} = 706,32 \text{ Joule}$$

Ἄρα τὸ έργο  $A$  ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ 20 διποιες πτώσεις  $\theta$  εἶναι:

$$A = 20 \cdot 706,32 \text{ Joule} = 14126,4 \text{ Joule.}$$

Ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας  $Q$ , στὴν ὁποίᾳ μετατρέπεται τὸ μηχανικό έργο τῆς πτώσης τῶν σωμάτων, εἶναι  $I$ ση μὲ αὐτὴ ποὺ ἀνύψωσε τὴ θερμοκρασία τοῦ θερμιδόμετρου κατὰ 1,1 °C. Ἡ ποσότητα αὐτὴ δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$Q = K \cdot \Delta\theta = 3070 \text{ cal/grad} \cdot 1,1 \text{ °C.}$$

Δηλαδὴ:

$$Q = 3377 \text{ cal}$$

ὅπου  $K$  ἡ ὀλικὴ θερμοχωρητικότητα τοῦ ὄργανου.

Ἄρα μηχανικὴ ἐνέργεια 14126,4 Joule μετατράπηκε σὲ ίσοδύναμη θερμικὴ ἐνέργεια 3377 cal. Επομένως, ὥν σκεφτοῦμε ἀντίστροφα, μποροῦμε

νά ὑπολογίσουμε τὸ έργο ποὺ μπορεῖ νά παραχθεῖ ἀπὸ θερμικὴ ἐνέργεια 1 cal, ὅποτε θά ἔχουμε διτ: 3377 cal ίσοδύναμον μὲ 14126,4 Joule, 1 cal ίσοδύναμει μὲ 14126,4/3 3377 Joule. Δηλαδὴ:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

Γιά νά ἀποκτήσουμε ἐπομένως θερμικὴ ἐνέργεια 1 θερμίδας, πρέπει νά καταναλώσουμε μηχανικὴ ἐνέργεια 4,18 Joule.

**Συμπέρασμα.** Πολυάριθμες μετρήσεις ἔδειξαν διτ ἀναφαίνεται ποσότητα θερμότητας 1 cal κάθε φορὰ ποὺ μηχανικὸ έργο 4,18 Joule μετατρέπεται σὲ θερμότητα.

Ἀντίστροφα, παίρνομε έργο 4,18 Joule κάθε φορὰ ποὺ ποσότητα θερμότητας  $I$ ση μὲ 1 cal μετατρέπεται ὀλοκληρωτικὰ σὲ μηχανικὸ έργο. Τις διαιπιστώσεις αὐτὲς ἐκφράζομε λέγοντας διτ:

Τὸ μηχανικό ίσοδύναμο μιᾶς θερμίδας εἶναι 4,18 Joule. Δηλαδὴ:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

Ἀντίστροφα, ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἔνα Joule εἶναι:

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{4,18} \text{ cal} = 0,24 \text{ cal}$$

Ἀπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε διτ, ὥν ἔχουμε δύο ίσοδύναμα ποσά ἐνέργειας  $Q$  σὲ θερμίδες καὶ  $A$  σὲ Joule, αὐτά συνδέονται μὲ τὴ σχέση:

$$Q = J \cdot A$$

ὅπου  $J$  τὸ μηχανικό ίσοδύναμο τῆς θερμίδας.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Σὲ κάθε σῶμα ποὺ κινεῖται πάνω σὲ ἔνα ἄλλο σῶμα ἐμφανίζονται δυνάμεις τριβῆς, ποὺ ἔχουν φορὰ ἀντίθετη στὴ φορὰ τῆς μετακινήσεως.

2. Ἡ ἀνθιστάμενη δύναμη (δύναμη τριβῆς) εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴν κατακόρυφη δύναμη, ποὺ ἀσκεῖται ἀπὸ τὴν τριβουσα ἐπιφάνεια ἐπάνω στὴν τριβόμενη ἐπιφάνεια.

3. Ή δύναμη της τριβής έξαρταται άπο τη φύση των δύο έπιφανειῶν και είναι ανεξάρτητη άπο την τρίβουσα έπιφανεια και την ταχύτητα της μετατοπίσεως.

4. Οι δυνάμεις της τριβής απορροφοῦν ένέργεια. Η ένέργεια αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα.

5. Ή χρήση λιπαντικῶν ούσιων (λάδι, λίπος κλπ.) και ένσφαιρων τριβέων έλαττωνει τις δυνάμεις της τριβής τῶν κινητῶν μερῶν τῶν μηχανῶν. Αὐξάνομεις τις δυνάμεις της τριβῆς κάνοντας τραχύτερες τις έπιφανειες έπαφῆς ή συμπλεζοντάς τις δυνατά.

6. Τὸ μηχανικὸ ισοδύναμο τῆς θερμίδας είναι 4,18 Joule. Μιὰ ποσότητα θερμότητας, ἔνα μηχανικὸ ἔργο ή η ένέργεια ἐνὸς συστήματος μποροῦν νὰ ἐκφράζονται σὲ θερμίδες, Τζάουλ, κιλοποντόμετρα κ.λ.π.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

64. Μὲ ποιὰ ποσὰ μηχανικῆς ένέργειας ἀντιστοῦν: α) 0,0117 kcal, β) 234 kcal, γ) 0,14 kcal; (*Απ. α' 4,87 kpm. β' 100 000 kpm. γ' 64 kpm.*)

65. Ή τέλεια καύση τοῦ ἀνθρακα δίνεται άπο τὴν ἀκόλουθη χημικὴ έξισωση:



Νὰ ύπολογιστεῖ σὲ θερμίδες και ἔπειτα σὲ Joule η ένέργεια ποὺ μπορεῖ νὰ ἀποδώσει η καύση 1 kg κάλβουνου, ἀν περιέχει 90 % ἀνθρακα.

(*Απ. 7 050 000 cal, 29 469 000 Joule.*)

66. Νὰ βρεθεῖ σὲ Joule η ένέργεια ποὺ χρειάζεται γὰ νὰ αὐξηθεῖ η θερμοκρασία 1 200 gr τεροῦ άπο τοὺς 15 °C στοὺς 80 °C.

(*Απ. Q = 326 040 Joule.*)

67. Ή ενα τετραγωνικὸ πρίσμα άπο σίδερο ἔχει διαστάσεις 8 cm · 5 cm · 3 cm και βρίσκεται ἐπάνω σὲ ἓνα φριξόντιο ἐπίπεδο. Τὸ πρίσμα σύνεται δριζόντια ἀπὸ ἓνα σκοινὶ, ποὺ ἀφοῦ περάσει ἀπὸ μία τροχαλία, συγκρατεῖ ἓνα δίσκο. Τὸ πρίσμα είναι τοποθετημένο στὸ φριξόντιο ἐπίπεδο μὲ τὴ μεγαλότερη ἀπὸ τὶς ἔδρες του και μπαίνει σὲ κίνηση, ὅταν ὁ δίσκος ἔχει φροτίο μάζας 620 gr. α) Νὰ βρεθεῖ τὸ ἐλάχιστο βάρος, ποὺ θὰ πρέπει νὰ βάλονμε στὸ δίσκο, γιὰ νὰ κινηθεῖ τὸ πρίσμα, ὅταν θὰ είναι τοποθετημένο μὲ τὶς ἄλλες δύο ἔδρες του. β) Βάζομε ἐπάνω στὸ πρίσμα, ὅταν είναι τοποθετημένο μὲ τὴ μεγαλότερη ἔδρα του, μάζα βάρους 2 kp. Νὰ βρεθεῖ τὸ βάρος τοῦ ἐλάχιστον φροτίον ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ κινηθεῖ τὸ πρίσμα.

(*Απ. α' 620 gr. β' 936 p. 1940,6 p.*)

## ΙΒ' — ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΠΛΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

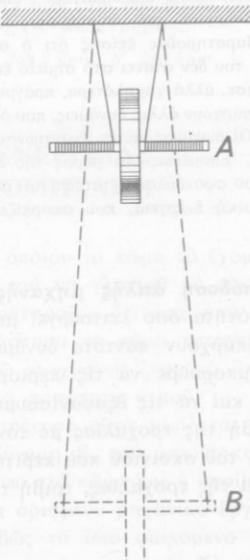
§ 63. Γενικότητες. Σὲ προηγούμενα κεφάλαια μιλήσαμε γιὰ τὴν ἀρχὴ τῆς διατήρησεως τῆς ένέργειας ποὺ ισχύει σὲ ἓνα ἀπομονωμένο σύστημα. Ἐδῶ θὰ ἀσχοληθοῦμε μὲ τὴ διατήρηση τῆς ένέργειας σὲ μιὰν ἀπλὴ μηχανὴ και θὰ περιοριστοῦμε στὴ διατήρηση τῆς μηχανικῆς ένέργειας.

§ 64. Παράδειγμα διατηρήσεως μηχανικῆς ένέργειας. Τροχαλία. Κινητήριο και ἀνθιστάμενο ἔργο. Θεωροῦμε τὴν τροχαλία τοῦ σχήματος 59 ἀπαλλαγμένη ἀπὸ τριβές και ἀκλόνητα τοποθετημένη.

Άνυψωνομε, χρησιμοποιῶντας τὴν τροχαλία αὐτή, ἔνα σῶμα βάρους 2 kp ἔτσι,

Σε μιάν άπλή μηχανή, πού λειτουργεῖ χωρίς τριβές, τὸ κινητήριο και τὸ ἀνθιστάμενο ἔργο είναι ίσα. Τὸ συμπέρασμα αὐτὸ δικράνουμε λέγοντας ότι έχομε διατήρηση τῆς μηχανικῆς ἐνέργειας.

Κλασσικό παράδειγμα διατήρησεως τῆς μηχανικῆς ἐνέργειας μᾶς δίνει τὸ λεγόμενο «γιό - γιό», (σχ. 60).



Σχ. 59. Τὸ κινητήριο ἔργο  $A_1 = F \cdot (\Gamma\Gamma')$  και τὸ ἀνθιστάμενο  $A_2 = B \cdot (\Delta\Delta')$  είναι ίσα.

ώστε τὸ κέντρο βάρους του νὰ μετατοπιστεῖ ἀπὸ τὸ σημεῖο  $\Delta$  στὸ σημεῖο  $\Delta'$ . Γιὰ νὰ γίνει αὐτό, θὰ πρέπει νὰ ἀσκήσουμε στὴν ἄλλη ἄκρη τοῦ σκοινιοῦ μιὰ δύναμη  $F$ , ἵση κατὰ μέτρο μὲ τὸ βάρος  $B$  τοῦ σώματος. Τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τῆς  $F$  μετατοπίζεται ἀπὸ τὸ σημεῖο  $\Gamma$  στὸ σημεῖο  $\Gamma'$ .

Ἡ δύναμη  $F$  παράγει, καθὼς ξέρομε, ἔργο κινητήριας δυνάμεως  $A_1$ , ποὺ είναι ίσο μέ:

$$A_1 = F \cdot (\Gamma\Gamma') \quad (1)$$

Τὸ σημεῖο ἐφαρμογῆς τοῦ βάρους  $B$  μετατοπίζεται ἀντίθετα πρὸς τὴ φορά του. Ἐπομένως τὸ βάρος θὰ δώσει ἔργο ἀνθιστάμενης δυνάμεως  $A_2$  και θὰ είναι:

$$A_2 = B \cdot (\Delta\Delta') \quad (2)$$

Ἐπειδὴ δῶμας  $B = F$  και προφανῶς  $(\Gamma\Gamma') = (\Delta\Delta')$ , θὰ ξέρουμε ότι και  $A_1 = A_2$ .

Ἐπομένως:

**κινητήριο ἔργο = ἀνθιστάμενο ἔργο**

Στὴν περίπτωση αὐτὴ λέμε ότι συμβαίνει διατήρηση τοῦ ἔργου.

Ἄπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ότι:

Σχ. 60. Κατὰ τὴν κάθοδό του ὁ περιστρεφόμενος σφόνδυλος  $A$  έχει δυναμική ἐνέργεια, αὐξάνει δῶμας τὴν κινητική του ἐνέργεια.

Ὄταν ὁ σφόνδυλος  $A$  βρίσκεται στὸ ἀνώτερο σημεῖο τῆς διαδρομῆς του, τὰ νήματα είναι τυλιγμένα γύρῳ ἀπὸ τὸν ἄξονά του. Ἐφόσον βρίσκεται σὲ ἑνα δρισμένο ύψος ἀπὸ τὸ κατώτερο σημεῖο, δῶμα μεταφέρεται, δῶται ζετυλίγοντα τὰ νήματα, περιέχει δρισμένη δυναμική ἐνέργεια. Τὸν ἀφήνομε νά πέσει, ὅποτε τὰ νήματα ζετυλίγονται και τοῦ δίνουν ἐκτὸς ἀπὸ τὴν κατακόρυφη κίνηση, ποὺ έχει ξαπίτιας τῆς πτώσης, και μία περιστροφική κίνηση. Ἡ περιστροφική αὐτὴ κίνηση γίνεται ὀλόνεα ταχύτερη.

Ὄταν ὁ σφόνδυλος φτάσει στὸ κάτω ἄκρο τῆς διαδρομῆς του, συνεχίζει νὰ περιστρέφεται κατὰ τὴν ἴδια φορά, μὲ ἀποτέλεσμα τὰ νήματα νά ἀρχί-

σουν νά τυλίγονται στόν αξονά του και έτσι άρχιζε πάλι νά ανεβαίνει.

"Οσο ό σφρονδυλος κατεβαίνει, ή δυναμική του ένέργεια ελαττώνεται, ένω ή κινητική του ένέργεια αύξανεται. "Οταν άρχισει νά ανεβαίνει, ή ταχύτητα περιστροφής του έλαττώνεται, έπομενος και ή κινητική του ένέργεια. "Οταν ανεβαίνει σμας, άρχιζει νά άποκτη πάλι τη δυναμική του ένέργεια.

'Από τα παραπάνω συμπεραίνομε λοιπόν ότι ή μηχανική ένέργεια τοῦ συστήματος παραμένει σταθερή. Παρατηρούμε έπισης ότι ό σφρονδυλος στήν ανοδό του δέν φτάνει στό σημείο έκεινο άπό όπου ξεκίνησε, άλλα χαμηλότερα, πράγμα πού σημαίνει ότι ύπάρχουν άλλες δυνάμεις, που δρείλονται σε τριβές. Οι δυνάμεις αυτές έναντιώνονται στήν κίνησή του. Έπομένως ένα μέρος της δυναμικής ένέργειας τοῦ σφρονδύλου μετατρέπεται μέτριας τριβές σε θερμική ένέργεια, πού σκορπίζεται στόν άέρα.

**§ 65. Απόδοση άπλης μηχανής.** Στήν πραγματικότητα δσο λειτουργεῖ μιὰ άπλη μηχανή, ύπάρχουν πάντοτε δυνάμεις τριβής, πού μποροῦμε νά τις περιορίσουμε, όχι δμως και νά τις έξαφανίσουμε. "Έτσι έχομε τριβή της τροχαλίας μὲ τὸν αξονά της, τριβή τοῦ σκοινιοῦ πού περιτυλίγεται στὸ αύλακι της τροχαλίας, τριβή τοῦ σώ-

βα. Να μρούνται τα τροχαλία με πανίστρωμα, ή αλλιώς η θερμοπροστασία της για την θερμοπροστασία της μηχανής.

πανίστρωματα σε διαφορετικούς τρόπους

ματος πού γλιστρά έπάνω στὸ κεκλιμένο έπιπεδο κλπ. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο τὸ κινητήριο έργο είναι μεγαλύτερο άπο τὸ άνθιστάμενο, δταν στὸ τελευταίο δὲν συνυπολογίσουμε και τὸ έργο τῶν τριβῶν.

"Η διαπίστωση αὐτὴ δδήγησε τοὺς φυσικοὺς έπιστήμονες στὸν δρισμό ἐνός νέου μεγέθους, πού δνομάζεται **άπόδοση**.

Οι διάφορες μηχανικές διατάξεις δέχονται έργο μιᾶς μορφῆς και τὸ μετατρέπουν σὲ έργο άλλης μορφῆς, κατάλληλο νά χρησιμοποιηθεῖ γιὰ τὴν πραγματοποίηση ἐνός μηχανικοῦ σκοποῦ. Στὶς μετατροπές αυτές ύπάρχουν πάντοτε άπωλειες. Γι' αὐτὸν και τὸ έργο ποὺ άποδίδεται άπὸ τὴ μηχανή είναι πάντα μικρότερο άπὸ τὸ έργο πού τῆς προσφέρεται.

**'Απόδοση η μιᾶς άπλης μηχανῆς δνομάζεται ό λόγος τοῦ έργου πού δίνει μιὰ μηχανή πρὸς τὸ έργο πού προφέρεται στὴ μηχανή.**

"Η άπόδοση έκφραζεται μὲ δεκαδικό κλάσμα ή ἐπὶ τοῖς έκατο (%) , όποτε είναι άριθμός πού περιλαμβάνεται μεταξὺ 0 και 100.

Η μηχανή έκφραζεται μὲ δεκαδικό κλάσμα ή ἐπὶ τοῖς έκατο (%) , όποτε είναι άριθμός πού περιλαμβάνεται μεταξὺ 0 και 100.

Η μηχανή έκφραζεται μὲ δεκαδικό κλάσμα ή ἐπὶ τοῖς έκατο (%) , όποτε είναι άριθμός πού περιλαμβάνεται μεταξὺ 0 και 100.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Στήν ιδανική περίπτωση, κατὰ τὴν όποια μία άπλη μηχανή λειτουργεῖ χωρὶς τριβές, τὸ έργο της κινητήριας δυνάμεως (κινητήριο έργο) και τὸ έργο της άνθιστάμενης δυνάμεως (άνθιστάμενο έργο) είναι ίσα. Αὐτὸν άκριβῶς έννοούμε, δταν λέμε ότι έχομε διατήρηση της μηχανικῆς ένέργειας.

2. Έξαιτίας τῶν τριβῶν, κυρίως, τὸ έργο πού προσφέρεται σὲ μιὰ μηχανή δὲν είναι ίσο μὲ τὸ ώφελό έργο πού άποδίδει ή μηχανή.

3. Ο λόγος τοῦ έργου πού άποδίδεται άπὸ τὴ μηχανή πρὸς τὸ έργο πού προσφέρεται στὴ μηχανή έκφραζεται τὴν άπόδοσή της.

4. Η άπόδοση μιᾶς μηχανῆς είναι πάντοτε μικρότερη άπὸ τὴ μονάδα και δσο περισσότερο πλησιάζει πρὸς τὴ μονάδα, τόσο οίκονομικότερη είναι ή μηχανή.

68. Κελλιμένο έπιπεδο  $AB$  έχει μήκος 6 m. Η ύφουμετρική διαφορά τῶν ἀκρων των  $A$  και  $B$  είναι 2 m. Ένα σόδα βάρους 150 kp τὸ ἀνηψύνεται ἀπὸ τὸ σημεῖο  $A$  στὸ  $B$  καὶ γὰ τὸ σκοπὸν αὐτὸν καταβάλλομε σταθερὴ δύναμη, παράλληλη πρὸς τὸ κεκλιμένο έπιπεδο καὶ μέτρου 60 kp. Νὰ υπολογιστεῖ τὸ κινητήριο καὶ τὸ ἀνθυστάμενο ἔχο, ὅπως ἐπίσης καὶ ἡ ἀπόδοση τοῦ κεκλιμένου ἐπιπέδου.

('Απ. 360 kp, 300 kp,  $\eta = 0,83$ .)

69. Ένα πολύσπαστο (σύστημα τροχαλῶν ἀπὸ

τις ὁποῖες περνᾶ ἐνὶ κοινῷ σπονι) χρησιμοποιεῖται γὰ τὴν ἀνύψωση σόφρατος βάρους 180 kp. Στὸ ἄλλο ἀκρο τοῦ σκονιοῦ ἀσκοῦμε μάλιστημα δύναμη μέτρου 36 kp. Τὸ σόδα ἀνέβηκε 1,2 m, ὅπως ἦμεις τραβήξαμε 7,2 m σπονι. α) Νὰ υπολογιστεῖ τὸ ἔχο τῆς ἀνθυστάμενης δυνάμεως. β) Νὰ υπολογιστεῖ τὸ ἔχο τῆς κινητήμας δυνάμεως. Γατὶ τὰ δύο αὐτὰ ἔχαρα εἶναι διαφορετικά; γ) Νὰ βρεθεῖ ἡ ἀπόδοση τῆς ἀπλῆς μηχανῆς.

('Απ. α' 259,2 kp, β' 216 kp, γ'  $\eta = 0,83$ .)

## ΙΓ' — ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΗ

§ 66. Ή θερμότητα μετατρέπεται σὲ μηχανικό ἔργο. Εἰδαμε σὲ ἔνα ἀπὸ τὰ προηγούμενα κεφάλαια πῶς ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια μπορεῖ νὰ μετατραπεῖ σὲ θερμικὴ ἐνέργεια. Στὸ κεφάλαιο αὐτὸν θὰ ἔξετάσουμε τὸ ἀντίστροφο φαινόμενο. Δηλαδὴ πῶς ἡ θερμικὴ ἐνέργεια εἶναι δυνατὸ νὰ μετατραπεῖ σὲ μηχανικὴ ἐνέργεια.

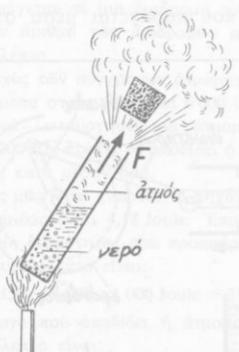
καὶ τοῦ ὁποίου τὸ πῦρα τὸ ἔχομε λιπάνει ἐλαφρά, γιὰ νὰ γλιστρᾶ μὲ εὐκολία (σχ. 61). Παρατηροῦμε διτὶ μετά ἀπὸ λίγο χρονικό διάστημα τὸ πῦρα πετάγεται ὀρμητικά, ἐνῶ συγχρόνως ξεφεύγει ἀπὸ τὸ σωλήνα μιὰ ποσότητα ἀτμοῦ.

Ἡ ἐκτόξευση αὐτὴ ὀφείλεται στὴν πιέζουσα δύναμη  $F$ , ποὺ ἀσκήθηκε ἀπὸ τὸν ἀτμὸ πάνω στὸ πῦρα καὶ ἡ ὁποία ἀπόδωσε ἔτσι ἔνα ὄρισμένο μηχανικό ἔργο.

Ἀκριβῶς τὸ ἴδιο φαινόμενο συμβαίνει καὶ σὲ μιὰν ἀτμομηχανή. Τὸ νερὸ ἀτμοποιεῖται μέσα σὲ ἔνα λέβητα, χάρη στὴ θερμότητα ποὺ δίνει μία ἐστία. Ὁ ἀτμὸς σπρώχει τὸ ἔμβολο τῆς μηχανῆς καὶ ἔτσι παράγεται ὄρισμένο ἔργο.

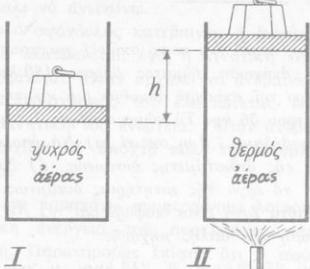
Ἀκριβεῖς μετρήσεις ἔδειξαν διτὶ ἔνα μέρος τῆς θερμότητας ποὺ δίνει τὸ καύσιμο μετατρέπεται σὲ ἔργο.

**Πείραμα 2.** Ένας κατακόρυφος κύλινδρος περιέχει ἀέρα, ποὺ πιέζεται ἀπὸ ἔνα βάρος τοποθετημένο ἐπάνω σὲ ἔνα ἔμβολο. Ἀν θερμάνουμε τὸν ἀέρα, θὰ παρατηρήσουμε διτὶ τὸ ἔμβολο, μαζὶ μὲ τὸ βάρος, ὑψώνεται κατὰ ἔνα ὑψός  $h$  (σχ. 62). Δηλαδὴ οἱ πιέζουσες δυνάμεις ποὺ ἀσκοῦνται ἀπὸ τὸν ἀέρα πάνω στὸ ἔμβολο



Σχ. 61. Μετατροπὴ τῆς θερμότητας σὲ μηχανικό ἔργο. Οἱ θερμοὶ ὑδρατμοὶ ἀσκοῦν πιέζουσες δυνάμεις στὸ πῦρα καὶ τὸ ἀκτινάσσουν ὀρμητικό.

**Πείραμα 1.** Θερμαίνομε ἔνα πωματισμένο μεταλλικὸ δοχεῖο, ποὺ περιέχει λίγο νερό



Σχ. 62. Οι πιέζουσες δυνάμεις του θερμού αέρα παράγουν μηχανικό έργο και άνυψωνουν τό εμβολίο με τό σώμα.

παράγουν μηχανικό έργο. Αύτό τό έργο παράγεται εξαιτίας τής θερμότητας, πού άποδίδεται από τήν έστια στόν περιορισμένο μέσα στόν κύλινδρο αέρα.

Πάνω σ' αυτή τήν άρχη βασίζεται και ή λειτουργία τῶν μηχανῶν ἐκρήξεως.

Η καυσή, συνήθως ἀτμῶν βενζίνης, μέσα στόν κύλινδρο, άποδίδει θερμότητα, πού παράγει τό ἀπαιτούμενο γιά τήν κίνηση τοῦ εμβόλου έργο.

Η ἀτμομηχανή καὶ ή μηχανή ἐκρήξεως (ἢ μηχανή ἐσωτερικῆς καύσης) δονομάζον-

ται θερμικὲς μηχανές ἢ θερμικοὶ κινητῆρες ἀπό τό γεγονός ὅτι ώς πηγὴ ἐνέργειας χρησιμοποιοῦν τή θερμότητα.

Από τά παραπάνω παραδείγματα συμπεραίνομε ὅτι:

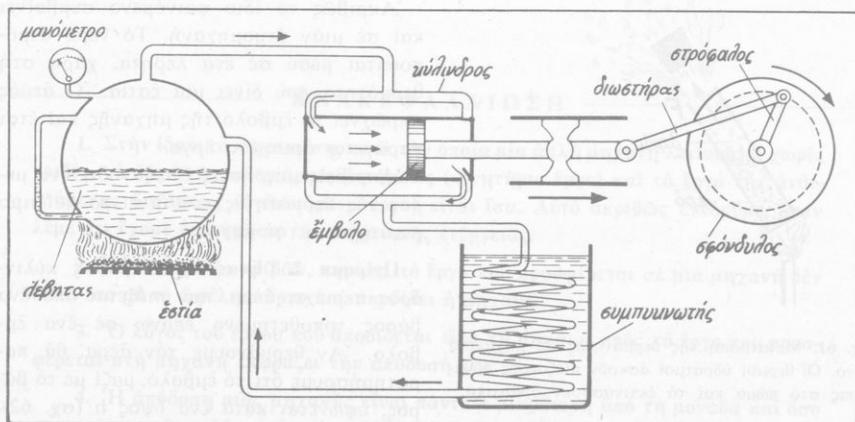
Η θερμότητα μπορεῖ νὰ μετατραπεῖ σὲ μηχανικὸ έργο.

§ 67. Ἀτμομηχανή. "Οπως εἰδαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, η ἀτμομηχανή εἶναι μιὰ θερμικὴ μηχανή, ποὺ μετατρέπει σὲ έργο ἵνα μέρος τῆς θερμότητας, ποὺ παίρνει από τό νερό ἐνδός λέβητα.

Ἀρχὴ τῆς λειτουργίας καὶ περιγραφή. Τὸ πείραμα τοῦ μεταλλικοῦ δοχείου μὲ τὸ νερό τό ὅποιο, ὅταν ζεστάθηκε τίναξε μακριὰ τὸ πῶμα (βλ. σχ. 61), ἐξηγεῖ τήν ἄρχη τῆς λειτουργίας μιᾶς ἀτμομηχανῆς. Δηλαδή:

Η πίεση τοῦ ἀτμοῦ, ποὺ παράγεται από τὸ νερό μέσα σὲ ἓνα κλειστὸ δοχεῖο, εἶναι ίκανὴ νὰ μετατοπίσει ἓνα σώμα.

Ο ἀτμὸς ποὺ παράγεται μέσα στὸ λέ-



Σχ. 63. Τομὴ ἀτμομηχανῆς. Φαίνεται ὁ λέβητας, ὁ κύλινδρος, ὁ συμπυκνωτής καὶ τὸ σύστημα διωστῆρα - στροφαλοῦ γιά τή μετατροπή μιᾶς παλινδρομικῆς κινήσεως σὲ περιστροφική.

βητα, προχωρεῖ σὲ ἔναν κύλινδρο, ὅπου ὑπάρχει ἔνα κινητὸ ξέμβολο. Ὁ ἀτμός σπρώχνει τὸ ξέμβολο αὐτὸ ποὺ κινεῖται παλινδρομικά (ἐμπρός - πίσω) μέσα στὸν κύλινδρο. Αὐτὴ ἡ ἀδιάκοπη παλινδρόμηση τοῦ ἐμβόλου μετατρέπεται σὲ περιστροφική κίνηση μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς μηχανικῆς διατάξεως, ποὺ ὁνομάζεται σύστημα διωστήρα-στροφάλου (σχ. 63).

Ἡ ἀτμομηχανὴ χαρακτηρίζεται σὰν ἀτμομηχανὴ διπλῆς ἐνέργειας, ὅταν ὁ ἀτμός ἐπιδρᾶ ἀλληλοιδιαδόχως σὲ κάθε μιὰ ἀπὸ τις ὁψεις τοῦ ἐμβόλου. Ὁ ἀτμός ἀφοῦ χρησιμοποιηθεῖ στὸν κύλινδρο, διώχνεται στὴν ἀτμόσφαιρα ἡ διοχετεύεται σὲ ἔνα συμπυκνωτή, ἀπὸ ποὺ ξαναστέλνεται στὸ λέβητα.

Ἡ ἀνακάλυψη τῆς ἀτμομηχανῆς δόδηγησε στὴν κατασκευὴ τῶν σιδηροδρόμων καθὼς καὶ στὴ μηχανοποίηση τῶν διαφόρων ἐργασιῶν.

**§ 68. Ἀπόδοση μιᾶς ἀτμομηχανῆς.** Ἡ ἰσχὺς μιᾶς ἀτμομηχανῆς, τὸ ἔργο δηλαδὴ ποὺ ἀποδίδει στὸ δευτερόλεπτο, ἔξαρται ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ παράγεται σὲ μιὰ διαδρομὴ τοῦ ἐμβόλου καὶ ἀπὸ τὸν ἀριθμὸ τῶν διαδρομῶν αὐτῶν σὲ κάθε δευτερόλεπτο.

Ἡ ἰσχὺς τῶν σύγχρονων ἀτμομηχανῶν κυμαίνεται ἀνάμεσα στοὺς 4 000 καὶ 6 000 ἵππους.

Γιά νά λειτουργήσει μιὰ ἀτμομηχανὴ ἰσχύος ἔστω 4 000 Ch, πρέπει νά ἀποδίδει ἡ ἐστία τῆς 7 000 kcal/sec, κατά μέσον δροῦ.

Ὅπως μᾶς εἶναι γνωστό, τὸ μηχανικὸ ισοδύναμο τῆς θερμίδας εἶναι 4,18 Joule. Ἐπομένως τὸ ἔργο σὲ μορφὴ θερμότητας ποὺ προσφέρει ἡ ἐστία στὸ κάθε δευτερόλεπτο εἶναι:

$$A' = 4,18 \cdot 7\,000 \cdot 1\,000 \text{ Joule} = 29\,260\,000 \text{ Joule.}$$

Τὸ ἔργο ποὺ ἀποδίδει ἡ ἀτμομηχανὴ στὸ ἔνα δευτερόλεπτο εἶναι:

$$A = 75 \cdot 4\,000 \cdot 9,81 \text{ Joule} = 2\,943\,000 \text{ Joule.}$$

Ἀπὸ τὸ παραπάνω παράδειγμα καταλαβαίνομε διτὶ σημαντικὸ στοιχεῖο γιά τὴν ἀξιολόγηση μιᾶς ἀτμομηχανῆς δὲν εἶναι μόνο ἡ ἰσχὺς ἀλλὰ καὶ ἡ ἀπόδοσή της.

Ἀπόδοση η μιᾶς ἀτμομηχανῆς ὁνομάζουμε τὸ λόγο τοῦ ἔργου, ποὺ παράγει ἡ μηχανὴ σ' ἔνα δρισμένο

χρονικὸ διάστημα, πρὸς τὸ ἔργο τὸ ισοδύναμο μὲ τὴ θερμότητα, ποὺ προσφέρεται ἀπὸ τὴν ἐστία στὸ ἴδιο χρονικὸ διάστημα.

Ἐπομένως ἡ ἀπόδοση η τῆς ἀτμομηχανῆς τοῦ παραδείγματός μας θὰ είναι:

$$\eta = \frac{2\,943\,000 \text{ J}}{29\,260\,000 \text{ J}} = 0,1 \text{ περίπου, δηλαδὴ } 10\%.$$

“Οπως παρατηροῦμε, ἡ ἀπόδοση τῆς ἀτμομηχανῆς ποὺ περιγράμμε είναι πολὺ μικρή, συγκεκριμένα τῆς τάξης τῶν 0,10. Αὐτὸ συμβαίνει, γιατὶ ἔνα μικρὸ μόνο ποσοτό τῆς θερμότητας ποὺ παράγεται ἀπὸ τὴν ἐστία μετατρέπεται σὲ μηχανικὸ ἔργο. Τὸ μεγαλύτερο μέρος αὐτῆς τῆς θερμότητας χάνεται, εἴτε μὲ ἀκτινοβολία εἴτε μὲ τὰ ἀρίστα τῆς καύσης εἴτε μὲ τὸν ἀτμὸ ποὺ ξεφεύγει ἀπὸ τὸν κύλινδρο.

Ἡ ἀπόδοση μιᾶς ἀτμομηχανῆς βελτιώνεται μὲ καταλληλες τροποποιήσεις καὶ διατάξεις. “Ἐτσι διακόπτομε τὴν εἰσόδο τῶν ἀτμῶν στὸν κύλινδρο προτὸ τὸ ξέμβολο διατρέξει δῆλη τὴ διαδρομὴ του. Ὁ ἀτμός ποὺ ὑπάρχει τώρα μέσα στὸν κύλινδρο συνεχίζει νά σπράγνει τὸ ξέμβολο στὸ ὑπόλοιπο τμῆμα τῆς διαδρομῆς του. Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο ὁ δύκος τοῦ ἀτμοῦ αὐξάνεται καὶ ἐλαττώνεται ἡ πιεστή του. Λέμε τότε δτὶ ὁ ἀτμὸς ἐκτονώθηκε.

Στὶς ἀτμομηχανὲς τελευταίου τύπου ἐκτονώνομε τὸν ἀτμὸ ὅστο τὸ δυνατὸ περισσότερο. Ἡ ίδια ποσότητα τοῦ ἀτμοῦ ἐκτονώνεται σὲ πολλοὺς διαδοχικοὺς κυλίνδρους μὲ συνεχῶς μεγαλύτερες διαμέτρους. Οἱ ἀτμομηχανὲς αὐτὲς ὀνομάζονται πολλαπλῆς ἐκτονώσεως.

Ἐπίσης ἀντὶ νά ἀφήσουμε τὸν ἀτμὸ νά διαφύγει στὴν ἀτμόσφαιρα, τὸν δηδογόνμε σὲ ἔναν συμπυκνωτή. Ὁ συμπυκνωτής είναι ἔνα μεταλλικὸ δοχεῖο χωρὶς ἀέρα, μέσα στὸ ὅπιο συμπυκνώτεται καὶ ὑγροποιεῖται ὁ ἀτμός, μόλις βγαίνει ἀπὸ τὸν κυλίνδρους. Ἡ θερμοκρασία του διατηρεῖται σταθερὴ στὴν περιοχὴ τῶν 40°C. Ἡ πίεση στὸν συμπυκνωτὴ θά είναι βέβαια ἵση μὲ τὴν τάση τῶν κορεσμένων ὑδρατμῶν σ' αὐτὴ τὴ θερμοκρασία (0,1 kp/cm²). Είναι δηλαδὴ μικρότερη ἀπὸ τὴν ἀτμόσφαιρικὴ πίεση. Τὸ ἔργο ἐπομένως ποὺ παράγεται σὲ μιὰ διαδρομὴ τοῦ ξέμβολου θὰ εἶναι μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἔργο ποὺ θὰ παραγόταν, ἀν οἱ ἀτμοὶ διοχετεύονταν στὸν ἀτμόσφαιρικὸ ἀέρα.

‘Ο συμπυκνωτής ὅμως είναι βαρὺς καὶ χρειάζεται ποσότητα νεροῦ γιά τὴν ψύξη. Αὐτὸς είναι ὁ κυριότερος λόγος γιὰ τὸν ὄποιον οἱ ἀτμομηχανὲς τῶν σιδηροδρομικῶν συρμῶν δὲν ἔχουν συμπυκνωτή.

1. Μία άτμομηχανή μᾶς ἐπιτρέπει νὰ μετατρέψουμε τὴ θερμικὴ ἐνέργεια, ποὺ προσφέρεται ἀπὸ μιὰ πηγὴ θερμότητας, σὲ μηχανικὴ ἐνέργεια. Ἡ άτμομηχανὴ εἶναι συνεπῶς μιὰ θερμικὴ μηχανή.

2. Μία άτμομηχανὴ περιλαμβάνει ἔνα λέβητα, ποὺ παρέχει σὲ ἔναν κύλινδρο ἀτμοὺς μὲ πίεση. Ἡ πιέζουσα δύναμη τοῦ ἀτμοῦ ἐνεργεῖ διαδοχικὰ καὶ στὶς δύο συνήθως ὑψεις τοῦ ἐμβόλου. Ἡ παλινδρομικὴ κίνηση τοῦ ἐμβόλου μετατρέπεται σὲ περιστροφική, μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς συστήματος διωστήρα-στροφάλου.

3. Ἡ ἀπόδοση μιᾶς άτμομηχανῆς εἶναι τὸ πηλίκο τοῦ ἔργου, ποὺ ἀπόδοσε ἡ άτμομηχανὴ σὲ ἔνα δρισμένο χρονικὸ διάστημα, πρὸς τὸ ἴσοδύναμο ἔργο τῆς θερμότητας, ποὺ ἀπελευθερώθηκε ἀπὸ τὴν ἐστία στὸ ἴδιο χρονικὸ διάστημα.

4. Ἡ ἀπόδοση μιᾶς άτμομηχανῆς εἶναι μικρή. Κυραίνεται γύρω ἀπὸ τὸ 0,1 (ἢ 10%). Βελτιώνουμε τὴν ἀπόδοση, ἀν ἐκμεταλλευτοῦμε τὴν ἐκτόνωση τῶν ἀτμῶν καὶ χρησιμοποιήσουμε συμπυκνωτή.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

70. Τὸ ἐμβόλο μιᾶς άτμομηχανῆς ἔχει διατομὴ ἐμβαδοῦ 250  $\text{cm}^2$ . Ὁ ἀτμὸς μπαίνει στὸν κύλινδρο μὲ πίεση 12  $\text{kPa/cm}^2$  καὶ βγαίνει ἀμέσως στὴν ἀτμόσφαιρα. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ δύναμη ποὺ σπάζει τὸ ἐμβόλο. Δίνεται ἡ ἀτμοσφαιρικὴ πίεση ἵση τῷ πόρῳ 1  $\text{kPa/cm}^2$ .  
(Απ. 2 750 kPa.)

71. Τὸ ἐμβόλο μιᾶς άτμομηχανῆς διπλῆς ἐνέργειας ἔχει διάμετρο 20 cm. Ὁ ἀτμὸς μπαίνει στὸν κύλινδρο μὲ πίεση 12  $\text{kPa/cm}^2$ . Υστερεῖ διοχετεύεται σὲ ἔνα συμπυκνωτή, ὃντος ἡ πίεση εἶναι 0,2  $\text{kPa/cm}^2$ . Ἡ διαδοσμὴ τοῦ ἐμβόλου είναι 60 cm. Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ ἔργο ποὺ παράγεται σὲ μιὰ πλήρη διαδοσμὴ ἀπὸ τὴ δύναμη μὲ τὴν ὁποῖα ὁ ἀτμὸς σπάζει τὸ ἐμβόλο.  
(Απ. 4 416 kpm.)

72. Γιὰ νὰ στερεώσουμε στὸ βυθὸ τοὺς πασσάλους,

ὅταν κατασκενάζομε τὰ θεμέλια τῆς γέφυρας ἐνὸς ποταμοῦ χορηγιμούοδη μιὰν ἀτμοκίνητη σφύρα. Αὐτὴ ἀποτελεῖται ἀπὸ μιὰ βαριὰ μάζα βάρους 500 kp, ἡ οποῖα ἀνυψώνεται ἀπὸ ἓνα κατακόρυφο ἐμβόλο. Τὸ ἐμβόλο κινεῖται μέσα σ' ἔναν κύλινδρο, ἐμβαδοῦ διατομῆς 150  $\text{cm}^2$ , καὶ πέτρει, μόλις δὲ ἀτμὸς ξεφύγει στὴν ἀτμόσφαιρα. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἐλάχιστη πίεση τοῦ ἀτμοῦ ποὺ μπορεῖ νὰ ὑφάσει τὴ μάζα τῆς σφύρας.  
(Απ. 4,3  $\text{kPa/cm}^2$ .)

73. Η ισχὺς ποὺ ἀποδίδεται ἀπὸ τὸν κινητήριο δύνανα μιᾶς άτμομηχανῆς εἶναι 96 Ch. Ἡ άτμομηχανὴ καταναλώνει 76 kg κανόσμο κάθε ὥρα. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἀπόδοση τῆς μηχανῆς, ἀν γνωρίζουμε ὅτι ἡ θερμότητα καύσης τοῦ ἀνθρακα εἶναι 7 500 kcal/kg.  
(Απ.  $\eta = 11\%$ .)

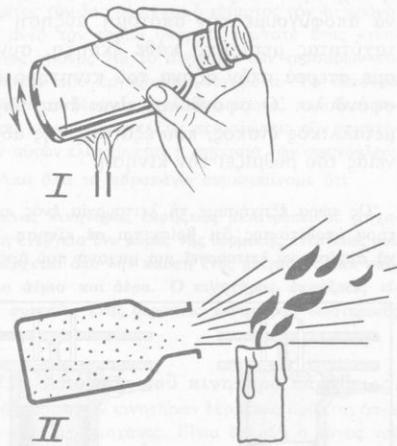
### ΙΔ' — ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ

§ 69. Γενικότητες. Οἱ πρῶτοι κινητῆρες ἐκρήξεως χρησιμοποιήθηκαν στὴν βιομηχανία ἀπὸ τὸ 1860. Ἡ συνεχής τελειοποίησή τους ἐπέτρεψε στὸν ἀνθρωπο, ἀνάμεσα σὲ πολλές ἄλλες ἐφαρμογές, τὴν κα-

τασκευὴ τοῦ αὐτοκινήτου καὶ τὴν πραγματοποίηση τῶν ἀεροσυγκοινωνιῶν.

§ 70. Μηχανές ἐκρήξεως. 1) Ἀρχὴ καὶ λειτουργία. α) Πείραμα. Στάζομε μερικὲς

σταγόνες βενζίνας μέσα σε ένα φιαλίδιο, τὸ πωματίζομε καὶ τὸ θερμαίνομε ἐλαφρά, ὅστε νὰ παραχθοῦν ἄτμοι βενζίνας (σχ. 64, I). Ξεβουλώνομε γρήγορα τὸ φιαλίδιο καὶ τὸ πλησιάζομε σὲ μιὰ φλόγα. Γίνεται τότε μιὰ μικρὴ ἔκρηξη, ποὺ διφείλεται στὴν ταχύτατη καύση τῆς βενζίνας (σχ. 64, II).

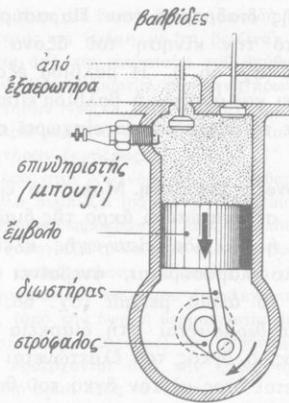


Σχ. 64. Ἡ βενζίνα ἔξαερώνεται (I). Ἡ γρήγορη καύση τοῦ μείγματος τῶν ἀτμῶν τῆς βενζίνας μὲ τὸν ἄερα γίνεται μὲ ἔκρηξη (II).

Στὸ πείραμα αὐτὸ παρατηροῦμε ὅτι ἡ καύση εἶναι σχεδὸν στιγμαία καὶ ὅτι ἡ θερμότητα ποὺ παράγεται ὑψώνει τὴ θερμοκρασία τῶν ἀερίων τῆς καύσης. Ἀν ἡ καύση πραγματοποιεῖται στὸ ἐσωτερικὸ ἐνὸς κλειστοῦ δοχείου, τὰ ἀέρια μποροῦν νὰ ἀποχήσουν πολὺ μεγάλη πίεση καὶ νὰ κινήσουν ἔνα ἔμβολο. Αὐτὴ εἶναι ἡ ἀρχὴ τῶν κινητήρων ἐκρήξεως. Δηλαδὴ:

Σὲ ἔνα κινητήρα ἐκρήξεως ἔνα μέρος τῆς θερμότητας ποὺ ἐλευθερώνεται ἀπὸ τὸ καύσιμο μετατρέπεται σὲ μηχανικὸ ἔργο.

β) Περιγραφὴ τῆς μηχανῆς. Σ' ἔναν κινητήρα ἐκρήξεως τὸ μείγμα τῶν ἀτμῶν τοῦ καύσιμου καὶ τοῦ ἄερα διοχετεύεται στὸ



Σχ. 65. Τομὴ μηχανῆς ἐσωτερικῆς καύσης.

θάλαμο ἐκρήξεως, ποὺ βρίσκεται στὸ ἀνώτερο τμῆμα τοῦ κυλίνδρου (σχ. 65).

Ἡ ἀνάφλεξη τοῦ μείγματος αὐτοῦ γίνεται μὲ ἔναν ἡλεκτρικὸ σπινθηριστή (μπουζί). Η πίεση τῶν ἀερίων ποὺ παράγονται ἀπὸ τὴν καύση σπρώχνει τὸ ἔμβολο. Ἔνας διωστήρας συνδέει τὸν κύλινδρο μὲ ἔνα στρόφαλο, ὁ οποῖος εἶναι στερεά συνδεμένος στὸν ἄξονα τοῦ κινητήρα καὶ ἔτσι ἡ παλινδρομικὴ κίνηση τοῦ ἔμβολου μετατρέπεται σὲ κυκλικὴ κίνηση. Ἡ εἰσόδος καὶ ἡ ἔξοδος τῶν ἀερίων γίνεται μὲ τὴ βοήθεια δύο βαλβίδων, ποὺ ἀνοιγοκλείενον αὐτόματα. Ὁ ἔξαερωτήρας (καρμπυρατέρ) ἔξασφαλίζει τὴν ἔξαερωση τοῦ καύσιμου καὶ τὴν ἀνάμειξη του μὲ ἄερα σὲ κατάλληλες ἀναλογίες, γιὰ νὰ ἔχουμε πλήρη καύση.

2) Λειτουργία. Περιγραφὴ τοῦ τετράχρονου κύκλου. Ἡ λειτουργία ἐνὸς κινητήρα ἐκρήξεως διλοκληρώνεται σὲ τέσσερεις διαφορετικὲς φάσεις. Αὐτὸ ἀκριβῶς ἐκφράζομε, ὅταν λέμε ὅτι ὁ κινητήρας εἶναι τετράχρονος.

Ιος χρόνος: 'Αναρρόφηση. Υποθέτομε ὅτι ὁ κινητήρας λειτουργεῖ καὶ θεωροῦμε ὅτι τὸ ἔμβολο βρίσκεται στὸ ἀνώτερο

σημειού τῆς διαδρομῆς του. Παρασύρεται ἔπειτα ἀπὸ τὴν κίνηση τοῦ ἄξονα καὶ κατεβαίνει (σχ. 66, I). Ἡ βαλβίδα ἔξαγωγῆς κλείνει καὶ ἀνοίγει ἡ βαλβίδα εἰσαγωγῆς, ὅπότε τὸ ἀέριο μεῖγμα εἰσχωρεῖ στὸν κύλινδρο.

**2ος χρόνος:** *Συμπίεση.* Μόλις τὸ ἔμβολο φτάσει στὸ κατώτερο ἄκρο τῆς διαδρομῆς του, ἡ βαλβίδα εἰσαγωγῆς κλείνει. Τὸ ἔμβολο παρασύρεται, ἀνεβαίνει καὶ συμπιέζει τὸ ἀέριο μεῖγμα (σχ. 66, II). Τὸ μεῖγμα θερμαίνεται στὴ διάρκεια τῆς συμπιέσεως, ὁ δύγκος του ἐλαττώνεται καὶ τέλος γίνεται ἵσος μὲ τὸν δύγκο τοῦ θαλάμου τῆς καύσης.

**3ος χρόνος:** *Ἐκρηξη καὶ ἐκτόνωση.* Ο σπινθηριστὴς λειτουργεῖ καὶ τὸ ἀέριο μεῖγμα ἀναφλέγεται μὲ ἐκρηξη. Τὰ ἀέρια τῆς καύσης ἀποχτοῦν ὑψηλὴ θερμοκρασία, ἐπειδὴ ὅμως οἱ δύο βαλβίδες μένουν κλειστές, δὲν ἔχουν χῶρο διαφύγῆς καὶ ἀποχτοῦν σχεδὸν ἀκαριαῖα μεγάλη πίεση, ἔξαιτίας τῆς δόπιας σπρώχνουν δυνατὰ τὸ ἔμβολο πρὸς τὸ κατώτερο σημεῖο τῆς διαδρομῆς του καὶ ἔτσι τὰ ἀέρια ἐκτονώνονται (σχ. 66, III). Ἡ φάση αὐτὴ ἀντιστοιχεῖ στὴν ἀπόδοση ἔργου ἀπὸ τὴν μηχανή.

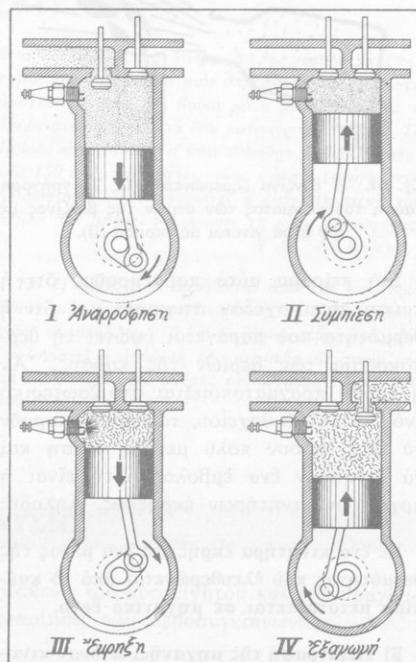
**4ος χρόνος:** *Ἐξαγωγὴ.* Ἡ βαλβίδα ἔξαγωγῆς ἀνοίγει. ἔξαιτίας τῆς ταχύτητας ποὺ πήρε στὴν προηγούμενη φάση τὸ ἔμβολο συνεχίζει τὴν κίνησή του πρὸς τὰ ἐπάνω μὲ ἀποτέλεσμα νὰ διώχνει τὰ ἀέρια τῆς καύσης (σχ. 66, IV). "Οταν τὸ ἔμβολο φτάσει στὸ ψηλότερο σημεῖο τῆς διαδρομῆς του, ἡ βαλβίδα ἔξαγωγῆς κλείνει καὶ οἱ ἴδιες λειτουργίες ἐπαναλαμβάνονται μὲ τὴν ἴδια ἀκολουθία.

Τὸ σύνολο τῶν τεσσάρων αὐτῶν χρόνων ἀποτελεῖ ἔναν κύκλο.

Κατὰ τὴ διάρκεια ἐνὸς κύκλου τὸ ἔμβολο κάνει δύο παλινδρομῆσεις καὶ συνεπὸς ὁ ἄξονας τοῦ κινητήρα κάνει δύο περιστροφές. Παρατηροῦμε δῆμος δῆτι στὸ ἔμ-

βολο ἐνεργοῦν πιέζουσες δυνάμεις μόνο στὴ διάρκεια τοῦ τρίτου χρόνου. Δηλαδὴ ὁ κύκλος περιλαμβάνει ἕνα μόνο κινητήριο χρόνο. Καὶ στοὺς ἄλλους τρεῖς χρόνους ὁ κινητήρας συνεχίζει τὴ λειτουργία του, ἀποδίδοντας κινητικὴ ἐνέργεια στὰ κινητὰ μέρη τῆς μηχανῆς, ἀλλὰ ἡ ταχύτητά τους τείνει νὰ ἀλλαττωθεῖ. Γιὰ νὰ ἀποφύγουμε τὴν ἀπότομη αὔξηση τῆς ταχύτητας μετὰ ἀπὸ κάθε ἐκρηξη, συνδέομε στερεά στὸν ἄξονα τοῦ κινητήρα ἔνα σφρόνδυλο. Ὁ σφρόνδυλος εἶναι ἔνας βαρὺς μεταλλικὸς δίσκος, ποὺ ἔξαιτίας τῆς ἀδράνειας του ρυθμίζει τὴν κίνηση.

Ὦ τώρα ἔξηγήσαμε τὴ λειτουργία ἐνὸς κινητήρα ὑποθέτοντας ὅτι βρίσκεται σὲ κίνηση. Γιὰ νὰ ἀρχίσει νὰ λειτουργεῖ μιὰ μηχανὴ ποὺ ἡρεμεῖ,



Σχ. 66. Οι τέσερεις φάσεις τῆς λειτουργίας ἐνὸς τετράχρονου κινητήρα.

είναι άπαραίτητο νά της χορηγηθεί μιά ποσότητα άρειου μείγματος, ή όποια νά συμπιεστεί, ώστε νά δημιουργηθεί η πρώτη έκρηξη. Αυτό γίνεται συνήθως με τη βοήθεια μιᾶς ήλεκτρικής διατάξεως, που όνομάζεται έκκινητης.

Οι κινητήρες των αύτοκινήτων άποτελούνται συνήθως άπο τέσερες κυλίνδρους. "Οταν ο πρώτος κυλίνδρος διαγράφει τὸν 1ο χρόνο τοῦ κύκλου, ὁ δεύτερος κυλίνδρος διαγράφει τὸ 2ο χρόνο, ὁ τρίτος τὸν 3ο χρόνο καὶ ὁ τέταρτος τὸν 4ο χρόνο. Μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο οὐπάρχει πάντοτε ἔνας κινητήριος χρόνος γιὰ τὸ σύστημα τῶν τεσσάρων κυλίνδρων, που ἐργάζονται σύγχρονα. Τὰ διάφορα ἔμβολα συνδέονται στὸν ίδιο ἄξονα, που ἔτσι κινεῖται κανονικότερα. Στὶς περιπώσεις τῶν κινητήρων αὐτῶν ἐλαττώνεται ἡ σημασία τῶν σφροδύλων.

'Απὸ δὴ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε διτι:

"Ἐνας κινητήρας ἐκρήξεως μετατρέπει σὲ μηχανική ἐνέργεια ἔνα μέρος τῆς θερμικῆς ἐνέργειας ποὺ προέρχεται ἀπὸ τὴν καύση ἐνὸς μείγματος ἀπὸ καύσιμο ἀέριο καὶ ἀέρα. Ὁ κινητήρας ἐκρήξεως είναι συνεπῶς ἔνας θερμικός κινητήρας ἐσωτερικῆς καύσης.

**§ 71. "Απόδοση τοῦ κινητήρα ἐκρήξεως.** Ὡς ἀπόδοση τῶν κινητήρων ἐκρήξεως ὅριζεται διπος καὶ στὶς ἀτμομηχανές. Εἰναι δηλαδὴ ὁ λόγος τοῦ ἔργου, που πραγματοποιεῖται ἀπὸ τὸν κινητήρα σὲ ἔνα διστάσμα χρονικοῦ διάστημα, πρὸς τὸ ισοδύναμο μηχανικὸ ἔργο τῆς θερμότητας, ποὺ ἀποδίδει τὸ καύσιμο στὸ ίδιο χρονικὸ διάστημα.

Ἡ ἀπόδοση ἐνὸς κινητήρα ἐκρήξεως κυμαίνεται γενικά ἀνάμεσα στὶς τιμὲς 0,25 καὶ 0,30, είναι ἐπομένως σημαντικά μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἀπόδοση τῶν ἀτμομηχανῶν.

**§ 72. Κινητήρες καύσης. Κινητήρες Ντῆζελ.** Οἱ κινητήρες καύσης χρησιμοποιοῦν γιὰ καύσιμα ὑγρὰ λιγότερο πτητικά ἀπὸ τὴ βενζίνα (δηλαδὴ ὑγρὰ που δὲν ἔχειερώνονται τόσο ευκολα),

ὅπως είναι τὰ βαριά ἔλαια (δηλαδὴ μεγάλης πυκνότητας σὲ σχέση μὲ τὴ βενζίνα), ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴν ἀπόσταξη τοῦ ἀκάθαρτου πετρελαίου. Ἡ λειτουργία τῶν κινητήρων καύσης ἡ κινητήρων Ντῆζελ, διπος ὄνομάζονται διαφορετικά, διαφέρει αἰσθητὰ ἀπὸ τὴ λειτουργία τῶν κοινῶν κινητήρων ἐκρήξεως.

Μέσα στὸν κύλινδρο βάζομε καθαρὸ ἀέρα. Τὸ ἔμβολο συμπλεῖται ισχυρὰ τὸν ἀέρα αὐτὸν, ὃστοι ἀποκτήσει θερμοκρασία 550° C περίπου. Τότε ἀκριβῶς χορηγοῦμε τὸ καύσιμο σὰν σύννεφο ἀπὸ λεπτότατα καταμερισμένα σταγονίδια καὶ μὲ πίεση. Τὰ σταγονίδια τοῦ καύσιμου ἀναφλέγονται ἀπὸ μόνα τους (ἀπὸ τὴν ὑψηλὴ θερμοκρασία τοῦ ἀέρα ποὺ οὐπάρχει στὸν κύλινδρο) καὶ ἡ πίεση τῶν ἀερίων ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὴν καύση σπρώχνει τὸ ἔμβολο βίᾳ πρὸς τὰ κάτω.

Παρατηροῦμε δῆτα στοὺς κινητήρες Ντῆζελ δὲν συμβαίνει ἔξαρωση καὶ ἀνάμειξη τοῦ καύσιμου μὲ τὸν ἀέρα, διπος στὶς μηχανές ἐκρήξεως. Συνεπόδες ἔνας κινητήρας Ντῆζελ δὲν περιλαμβάνει οὔτε ἔξαρωτήρα (καρμπυρατέρ), οὔτε διάταξη ἀναφλέξεως (μπουζί).

Ἡ ἀπόδοσή του μπορεῖ νά φτάσει καὶ στὰ 40% (δηλαδὴ  $\eta = 0,40$ ). Υπερτερεὶ δηλαδὴ σὲ ἀπόδοση ἀπὸ διε τις ἄλλες θερμικές μηχανές. Ἐξάλλου ἐπειδὴ ὁ κινητήρας αὐτὸς καταναλώνει καύσιμα πολὺ φτηνότερα ἀπὸ τὰ καύσιμα ποὺ καταναλώνουν ἄλλοι κινητήρες (ἀτμομηχανές, βενζίνοκινητήρες) ἡ χρήση του είναι πολὺ οικονομική.

Στὶς νεώτερες ναυπηγικὲς κατασκευές ἀντικαθιστοῦν δῦλο καὶ περισσότερο τὶς ἀτμομηχανές μὲ μεγάλους κινητήρες Ντῆζελ. Ἡ ἰσχὺς αὐτῶν τῶν κινητήρων μπορεῖ νά φτάσει τοὺς 30 000 Ch. Πολυάριθμα φορτηγά καθώς καὶ κοινὰ αὐτοκίνητα τουρισμοῦ κινούνται μὲ κινητήρες Ντῆζελ. Σήμερα πιὰ καὶ οἱ σιδηροδρομικοὶ συρμοὶ κινούνται μὲ κινητήρες Ντῆζελ. Ἡ χρήση τους συμπληρώνει τὰ κενὰ τῶν ήλεκτρικῶν κινητήρων στὴν προσπάθεια τοῦ ἀνθρώπου νά ὑπερνικήσει τὶς δυσκολίες τῶν μεταφορῶν.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Ἐνα μεῖγμα ἀέρα καὶ ἀερίου καύσιμου σὲ κατάλληλη ἀναλογία μπορεῖ νά ἀναφλεχτεὶ μὲ ἐκρήξη, δημιουργώντας ἀέρια ὑψηλῆς θερμοκρασίας.

2. "Ἐνας κινητήρας ἐκρήξεως είναι κινητήρας ἐσωτερικῆς καύσης, ποὺ μετατρέπει σὲ μηχανικὴν ἐνέργεια τὴ θερμικὴ ἐνέργεια, ποὺ προέρχεται ἀπὸ τὴν καύση ἐνὸς μείγματος ἀέρα καὶ ἀερίου καύσιμου. Τὸ ἀέριο καύσιμο εἰσάγεται στὸν κύ-

λινδρο τοῦ κινητήρα, ὅπου μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς σπινθηριστῇ ἀρχίζει ἡ καύση τοῦ μείγματος.

3. "Ἐνας κινητήρας ἐκρήξεως μπαίνει σὲ λειτουργία εἰτε μὲ τὸ χέρι (μανιβέλα) εἴτε μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς ἡλεκτρικοῦ ἐκκινητῆ.

4. Ἡ μηχανὴ Ντῆζελ είναι ἔνας κινητήρας ἐσωτερικῆς κάυσης, ποὺ χρησιμοποιεῖ ὑγρὰ καύσμα λιγότερο πτητικά ἀπὸ τὴ βενζίνα. Τὸ καύσμα αὐτὸς εἰσάγεται στὸν κύλινδρο μὲ μορφὴ σύννεφου ἀπὸ στάγονίδια καὶ ἀναφλέγεται προοδευτικά ἀπὸ μόνο του.

5. Ἡ βασικὴ τεχνικὴ διαφορὰ ἀνάμεσα στοὺς κινητῆρες ἐκρήξεως καὶ στοὺς κινητῆρες καύσης (Ντῆζελ) είναι ὅτι: Στοὺς κινητῆρες ἐκρήξεως τὸ ὑγρὸ καύσμα (βενζίνα) εἰσάγεται στὸν κύλινδρο σὲ ἀέρια κατάσταση καὶ ἀποτελεῖ μείγμα μὲ τὸν ἀτμοσφαιρικὸν ἀέρα, ἐνῷ στοὺς κινητῆρες Ντῆζελ τὸ ὑγρὸ καύσμα εἰσάγεται στὸν κύλινδρο σὲ ὑγρὴ κατάσταση, μὲ μορφὴ σύννεφου ἀπὸ σταγονίδια, λεπτότατα καταμερισμένα.

6. Οἱ κινητῆρες ἐκρήξεως καὶ καύσης ἔχουν τὴν κοινὴ ὄνομασία κινητῆρες ἐσωτερικῆς καύσης, ἐπειδὴ ἡ καύση τοῦ καύσμου μείγματος, ποὺ θὰ προσφέρει τὴν ἀπαραίτητη ποσότητα θερμότητας, γίνεται μέσα στὴ μηχανὴ, ἐνῷ ἀντίθετα στὶς ἀτμομηχανὲς ἡ θερμότητα προσφέρεται ἀπὸ ἔξω (ἔστια) στὸ λέβητα.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

74. "Ἐνας κινητήρας ἐκρήξεως, ἰσχύος 1 Ch, καταναλῶνει κατὰ μέσον ὅρο 220 gr βενζίνα σὲ μιὰ ὥρα. Νὰ βρεθεῖ ἡ ἀπόδοση τῆς μηχανῆς. Γνωρίζομε ὅτι ἡ θερματικὴ ἰσχὺς τῆς βενζίνας είναι 11 000 kcal/kg. (Απ. η = 0,26.)

75. Μιὰ μηχανὴ ἐσωτερικῆς καύσης καταναλώνει 8 λίτρα βενζίνας κάθε ὥρα. "Αν ἡ βενζίνωμαρη ἔχει ἵσχυ 14 Ch, νὰ βρεθεῖ ἡ ἀπόδοση τῆς μηχανῆς. Δίνεται ἡ θερμότητα καύσης τῆς βενζίνας: 8 000 kcal/l. (Απ. 14 % περίπου.)

76. "Ἐνας βενζίνωμαρης ἔχει ἵσχυ 300 Ch καὶ καταναλώνει 70 kg βενζίνα κάθε ὥρα. "Αν ἡ θερμότητα καύσης τῆς βενζίνας είναι 11 000 kcal/kg, νὰ βρεθεῖ ὁ συντελεστής ἀπόδοσεως τῆς μηχανῆς. (Απ. 0,24.)

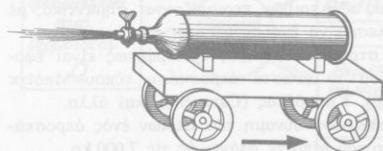
77. "Ἐνας κινητήρας ἐκρήξεως ἰσχύος 1 000 Ch χρησιμοποιεῖ γιὰ καύσμα τὴ βενζίνα, τῆς ὅποιας ἡ θερμότητα καύσης είναι 10 000 kcal/kg. "Αν ὁ κινητήρας ἔχει ἀπόδοση 30 %, νὰ βρεθεῖ ἡ ὡριαία κατανάλωση σὲ βενζίνα. (Απ. 210 kg/h.)

§ 73. Άρχη τῆς λειτουργίας τῶν κινητήρων ἀντιδράσεως. Οἱ πύραυλοι ἀποτελοῦν ἐφαρμογὴ τῶν κινητήρων ἀντιδράσεως. Θὰ ἔξετάσομε πρῶτα τὴν ἀρχὴ τῆς λειτουργίας αὐτῶν τῶν κινητήρων.

**Πείραμα.** Ἐπάνω σὲ ἔνα βαγονάκι ὑπάρχει ἔνα χαλύβδινο δοχεῖο γεμάτο μὲ ἀέριο σὲ μεγάλη πίεση (σχ. 67). Μόλις ἀνοίξουμε τὴ στρόφιγγα τοῦ δοχείου, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι ἔκρεει (ξεφεύγει) ὁρμητικά ἄέριο, ἐνδισυγχρόνως τὸ βαγονάκι μὲ τὸ δοχεῖο κινεῖται μὲ ἀντίθετη φορὰ ἀπὸ τὴν ἐκροή τοῦ ἀερίου. Αὐτὸ συμβαίνει, ἐπειδὴ τὸ περιορισμένο ἄέριο ἀσκεῖ στὰ ἐσωτερικὰ τοιχώματα τοῦ δοχείου δυνάμεις, ποὺ ἰσορροποῦν μεταξὺ τους, δταν τὸ δοχεῖο εἶναι κλειστό. Μόλις δμως ἀνοίξουμε τὴ στρόφιγγα, ἡ δύναμη ποὺ ἐνεργοῦσε στὸ ἀνοιχτὸ τώρα σημεῖο τοῦ δοχείου παύει νὰ ὑπάρχει. Κατὰ συνέπεια δὲν ἰσορροπεῖται πιὰ ἡ δύναμη ποὺ εἶναι ἵση κατὰ μέτρο ἀλλὰ ἀντίθετης φορᾶς καὶ ποὺ ἀσκεῖται στὸ ἀκριβῶς ἀπέναντι τμῆμα τοῦ τοιχώματος.

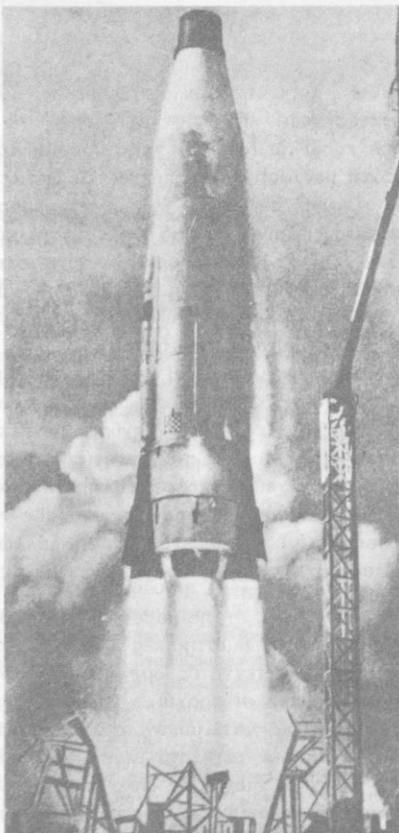
Αὐτὴ ἡ δύναμη, ποὺ ἔπαψε νὰ ἰσορροπεῖται, παρασύρει τὸ σύστημα βαγονάκι - δοχεῖο σὲ κίνηση ἀντίθετης φορᾶς πρὸς τὴ φορὰ ἐκροής τοῦ ἀερίου.

Αὐτὴ εἶναι ἡ ἀρχὴ τῆς λειτουργίας τῶν κινητήρων ἀντιδράσεως.



Σχ. 67. Άρχη τῆς λειτουργίας τῶν κινητήρων ἀντιδράσεως. Τὸ βαγονάκι κινεῖται μὲ φορὰ ἀντίθετη πρὸς τὴ φορὰ ἔξοδου τῶν ἀερίων.

§ 74. Πύραυλοι. Οἱ κινητήρας ἀντιδράσεως εἶναι ὁ πιὸ ἀπλὸς καὶ ὁ παλαιότερος πύραυλος. "Ολοι γνωρίζομε τὰ πυροτεχνήματα. Ἡ σκόνη ποὺ περιέχουν εἶναι



Σχ. 68. Κατακόρυφη ἐκτόξευση πυραύλου. Τὸ μῆκος του εἶναι 24 m, ἡ διλικὴ του μάζα 110 000 kg. Ἀπὸ αὐτὰ τὰ 100 000 kg εἶναι καύσιμα. Τὰ ἄέρια προΐόντα τῆς καύσης ἐκτινάσσονται μὲ ταχύτητα τῆς τάξης τῶν 2 500 m/sec. Ἡ πρωστικὴ του δύναμη εἶναι 170 000 kp περίπου.

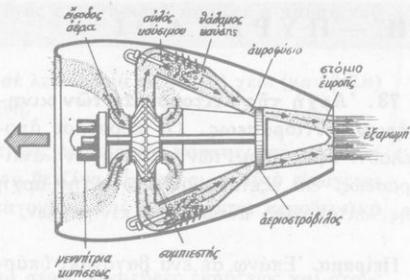
ένα μετίγμα άπό καύσιμα και μιάν άλλη ψλη, ή όποια μὲ τὴν ἐπίδραση τῆς θερμότητας ποὺ ἀναπτύσσεται κατὰ τὴν καύση παθαίνει ἀποσύνθεση και ἀποδίδει δεξυγόνο ή εὐφλεκτοῦ ψλικοῦ. Τὸ καύσιμο και τὸ εὐφλεκτοῦ ψλικοῦ ἀντιδροῦν στὸν θάλαμο τῆς καύσης και παράγον μιὰ δρισμένη ποσότητα ἀερίου. Τὸ ἀέριο φτάνει σὲ ὑψηλή θερμοκρασία και ἔκτονώνται βίαια. Ὡς συνέπεια αὐτῆς τῆς λειτουργίας ἔχομε τὴν κίνηση τοῦ πυροτεχνήματος πρὸς τὴν ἀντίθετη φορά τῆς πορείας τῶν ἀερίων ποὺ ἔκτονώνται.

Οἱ πύραυλοι (σχ. 68) χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴ μεταφορὰ ἀντικειμένων σὲ μεγάλη ἀπόσταση ή σὲ μεγάλο ὄψος. Μεταφέρουν μαζὶ τους καύσιμα και εὐφλεκτοῦ ψλικοῦ. Ἡ προώθησή τους μπορεῖ νὰ συνεχιστεῖ και ἔξω ἀπὸ τὴ γήινη ἀτμόσφαιρα και αὐτὸ δίνει τὴ δυνατότητα στὸν πύραυλο νὰ ἀποχτῆσει μεγάλη ταχύτητα.

“Οταν τὰ καύσιμα και ἡ εὐφλεκτὴ ψλη ἔχαντληθοῦν, ὁ πύραυλος ἔξακολουθεῖ νὰ κινεῖται και μπορεῖ νὰ διανύσει μεγάλες ἀπόστασεις, ἔξαιτιας τῆς κινητικῆς ἐνέργειας, ποὺ ἔχει ἀποκτήσει. Βλήματα, ποὺ προωθοῦνται ἀπὸ πυραύλους, μποροῦν νὰ πέσουν στὸ ἕδαφος σὲ ἀπόσταση πολλῶν χιλιάδων χιλιομέτρων ἀπὸ τὴ θέση βολῆς.

‘Ο πύραυλος χρησιμοποιεῖται σήμερα εὐρύτατα στὶς διαστημικὲς ἔρευνες. Γιὰ νὰ μπεῖ ἔνας τεχνητὸς δορυφόρος ἡ ἔνα διαστημόπλοιο σὲ τροχιά, χρησιμοποιοῦνται πύραυλοι, γιατὶ μόνον αὐτοὶ μποροῦν νὰ ἀποχτήσουν ταχύτητα μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ταχύτητα διαφυγῆς. Πολλὰ σύγχρονα ἀεροπλάνα ἔχουν πυραύλους ποὺ τοὺς χρησιμοποιοῦν γιὰ περιορισμένο χρονικὸ διάστημα, εἰδικὰ ὅσο διαρκεῖ ἡ ἀπογείωση.

**§ 75. Στροβιλοκινητῆρες ἀντιδράσεως.** “Ἄλλοι κινητῆρες ἀντιδράσεως είναι οἱ διαφόρων τύπων προωτικοὶ κινητῆρες τῶν ἀεριωθούμενών ἀεροπλάνων.



Σχ. 69. Κινητήρας ἀεριωθούμενου ἀεροπλάνου.

Θὰ περιγράψουμε ἀπὸ αὐτοὺς ἔναν κινητήρα, ποὺ χρησιμοποιεῖται στὴν πολιτικὴ ἀεροπορία εὐρύτατα και ὀνομάζεται ἔξαιτιας τῆς κατασκευῆς του στροβιλοκινητῆρας ἀντιδράσεως (σχ. 69).

Στοὺς στροβιλοκινητῆρες τὸ καύσιμο μπαίνει στὸ θάλαμο τῆς καύσης ἀπὸ μιὰ βαλβίδα και ἔρχεται σὲ ἐπαφὴ μὲ τὸν ἀτμοσφαιρικὸ ἀέρα, ποὺ ἔχει και αὐτὸς εἰσαχθεῖ ἐκεῖ. Μετὰ τὴν καύση τὰ καυσαέρια ἀπὸ τὴ μεγάλη θερμοκρασία τους ἀποχθοῦν μεγάλη πίεση, ἐκτονώνταν μὲ μεγάλη ταχύτητα και ἔσφευγον ἀπὸ τὸ πίσω μέρος τοῦ κινητῆρα, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ προκαλοῦν κίνηση τοῦ ἀεροπλάνου πρὸς τὴν ἀντίθετη κατεύθυνση.

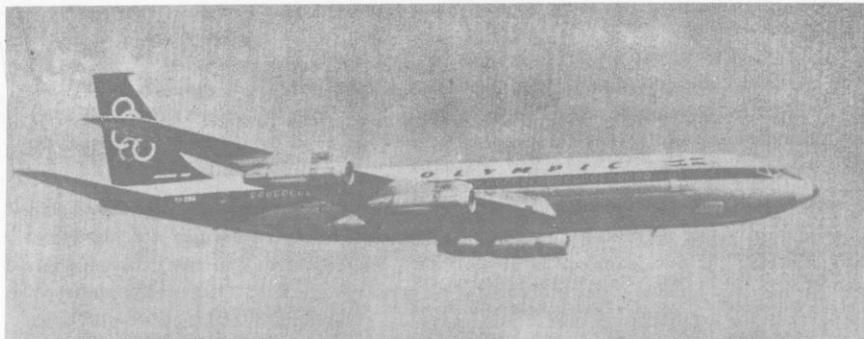
Γιὰ νὰ είναι ἡ καύση πιὸ ἔντονη, πρέπει ὁ ἀτμοσφαιρικὸς ἀέρας ποὺ ἔρχεται σὲ ἐπαφὴ μὲ τὸ καύσιμο νὰ ἔχει συμπιεστεῖ. Γι' αὐτὸ και τὰ ἀέρια τῆς καύσης κατὰ τὴν ἐκτόνωσή τους κινοῦν ἔναν ἀεριοστρόβιλο, ποὺ θέτει και αὐτὸς σὲ κίνηση ἔνα συμπιεστή. Ὁ συμπιεστής ἀπορροφᾷ ἀπὸ τὸ ἐμπρός μέρος τοῦ κινητῆρα μάζες ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρα και τις συμπιέζει προτοῦ τὶς φέρει σὲ ἐπαφὴ μὲ τὸ καύσιμο.

‘Η μεγάλη ὑπεροχὴ τῶν στροβιλοκινητῶν ἀντιδράσεως ἀπὸ τοὺς συνηθισμένους κινητῆρες, ὀφείλεται στὸ διτὶ ο' αὐτοὺς τὰ κινούμενα μεταξὺ τους μέρη εἶναι πολὺ λιγύτερα ἀπὸ ὅσα στοὺς κοινοὺς κινητῆρες. Γι' αὐτὸ και οἱ ἀπώλειες ἐνέργειας ἔξαιτιας τῶν τριβῶν περιορίζονται σημαντικά, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ ἔχουμε ἀνέσηση τῆς ἀποδόσεως.

Μὲ στροβιλοκινητῆρες ἀντιδράσεως είναι ἐφοδιασμένα τὰ γνωστὰ ἀεροσκάφη τύπου Μπόλγκ (σχ. 70), Καραβέλας (Caravelle), και ἄλλα.

‘Η πεζουσα δύναμη τῶν ἀερίων ἐνὸς ἀεροσκάφους τύπου Μπόλγκ φτάνει ως τὶς 7 000 kp.

**§ 76. Ἀπόδοση θερμομηχανῆς.** ‘Η ἀπόδοση τῶν θερμικῶν μηχανῶν είναι μικρή. Εἰδαμε στὰ προηγούμενα κεφάλαια διτὶ ἡ ἀπόδοση μιᾶς ἀτμομηχα-



Σχ. 70. Αεριωθούμενο αεροπλάνο Μπόϊγκ 707 - 320 C μεταφορικής ίκανότητας 150 έπιβατών. Έχει 4 μηχανές. Πρωστική δύναμη κάθε κινητήρα 8 150 kp. Μέγιστη ταχύτητα πάνω άπο 1 000 km/h. Άκτινα δράσης 9 600 km. Ύψος πτήσης 7 500 m ως 12 500 m.

νήσ είναι 10% περίπου και ή άποδοση ένός κινητήρα έκρηξεως 30% περίπου.

Η πρώτη ματιά θα μᾶς κάνει ν' απορήσουμε με τήν μικρή τιμή τής άποδόσεως, θα λυθεῖ δώμας άρκετά εύκολα ή άπορία μας άμεσως παρακάτω.

Πραγματικά σε μιάν άτμομηχανή ή άποδός που βγαίνει από τὸν κύλινδρο έχει υψηλή θερμοκρασία και έτσι μιά μεγάλη ποσότητα θερμότητας χάνεται στὸ έξωτερικό περιβάλλον. Τὸ ίδιο συμβαίνει και μὲ τὶς μηχανές έκρηξεως. Πολλές θερμίδες χάνονται μὲ τὰ άέρια τῆς καύσης, που βγαίνουν απὸ τὸν κυλίνδρον στὴν άτμοσφαιρα, ἐνῶ ένα ἄλλο μέρος τῆς θερμότητας άποδίδεται στὸ ψυγεῖο τὸν κινητήρα και κατόπι διασπείρεται στὸν περιβάλλοντα ἀέρα.

Σὲ δόλους ἀνέξαιρέτως τοὺς θερμικοὺς κινητήρες ή θερμότητα παρέχεται ἀπὸ μία θεμητή δεξαμενὴ (λέβητας, θάλαμος έκρηξεως). Εστω Κ η ποσότητα

τῆς θερμότητος που προσφέρεται σὲ ἔνα όρισμένο χρονικό διάστημα. Μέρος αὐτῆς τῆς θερμότητας, ἔστω Q', άποδίδεται στὸ έξωτερικό περιβάλλον (ἢ στὸ συμπυκνωτή στὴν περίπτωση τῆς άτμομηχανῆς), ποὺ τὸ δονομάζουμε ψυχρὴ δεξαμενή.

Η διαφορά Q - Q' είναι ἐκείνη που μετατρέπεται σὲ μηχανικό ἔργο (σχ. 71). Τὸ ἔργο αὐτὸ Α' θὰ είναι:

$$A' = J \cdot (Q - Q')$$

Ἐπειδὴ τὸ μηχανικό ίστοδύναμο τῆς θερμότητας ποὺ προσφέρει ή θερμική δεξαμενή είναι  $A = J \cdot Q$ , η άποδοση  $\eta = A'/A$  θὰ είναι ίση μὲ:

$$\eta = \frac{J \cdot (Q - Q')}{J \cdot Q} = \frac{Q - Q'}{Q}$$

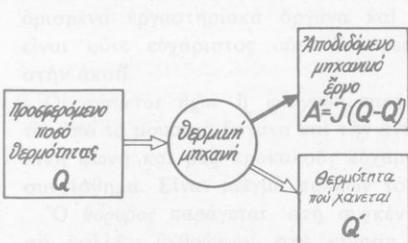
**Μέγιστη άποδοση.** "Οσες τελειοποίησει κι' ἀν γίνουν στὴν κατασκευὴ τῶν θερμικῶν μηχανῶν, είναι ἀδύνατο νὰ ξεπεράσει η άποδοση ἔνα όρισμένο δριό, ποὺ τὸ δονομάζουμε μέγιστη άποδοση.

"Αν  $\theta_1^{\circ}\text{C}$  είναι η θερμοκρασία τῆς θερμῆς δεξαμενῆς (τῆς πηγῆς δηλαδὴ ποὺ τροφοδοτεῖ μὲ θερμότητα τὴν μηχανήν) και  $\theta_2^{\circ}\text{C}$  η θερμοκρασία τῆς ψυχρῆς δεξαμενῆς, δπως άποδεικνύεται, η μέγιστη άποδοση ημερ μᾶς θερμικῆς μηχανῆς είναι ίση μὲ:

$$\eta_{μερ} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 + 273}$$

Δηλαδή:

"Οσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τῆς θερμῆς δεξαμενῆς, τόσο μεγαλύτερη είναι η μέγιστη άποδοση τῆς θερμικῆς μηχανῆς.



Σχ. 71. Ενα μέρος τοῦ ποσοῦ θερμότητας ποὺ δίνει ή ἔστια χάνεται στὴ μετατροπὴ τῆς θερμότητας σὲ μηχανικό ἔργο.

1. Ένα ρευστό, περιορισμένο μέσα σε ένα δοχείο, άσκει στα τοιχώματα του δοχείου πιέζουσες δυνάμεις, πού ίσορροπούνται μεταξύ τους. "Αν δημιουργείται ένα τμήμα του δοχείου, τότε η πιέζουσα δύναμη, ή αντίθετη σ' αυτό το τμήμα, δεν ίσορροπείται πια καὶ τὸ δοχεῖο τείνει νὰ κινηθεῖ μὲ φορὰ ἀντίθετη ἀπὸ τὴ φορὰ τῆς ἐκροῆς τοῦ ὑγροῦ.

2. Όνομάζομε κινητήρα ἀντιδράσεως, έναν κινητήρα, ποὺ δημιουργεῖ τὴν κίνηση χωρὶς μηχανικὴ παρεμβολή, χρησιμοποιώντας τὴ δύναμη ποὺ παράγεται ἐξαιτίας τῆς ἀντιδράσεως. Η δύναμη αὐτὴ δημιουργεῖται ἀπὸ τὴν ἐκτόνωση τῶν ἀερίων τῆς καύσης, πού ἐκτοξεύονται μὲ μεγάλη ταχύτητα. Ο κινητήρας ἀντιδράσεως δὲν περιλαμβάνει οὔτε διωστῆρες οὔτε στροφάλους. Η ἐνέργεια ποὺ παράγεται ἀπὸ τὴν καύση χρησιμοποιεῖται ἀμέσως γιὰ τὴν προώθηση τοῦ ὀχήματος, ποὺ εἶναι συνδεμένο μὲ τὸν κινητήρα.

3. Ό οὐρανος περιέχει καύσιμα καὶ εῦφλεκτα ύλικα καὶ μπορεῖ νὰ κινηθεῖ καὶ ἔξω ἀπὸ τὴν ἀτμόσφαιρα.

4. Ή ἀπόδοση η μιᾶς θερμομηχανῆς δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\eta = \frac{Q - Q'}{Q}$$

ὅπου  $Q$  ή ποσότητα θερμότητας ποὺ προσφέρεται σὲ ένα ὄρισμένο χρονικὸ διάστημα στὴ μηχανὴ καὶ  $Q'$  ή ποσότητα θερμότητας ποὺ ἀπορροφᾶται στὸ ἴδιο χρονικὸ διάστημα ἀπὸ τὸ περιβάλλον.

5. Ή μέγιστη ἀπόδοση η<sub>μεγ</sub> μιᾶς θερμικῆς μηχανῆς δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$\eta_{\text{μεγ}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 + 273}$$

ὅπου  $\theta_1$  ή θερμοκρασία τῆς θερμῆς δεξαμενῆς καὶ  $\theta_2$  ή θερμοκρασία τῆς ψυχρῆς δεξαμενῆς.

### III. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

ΙΣΤΟΧΟΣ

**§ 77. Εἰδη ἥχων.** Ο ἄνθρωπος ἐπικοινωνεῖ μὲ τῇ Φύσῃ χρησιμοποιώντας τις αἰσθήσεις του. Ἀνάμεσα σ' αὐτές είναι καὶ ἡ ἀκοή. Αἰσθητήριο δργανό τῆς ἀκοῆς είναι τὸ αὐτί, ποὺ μὲ αὐτὸ ἀκοῦμε τὰ κουδονίσματα, τὰ σαλπίσματα, τὰ μελωδικὰ τραγούδια, τὸ κελάδημα τῶν πουλιῶν, τὴ συναυλία μιᾶς δρχήστρας, τις φωνές τῶν συμμαθητῶν μας, τοὺς θορύβους ἐνὸς ἐργοστασίου, κλπ. "Ολα τὰ παραπάνω είναι ἥχοι. "Ωστε

Οἱ ἥχοι διακρίνονται συνήθως σὲ ἀ-  
πλοὺς ἥχους ἢ τόρους, σὲ σύνθετους ἥχους ἢ  
φθόγγους καὶ σὲ θοούβους καὶ κούτον.

Ο ἀπλὸς ἥχος ἢ τόνος παράγεται ἀπὸ δρισμένα ἐργαστηριακὰ ὅργανα καὶ δὲν εἶναι οὐτε εὐχάριστος οὐτε δυσάρεστος στὴν ἄκοήν.

Οἱ σύνθετοι ἥζοι ἡ φθόγγοι παράγονται ἀπὸ τὰ μουσικὰ ὅργανα καὶ τὴν ἀνθρώπινη φωνὴν καὶ μᾶς προκαλοῦν εὐχάριστο συναίσθημα. Εἶναι μεῖγμα πολλῶν τόνων.

Ο θόρυβος παράγεται στη συγκέντρωση πολλῶν ἀνθρώπων, στή κίνηση τῶν φύλλων ἐνδός δέντρου, στὸ σκίσιμο ἐνδός φύλλου γαρτιοῦ κ.λπ.

‘Ο κρότος είναι δυνατὸς ήχος μικρῆς

χρονικής διάρκειας και μᾶς προκαλεῖ δυσάρεστο συναίσθημα.

**§ 78. Παραγωγή τοῦ ἥχου. Πείραμα.** Στερεώνομε τὸ ἔνα ἄκρο ἐνὸς χαλύβδινου ραβδίοις σὲ μιὰ μέγγενη (σχ. 72). Κατόπιν ἀπομακρύνομε μὲ τὸ χέρι μας τὸ ἄλλο ἄκρο ἀπὸ τὴ θέση του καὶ τὸ ἀφήνομε ἐλεύθερο. Παρατηροῦμε τότε διὰ τὸ ραβδῖ ἀρχίζει νὰ κινεῖται περιοδικὰ γύρω ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ του θέση, ἡ, ὅπως λέμε, νὰ ἐκτελεῖ παλμικὲς κινήσεις, ποὺ ὅμως δὲν μποροῦμε νὰ τὶς παρακολουθήσουμε μὲ



**Σχ. 72.** Τὸ χαλύβδινο ραβδὶ πάλλεται καὶ παρά-  
γει ἥχο.

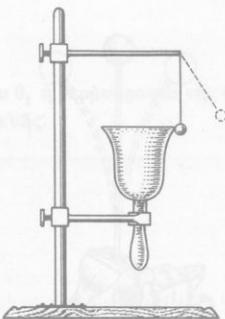
τὸ μάτι, ἐπειδὴ γίνονται μὲν μεγάλη ταχύτητα. Τὸ χαλύβδινο ραβδὶ πάλλεται (*δονεῖται*), ἐνδὸν σύγχρονα παράγει ἥχο.

Τὸ ἴδιο φαινόμενο εἶναι δυνατὸν νὰ τὸ παρατηρήσουμε καὶ σὲ μιὰ καλὰ τεντωμένη χορδὴ, ὅταν ἀπομακρύνουμε μὲ τὸ δάχτυλό μας τὸ μέσο της καὶ κατόπι τὸ ἀφῆσουμε ἐλεύθερο.

Ἄν ἄγγιξουμε μὲ τὸ χέρι μας τὸ χαλύβδινο ραβδὶ ποὺ πάλλεται ἡ τὴ χορδὴ ποὺ δονεῖται, παύει ἡ παλμικὴ κίνηση καὶ σταματᾶ ὁ ἥχος. Ὡστε:

Οἱ ἥχοι προκαλοῦνται ἀπὸ σώματα ποὺ πάλλονται ἀπὸ κάποια αἰτία.

Οἱ δονήσεις τῶν σωμάτων ποὺ παράγουν ἥχους δὲν εἰναι πάντοτε δρατές. Τὸ σχῆμα 73 ἐξηγεῖ πῶς μποροῦμε νὰ ἀντιληφθοῦμε τὶς παλμικὲς κινήσεις ἐνὸς σώματος ποὺ παράγει ἥχο. "Οταν χτυπήσουμε τὸ κουδούνι μὲ ἔνα σφυρί, τὸ σφαιρίδιο τοῦ ἑκκρεμοῦς ποὺ ἐγγίζει στὸ κουδούνι ἀρχίζει νὰ ἀναπηδᾷ. Μόλις ὅμως ἀκουμπήσουμε τὸ χέρι μας στὸ κουδούνι, τὸ σφαιρίδιο ἀκινητεῖ, ἐπειδὴ παύουν οἱ δονήσεις.



Σχ. 73. Οἱ παλμικὲς κινήσεις τοῦ κουδουνιοῦ ποὺ ἥχει προκαλοῦν ἀναπηδηση τοῦ σφαιριδίου τοῦ ἑκκρεμοῦς.

**§ 79. Διάδοση τοῦ ἥχου. Ἡχητικὰ κύματα.** Γιὰ νὰ προκαλέσουν ἐντύπωση στὸ

αὐτὶ οἱ ἡχητικὲς δονήσεις ἐνὸς σώματος, πρέπει νὰ φτάσουν ὡς αὐτό. Ἡ μεταφορὰ μπορεῖ νὰ γίνει ἀπὸ ἔνα ἐλαστικὸ μέσο, (ὅπως π.χ. ὁ ἀέρας, τὸ ξύλο, τὸ νερό), ποὺ νὰ διεγείρεται σὲ παλμικὴ κίνηση καὶ νὰ τὴ μεταδίδει ἀπὸ μόριο σὲ μόριο.

Ἄς θεωρήσουμε τὸ χαλύβδινο ραβδὶ τοῦ προηγούμενου πειράματος. Αὐτὸ καθὼς πάλλεται, σπρώχνει τὰ μόρια τοῦ ἀέρα ποὺ εἰναι δίπλα του, προκαλώντας μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο ἀλλοτε πύκνωση κι ἄλλοτε ἀραιώση τῶν μορίων τοῦ ἀέρα. Ὅπως δημοσ τὰ γειτονικὰ πρός τὸ ραβδὶ μόρια τοῦ ἀέρα πυκνώνουν ἡ ἀραιώνουν, καθὼς σπρώχνονται ἀπὸ τὸ ραβδὶ, σπρώχνουν μὲ τὴ σειρά τους τὰ διπλανά τους μόρια, κ' ἐκεῖνα πάλι τὰ διπλανά τους κ' ἔτσι ἡ δόνηση μεταδίδεται στὸ χῶρο.

Τὸ ἴδιο γίνεται μὲ τὴ διάδοση τῶν κυμάτων τοῦ νεροῦ σὲ μιὰ ἡρεμη λίμνη, ὅταν πετάξουμε μέσα μία πέτρα (σχ. 74).



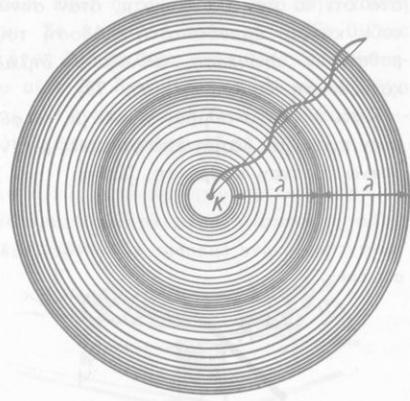
Σχ. 74. Ἡ πτώση τῆς πέτρας στὰ ἡρεμα νερά μιᾶς λίμνης προκαλεῖ ὑδατικὰ κύματα, ποὺ διαδίδονται σὲ ὅλη τὴν ἐπιφάνεια τῆς λίμνης.

Μὲ τὸν ἴδιο τρόπο γίνεται ἡ μετάδοση τοῦ ἥχου σ' ὅποιοδήποτε στερεό, ὑγρὸ ἢ ἀέριο σῶμα.

Τὸ σχῆμα 75 μᾶς δείχνει παραστατικὰ πῶς εἰναι τὰ πυκνώματα καὶ τὰ ἀραιώματα τῶν μορίων τοῦ ἀέρα, ποὺ μεταδίδονται σὰν τὰ κύματα στὸ νερό. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο τὰ ὀνομάζομε ἡχητικὰ κύματα.

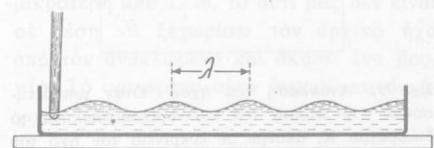
Ωστε:

Τὰ ἡχητικὰ κύματα ἀποτελοῦνται ἀπὸ πυκνώματα καὶ ἀραιώματα μορίων τοῦ ἀέρα, ἵπος τὰ κύματα τοῦ νεροῦ ἀποτελοῦνται ἀπὸ ὕγρώματα καὶ κοιλώματα.



Σχ. 75. Ήχητικά σφαιρικά κύματα, που διαδίδονται στὸ χῶρο ἀπὸ μιὰ μικρὴ ἡχητικὴ πηγὴ Κ. Διαιρίνονται τὰ πυκνώματα καὶ τὰ ἀραιώματα τῶν μορίων τοῦ ἄερα. Ἡ ἀπόσταση δύο γειτονικῶν πυκνωμάτων (ἢ ἀραιωμάτων) κατά τὴ διεύθυνση τῆς ἀκτίνας ἰσοδηματίζεται μὲ τὸ μῆκος κύματος.

Στὰ κύματα τοῦ νεροῦ διομάζομε μῆκος κύματος ( $\lambda$ ) τὴν ἀπόσταση δύο γειτονικῶν κορυφῶν ἢ δύο γειτονικῶν κοιλωμάτων (σχ. 76).



Σχ. 76. Τὰ ὑδάτινα κύματα ἀποτελοῦνται ἀπὸ ὑψώματα καὶ κοιλωμάτα. Ἡ ἀπόσταση δύο γειτονικῶν ὑψωμάτων ἢ κοιλωμάτων εἶναι ἵση μὲ τὸ μῆκος κύματος.

Στὰ ἡχητικά κύματα μῆκος κύματος ( $\lambda$ ) διομάζομε τὴν ἀπόσταση δύο γειτονικῶν πυκνωμάτων ἢ δύο γειτονικῶν ἀραιωμάτων (σχ. 77).

Ἐναὶ ἄλλο μέγεθος ποὺ χαρακτηρίζει τὸν ἥχο εἶναι ἡ συχνότητα του.

Συχνότητα τοῦ ἥχου ὀνομάζομε τὸν ἀριθμὸν τῶν ἡχητικῶν κυμάτων ποὺ παράγει ἡ ἡχογόνα πηγή, δηλαδὴ τὸ σῶμα ποὺ πάλεται.

Ἡ συχνότητα τοῦ ἥχου εἶναι ἴδια μὲ τὴ συχνότητα τῆς ἡχογόνας πηγῆς καὶ μετρίεται σὲ Χέρτς (Hz) ἢ κύκλους τὸ δευτερόλεπτο (c/sec), ποὺ εἶναι τὸ ἴδιο πράγμα.



Σχ. 77. Τὸ μῆκος κύματος ἐνὸς ἡχητικοῦ κύματος εἶναι ἴσο μὲ τὴν ἀπόσταση δύο γειτονικῶν πυκνωμάτων (ἢ ἀραιωμάτων) τῶν μορίων τοῦ ἄερα.

**§ 80. Ταχύτητα μεταδόσεως τοῦ ἥχου.** Ἡ μετάδοση τοῦ ἥχου δὲν εἶναι ἀκαριαία. Ἀν ἀπὸ μιὰ ὁρισμένη ἀπόσταση παρατηροῦμε ἔνα δῆλο ποὺ ἐκπυρσοκροτεῖ, βλέπομε πρῶτα τὴ λάμψη κι ὑστερα ἀπὸ λίγῳ ἀκοῦμε καὶ τὸν κρότο, μολονότι καὶ τὰ δύο φαινόμενα παράγονται σύγχρονα. Αὐτὸ δοφείλεται στὸ δῆλο ὃ ἥχος χρειάζεται πολὺ περισσότερο χρόνο, γιὰ νὰ διανύσει τὸ δάστημα ποὺ μᾶς χωρίζει, ἀπὸ τὸ δῆλο ποὺ ἐκπυρσοκροτεῖ.

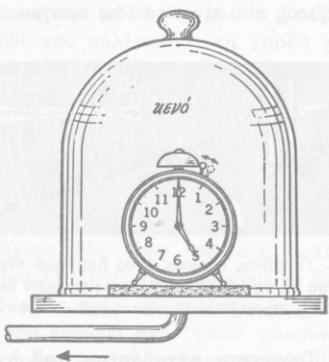
Ἀπὸ ἀκριβεῖς μετρήσεις βρέθηκε ὅτι ἡ ταχύτητα μεταδόσεως τοῦ ἥχου στὸν ἄερα, σὲ θερμοκρασία  $15^{\circ}\text{C}$ , εἶναι ἴση μὲ  $340 \text{ m/sec}$ .

Ἡ ταχύτητα τοῦ ἥχου διαφέρει ἀπὸ σῶμα σὲ σῶμα. Στὰ ὑγρά εἶναι μεγαλύτερη παρὰ στὰ ἀέρια καὶ στὰ στερεά εἶναι μεγαλύτερη παρὰ στὰ ὑγρά.

Ἡ θερμοκρασία ἐπιδρᾶ στὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἥχου. Ἐτσι στοὺς  $0^{\circ}\text{C}$  εἶναι  $331 \text{ m/sec}$  καὶ στοὺς  $20^{\circ}\text{C}$   $343 \text{ m/sec}$  στὸν ἄερα. Στὴ συνηθισμένη θερμοκρασία ἡ ταχύτητα τοῦ ἥχου στὸ νερὸ εἶναι

1 450 m/sec, στό ξύλο 3 000—4 000 m/sec, στά μέταλλα άπό 3 000 ως 5 000 m/sec.

Ο ήχος δὲν μεταδίδεται στό κενό, ἀφοῦ γιὰ νὰ μεταφερθεῖ ἀπὸ τὸ σῶμα ποὺ δονεῖται ως τὸ αὐτὶ μας, χρειάζεται κάποιο ἄλλο σῶμα, γιὰ νὰ μεταφέρει τὶς κυμάνσεις (σχ. 78). "Οστε:



Σχ. 78. 'Ο ήχος δὲν μεταδίδεται στό κενό. 'Οταν ἀφαιρεθεῖ ὁ ἄερας τοῦ κουδουνιοῦ τῆς ἀεραντλίας, τὸ κουδούνι τοῦ ρολογιοῦ πανεῖ νὰ ἀκούγεται.

Ο ήχος δὲν μεταδίδεται στό κενό. Ο ήχος μεταδίδεται μὲν μεγαλύτερη ταχύτητα στὰ στερεά, μὲν μικρότερη στὰ ὕγρα καὶ πιὸ μικρῇ ἀκούηται ταχύτητα στὰ ἀερία.

'Αποδεικνύεται διτὶ ἡ ταχύτητα υ διαδόσεως τῶν ήχητικῶν κυμάτων, τὸ μῆκος κύματος λ καὶ ἡ συχνότητα ν τοῦ ήχου συνδέονται μὲ τὴ σχέση:

$$v = \lambda \cdot n$$

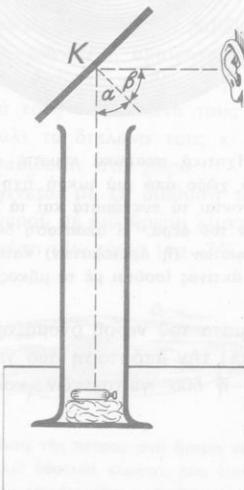
"Οταν ἡ ν ἐκφράζεται σε Χέρτες καὶ τὸ λ σὲ μέτρα, ἡ ταχύτητα υ βρίσκεται σὲ μέτρα τὸ δευτερόλεπτο.

§ 81. 'Ανάκλαση τοῦ ήχου. 'Ηχώ. "Αν σταθοῦμε σὲ μιὰν ἀπόσταση ἀπὸ ἔναν τοῖχο καὶ φωνάζομε, ξανακούμε ὑστερα ἀπὸ ἔνα μικρὸ χρονικὸ διάστημα τὴ φωνή μας, ποὺ ἔρχεται ἀπὸ τὸν τοῖχο. Τὸ φαι-

νόμενο αὐτὸ λέγεται ἡχώ καὶ διφείλεται στὸ διτὶ τὰ ήχητικά κύματα, σταν συναντοῦν κάποιο ἐμπόδιο στὴ διάδοσή τους, παθαίνουν ἀνάκλαση, ἀλλάζουν δηλαδὴ κατεύθυνση διάδοσεως (σχ. 79).

Κάτι ἀνάλογο συμβαίνει καὶ μὲ τὸ φῶς, σταν πέσει μιὰ δέσμη ἀπὸ φωτεινὲς ἀκτίνες ἐπάνω σ' ἔναν καθρέφτη. "Οστε:

Τὰ ήχητικά κύματα ἀνακλῶνται, ὅταν συναντήσουν ἔνα ἐμπόδιο κατὰ τὴν διάδοσή τους.

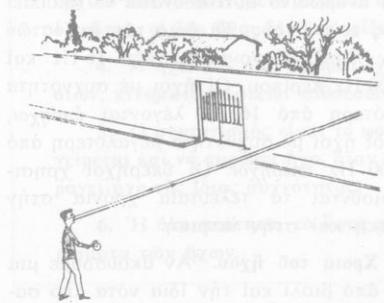


Σχ. 79. 'Ανάκλαση τοῦ ήχου. 'Οταν τοποθετήσουμε στὸ στόμιο τοῦ κύλινδρικοῦ σωλήνα τὸ διάφραγμα K, ἀκούμε μὲ εύκρινεια τὸν ήχο τοῦ ρολογιοῦ.

§ 82. 'Αντήχηση. Γιὰ νὰ διακρίνουμε τὴν ἡχώ, πρέπει νὰ στεκόμαστε σὲ ἀρκετὴ ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἐμπόδιο, ὅπου ἀνακλῶνται τὰ ήχητικά κύματα. Η ἀπόσταση αὐτὴ πρέπει νὰ είναι τέτοια, ὥστε ὁ ήχος ποὺ ἀνακλᾶται νὰ φτάσει στὸ αὐτὶ μας, ἀφοῦ περάσει χρονικὸ διάστημα ὥχι μικρότερο ἀπὸ τὸ 0,1 τοῦ δευτερολέπτου, ἀπὸ τότε ποὺ παράχθηκε ὁ κυρίως ήχος (σχ. 80). Αὐτὸ γίνεται, ἐπειδὴ τόσος χρόνος χρειά-

ζεται, για νὰ φύγει ἡ ἐντύπωση ποὺ προκαλεῖ ἔνας ἥχος ὕστερα ἀπὸ τὴν παύση του. Σὲ χρονικὸ διάστημα ὅμως 0,1 sec ὁ ἥχος διανύει 34 m στὸν ἄέρα. Τὸ διάστημα αὐτὸ ὅτα διανυθεῖ ἀπὸ τὸν κυρίως ἥχο καὶ τὸν ἀνακλώμενο. Ὁ καθένας τους λοιπὸν ἔχει νὰ διανύσει 17 m. "Ωστε:

Γιὰ νὰ προκληθεῖ ἥχω, πρέπει τὸ ἐμπόδιο νὰ ἀπέχει 17 μέτρα τουλάχιστο ἀπὸ τὸν παρατηρητή.



Σχ. 80. Γιὰ νὰ προκληθεῖ ἥχω, πρέπει νὰ ἔχουμε ἀπόσταση τουλάχιστο 17 m ἀπὸ τὸ ἐμπόδιο ἢ ὁ ἥχος νὰ διανύει τὴν ἀπόσταση μας ἀπὸ τὸ ἐμπόδιο καὶ νὰ ἐπιστρέψει σὲ χρόνο μεγαλύτερο ἀπὸ 0,1 sec.

"Αν τὸ ἐμπόδιο βρίσκεται σὲ ἀπόσταση μικρότερη ἀπὸ 17 m, τὸ αὐτὶ μας δὲν εἰναι σὲ θέση νὰ ἔχωρίσει τὸν ἀρχικὸ ἥχο ἀπὸ τὸν ἀνακλώμενο καὶ ἀκούει ἔνα βουητό. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ δονομάζεται ἀντίχηση. "Ωστε:

"Αντίχηση εἶναι τὸ φαινόμενο, κατὰ τὸ ὅποιο, ὅταν βρισκόμαστε μπροστά σ' ἔνα ἐμπόδιο, σὲ ἀπόσταση μικρότερη ἀπὸ 17 m, δὲν ἀκούμε καθαρὰ τὸν ἀνακλώμενο ἥχο.

"Αντίχηση παρατηροῦμε σὲ μερικὲς ἐκκλησίες, στὶς ὁποῖες ψάλλει ἔνας μονάχα ψάλτης καὶ ἡ φωνὴ του ἀντηχεῖ, δημιουργώντας τὴν ἐντύπωση διτι βουῆσει ὀδόκληρη ἢ ἐκκλησία. Ἡ ἀντίχηση εἶναι εὐχάριστη, ὅταν ἀκούμε μουσική, ἐνῶ εἶναι δυσάρεστη, ὅταν ἀκούμε δύμιλία, ἐπειδὴ συγ-

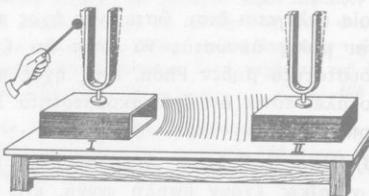
χέονται οἱ συλλαβές καὶ δὲν ἔχωρίζομε τὶ λέει ὁ διμιλητής.

Τὴν ἥχὸ καὶ τὴν ἀντίχηση προσέχουν ιδιαίτερα οἱ μηχανικοὶ ποὺ κατασκευάζουν αἴθουσες θεάτρων, κινηματογράφων, διαλέξεων κλπ., ὅπε τὸν διανύσει 17 m. "Ωστε:

Τὸ ἀρχαῖο θέατρο τῆς Ἐπιδαύρου θεωρεῖται θαῦμα ἀκουστικῆς τέχνης, ἀφοῦ μπορεῖ κανεὶς νὰ ἀκούσει καὶ τοὺς ψιθύρους τῶν ἡθοποιῶν, ἀπὸ τὶς πιὸ ψηλές θέσεις.

**§ 83. Συντονισμός.** Τὸ διαπασῶν ἀποτελεῖται ἀπὸ μία χαλύβδινη πρισματικὴ ράβδο, τὸ ἐπάνω μέρος τῆς ὁποίας ἔχει διαμορφωθεῖ σὲ σχῆμα U (σχ. 81). Διεγείρεται συνήθως μὲ ἐλαφρὸ κτύπημα τῶν σκελῶν του, ὅποτε αὐτὰ πάλλονται. Ἐπειδὴ ὅμως ὁ παραγόμενος ἥχος εἶναι ἀδύνατος, τὸ τοποθετοῦμε ἐπάνω σὲ κατάλληλο κύλινδρο κιβώτιο (ἀντηχεῖ), ἀνοιχτὸ στὴ μιὰ πλευρά του, κ' ἔτσι ὁ ἥχος ἐνισχύεται.

Τὰ διαπασῶν παράγουν δρισμένους τόνους.



Σχ. 81. Συντονισμός. Τὸ διαπασῶν (II) διεγείρεται, ἐπειδὴ διεγείρεται τὸ δμοίο του διαπασῶν (I).

**Πείραμα.** "Ἄσ θεωρήσουμε δύο διαπασῶν (σχ. 81), τὰ ὁποῖα εἶναι ἐντελῶς δμοια καὶ ἐπομένως παράγουν, ὅταν διεγερθοῦν, ἥχο τῆς ίδιας συχνότητας. "Αν διεγείρουμε τὸ ἔνα ἀπὸ τὰ δύο διαπασῶν, ὅπε τὸ διαπασῶν διεγείρεται. Γιὰ νὰ ἐπιτύχει καλλίτερα τὸ

πείραμα, τοποθετούμε τὰ διαπασῶν ἐπάνω σὲ ἀντηχεῖα. Τὸ φαινόμενον αὐτὸν ὀνομάζεται συντονισμός. "Ωστε:

Συντονισμός ὀνομάζεται τὸ φαινόμενο, κατὰ τὸ οὗτον ἔνα σῶμα ποὺ μπορεῖ νὰ παράγει ἥχο διεγέρεται, ὅταν δονεῖται κοντά του ἔνα ἄλλο σῶμα, ποὺ παράγει ἥχο τῆς ἴδιας συχνότητας.

§ 84. Χαραχτηριστικὰ γνωρίσματα τῶν ἥχων. Κάθε ἥχος ἔχει τρεῖς ἴδιότητες, μὲ τὶς ὁποῖες μποροῦμε νὰ τὸν ἔχειν συντονισμούμε ἀπὸ τοὺς ἄλλους. Οἱ ἴδιότητες αὐτές ὀνομάζονται χαραχτήρες τοῦ ἥχουν καὶ εἰναι ή ἀκουστότητα, τὸ ὑψος καὶ η χροιά.

α) Ἀκουστότητα. Γνωρίζομε ὅτι ἔνας ἥχος μπορεῖ νὰ εἰναι δυνατὸς ή ἀσθενῆς, νὰ ἔχει δηλαδή, ὅπως λέμε συνήθως, μεγάλη η μικρή ἔνταση. "Ωστε:

"Ἀκουστότητα εἰναι ή ἴδιότητα τοῦ ἥχουν, ποὺ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε τοὺς ἥχους σὲ δυνατοὺς ή ἀσθενεῖς.

Γιὰ τὴ μέτρηση ἀκουστοτήτων, χρησιμοποιοῦμε τὴ μονάδα 1 φὼν (1 Phon), η ὁποία ἐκλέγεται ἔτσι, ὅτε ἔνας ἥχος ποὺ εἰναι μόλις ἀκουστὸς νὰ λέμε ὅτι ἔχει ἀκουστότητα μηδὲν Phon, ἔνας ἥχος ποὺ προκαλεῖ πόνον, ὅτι ἔχει ἀκουστότητα 130 Phon.

β) Ὅψος τοῦ ἥχουν. Λέμε συνήθως ὅτι οἱ γυναίκες ἔχουν ὑψηλὴ φωνὴ, ἐνδο οἱ ἄντρες ἔχουν χαμηλή. "Ἐνα ἄλλο λοιπὸν χαραχτηριστικὸ τοῦ ἥχουν εἰναι τὸ νὰ διακρίνεται ἀν εἰναι ὑψηλὸς ή χαμηλός. Ή

ἴδιότητα αὐτὴ λέγεται ὑψος τοῦ ἥχουν. "Ωστε:

"Ὕψος τοῦ ἥχουν εἰναι ή ἴδιότητά του ποὺ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε τοὺς ἥχους σὲ ὑψηλοὺς η ὁξεῖς καὶ χαμηλοὺς η βαρεῖς.

Τὸ ὑψος τοῦ ἥχουν ἔχειται ἀποκλειστικά ἀπὸ τὴ συχνότητά του. Ὕψηλοι ήχοι ἔχουν μεγάλη συχνότητα καὶ χαμηλοὶ ήχοι μικρὴ συχνότητα.

Τὸ ἀνθρώπινο αὐτὶ ἀδύνατει νὰ ἀκούσει δλους τοὺς ἥχους. Τὰ δρια τῶν ἀκουστῶν ἥχων περιλαμβάνονται μεταξὺ 16 Hz καὶ 24 000 Hz περίπου. Οἱ ήχοι μὲ συχνότητα μικρότερη ἀπὸ 16 Hz λέγονται ὑπόχοι, ἐνδο οἱ ήχοι μὲ συχνότητα μεγαλύτερη ἀπὸ 24 000 Hz ὑπέρχοι. Οἱ ὑπέρηχοι χρησιμοποιοῦνται τὰ τελευταία χρόνια στήν τεχνική καὶ στὴν ἱατρική.

γ) Χροιά τοῦ ἥχουν. "Αν ἀκούσουμε μιὰ νότα ἀπὸ βιολί καὶ τὴν ἰδια νότα ἀπὸ σαξόφωνο, καταλαβαίνομε ὅτι οἱ δύο αὐτοὶ ήχοι, ἄν καὶ ἔχουν τὴν ἰδια ἀκουστότητα καὶ τὸ ἰδιο ὑψος, δηλ. τὴν ἰδια συχνότητα, εἰναι διαφορετικοί. Λέμε τότε οἱ δύο αὐτοὶ ήχοι ἔχουν διαφορετικὴ χροιά. "Ωστε:

Χροιά εἰναι ή ἴδιότητα τοῦ ἥχουν, ποὺ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε δύο ἥχους τῆς ἴδιας ἀκουστότητας καὶ τοῦ ἰδιου ὑψους, καθὼς ἐπίσης καὶ τὸ ἡχογόνο σῶμα ποὺ παράγει τὸν ἥχο.

Τὶς φωνές τῶν ἀνθρώπων τὶς ἔχειριζομε ἀπὸ τὸ διαφορετικό τους ὑψος, κυρίως ὅμως ἀπὸ τὴ διαφορετική τους χροιά.

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Κάθε τι ποὺ γίνεται ἀντιληπτὸ μὲ τὸ αὐτὶ εἰναι ἥχος. Οἱ ήχοι προκαλοῦνται ἀπὸ σώματα ποὺ βρίσκονται σὲ παλμικὴ κίνηση. Η παλμικὴ κίνηση τοῦ σώματος προκαλεῖ πυκνώματα καὶ ἀραιώματα τῶν μορίων τοῦ ἀέρα. Αὐτὰ τὰ πυκνώματα καὶ ἀραιώματα διαδίδονται στὸν γειτονικὸ ἀέρα καὶ ἔτσι δημιουργοῦνται τὰ ἡχητικὰ κύματα. Η ἀπόσταση δύο γειτονικῶν πυκνωμάτων η ἀραιωμάτων ὀνομάζεται

μῆκος κύματος καὶ ἡ συχνότητα τῆς ἡχογόνας πηγῆς, δηλαδὴ τοῦ σώματος ποὺ πάλλεται, συχνότητα τῶν ἡχητικῶν κυμάτων.

2. Ο ἡχος δὲν μεταδίδεται στὸ κενό. Μὲ μεγαλύτερες ταχύτητες μεταδίδεται στὰ στερεὰ καὶ μὲ μικρότερες στὰ ἀέρια. Ή ταχύτητα διαδόσεως, τὸ μῆκος κύματος λ καὶ ἡ συχνότητα τοῦ ἡχου συνδέονται μὲ τὴ σχέση:

$$v = \lambda \cdot f$$

3. Τὰ ἡχητικὰ κύματα, ὅταν συναντήσουν ἐμπόδιο στὴ διάδοσή τους, ἀνακλῶνται ἀλλάζοντας πορεία διαδόσεως. Ἀν ἔνα ἐμπόδιο βρίσκεται σὲ ἀπόσταση μεγαλύτερη ἀπὸ 17 μέτρα, ὁ παρατηρητής ξεχωρίζει τὸν ἀνακλώμενο ἡχο ἀπὸ τὸν ἀρχικὸ καὶ τὸ φαινόμενο λέγεται ἡχώ. Ἀν δημοσ. ἡ ἀπόσταση εἶναι μικρότερη ἀπὸ 17 μέτρα, οἱ δύο ἡχοι δὲν ξεχωρίζονται καὶ τὸ φαινόμενο λέγεται ἀντίχηση.

4. Η ἡχώ καὶ ἡ ἀντίχηση ἔχουν ίδιαίτερη σημασία στὴν κατασκευὴ ἑκκλησιῶν, κινηματογραφικῶν αἰθουσῶν, θεάτρων κλπ.

5. Ο συντονισμός εἶναι τὸ φαινόμενο κατὰ τὸ ὄποιο ἔνα σῶμα μπορεῖ νὰ διεγίρεται καὶ νὰ παράγει ἡχο, ὅταν δονεῖται κοντὰ σ' αὐτὸν ἔνα ἄλλο σῶμα, ποὺ παράγει ἡχο τῆς ἴδιας συχνότητας.

6. Η ἀκούστοτητα, τὸ ὕψος καὶ ἡ χροιά εἶναι τὰ τρία χαραχτηριστικὰ γνωρίσματα τῶν ἡχων.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

78. "Ἐγα διατασῶν ἐκτελεῖ 440 παλμοὺς σὲ ἔνα δευτερόλεπτο. Πόσος χρόνος χρεάζεται γιὰ μία ταλάντωσή του; (*Απ. 0,002 27 sec.*)

79. Πόσων Χερτς (Hz) συχνότητα ἔχει ἔνας τόνος, ποὺ σὲ 7 sec ἐκτελεῖ 499 ταλάντωσες; (*Απ. 71 Hz.*)

80. Σὲ πόση ἀπόσταση βρίσκεται ἔνα καταγιδόφρο σύνεφο, ὅταν ἡ βροντὴ ἀκούγεται 4 sec ὑπέρτερα ἀπὸ τὴν πτώση τοῦ κεφανοῦ; Ο ἡχος διαδίδεται μὲ ταχύτητα 340 m/sec καὶ τὸ φῶς, γιὰ μικρὲς ἀπόστασεις, ἀκαραία. (*Απ. 1 360 m.*)

81. Πόσο είναι τὸ βάθος τῆς θάλασσας, ὅταν, σὲ ἡχοβόληση, μετρήθηκε χρόνος 0,68 sec; Δίνεται ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἡχου στὸ θαλλασινὸν νερό 1 425 m/sec. (*Απ. 484,5 m.*)

82. Πόσο μακρὰ ἀπὸ τὴν ἀκτὴν είναι ἔνα πλοϊο, ἦν ἔνα ἱποθαλάσσιο σῆμα φτάνει σὲ μᾶς 5 sec νωρίτερα ἀπὸ ἔνα ταντόχρονο σῆμα στὸν ἀέρα; (*Ταχύτητα ἡχου στὸν ἀέρα 340 m/sec καὶ στὸ θαλλασινὸν νερό 1 425 m/sec.*) (*Απ. 2 233 m.*)

83. "Ἐνας ἄνθρωπος βρίσκεται σὲ μιὰν ἀπόσταση ἀπὸ ἔνα ἐμπόδιο καὶ φωνάζει. Ἀφοῦ περάσουν 2,4 sec, ἀκούεται τὸν ἡχο τῆς φωνῆς του, ποὺ ἀνακλάστηκε στὸ ἐμπόδιο. Πόση εἶναι ἡ ἀπόσταση τοῦ ἀνθρώπου ἀπὸ τὸ ἐμπόδιο; Ἀν ἡ ταχύτητα τοῦ ἡχου στὸν ἀέρα είναι 340 m/sec; (*Απ. 408 m.*)

84. "Ἐγας ἡχος ἔχει συχνότητα 100 Hz καὶ διαδίδεται στὸν ἀέρα μὲ ταχύτητα 340 m/sec. Πόσο είναι τὸ μῆκος κύματος τοῦ ἡχου αὐτοῦ; (*Απ. 3,4 m.*)

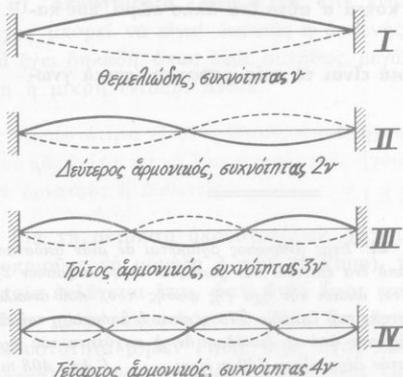
85. Τὸ μῆκος κύματος ἔνδος ἡχου μὲ συχνότητα 100 Hz, ποὺ διαδίδεται στὸ νερό, είναι 10 m. Πόση είναι ἡ ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἡχου αὐτοῦ στὸ νερό; (*Απ. 1 000 m/sec.*)

86. Πόσο είναι τὸ μῆκος κύματος τοῦ τόνου ποὺ ἔχει συχνότητα 440 Hz στὸν ἀέρα; Δίνεται ἡ ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἡχου στὸν ἀέρα: 340 m/sec. (*Απ. 0,775 m.*)

87. Σὲ πόση ἀπόσταση βρίσκεται ἔνα ἐμπόδιο, ὅταν ἀκούμε τρισυλλαβὴ ἡχώ; (*Απ. 51 m.*)

**§ 85. Χορδές.** Ἀρμονικοὶ ἥχοι. "Αν διεγίρουμε μιὰ χορδὴ σὲ παλμική κίνηση, χτυπώντας την ἐλαφρά στὸ μέσο, παρατηροῦμε ὅτι δῆλα τὰ σημεῖα τῆς ταλαντεύονται γύρω ἀπό τὴν ἀρχική τους θέση καὶ ὅτι ἡ χορδὴ παρουσιάζει τὴν μορφὴ ποὺ δείχνει τὸ σχῆμα 82, I.

"Αν σταθερόποιήσουμε τὸ μέσο τῆς χορδῆς μὲ τὸ δάκτυλο μας ἢ βάλουμε στὸ σημεῖο αὐτὸῦ ἔνα ξύλινο ὑποστήριγμα καὶ διεγίρουμε πάλι τὴν χορδὴν, παρατηροῦμε τότε πῶς διλόκληρη ἡ χορδὴ ταλαντεύεται (σχ. 82, II). Στὴν περίπτωση δῆμως αὐ-



**Σχ. 82.** Ταλάντωση μιᾶς χορδῆς μὲ τὴ θεμελιώδη συχνότητα (I) καὶ τοὺς τρεῖς πρώτους ἀνώτερους ἀρμονικούς (II, III, IV).

τὴν ἡ χορδὴ παράγει ἥχο μὲ διπλάσια συχνότητα (σχ. 82, II). Ἀνάλογα μποροῦμε νὰ ἀναγκάσουμε τὴν χορδὴν νὰ παράγει ἥχο μὲ τριπλάσια συχνότητα (σχ. 82, III) ἢ τετραπλάσια συχνότητα (σχ. 82, IV).

Ο ἥχος ποὺ ἀποδίδει ἡ χορδὴ, ὅταν πάλλεται ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 82, I, ὀνομάζεται θεμελιώδης ἥχος ἢ πρῶτος ἀρμονικός, ἐνῶ, ὅταν πάλλεται ὅπως στὶς περιπτώσεις II, III, IV τοῦ ἴδιου σχήματος, λέγεται

ἀνώτερος ἀρμονικός καὶ ἰδιαίτερα δεύτερος ἀρμονικός, τρίτος ἀρμονικός κλπ. "Ωστε:

"Οταν ἐλαττώνουμε τὸ μῆκος μιᾶς χορδῆς στὸ 1/2, 1/3, 1/4, κλπ. τοῦ ἀρχικοῦ μῆκους, ἐνῶ ταυτόχρονα διατηροῦμε σταθερὴ τὴν τάση ποὺ ἀσκοῦμε ἐπάνω τῆς, τότε ἡ συχνότητα τῶν παραγόμενων ἥχων εἰναι ἀντιστοιχα διπλάσια, τριπλάσια, τετραπλάσια κλπ. τῆς ἀρχικῆς.

Οἱ μουσικοὶ ἥχοι ἢ φθόγγοι ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἔναν ίσχυρὸν θεμελιώδη καὶ πολλοὺς ἄλλους ἀνώτερους ἀρμονικούς. ποὺ διαμορφώνουν τὴν χροιὰ τοῦ φθόγγου.

**§ 86. Νόμος τῶν χορδῶν.** Τοὺς νόμους τῶν χορδῶν μποροῦμε νὰ μελετήσουμε μὲ τὴ βοήθεια τοῦ μονοχόρδου (σχ. 83). Τὸ ὅργανο αὐτὸῦ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα ξύλινο κιβώτιο (ἀντηχεῖο), ποὺ ἔχει τὴν ἰδιότητα νὰ ἐνισχύει τοὺς ἥχους. Ἡ χορδὴ περιτυλίγεται σ' ἔναν ἄξονα καὶ σταθεροποιεῖται στὸ ἔνα ἄκρο τοῦ μονοχόρδου, ἐνῶ μὲ ἔνα κλειδί, ποὺ βρίσκεται στὸ ἄλλο ἄκρο, μποροῦμε νὰ ρυθμίζουμε τὴν τάση της.



**Σχ. 83.** Τὸ μονόχορδο εἶναι μιὰ συσκευὴ γιὰ τὴ μελέτη τῶν χορδῶν.

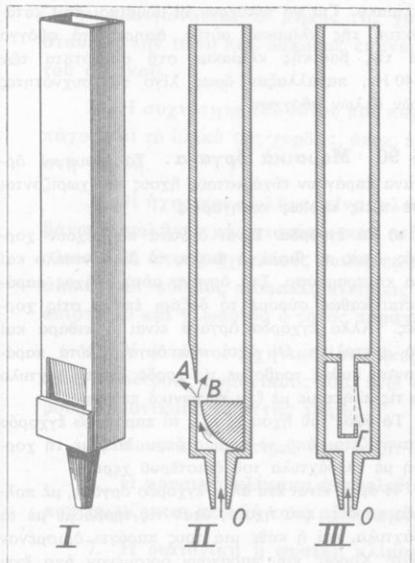
Μὲ πειράματα καταλήγομε στὸ συμπέρασμα ὅτι:

Ἡ συχνότητα ἐνὸς τόνου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ μῆκος, τὸ πάχος καὶ τὸ ὄλικὸ τῆς χορδῆς, ὅπως ἐπίσης καὶ ἀπὸ τὴν τάση ποὺ ὀσκοῦμε στὴ χορδὴ.

**§ 87. Ἡχητικοὶ σωλήνες.** Νόμος τῶν ἡχητικῶν σωλήνων. Στὴ Φυσικὴ ὁνο-

μάζομε ήχητικούς σωλήνες, κυλινδρικούς ή πρισματικούς σωλήνες άπό ξύλο ή μέταλλο, στους δύο οίκους φυσοῦμε ρεῦμα άερα άπό τὸ στόμιο καὶ προκαλοῦμε μ' αὐτὸ τὸν τρόπο ταλάντωση τοῦ ἄερα ποὺ περιέχει ό σωλήνας.

Οἱ ἡχητικοὶ σωλήνες εἰναι εἴτε ἀνοιχτοὶ (σχ. 84) εἴτε κλειστοί.



Σχ. 84. Ἀνοιχτοὶ ἡχητικοὶ σωλήνες: (I) Ἐξωτερικὴ ἐμφάνιση. (II). Τομὴ ἀνοιχτοῦ ἡχητικοῦ σωλήνα μὲ ἐπιστόμιο καὶ στόμιο (III). Τομὴ ἀνοιχτοῦ ἡχητικοῦ σωλήνα μὲ ἐπιστόμιο καὶ μὲ γλωσσίδα.

Στὸν ἀνοιχτὸ σωλήνα τοῦ σχῆματος 84, II ὁ ἄερας μπαίνει ἀπὸ τὸ ἐπιστόμιο Ο καὶ βγαίνει ἀπὸ τὸ στόμιο Β. Στὸ χεῖλος Α δημιουργεῖται διατάραξη τῆς στήλης τοῦ ἄερα, διπώς ἀκριβῶς συμβαίνει καὶ στὴ σφυρίχτρα, καὶ ἔτσι προκαλεῖται δόνηση τοῦ ἄερα ποὺ βρίσκεται στὴν κοιλότητα. Στὸν ἀνοιχτὸ σωλήνα τοῦ σχῆματος 84, III ὁ ἄερας εἰσχωρεῖ ἀπὸ τὸ στόμιο

Ο καὶ διεγείρει σὲ παλμικὴ κίνηση τὴ γλωσσίδα Γ.

"Οἱ τι συμβαίνει μὲ τὰ παραπάνω δύο εἰδῆ ἀνοιχτῶν ἡχητικῶν σωλήνων, δηλαδὴ τοὺς ἀνοιχτοὺς ἡχητικοὺς σωλήνες μὲ ἐπιστόμιο καὶ στόμιο καὶ τοὺς ἀνοιχτοὺς ἡχητικοὺς σωλήνες μὲ ἐπιστόμιο καὶ γλωσσίδα, συμβαίνει καὶ μὲ τὰ δύο ἀντίστοιχα εἰδῆ τῶν κλειστῶν ἡχητικῶν σωλήνων. Οἱ σωλήνες αὗτοὶ διαφέρουν ἀπὸ τοὺς ἀνοιχτοὺς ἡχητικούς σωλήνες στὸ διτί εἶναι κλειστοὶ στὸ ἀνώτερο ἄκρο τους.

"Απὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε διτί:

Στοὺς ἡχητικούς σωλήνες μὲ ἐπιστόμιο καὶ στόμιο ὁ τόνος προκαλεῖται ἀπὸ τὶς ἀπ' εὐθείας παλμικὲς κινήσεις τοῦ ἄερα. Στοὺς ἡχητικούς σωλήνες μὲ ἐπιστόμιο καὶ γλωσσίδα ὁ τόνος προκαλεῖται ἀπὸ τὶς παλμικὲς κινήσεις τῆς γλωσσίδας, ποὺ διεγείρουν σὲ παλμικὴ κίνηση τὸν ἄερα ποὺ βρίσκεται στὸ σωλήνα.

Ἐργαζόμενοι πειραματικὰ μὲ ἀνοιχτοὺς καὶ κλειστοὺς ἡχητικούς σωλήνες καταλήγομε στὰ ἀκόλουθα συμπεράσματα, ποὺ ἀποτελοῦν τοὺς νόμους τῶν ἡχητικῶν σωλήνων:

α) Οἱ ἀνοικτοὶ ἡχητικοὶ σωλήνες παράγουν ἔνα θεμελιώδη τόνο καὶ ὅλους τοὺς ἀνώτερους ἀρμονικούς.

Άν δηλαδὴ ἔνας ἀνοιχτὸς ἡχητικὸς σωλήνας παράγει θεμελιώδη τόνο συχνότητας ν, θὰ παράγει καὶ τοὺς τόνους ποὺ ἔχουν συχνότητες 2ν, 3ν, 4ν, κλπ.

β) Οἱ κλειστοὶ ἡχητικοὶ σωλήνες παράγουν ἔνα θεμελιώδη τόνο καὶ τοὺς ἀνώτερους ἀρμονικούς περιττῆς τάξης.

Δηλαδὴ ἄν ἔνας κλειστὸς ἡχητικὸς σωλήνας παράγει θεμελιώδη τόνο μὲ συχνότητα ν, θὰ παράγει καὶ τοὺς τόνους ποὺ ἔχουν συχνότητες 3ν, 5ν, 7ν κλπ.

### § 88. Μουσικοὶ ἄνθρωποι. Μουσικὰ διαστήματα.

Ὄταν οἱ συχνότητες δύο ἡχων, ποὺ τοὺς ἀκοῦμε ταυτόχρονα, βρίσκονται μεταξύ τους σὲ ἀπλὴ ἀριθμητική σχέση, μᾶς προκαλοῦν γενικά εὐχάριστο συναίσθημα. Ἡ Μουσικὴ χρησιμοποιεῖ δρισμένες ἀπλές ἀριθμητικές σχέσεις, μεταξύ τῶν συχνοτήτων τῶν ἡχων, ποὺ ὁνομάζονται *μουσικά διαστήματα*. Οἱ μουσικοὶ ἡχοι εἰναι φθόγγοι καὶ παράγονται ἀπὸ τὰ *μουσικά ὅργανα*. Τὸ ὑποκελμενικὸ συναίσθημα, ποὺ μᾶς δημιουργεῖται, ὅταν ἀκοῦμε δύο τόνους, ἐξαρτᾶται μόνο ἀπὸ τὸ μουσικό διάστημα τους καὶ δχὶ ἀπὸ τὴν ἀπόλυτη τιμὴ τῶν συχνοτήτων τους.

"Οταν δύο φθόγγοι άκουονται σύγχρονα ή διαδοχικά και προκαλούν ενχάριστο συναίσθημα, λέμε ότι αποτελούν συμφωνία· ήν το συναίσθημα είναι δυσάρεστο, αποτελούν παραφωνία. "Οταν το διάστημα είναι 1:1, δην δηλαδή άκουμε δύο φθόγγους τής ίδιας συχνότητας, έχουμε τήν καλύτερη συμφωνία και το μουσικό διάστημα λέγεται πρώτη. "Αν το διάστημα είναι 2:1, όποτε ο όξυτερος φθόγγος έχει διπλάσια συχνότητα, το διάστημα λέγεται όγδοη. Στη Μουσική χρησιμοποιούμε έπισης διαστήματα δευτέρας, τρίτης, τετάρτης κλπ. και ήχους με συχνότητες άπο 40 Hz μέχρι 4 000 Hz.

**§ 89. Μουσική κλίμακα.** "Ετσι δύναμεται μιά σειρά φθόγγων, ποὺ χρησιμοποιοῦνται στή Μουσική και χωρίζονται μεταξύ τους μὲ όρισμένα μουσικά διαστήματα.

Οι φθόγγοι της βασικής κλίμακας είναι όχτω, ή κλίμακα δώμας έπεκτείνεται σε ύψηλότερους και χαμηλότερους φορές με δύοδες. Ο φθόγγος από τον οποίο άρχιζε ή μουσική κλίμακα ονομάζεται βάση της κλίμακας.

Οι συχνότετες τών φθόγγων μιᾶς μουσικῆς κλίμακας καθορίζονται μὲ ακρίβεια, δταν όριστει ή συχνότητα ένός όποιουδήποτε φθόγγου και τά μουσικά διάστηματα.

Τὰ ὄνόματα τῶν φθόγγων τῆς μουσικῆς κλίμακας είναι τὰ ἔξις ἑπτά:

do re mi fa sol la si

· Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μουσικών κλιμάκων:

α) Διατονική ή φυσική κλίμακα. Η κλίμακα αυτή άποτελείται από τρία διαφορετικά διαστήματα, σχετικά με δύο διαδοχικούς φθόγγους: τά διαστήματα 9/8 και 10/9, που όνομάζονται τόνοι και το διάστημα 16/15 που δονομάζεται ήμιτόνιο. Στη βασική κλίμακα ό φθόγγος ια έχει συνχνότητα 440 Hz.

**β) Χρωματική κλίμακα.** Ή βασική διατονική κλίμακα που έπαναλαμβάνεται μέχρι όρθιες, ψηφιλότερα ή χαμηλότερα, δεν είναι δυνατό να έπαρκεσει στις άναγκες της σύγχρονης Μουσικής. Γ' αυτό το λόγο κατασκεύασαν μία κλίμακα που άποτελείται από 12 ήμιτονία ίσα με 1,059. Η κλίμακα αυτή δονομάζεται *χωματική*.

Ἄν προσέξουμε τὰ πλήκτρα τοῦ πιάνου, θά παραπτήσουμε διτί εἰναι ἀσπρά καὶ μάυρα. Τὰ μαύρα πλήκτρα ἀντιστοιχούν στοὺς φθόγγους κείνουντος ποὺ ή προσθήκηταν δημιουργήσει τὴν χρωματική κλίμακα. Γιά νά πετύχουν οἱ μουσικοί τὴν κατασκευὴ τῆς κλίμακας αὐτῆς, ἀφέσαν τὸ φθόγγο λα τῆς βασικῆς κλίμακας στὴ συχνότητα τῶν 720 Hz, παράλληλαν διώς λίγο τις συχνότητες τῶν ἄλλων φθόγγων.

**§ 90. Μουσικὰ ὅργανα.** Τὰ Μουσικά ὅργανα παράγουν εὐχάριστους ήχους καὶ χωρίζονται σὲ τρεῖς κυρίως κατηγορίες.

**α) Τὰ ἔγχορδα.** Είναι δργανα ποι ἔχουν χορδές, δηπως τὸ βιολί, ή βιόλα, τὸ βιολοντσέλο και τὸ κοντραμπάσο. Στά δργανα αντά ο ἡχος παράγεται καθώς σύρουμε τὸ δοξάρι ἐπάνω στις χορδές. Ἀλλα ἔγχορδο δργανα είναι η κιθάρα και τὸ μαντολίνο. Οι ήχοι στά δργανα αντά παράγονται καθώς τραβούμε τις χορδές με τὸ δάχτυλο ή τὶς πλήκτουμε μὲ ένα τριγύρικό πενάκι.

Τὸ ὑψος τοῦ ἥχου σὲ δῆλα τὰ παραπάνω ἔγχορδα κανονίζεται ἀπὸ τὸ σημεῖο ὅπου πιέζομε τὴ χορδὴ μὲν τὰ δάχτυλα τοῦ ἀστεροῦ κεριοῦ.

οι με τα δάχτυλα του αριστερού χερού.  
Η ἄπρω είναι ένα ἀλλο ἔγχορδο δργανο, μὲ πόλ-  
λες χορδές, ποὺ ἥκον, δταν τις τραβούμε μὲ τά  
δάχτυλα, και η κάθε μιά τους παράγει ὁρισμένον  
ήχο. Χορδές ποὺ παράγουν δρισμένον ἥχο ἔχει  
και το πιάνο. "Ενα μηχανισμος μοχλών συνδέει  
τα πλήκτρα, ποὺ πιέζομε μὲ τά δάχτυλα, μὲ ειδικά  
κατακόμων πλήκτρα, ποὺ γιαπούν τις γοιδες.

**Β) Τὰ πνευστά.** Τέτοια δργανα είναι η σάλπιγγα, ή τρόμπα, τὸ τρομπόνι, τὸ κόρνο, τὸ κλαρίνο, τὸ φλάουτο, τὸ σαξόφωνο κλπ. Τὰ δργανα αὐτά παράγουν ήχο, διαν ψυσούμε άέρα σε όρισμένη θέση μέσα σ' αὐτά. Σέ ἄλλα ἀπό αὐτά τὰ δργανα, π.χ. στήν τρόμπα, ο ἥχος παράγεται ἀπό τὰ χειλία εκείνου που παίζει τὸ δργανό, ἐνώ σε ἄλλα, ὅπως στὸ κλαρίνο, ἀπό μιά γλωσσιδά, που πάλλεται καθώς ψυσούμε. Στὰ χάλκινα πνευστά, ὅπως λέγονται οἱ τρόμπες, τὸ τρομπόνι, τὸ κόρνο κλπ., τὸ υψος του φθόγγου δίνεται με τη βοηθεια κλειδιῶν η μεβόλων (πιστονιῶν), με τα όποια μικράσινη μεγαλώνουν όρισμένους σωλήνες του δργανού, σε συνδιασμού με τὸν άέροα που ψιστούμε με πίστη.

Στά ξύλινα πνευστά, όπως στό κλαρίνο, στά φλά-  
ουντα και στά σαξόφωνα, ο ήχος άλλαζε, οταν  
άνοιγουμε ή κλείνουμε δρισμένες τρύπες, πού υπάρ-  
χουν στό σώμα τού δρύγανου.

γ) Τά κρουστά. Στά δργανα αυτά ο ήχος παρά-  
γεται, οταν τά χτυπήσουμε (κρούσουμε) σέ δρι-

σμένη θέση. Τέτοια δργανα είναι τά τύμπανα, τό<sup>2</sup>  
ξυλόφωνο, τό τρίγυρο κ.λπ.

Οι δρχήστρες άποτελούνται από πολλά δργανα  
και τών τριών κατηγοριών και έτσι, συνδυάζοντας  
τούς ήχους που παράγονται, άποδιδουν μιά μου-  
σική σύνθεση με τόνο καλύτερο τρόπο.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. 'Ελαττώνοντας τό μηκος μιας χορδής ανδένομε τή συχνότητα τῶν ήχων.

"Έτσι, έλαττώνοντας τό μηκος τῆς χορδῆς στό 1/v τού ὄρχικου και διατηρώντας  
σταθερή τήν τάση που ἀσκοῦμε ἐπάνω της, παράγομε ήχο με συχνότητα ν-πλάσια  
τοῦ ὄρχικου.

2. 'Η συχνότητα τοῦ τόνου που παράγει μία χορδή έξαρται από τό μηκος, τό<sup>2</sup>  
πάχος και τό ύλικό τῆς χορδῆς, όπως ἐπίσης και από τήν τάση που ἀσκοῦμε ἐπάνω  
στη χορδή.

3. Οι ήχητικοι σωλήνες είναι κλειστοί και ἀνοιχτοί. Και τά δύο εἰδή περιλαμ-  
βάνονταν σωλήνες με ἐπιστόμιο και στόμιο καθώς και σωλήνες με ἐπιστόμιο και  
γλωσσίδα. Στοὺς ήχητικοὺς σωλήνες με ἐπιστόμιο και στόμιο δ τόνος προκαλεῖται  
ἀπό τις ἀτ' εὐθείας παλμικές κινήσεις τοῦ ἀέρα, ἐνῷ στοὺς ήχητικοὺς σωλήνες με  
ἐπιστόμιο και γλωσσίδα δ τόνος παράγεται από τοὺς παλμοὺς τῆς γλωσσίδας.

4. Οι ἀνοιχτοί ήχητικοὶ σωλήνες παράγουν ἔνα θεμελιώδη τόνο και δῆλους  
τοὺς ἀνώτερους ἀρμονικούς του, ἐνῷ οι κλειστοί ἔνα θεμελιώδη και τοὺς ἀνώτε-  
ρους ἀρμονικούς πέριττης τάξης.

5. Μουσικό διάστημα δύο ήχων δονομάζεται ὁ λόγος τῶν συχνοτήτων τους.

6. 'Η μουσική κλίμακα ἀποτελεῖται από σειρά δρισμένων μουσικῶν φθόγγων,  
που χωρίζονται μεταξύ τους με δρισμένα μουσικὰ διαστήματα.

7. 'Η διατονική ή φυσική κλίμακα περιλαμβάνει 5 τόνους δύο εἰδῶν και 2  
ἡμιτόνια. Η χρωματική κλίμακα περιλαμβάνει 12 ήμιτόνια. Βασικὸς φθόγγος στις  
δύο κλίμακες είναι τό la με συχνότητα 440 Hz.

8. Τά μουσικὰ δργανα είναι ξεχορδα, πνευστά και κρουστά.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

88. Πόση είναι ή συχνότητα τοῦ βασικοῦ τόνου,  
ὅταν ο ἀρμονικός του ἔκτης τάξης έχει συχνότητα  
1 200 Hz;

('Απ. 171,4 Hz.)

89. "Ένας τόνος έχει συχνότητα 264 Hz. Ποιές  
είναι οι συχνότητες τῆς ἀμέσως ἐπόμενης ὁγδόης,  
πέμπτης και τετάρτης;

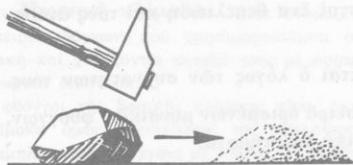
('Απ. 528 Hz, 396 Hz, 352 Hz.)

## IV. ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ-ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

### ΙΗ' — ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΛΗΣ. ΜΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΤΟΜΑ

§ 91. «Η διαιρετότητα τῆς ύλης.» Άν παρατηρήσουμε ἔνα κομμάτι ψαμμίτη, θὰ δούμε ὅτι ἀποτελεῖται ἀπὸ μία πλειάδα μικρῶν κόκκων, συγκολλημένων μεταξύ τους καὶ ὄρατῶν μὲ γυμνὸν μάτι.

Θρυμματίζομε τὸ κομμάτι τοῦ ψαμμίτη χτυπώντας το μέ ἓνα σφυρί. Οἱ μικροὶ κόκκοι χωρίζονται μεταξύ τους καὶ δημιουργοῦν ἔνα σωρὸ ἀπὸ ἄμμο (σχ. 85).



Σχ. 85. «Οταν θρυμματιστεῖ ὁ ψαμμίτης, σχηματίζει σωρὸ ἀπὸ ἄμμο.

«Αν ἔξετάσουμε τὸν κάθε κόκκο μὲ ἔνα φακό, θὰ διαπιστώσουμε ὅτι ὅλοι ἔχουν τὴν ἴδια ἐμφάνισην.» Εντονη δηλαδὴ λάμψη καὶ ἔδρες ποὺ σχηματίζουν μεταξύ τους γωνίες, περισσότερο ἢ λιγότερο δέξεις.

**Πείραμα.** Παίρνομε ἔνα φιαλίδιο μὲ πυκνὸν θεικὸ δέξι καὶ ρίχνομε μιὰ σταγόνα ἀπὸ τὸ δέξι ἀντὸ μέσα σ' ἔνα δοκιμαστικὸ σωλήνα μὲ νερό. Τὸ διάλυμα ποὺ προκύπτει, μολονότι πολὺ ἀραιό, κοκκινίζει τὸ βάμμα τοῦ ἡλιοτροπίου. Ἐραιώ-

νομε ἀκόμη τὸ διάλυμα τοῦ δέξιος προσθέτοντας λίγο νερό. Καὶ τὸ καινούριο ἀραιότερο διάλυμα ἔξακολουθεῖ νὰ κοκκινίζει τὸ βάμμα τοῦ ἡλιοτροπίου.

Οπως ὁ ψαμμίτης, ἔτσι καὶ τὸ θεικὸ δέξι διαιρέθηκε σὲ μικρότατα σωματίδια, τὰ ὅποια ὅμως διατήρησαν τὶς χαρακτηριστικές ἴδιότητες τοῦ δέξιος. Κοκκινίζουν δηλαδὴ τὸ βάμμα τοῦ ἡλιοτροπίου.

Προβάλλει ὅμως τάρα τὸ ἐρώτημα: Μποροῦμε νὰ διατρούμε ἐπ' ἄπειρο τὰ σωματίδια ἐνὸς ύλικοῦ, χωρὶς νὰ ἔξαφανιστοῦν οἱ ἴδιότητες τῆς οὐσίας;

Ἡ ἀπάντηση στὸ παραπάνω ἐρώτημα εἶναι ἀρνητική. Ἡ διάρεση αὐτὴ ἔχει ἔνα δριο καὶ τὸ δριο αὐτὸ καθορίζει τὸ μόριο τῆς οὐσίας. «Ωστε:

Τὸ μόριο εἶναι ἡ μικρότερη ποσότητα ἐνὸς χημικῶς καθαροῦ σώματος, ποὺ μπορεῖ νὰ ὑπάρχει σὲ ἐλεύθερη κατάσταση καὶ νὰ διατηρεῖ τὶς χαρακτηριστικές ἴδιότητες αὐτοῦ τοῦ σώματος.

§ 92. **Τὰ μόρια.** Τὰ μόρια εἶναι ύλικὰ σωματίδια μὲ πολὺ μικρὸ μέγεθος. Γιὰ νὰ ἀντιληφθοῦμε τὴν μικρότητα τῶν μορίων, ἀς κάνονται τὸν ἐπόμενο παραλληλισμό.

Θεωροῦμε μία σταγόνα νερὸ καὶ τὴν ὑδρόγειο σφαίρα. «Ο, τι εἶναι ἔνα πορτοκάλι γιὰ τὴ Γῆ, εἶναι καὶ τὸ ἔνα μόριο τοῦ νεροῦ γιὰ τὴ σταγόνα τοῦ νεροῦ (σχ. 86).

νόδρομοις σφαίρα



πορτοκάλι

σταγόνα νερού



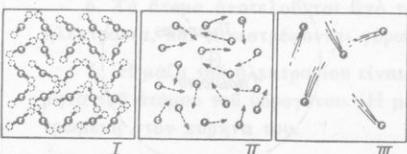
μόριο νερού

Σχ. 86. Τό μόριο του νερού και ή σταγόνα του νερού βρίσκονται στήν άναλογιά πορτοκαλιού και ύδρογειού σφαίρας.

Τά μόρια είνός χημικώς καθαρού σώματος, δύπως είναι π.χ. τό δέξυγόνο, ό χαλκός, τό νερό, ή ζάχαρη, είναι δημοια μεταξύ τους, ένδι τά μόρια τῶν μειγμάτων, δύπως δ' αέρας, τό γάλα κλπ., είναι διαφορετικά.

"Οπως γνωρίζουμε άπό τά μαθήματα τῆς προηγούμενης τάξης, τά μόρια δύποιουνδήποτε σώματος δὲν ήρεμον, ἀλλά κινοῦνται ἀκατάπαυστα. Στὰ στερεά ή κίνηση αὐτή είναι ταλάντωση μὲ πολὺ μικρὸ πλάτος, γιατὶ τά μόρια τῶν σωμάτων αὐτῶν είναι πολὺ κοντά τό ἔνα στὸ ἄλλο (σχ. 87, I)

Τά μόρια τῶν υγρῶν βρίσκονται σὲ μεγαλύτερες μεταξύ τους ἀποστάσεις (σὲ σχέση μὲ τίς ἀποστάσεις τῶν μορίων τῶν στερεῶν) καὶ κινοῦνται πιὸ ζωηρὰ τό ἔνα ώς πρὸς τό ἄλλο, διατηρώντας σταθερές τίς ἀποστάσεις τους. "Ἐνα μόριο υγροῦ δηλαδὴ κινεῖται σὲ σχέση πρὸς τά ἄλλα μόρια, μέσα στή μάζα του υγροῦ, διατηρώντας δημοσια σταθερὴ ἀπόσταση ἀπό τά γειτονικά του μόρια (σχ. 87, II).



Σχ. 87. Γιὰ τήν ἐξήγηση τῆς δομῆς στερεῶν (I), υγρῶν (II) καὶ ἀερίων (III).

Τά μόρια τέλος τῶν ἀερίων κινοῦνται σὰν ἑλαστικές σφαίρες, ταχύτατα καὶ ἄταχτα πρὸς δόλες τίς διευθύνσεις (σχ. 87, III). Ἀποτέλεσμα τῆς κινήσεως αὐτῆς είναι ή ἐκτόνωση τῶν ἀερίων καὶ ή πίεσή τους.

Οι ταχύτητες μὲ τίς όποιες κινοῦνται τά μόρια τῶν ἀερίων είναι ἀρκετά μεγάλες. Στὸ διοξείδιο του ἄνθρακα ή μέση ταχύτητα τῶν μορίων είναι ίση μὲ 1 440 km/h, ίση δηλαδὴ μὲ τήν ταχύτητα τῶν ἀεριωθούμενων ἀεροπλάνων, ἐνώ τῶν μορίων του ὑδρογόνου είναι ἀκόμα μεγαλύτερη καὶ φτάνει τά 7 200 km/h.

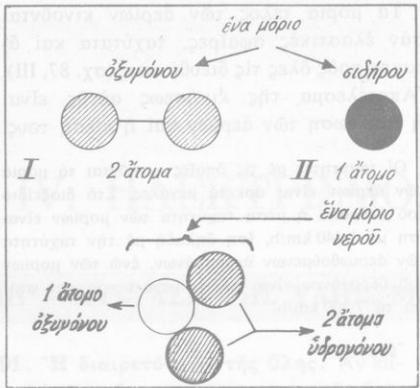
"Ωστε :

Τά μόρια τῶν ύλικῶν σωμάτων είναι πάρα πολὺ μικρά. Δὲν ήρεμον, ἀλλὰ κινοῦνται ἀκατάπαυστα. Τό εἰδος τῆς κινήσεως τῶν μορίων ἐνός σώματος καθορίζει τή φυσική κατάσταση του σώματος.

§ 93. Τά ἄτομα. "Υστερα ἀπό δσα εἴπαμε παραπάνω, δὲν πρέπει νὰ νομιστεῖ ὅτι τά μόρια ἀποτελοῦν τό ἀδιαίρετο πιὰ τμῆμα τῆς ὥλης. Πραγματικά τά σωματίδια αὐτὰ σχηματίζονται ἀπό μικρότερα ἀκόμη ύλικὰ συστατικά, ποὺ τά ὀνομάζουμε ἄτομα.

Τῶν ἀπλῶν σωμάτων τά μόρια ἀποτελοῦνται ἀπό δημοσια μεταξύ τους ἄτομα. Τά μόρια τῶν συνθέτων σωμάτων δημοσια ἀποτελοῦνται ἀπό διαφορετικὰ μεταξύ τους ἄτομα. "Ἐτσι, ένδι τό μόριο του δέξυγονου, ποὺ είναι ἀπλὸ σῶμα, ἀποτελεῖται ἀπό δύο δημοσια μεταξύ τους ἄτομα δέξυγονου, τό μόριο του νεροῦ, ποὺ είναι σύνθετο σῶμα, περιλαμβάνει, συνδέμενα μεταξύ τους, δύο ἄτομα υδρογόνου καὶ ἔνα ἄτομο δέξυγόνο (σχ. 88). "Ωστε: τό ἄτομο είναι ή μικρότερη ποσότητα ἐνός στοιχείου ή όποια μπορεῖ νὰ υπάρχει σὲ ἔνα μόριο.

Τά ἄτομα σπάνια υπάρχουν σὲ ἐλεύθερη κατάσταση, ἐκτὸς ἀπό τήν περίπτωση τῶν ἀερίων ποὺ ὀνομάζονται εὐγενὴ ἀέρια (ἀργό,



Σχ. 88. Μόρια και ἄτομα. (I) Μόριο ὀξυγόνου, (II) μόριο σιδήρου, (III) μόριο νερού.

κρυπτό, νέο, ζένο, ήλιο και ραδόνιο). Σὲ δρισμένες ἄλλες περιπτώσεις, ὅπου τὸ μόριο ἐνὸς στοιχείου ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα ἄτομο, ὥστα συμβαίνει μὲ τὰ μέταλλα, τὰ ἄτομα αὐτά δὲν εἰναι ἐλεύθερα, ἀλλὰ σχηματίζουν κανονικὰ διαταγμένα συγκροτήματα, ποὺ ὀνομάζονται κρήσταλλοι.

Αφοῦ τὰ ἄτομα εἰναι κατὰ κάποιον τρόπο ὑποδιαιρέση τῶν μορίων, συμπερινομεὶ διτὶ ἔχουν πάρα πολὺ μικρὸ μέγεθος.

Ἄν φανταστοῦμε τὸ ἀπλούστερο ἄτομο, δηλαδὴ τὸ ἄτομο τοῦ στοιχείου ὑδρογόνου, σὰν σφαίρα, ή σφαίρα αὐτὴ θὰ εἰχε διάμετρο ἵση πρὸς δέκα ἑκατομμυριοστά τοῦ χιλιοστομέτρου.

Στὶς ἡλεκτρονικὲς λυχνίες, ὅπου ἔχομε ἐπιτύχει «ψυγόλο κενό», ὥστα λέμε, (ἐννοοῦμε διτὶ ἡ πίεση τοῦ ἀερίου μέσα σ' αὐτὲς εἰναι τῆς τάξης τοῦ ἑκατομμυριοστοῦ τοῦ χιλιοστομέτρου ὑδραργυρικῆς στήλης), παραμένουν ἀκόμη 270 ἑκατομμύρια ἄτομα εὐγένεν ἀερίων σὲ κάθε κυβικὸ ἑκατοστόμετρο.

Μέχρι σήμερα κανεὶς δὲν ἔχει δεῖ τὰ ἄτομα και πιθανὸν νὰ μὴν μπορέσουμε ποτὲ νὰ τὰ δοῦμε. Οἱ Φυσικοὶ μόνο τὰ φαντά-

ζονται και τὰ περιγράφουν, γιατὶ βασίζονται σὲ φαινόμενα ποὺ προκαλούνται κάτω ἀπὸ εἰδικές συνθῆκες και τὰ ὅποια μποροῦν νὰ τὰ παρακολουθήσουν.

**§ 94. Σύσταση τοῦ ἄτομου.** Ἐνα ἄτομο ὅποιουδήποτε στοιχείου ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν κεντρικὸ πυρήνα, ὅπου εἰναι συγκεντρωμένη δλη σχεδόν ἡ μάζα τοῦ ἄτομου, και ἀπὸ τὰ ἡλεκτρόνια, ποὺ περιστρέφονται σὲ ἐλλειπτικὲς ή κυκλικὲς τροχιές γύρω ἀπὸ τὸν πυρήνα. Τὸ ἄτομο δηλαδὴ μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ σάν μικρογραφία τοῦ ἡλιακοῦ μας συστήματος, μὲ "Ηλιο τὸν πυρήνα και πλανῆτες τὰ ἡλεκτρόνια.

Τὸ ἄτομο τοῦ ὑδρογόνου ἔχει ἔνα μόνο ἡλεκτρόνιο (σχ. 89). Η Ἀτομικὴ Φυσικὴ διδάσκει διτὶ, ἀν ὁ πυρήνας τοῦ ἄτομου τοῦ ὑδρογόνου εἰχε διάμετρο ἐνὸς ἑκατοστομέτρου, τὸ ἡλεκτρόνιο του θὰ περιστρέφοταν γύρω ἀπὸ τὸν πυρήνα σὲ ἀπόσταση 410 μέτρων.

Τὸ ἄτομο τοῦ στοιχείου οὐρανίου, ἔχει 92 ἡλεκτρόνια. "Αν παραστήσουμε τὸν πυρήνα τοῦ οὐρανίου μὲ ἔνα πορτοκάλι, τὰ πλησιέστερα ἡλεκτρόνια θὰ περιστρέφονται σὲ ἀπόσταση 100 m ἀπὸ τὸν πυρήνα, ἐνῶ τὰ πιο ἀπομακρυσμένα σὲ ἀπόσταση 1 500 m. Η Ἀτομικὴ Φυσικὴ διδάσκει ἀκόμη διτὶ ἡ μάζα τοῦ ἡλεκτρονίου εἰναι μόλις ἵση μὲ τὸ 1/2 000 περίπου τῆς μάζας τοῦ πυρήνα τοῦ ἄτομου τοῦ ὑδρογόνου.



Σχ. 89. Ἅτομο ὑδρογόνου.

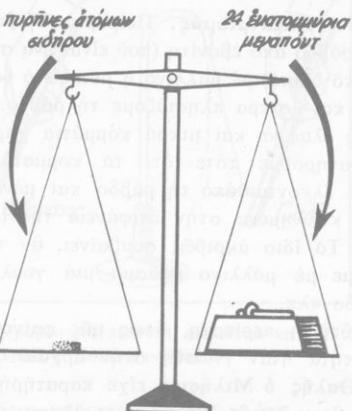
Από τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι:

a) Ή μάζα τῶν ἀτόμων τῶν διαφόρων στοιχείων είναι, ὅλη σχεδόν, συγκεντρωμένη στὸν πυρήνα.

β) Στὸ συνολικὸ χῶρο τοῦ ἀτόμου μικρὸ ποσοστὸ κατέχει ἡ ὄλη. Τὸ μεγαλύτερο τρῆμα τοῦ ἀτομικοῦ χώρου είναι κενὸ καὶ τὰ ἡλεκτρόνια κινοῦνται σὲ ἐλλειπτικὲς ἡ κυκλικὲς τροχιές γύρω ἀπὸ τὸν πυρήνα σὲ τεράστιες, συγκριτικὰ μὲ τὶς διαστάσεις τοῦ πυρήνα, ἀποστάσεις.

Ἄν μπορούσαμε νὰ κατασκευάσουμε ἔνα μικρὸ πλακίδιο μὲ μέγεθος ἵσο μὲ τὸ μέγεθος τῶν πλακιδίων τῆς ζάχαρης, χρησιμοποιώντας σάν ὑλικὸ συμπαγεῖς πυρῆνες ἀτόμων σιδήρου, χωρὶς κενὸ χῶρο, τὸ βάρος τοῦ μικροῦ αὐτοῦ πλακιδίου θὰ ἦταν ἵσο μὲ 24 ἑκατομμύρια μεγαπόντ. Τὸ παράδειγμα αὐτὸ μᾶς δίνει μιὰ εἰκόνα τοῦ κε-

νοῦ πὸ παρεμβάλλεται στὴν δομὴ τῆς ὄλης (σχ. 90).



Σχ. 90. Ο ἀτομικὸς χῶρος περιλαμβάνει ἔνα πολὺ μεγάλο κενὸ μέρος. Τὸ πιὸ πάνω σχέδιο είναι ὄπλως ἐνδεικτικὸ καὶ δὲν ἐκφράζει ποσοτικὲς σχέσεις.

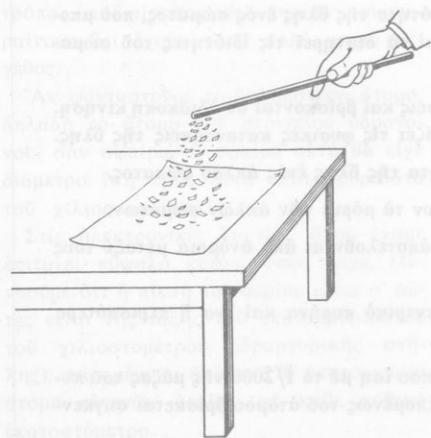
### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Μόριο δονομάζομε τὴν μικρότερη ποσότητα τῆς ὄλης ἐνὸς σώματος, πὸ μπεῖ νὰ ὑπάρξει σὲ ἐλεύθερη κατάσταση καὶ νὰ διατηρεῖ τὶς ἴδιότητες τοῦ σώματος αὐτοῦ.
2. Τὰ μόρια ἔχουν πολὺ μικρὲς διαστάσεις καὶ βρίσκονται σὲ ἀδιάκοπη κίνηση. Τὸ εἶδος τῆς κινήσεως τῶν μορίων καθορίζει τὶς φυσικὲς καταστάσεις τῆς ὄλης.
3. Τὸ ἄτομο είναι ἡ μικρότερη ποσότητα τῆς ὄλης ἐνὸς ἀπλοῦ σώματος.
4. Ἀπὸ τὴν σύνδεση ἀτόμων προκύπτουν τὰ μόρια τῶν ἀπλῶν σωμάτων.
5. Τὰ μόρια τῶν σύνθετων σωμάτων ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἀνόμοια μεταξύ τοὺς ἄτομα.
6. Τὰ ἄτομα ἀποτελοῦνται ἀπὸ τὸν κεντρικὸ πυρήνα καὶ ἔνα ἡ περισσότερα ἡλεκτρόνια, πὸ περιστρέφονται γύρω του.
7. Ἡ μάζα τοῦ ἡλεκτρονίου είναι περίπου ἵση μὲ τὸ 1/2000 τῆς μάζας τοῦ πυρήνα τοῦ ἀτόμου τοῦ ὑδρογόνου. Ἡ μάζα ἐπομένως τοῦ ἀτόμου βρίσκεται συγκεντρωμένη στὸν πυρήνα του.

**§ 95. Ἡλεκτρισμός. Πείραμα.** Τρίβομε μία ράβδο ἀπὸ ἐβονίτη (ποὺ εἶναι ἔνα συνθετικό ὄντικό) μὲ μάλλινο ἢ μεταξωτὸ ὄφασμα καὶ ὅστερα πλησιάζομε τὴν ράβδο σὲ πολὺ ἐλαφρὰ καὶ μικρὰ κομμάτια χαρτί. Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὰ κομματάκια αὐτὰ ἔλκονται ἀπὸ τὴν ράβδο καὶ μένουν σάν κολλημένα στὴν ἐπιφάνειά της (σχ. 91). Τὸ ἴδιο ἀκριβῶς συμβαίνει, ἂν τρίψουμε μὲ μάλλινο ὄφασμα μιὰ γυάλινη ράβδο κλπ.

Αὐτὴ ἡ περίεργη, δύως μᾶς φαίνεται, ἰδιότητα ἡταν γνωστή στὴν ἀρχαιότητα. Ο Θαλῆς ὁ Μιλήσιος είχε παρατηρήσει ὅτι, ὅταν ἔτριβε ἔνα κομμάτι ἥλεκτρο (κεχριμπάρι) μὲ ἔνα ὄφασμα, τὸ ἥλεκτρο ἀποχτοῦσε τὴν ἰδιότητα νὰ ἔλκει πολὺ ἐλαφρὰ σώματα, δύως τρίχες, πούπουλα κλπ. Ἡ ἰδιότητα αὐτὴ τῶν σωμάτων δύναμαστηκε ἡλεκτρισμός.

Τὰ σώματα ποὺ ἀποχτοῦν τὴν ἰδιότητα



Σχ. 91. Ὅστερα ἀπὸ τὴν τρίβη τῆς μὲ ξηρὸ μάλλινο ὄφασμα, ἡ ράβδος τοῦ ἐβονίτη ἔλκει μικρὰ κομμάτια χαρτί.

τοῦ ἥλεκτρισμοῦ λέμε ὅτι εἶναι ἥλεκτρισμένα ἢ ὅτι εἶναι φορτισμένα ἥλεκτρικῶς. Ἡ διαδικασία ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ ἀποχτήσουν τὴν ἰδιότητα τοῦ ἥλεκτρισμοῦ τὰ σώματα δύναμέται ἥλεκτρισμόν.

"Ἐνα ἥλεκτρισμένο σῶμα λέμε ὅτι ἔχει ἥλεκτρικὰ φορτία. Τὸ ἥλεκτρικὸ φορτίο δὲν εἶναι ὄρατό ἡ παρουσία του διαπιστώνεται μόνο ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα ποὺ προκαλεῖται.

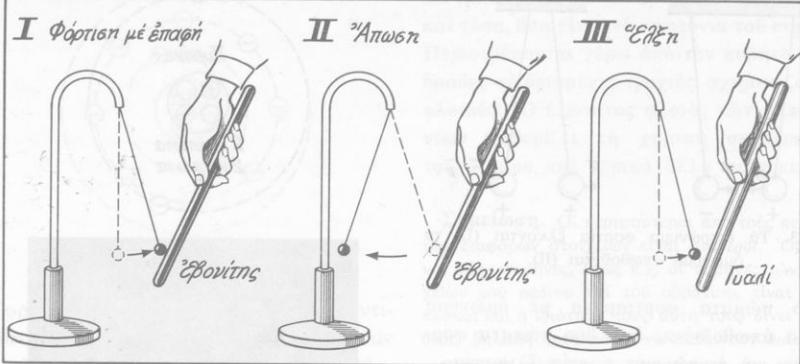
Τὰ σώματα ποὺ δὲν ἔχουν ἥλεκτρικὰ φορτία λέμε ὅτι εἶναι ἥλεκτρικῶς οὐδέτερα.

**§ 96. Θετικὰ καὶ ἀρνητικὰ ἥλεκτρικὰ φορτία. Ἡλεκτρικὸ ἐκκρεμές. α)** Οἱ δυνάμεις ποὺ ἐμφανίστηκαν μὲ τὴν τρίβη στὴ ράβδο τοῦ ἐβονίτη καὶ προκάλεσαν τὴν ἔλξη τοῦ χαρτιοῦ εἶναι πολὺ μικρές.

Εἶναι πιὸ εὔκολο νὰ μελετήσουμε τὰ ἥλεκτρικὰ φαινόμενα χρησιμοποιώντας τὸ ἥλεκτρικὸ ἐκκρεμές, μιὰ συσκευὴ δηλαδὴ ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα ἐλαφρὸ σφαιρίδιο ἀπὸ φελλὸ ἢ ψύχα κουφοζυλιάς, τὸ ὅποιο κρέμεται ἀπὸ ἔνα λεπτὸ μετάξινο νῆμα, δεμένο σ' ἔνα κατάλληλο στήριγμα (σχ. 92).

**Πείραμα.** Πλησιάζομε στὸ ἥλεκτρικὸ ἐκκρεμές μιὰ ράβδο ἀπὸ ἐβονίτη, ποὺ προηγουμένως τὴν ἔχομε τρίψει μὲ μάλλινο ὄφασμα. Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὸ σφαιρίδιο τοῦ ἐκκρεμοῦς ἔλκεται ἀπὸ τὴν ράβδο καὶ ὅτι, μόλις ἀκουμπήσει ἐπάνω της, ἀπωθεῖται καὶ ἀπομακρύνεται ἀπὸ αὐτῆν, παραμένοντας σὲ μιὰ ὄρισμένη ἀπόσταση (σχ. 92 I, II).

"Οταν τὸ σφαιρίδιο ἀκούμπησε στὴ ράβδο τοῦ ἐβονίτη, πῆρε ἔνα μέρος ἀπὸ τὰ ἥλεκτρικὰ φορτία τῆς ράβδου καὶ ἥλεκ-



Σχ. 92. Το σφαιρίδιο, που φορτίστηκε με έπαφή άπό τη ράβδο του έβονίτη, άπωθεῖται κατόπιν άπό αυτήν, ενώ έλκεται άπό την ήλεκτρισμένη γυάλινη ράβδο.

τρίστηκε. Έπομένως ο ήλεκτρισμένος έβονίτης άπωθεῖ (σπρώχνει πίσω) τὸ ήλεκτρικὸ ἐκκρεμές, που ήλεκτρίστηκε κατὰ τὴν έπαφήν του μὲ αὐτὸν.

Τὰ ίδια ἀκριβῶς φαινόμενα θὰ παρατηρήσουμε, ἂν κάνονται τὸ ίδιο πείραμα χρησιμοποιώντας ήλεκτρισμένη ράβδο άπὸ γυαλὶ ἢ ἄλλο κατάλληλο όλικο. "Ωστε:

"Ἐνα ηλεκτρισμένο σῶμα Α ἀσκεῖ ἀπωθητικὴ δύναμη σὲ ἔνα ἄλλο σῶμα, Β, ποὺ ηλεκτρίστηκε ἐξαιτίας τῆς ἐπαφῆς τοῦ μὲ τὸ Α.

β) "Ἄσ παρατηρήσουμε πάλι τὸ ηλεκτρικὸ ἐκκρεμές· τὸ ηλεκτρίζουμε μὲ μιὰ ράβδο άπὸ έβονίτη, δπως στὸ προηγούμενο πείραμα. "Αν κατόπι πλησιάσουμε στὸ ἐκκρεμές αὐτὸ μιὰν ηλεκτρισμένη ράβδο άπὸ γυαλὶ, θὰ παρατηρήσουμε ἔλξη τοῦ ἐκκρεμοῦς άπὸ τὴ γυάλινη ηλεκτρισμένη ράβδο (σχ. 91, ΗΙΙ). Δηλαδὴ ἐνῶ ο ηλεκτρισμένος έβονίτης άπωθεῖ τὸ φορτισμένο ἐκκρεμές, τὸ ηλεκτρισμένο γυαλὶ τὸ ἔλκει.

Συμπεραίνομε ἐπομένως ὅτι ο ηλεκτρισμός, ποὺ παρουσιάστηκε στὴν ἐπιφάνεια τοῦ έβονίτη, δημιουργεῖ τὰ ἀντίθετα ἀποτελέσματα άπὸ τὸν ηλεκτρισμό, ποὺ παρουσιάστηκε στὴν ἐπιφάνεια τοῦ γυαλιοῦ.

"Ετσι μποροῦμε νὰ ποῦμε ὅτι:

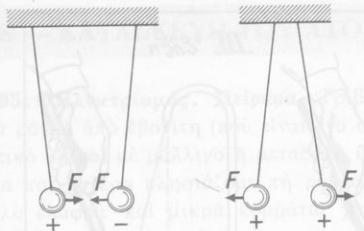
Κάθε ηλεκτρισμένο σῶμα συμπεριφέρεται εἰτε σὰν ηλεκτρισμένο γυαλὶ εἰτε σὰν ηλεκτρισμένος έβονίτης.

'Απὸ τὰ παραπάνω καταλήγομε στὸ συμπέρασμα ὅτι ούπάρχουν δύο διαφορετικὰ εἰδη ηλεκτρισμοῦ. Ο ηλεκτρισμὸς ποὺ ἐμφανίζεται στὴν ἐπιφάνεια τοῦ γυαλιοῦ καὶ τὸν δονομάζομε θετικὸ ηλεκτρισμὸ (σύμβολο +) καὶ ο ηλεκτρισμὸς ποὺ παρουσιάζεται στὴν ἐπιφάνεια τοῦ έβονίτη καὶ τὸν δονομάζομε ἀρνητικὸ ηλεκτρισμὸ (σύμβολο —).

**§ 97. Νόμος τῆς ἔλξης καὶ ἀπώσεως (ἀπωθήσεως) τῶν ηλεκτρικῶν φορτίων.** Δύο σώματα ποὺ είναι καὶ τὰ δύο φορτισμένα μὲ θετικὸ ηλεκτρισμὸ ἢ καὶ τὰ δύο μὲ ἀρνητικὸ ηλεκτρισμὸ λέμε ὅτι φέρουν διαφόρων ηλεκτρικὰ φορτία.

"Αν τὸ ἔνα ἔχει θετικὸ καὶ τὸ ἄλλο ἀρνητικὸν ηλεκτρισμό, τότε λέμε ὅτι φέρουν ἑτερόνυμα φορτία.

Τὰ προηγούμενα πειράματα μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ διατυπώσουμε τὸν ἀκόλουθο νόμο:



Σχ. 93. Τὰ ἑτερώνυμα φορτία ἔλκονται (I), τὰ διμόνυμα ἀποθοῦνται (II).

Δύο σώματα φορτισμένα μὲν διμόνυμα φορτία ἀποθοῦνται, ἐνῷ δύο σώματα φορτισμένα μὲν ἑτερώνυμα φορτία ἔλκονται.

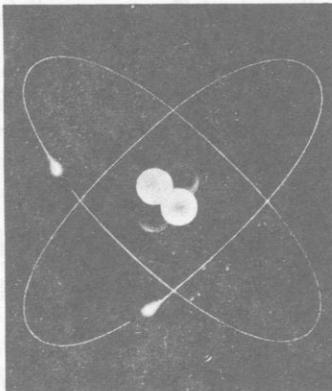
Ο νόμος αὐτὸς εἶναι γνωστὸς ώς νόμος τοῦ Κουλόμπ (Coulomb).

§ 98. Πυρήνας καὶ ἡλεκτρόνια. "Υστερα ἀπὸ μελέτες καὶ πειράματα οἱ Φυσικοὶ δόδηγθηκαν στὴ διαπίστωση ὅτι ἡ ίδιότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ εἶναι συνέπεια τῆς κατασκευῆς τοῦ ἀτόμου.

"Ολα τὰ ἄτομα ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἔναν κεντρικὸ πυρήνα ὅλης, ποὺ ἡ δομή του εἶναι περίπλοκη, καὶ ἀπὸ ὁρισμένον ἀριθμὸ ἡλεκτρονίων.

"Ο πυρήνας τῶν ἀτόμων ἀποτελεῖται κυρίως ἀπὸ σωματίδια φορτισμένα μὲν θετικό ἡλεκτρισμό, ποὺ τὰ δονομάζομε πρωτόνια, καὶ ἀπὸ ἀφόριστα σωματίδια, δηλαδὴ ἡλεκτρικῶς οὐδέτερα, ποὺ τὰ δονομάζομε νετρόνια. "Ἐτσι, π.χ., στὸν πυρήνα τοῦ ἀτόμου τοῦ ὑδρογόνου, ποὺ ἔχει τὸ ἀπλούστερο ἄτομο, ὑπάρχει 1 πρωτόνιο καὶ κανένα νετρόνιο, ἐνῷ στὸν πυρήνα τοῦ ἥλιου ὑπάρχουν 2 πρωτόνια καὶ 2 νετρόνια (σχ. 94, I, II).

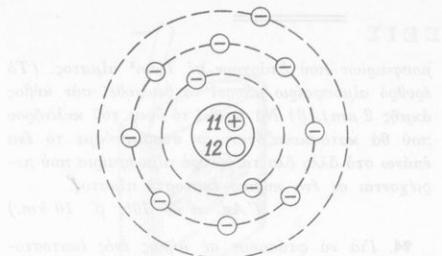
Τὰ ἡλεκτρόνια διατάσσονται κατὰ διμάδες ποὺ περιστρέφονται γύρω ἀπὸ τὸν πυρήνα σὲ διαφορετικές τροχιές. "Οσα ἡλεκτρόνια κινοῦνται σὲ τροχιές τῆς ἴδιας ἀκτίνας λέμε ὅτι ἀνήκουν στὸν ἴδιο φλοιό. Τὰ ἡλεκτρόνια εἶναι ἀρνητικὰ φορτισμέ-



Σχ. 94. Συγκρότηση τοῦ ἀτόμου τοῦ ἥλιου (I). Τὰ δύο ἡλεκτρόνια ποὺ περιστρέφονται ἀνήκουν στὸν ἴδιο φλοιό (II).

να σωματίδια. Τὸ ἡλεκτρικὸ φορτίο ἐνὸς ἡλεκτρονίου εἶναι ἵσο ἀριθμητικὰ μὲ τὸ θετικὸ φορτίο ἐνὸς πρωτονίου. Καὶ ἐπειδὴ ὁ ἀριθμὸς τῶν πρωτονίων εἶναι ἵσος μὲ τὸν ἀριθμὸ τῶν ἡλεκτρονίων του, τὸ ἄτομο εἶναι ἡλεκτρικῶς οὐδέτερο. "Ἐτσι τὸ ἄτομο τοῦ ἥλιου ἔχει πυρήνα μὲ δύο πρωτόνια καὶ γύρω ἀπὸ αὐτὸν περιστρέφονται δύο ἡλεκτρόνια ποὺ ἀνήκουν στὸν ἴδιο φλοιό. Τὸ ἄτομο τοῦ νατρίου ἔχει πυρήνα μὲ 11 πρωτόνια· γύρω ἀπὸ αὐτὸν περιστρέφονται 11 ἡλεκτρόνια μοιρασμένα σὲ τρεῖς φλοιοὺς (σχ. 95). Τὸ ἄτομο τοῦ οὐρανίου ἔχει πυρήνα μὲ 92 πρωτόνια καὶ 46 νετρόνια, ποὺ γύρω του περιφέρονται 92 ἡλεκτρόνια.

Τὰ ἡλεκτρόνια τοῦ ἐξώτατου φλοιοῦ



Σχ. 95. Τὸ ἄτομο τὸν νατρίου.

καθορίζουν καὶ ἔξηγον τὶς χημικὲς ἀντιδράσεις τῶν στοιχείων καὶ φαινόμενα σάν τὸν ἡλεκτρισμόν, τὸ πέρασμα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ τοὺς ἀγωγούς, τὴν ἡλεκτρόλυσην κλπ. Ὁστε:

Τὸ ἄτομο ὅποιουδήποτε στοιχείου ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν κεντρικὸν πυρῆνα καὶ ἀπὸ τὰ ἡλεκτρόνια, ποὺ περιστρέφονται γύρῳ του. Ὁ πυρῆνας ἀπαρτίζεται ἀπὸ πρωτόνια, ποὺ είναι θετικὰ φορτισμένα σωματίδια, καὶ ἀπὸ νετρόνια, ποὺ είναι ἡλεκτρικῶς οὐδέτερα.

Τὰ ἡλεκτρόνια είναι ἀρνητικὰ φορτισμένα καὶ τόσα, ὅσα είναι τὰ πρωτόνια τοῦ πυρῆνα. Περιστρέφονται γύρῳ ἀπὸ τὸν πυρῆνα κατὰ ὁμάδες σὲ ὄρισμένες τροχιές, σχηματίζοντας φλοιούς. Ὁ ἔξωτας φλοιὸς τῶν ἡλεκτρονίων καθορίζει τὴν χημικὴν συμπεριφορὰ τοῦ ἀτόμου καὶ μερικὰ ἄλλα φαινόμενα.

**Σημείωση.** Οἱ περισσότεροι ἀπὸ τοὺς πυρῆνες τῶν διαφόρων στοιχείων είναι σταθεροί. Ὁρισμένοι δμωὶς πυρῆνες, δπως π.χ. οἱ πυρῆνες τῶν στοιχείων τοῦ ραβίου καὶ τοῦ οὐρανίου, είναι πολύπλοκοι καὶ ἡ ιδιότητά τους δίνει ἀστάθεια, δηλαδὴ τοὺς κάνει νὰ παθαίνουν διάσπαση.

Είναι δυνατὸν νὰ συμβεῖ φυσικὰ καὶ ἀβίαστα ἐκπομπὴ σωματιδίων ἀπὸ τὸν πυρῆνα, δπως ἐπίσης καὶ μεταποτὴ νετρονίων σὲ πρωτόνια. Αὐτὰ τὰ φαινόμενα χαρακτηρίζονται γενικά μὲ τὸν ὄρο «ραδιενέργεια» καὶ καταλήγουν στὴ διάσπαση τῆς ψληγού, που είναι βραδότατη.

Για νὰ διασπαστεῖ π.χ. μία ὄρισμένη ποσότητα ραδίου καὶ νὰ ἀπομείνει ἡ μισὴ τῆς ἀρχικῆς, ἀπαιτούνται 1 600 χρόνια, ἐνῶ γιὰ νὰ ἀπομείνει ἡ μισὴ ποσότητα ἀπὸ ὄρισμένη μάζα οὐρανίου, ἀπαιτούνται 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ὁρισμένες οὐδίες, δπως τὸ γυαλί, τὰ πλαστικὰ ψληγακά κλπ. μποροῦν ἔξαιτιας τῆς τριβῆς νὰ ἡλεκτρισθοῦν.
2. Ὑπάρχουν δύο εἶδοι ἡλεκτρισμοῦ. Ὁ θετικός ἡλεκτρισμός, ποὺ ἀναφαίνεται στὴν ἐπιφάνεια τοῦ γυαλιοῦ, καὶ ὁ ἀρνητικός, ποὺ παρουσιάζεται στὴν ἐπιφάνεια τοῦ ἔβονίτη, ὅταν τρίψουμε τὰ σώματα αὐτὰ μὲ ἔνα μάλλινο ὑφασμα.
3. Δύο σώματα φορτισμένα μὲ ὄμώνυμα φορτία ἀπωθοῦνται, ἐνῶ δύο σώματα φορτισμένα μὲ ἑτερώνυμα φορτία ἔλκονται.
4. Ἐνα ἄτομο ἐνὸς στοιχείου ἀποτελεῖται ἀπὸ τὸν πυρῆνα καὶ τὰ ἡλεκτρόνια ποὺ περιστρέφονται γύρῳ του.
5. Ὁ πυρῆνας περιέχει πρωτόνια, ποὺ είναι σωματίδια φορτισμένα μὲ θετικὸν ἡλεκτρισμό, καὶ νετρόνια, ποὺ είναι ἀφόρτιστα σωματίδια.
6. Τὸ ἡλεκτρόνιο φέρει ἀρνητικὸν ἡλεκτρισμό, ἵσον πρὸς τὸν θετικὸν ἡλεκτρισμὸν ἐνὸς πρωτονίου. Τὸ ἄτομο ἔχει τόσα ἡλεκτρόνια, ὅσα καὶ πρωτόνια. Συνεπῶς ἐμφανίζεται ἡλεκτρικῶς οὐδέτερο.
7. Τὰ ἡλεκτρόνια περιφέρονται κατὰ ὁμάδες σὲ ὄρισμένες τροχιές γύρῳ ἀπὸ τὸν πυρῆνα.

**90.** Τὸ μικρόμετρο ( $1 \mu m$ ) είναι μία πολὺ μικρὴ μονάδα μετρήσεως μήκους καὶ είναι  $1 \mu m = 10^{-9} \text{ mm}$ . Νὰ ἀποδώσετε τὴν τιμὴν αὐτῆς τῆς μονάδας σὲ ἐκατοστόμετρα καὶ μέτρα.

('Απ.  $10^{-4} \text{ cm}$ ,  $10^{-6} \text{ m}$ .)

**91.** Τὸ "Αγγυστομ (1 Ångström, 1 Å) είναι μία μονάδα μήκους μικρότερη ἀπὸ τὸ μικρόμετρο. Είναι  $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ μm}$ . Νὰ ἀποδώσετε τὴν τιμὴν αὐτῆς τῆς μονάδας σὲ ἐκατοστόμετρα καὶ μέτρα. Τὰ ἀποτελέσματα νὰ ἔχουν τοῦν μὲ τὴν χρησιμοποίησην δυνάμεων τοῦ δέκα.

('Απ.  $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}$ .)

**92.** Στὸ αἷμα ἑνὸς ὑγροῦ ἀνθρώπου περιέχονται  $25 \cdot 10^{12}$  ἐρυθρὰ αἷμοσφαιρα, ποὺ ἔχουν διάμετρο 7 μμ τὸ καθένα. Ποὺ θὰ ἡταν τὸ μῆκος σὲ χιλιόμετρα τῶν ἐρυθρῶν αἷμοσφαιρῶν τοῦ αἵματος ἑνὸς ἀνθρώπου, ἀν τὰ τοποθετήσαμε στὴ σειρὰ τὸ ἑνα μετὰ τὸ ἄλλο; ('Απ. 175 000 km.)

**93.** Τὸ σῶμα τοῦ ἀνθρώπου περιέχει 5 λίτρα αἷματος. Μέσα σ' αὐτὸν ὑπάρχουν  $25 \cdot 10^{12}$  ἐρυθρὰ αἷμοσφαιρα. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ὁ ἀριθμὸς τῶν αἱ-

μοσφαιρῶν ποὺ ὑπάρχουν σὲ 1  $\text{cm}^3$  αἷματος. (Τὸ ἐρυθρὸν αἷμοσφαιρίον μιτορεῖ νὰ θεωρηθεῖ σὰν κιβός αἱμάτης 2 μμ). β) Νὰ φρεσεῖ τὸ ὑπο τοῦ κυλίνδρου ποὺ θὰ κατασκευαζόταν, ἀν συσωρεύσει τὸ ἑνα ἐπάνω στὸ ἄλλο δὲ τὸ ἐρυθρὸν αἷμοσφαιρίον ποὺ περιέχονται σὲ ἑνα κυβικὸ ἐκατοστὸ αἷματος.

('Απ. α'  $5 \cdot 10^9$ , β'  $10 \text{ km}^3$ )

**94.** Γιὰ νὰ φτάσουμε σὲ μῆκος ἑνὸς ἐκατοστόμετρον, πρέπει νὰ τοποθετήσουμε σὲ εὐθεῖα γραμμὴ 40 ἐκατομνάρια μόρια ὑδρογόνου, ποὺ τὰ θεωροῦμε σφαιρικά. Νὰ ὑπολογιστεῖ σὲ ἐκατοστόμετρα ἡ διάμετρος ἑνὸς μορίου ὑδρογόνου. Ἡ τιμὴ τῆς διαμέτρου νὰ ἔχουμε μὲ τὴν χρησιμοποίησην δυνάμεων τοῦ δέκα μὲ ἀριθμητικὸν ἐκθέτες.

('Απ.  $25 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$ )

**95.** Σὲ ἑνα ἀπομονωμένο νησί περιήλθε πειρατεία. Οἱ πειράτες έπεισαν τὸν νησιώναρχο νὰ τοποθετήσει σὲ εὐθεῖα γραμμὴ 55 ἐκατομνάρια μόρια ὑδρογόνου στὸν μικρομέτρον (γράφομε: 55 μμ). Ἀν παραστήσουμε μῆκος 1 ετ. μὲ μῆκος 500 km, πόση θὰ είναι ἡ διάμετρος τῆς πειρατείας, ποὺ θὰ παριστάνει τὴν τροχιά τοῦ ἡλεκτρονίου; ('Απ. 5,5 mm.)

## Κ' — ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ. ΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

**§ 99. Γενικότητες.** "Οταν ἔξετάσαμε τὰ φαινόμενα τῆς ἡλεκτρίσεως τὰ ὅποια προκαλεῖ ἡ τριβή, ἀναφέραμε διτὶ τὰ φαινόμενα αὐτὰ διφείλονται στὰ ἡλεκτρικὰ φορτία, ποὺ παραμένουν στὴν ἔξωτερικὴ ἐπιφάνεια τῶν σωμάτων ποὺ τρίβονται.

Μὲ κατάλληλες συνθῆκες καὶ προϋποθέσεις τὰ ἡλεκτρικὰ φορτία είναι δυνατὸν νὰ μετακινηθοῦν.

Ἡ μετακίνηση, ἀπὸ ὅποιαδήποτε αἰτίᾳ, ἡλεκτρικῶν φορτίων παράγει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

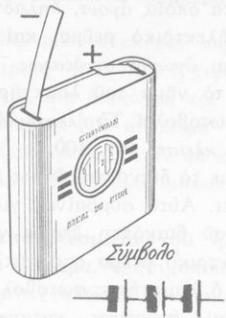
"Ωστε:

Ἡλεκτρικὸ ρεῦμα παράγεται, ὅταν ἀπὸ ὅποιαδήποτε αἰτίᾳ γίνει μετακίνηση ἡλεκτρικῶν φορτίων.

**§ 100. Πηγὲς ἡ γεννήτριες ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.** Οἱ γεννήτριες χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν παραγωγὴ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ είναι οἱ ἔξι:

a) Τὰ ἡλεκτρικὰ στοιχεῖα, ποὺ χρησιμοποιοῦνται κυρίως γιὰ τὴν τροφοδότηση μικρῶν φορητῶν ἡλεκτρικῶν συσκευῶν (φανάρια τσέπης, συσκευὲς βαρήκων, φορητὰ ραδιόφωνα κλπ.). Πολλὰ ἡλεκτρικὰ στοιχεῖα, κατάλληλα συνδεμένα, σχηματίζουν ἡλεκτρικὴ στήλη (σχ. 96).

b) Οἱ ἡλεκτρικοὶ συσσωρευτές, ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὰ αὐτοκίνητα, στὰ ὑποβρύχια, γιὰ νὰ τὰ κινοῦν, ὅταν ἔχουν καταδυθεῖ, στὰ ραδιόφωνα κλπ. Πολλοὶ ἡλεκτρικοὶ συσσωρευτές, κατάλληλα συν-



Σχ. 96. Ήλεκτρική στήλη.

δεμένοι, σχηματίζουν συστοιχία συσσωρευτῶν (σχ. 97).



Σχ. 97. Ήλεκτρικός συσσωρευτής.

γ) Οι ήλεκτρικές δυναμογεννήτριες, ποὺ ἀποτελοῦν τις σπουδαιότερες πηγὲς τροφοδοσίας ηλεκτρικοῦ ρεύματος (σχ. 98).

Σὲ δόποιονδήποτε τύπο ηλεκτρικῆς πηγῆς ὑπάρχουν συνήθως τὰ ἄκρα δύο στελέχῶν ἡ συρμάτων ἡ δύο ἐλασμάτων, τὰ δύοια δονομάζονται πόλοι τῆς πηγῆς. Ο ἔνας ἀπὸ τοὺς πόλους δονομάζεται θετικὸς πόλος καὶ σημειώνεται μὲ τὸ σύμβολο (+), ἐνῶ δὲ ἄλλος ἀρνητικὸς πόλος καὶ σημειώνεται μὲ τὸ σύμβολο (-).



Σχ. 98. Εξωτερική ἐμφάνιση δυναμογεννήτριας.

§ 101. Συνεχὲς καὶ ἐναλλασσόμενο ἡλεκτρικὸ ρεῦμα. Οἱ πηγὲς τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος διακρίνονται σὲ δύο μεγάλες κατηγορίες: α) στὶς πηγὲς συνεχοῦς ρεύματος καὶ β) στὶς πηγὲς ἐναλλασσόμενον ρεύματος.

"Οταν οἱ πόλοι μιᾶς ηλεκτρικῆς πηγῆς κρατοῦν ἀμετάβλητο τὸ σημεῖο τους, (παραμένουν δῆλαδὴ θετικὸς ὁ θετικὸς πόλος καὶ ἀρνητικὸς ὁ ἀρνητικὸς πόλος, δσο χρονικὸ διάστημα ἐργάζεται καὶ τροφοδετεῖ μὲ ρεῦμα ἡ πηγῆ), τότε ἡ φορὰ τοῦ ρεύματος μέσα σ' ἔναν ἀγωγό, ποὺ συνδέει τοὺς πόλους τῆς πηγῆς διατηρεῖται σταθερή. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, αὐτὸ δονομάζεται συνεχὲς καὶ ἡ πηγὴ ποὺ τὸ παράγει πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος.



Σχ. 99. Ρευματοδότης (πρίζα) καὶ ρευματολήπτης (φίς).

Τὰ ἡλεκτρικὰ στοιχεῖα, οἱ συσσωρεύτες καὶ οἱ γεννήτριες δρισμένου τύπου παράγουν συνεχές ρεῦμα.

"Οταν δῶμας οἱ πόλοι τῆς πηγῆς ἐναλλάσσουν τὸ σημεῖο τους, (γίνονται δηλαδὴ διαδοχικά καὶ διαρκῶς θετικοὶ καὶ ἀρνητικοί), τότε καὶ ἡ φορά τοῦ ρεύματος μεταβάλλεται περιοδικῶς, ἀκολουθώντας τὴν περιοδικότητα τῆς μεταβολῆς τῶν πόλων. Στὴν περίπτωση αὐτῇ τὸ ρεῦμα δονομάζεται ἐναλλασσόμενο καὶ ἡ πηγὴ ποὺ τὸ παράγει πηγὴ ἐναλλασσόμενον φεύματος.

Οἱ ρευματοδότες (πρίζες) (σχ. 99) εἰναι ἡλεκτρικὲς πηγές. "Αν δῶμας παρέχουν ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, δὲν εἴμαστε σὲ θέση νὰ ξεχωρίσουμε τὸν θετικὸ καὶ τὸν ἀρνητικὸ πόλο, ἐπειδὴ οἱ πόλοι ἀλλάζουν διαρκῶς σημεῖο.

Τὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα διακρίνονται σὲ ρεύματα χαμηλῆς συχνότητας καὶ ρεύματα ὑψηλῆς συχνότητας.

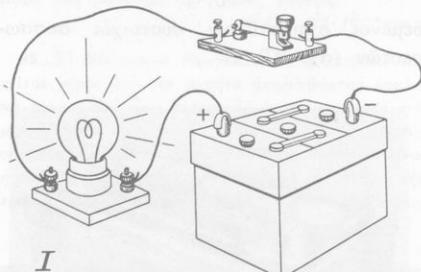
Τὰ χαμηλῆς συχνότητας βιομηχανικά ἐναλλασσόμενα ρεύματα τῆς Εὐρώπης, ὅπως εἰναι τὸ ρεῦμα τοῦ ἡλεκτρικοῦ δικτύου τροφοδοσίας τῶν πόλεων, ἔχουν συχνότητα 50 Hz. Μέσα δηλαδὴ σὲ χρόνο 1 sec ἀλλάζουν 50 φορὲς πολικότητα οἱ πόλοι τῆς γεννήτριας, ποὺ παράγει τὸ ρεῦμα.

**§ 102. Ἡλεκτρικὸ κύκλωμα. Πείραμα.** Μὲ τρία δόμοια χάλκινα σύρματα συνδέομε ἕνα συσσωρευτή, ἕνα διακόπτη καὶ ἕνα μικρὸ λαμπτήρα ώς ἔξι: Συνδέομε τὸν θετικὸ πόλο τοῦ συσσωρευτῆ μὲ τὸν ἕνα ἀκροδέκτη τοῦ λαμπτήρα, χρησιμοποιώντας τὸ ἕνα σύρμα. Μὲ τὸ δεύτερο σύρμα συνδέομε τὸν ἄλλο ἀκροδέκτη τοῦ λαμπτήρα μὲ τὸ διακόπτη, ἔχοντας τὸ διακόπτη ἀνοιχτό, καὶ μὲ τὸ τρίτο σύρμα ἐνώνομε τὸ διακόπτη μὲ τὸν ἀρνητικὸ πόλο τοῦ συσσωρευτῆ. Ἡ σύνδεση αὐτῇ ἀποτελεῖ ἔνα ἡλεκτρικὸ κύκλωμα.

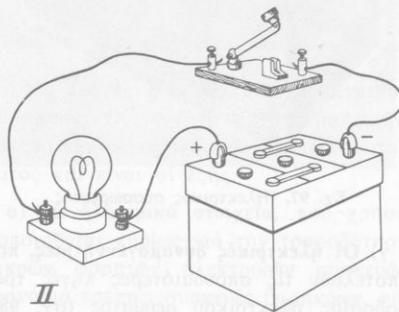
Κλείνομε τὸ διακόπτη, ὅποτε ὁ λαμπτήρας φωτοβολεῖ. Αὐτὸ συμβαίνει, γιατὶ κυκλοφορεῖ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ κύκλωμα. Τὸ ρεῦμα κυκλοφορεῖ χάρη στὰ χάλκινα

σύρματα, τὰ ὅποια ἄγοντ, δηλαδὴ μεταφέρουν τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, καὶ γι' αὐτὸ δονομάζονται ἀγωγοὶ συνδέσεως. Τὸ ρεῦμα θερμαίνει τὸ νῆμα τοῦ λαμπτήρα καὶ τὸ κάνει νὰ φωτοβολεῖ. Τὸ ἡλεκτρικὸ κύκλωμα εἶναι τώρα κλειστό (σχ. 100, I).

"Ανοίγομε τὸ διακόπτη, ὅποτε ὁ λαμπτήρας σβήνει. Αὐτὸ συμβαίνει, γιατὶ μὲ τὸ ἄνοιγμα τοῦ διακόπτη ἔπαψε νὰ κυκλοφορεῖ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ κύκλωμα. "Ωστε, ὅταν ὁ λαμπτήρας φωτοβολεῖ, χρησιμοποιοεῖ καὶ, ἐπομένως, καταναλώνει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.



I



II

**Σχ. 100. Ἡλεκτρικὸ κύκλωμα. (I) Κλειστὸ καὶ (II) ἀνοιχτό.**

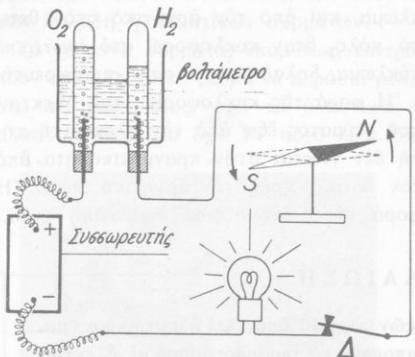
Οἱ πολυποίκιλες συσκευὲς ποὺ λειτουργοῦν καταναλώνοντας ἡλεκτρικὸ ρεῦμα δονομάζονται ἡλεκτρικὸι καταναλωτές.

"Οταν σ' ἔνα ἡλεκτρικὸ κύκλωμα δὲν κυκλοφορεῖ ρεῦμα, λέμε ὅτι τὸ ἡλεκτρικὸ κύκλωμα εἶναι ἀνοιχτό (σχ. 100, II).

Από τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι:

Ἐνα ἡλεκτρικὸ κύκλωμα περιλαμβάνει μὲν ἡλεκτρικὴ πηγή, ἔναν ἡ περισσότερους καταναλωτές, ἔνα διακόπτη καὶ τοὺς ἀγωγοὺς συνδέσεως. Τὸ κύκλωμα διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, ὅταν σὲ κανένα σημεῖο του δὲν παρουσιάζει διακοπή.

§ 103. Ἀποτελέσματα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Πείραμα. Χρησιμοποιώντας χάλκινα σύρματα (καλώδια) συνδέομε σὲ σειρά, (δηλαδὴ τὴν μὲν συσκευὴν ὑστερα ἀπὸ τὴν ἄλλην), ἔνα συσσαρευτή, ἔνα λαμπτήρα, ἔνα διακόπτη καὶ ἔνα βολταμέτρο μὲν διάλυμα σόδας καὶ ἡλεκτρόδια ἀπὸ σίδερο. Τὸ χάλκινο σύρμα τοῦ ἀγωγοῦ συνδέσεως τὸ τοποθετοῦμε κατὰ τέτοιο τρόπο, ὅτε ἔνα τμῆμα του νὰ είναι παράλληλο μὲν μιὰ μαγνητικὴ βελόνα (σχ. 101).



Σχ. 101. Γιὰ τὴν σπουδὴ τῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

Οταν είναι ἀνοιχτὸ τὸ κύκλωμα, κανένα φαινόμενο δὲν παρατηρεῖται οὔτε στὸ βολταμέτρο οὔτε στὸ λαμπτήρα, ἔνδι ἡ μαγνητικὴ βελόνα μένει παράλληλη μὲ τὸ χάλκινο σύρμα.

Κλείνομε τώρα τὸ διακόπτη, ὅπότε παρατηροῦμε τὰ ἔξῆς φαινόμενα:

α) Ἡ μαγνητικὴ βελόνα ἀποκλίνει καὶ

δὲν εἶναι πιὰ παράλληλη μὲ τὸν χάλκινο ἀγωγὸ συνδέσεως.

β) Ὁ λαμπτήρας ἀνάβει. Τὸ μετάλλιον νῆμα τοῦ λαμπτήρα πυραχτώνεται (πυρώνει) καὶ φωτοβοιλεῖ.

γ) Στὰ ἡλεκτρόδια τοῦ βολταμέτρου ἐλευθερώνονται ἀέρια.

Οταν συμβαίνουν τὰ παραπάνω φαινόμενα, στὸ κύκλωμα κυκλοφορεῖ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

Ἀνοιγόμετρο τὸ διακόπτη. Αὐτομάτως τὰ φαινόμενα ποὺ παρατηρήσαμε διακόπτονται, ἡ μαγνητικὴ βελόνα ἔαναπαίρνει παράλληλη θέση μὲ τὸ χάλκινο σύρμα, ὁ λαμπτήρας σβήνει καὶ ἡ παραγωγὴ ἀερίων στὰ ἡλεκτρόδια σταματᾷ. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα δὲν κυκλοφορεῖ πιὰ στὸ κύκλωμα.

Ἄπο τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι:

Ἡ κυκλοφορία ἡλεκτρικοῦ ρεύματος σὲ ἔνα κλειστὸ κύκλωμα προκαλεῖ :

α) Θερμικὰ ἀποτελέσματα. Θερμαίνει δηλαδὴ τοὺς ἀγωγοὺς ποὺ διαρρέει. Ἔτσι θερμαίνει καὶ πυραχτώνει τὸ σύρμα τοῦ λαμπτήρα, τὸ δόποιο φωτοβοιλεῖ.

β) Μαγνητικὰ ἀποτελέσματα. Ἐκτρέπει μᾶλλον μαγνητικὴ βελόνα ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ τῆς θέσης.

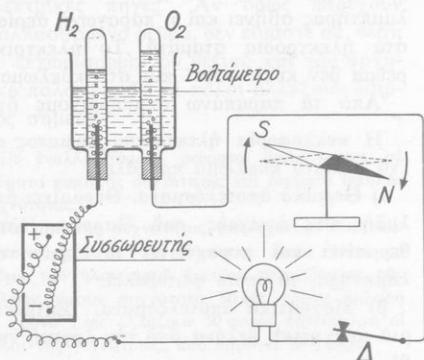
γ) Χημικὰ ἀποτελέσματα. Ἐλευθερώνει ἀέρια στὰ ἡλεκτρόδια ἐνὸς βολταμέτρου, ποὺ περιέχει ὄντατικὸ διάλυμα σόδας.

Ἐκτὸς ἀπὸ τὰ ἀποτελέσματα αὐτὰ, τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, ὅταν περάσει μέσα ἀπὸ τὸ ἀνθρώπινο σῶμα ἢ τὸ σῶμα τῶν ζώων, ἀλλοιώνει τὰ κύτταρα καὶ μπορεῖ νὰ προκαλέσει καὶ τὸ θάνατο (ἡλεκτροπληγία). Μπορεῖ ἀκόμη, ὅταν περνᾶ μέσα ἀπὸ κατάλληλες μηχανές (ἡλεκτροκινητήρες), νὰ τὶς κινήσει. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ὅταν κυκλοφορήσει μέσα ἀπὸ ἀραιωμένα ἀέρια, τὰ ἀναγκάζει νὰ φωτοβολήσουν (σωλῆνες φωτεινῶν διαφημίσεων, λαμπτήρες φθορισμοῦ).

§ 104. Φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Στὸ προηγούμενο πείραμα σημειώνομε τὸ

ήλεκτρόδιο, δύπου παράγεται ή μικρότερη ποσότητα άεριον. Τό δηλεκτρόδιο αύτὸν είναι συνδέμενο μὲ τὸν θετικὸ πόλο τοῦ συσσωρευτῆ. Σημειώνομε ἐπίσης τὴν φορὰ τῆς ἀποκλίσεως τῆς μαγνητικῆς βελόνας.

**Πείραμα.** Διακόπτομε τὸ κύκλωμα, γεμίζομε καὶ τοὺς δύο ἀναστραμμένους ὁγκομετρικοὺς σωλῆνες τῶν ἡλεκτρόδιων μὲ ὑδατικὸ διάλυμα σόδας καὶ ἀφοῦ ἐναλλάξουμε τοὺς ἀκροδέκτες (ἀλλάξουμε τὴ θέση τοῦ ἐνὸς μὲ τοῦ ἄλλου καὶ ἀντίστροφα) τῶν ἀγωγῶν συνδέσεως μὲ τοὺς πόλους τοῦ συσσωρευτῆ, ἐπαναλαμβάνομε τὸ πεῖ-



Σχ. 102. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἔχει ὄρισμένη φορά.

ραμα (σχ. 102), ὅπότε διαπιστώνομε ὅτι: α) Ὁ λαμπτήρας φωτοβοιλεῖ ὅπως καὶ πρῶτα. β) Ἡ μαγνητικὴ βελόνα ἀποκλίνει, ἀλλὰ πρὸς τὸ ἀντίθετο μέρος ἀπὸ τὴν προηγούμενη φορά. γ) Στὸ βολτάμετρο τὸ ἡλεκτρόδιο, δύπου ἐλευθερώνεται τὸ λιγότερο ἀέριο, εἶναι καὶ πάλι ἐκεῖνο ποὺ είναι συνδέμενο μὲ τὸ θετικὸ πόλο.

Ἄπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι:

α) Τὰ χημικὰ καὶ τὰ μαγνητικὰ ἀποτελέσματα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἀλλάζουν φορά, ὅταν ἐναλλάξουμε τοὺς πόλους τῆς πηγῆς στὸ κύκλωμα καὶ, συνεπῶς, οἱ δύο πόλοι μιᾶς ἡλεκτρικῆς πηγῆς δὲν εἶναι ἰσοδύναμοι. β) Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἔχει ὄρισμένη φορά.

"Οπως λέμε, τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα κυκλοφορεῖ ἀπὸ τὸν θετικὸ πόλο στὸν ἀρνητικὸ πόλο, ὅταν κυκλοφορεῖ στὸ ἐσωτερικὸ κύκλωμα, καὶ ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ στὸν θετικὸ πόλο, ὅταν κυκλοφορεῖ στὸ ἐσωτερικὸ κύκλωμα, δηλαδὴ μέσα στὸ συσσωρευτῆ.

"Η φορὰ τῆς κυκλοφορίας τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἔξω ἀπὸ τὴν ἡλεκτρικὴ πηγὴ δὲν γίνεται στὴν πραγματικότητα, ἀπὸ τὸν θετικὸ πρὸς τὸν ἀρνητικὸ πόλο. "Η φορὰ αὐτὴ δονομάζεται συμβατικὴ φορά.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ἡ δοπιαδῆποτε μετακίνηση ἡλεκτρικῶν φορτίων ἀποτελεῖ ἡλεκτρικό ρεῦμα.
2. Οἱ πηγὲς τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος μποροῦν νὰ τροφοδοτήσουν μὲ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μιὰ ἐγκατάσταση.
3. Οἱ ἡλεκτρικές πηγὲς ἔχουν δύο πόλους, τὸν θετικὸ (+) καὶ τὸν ἀρνητικὸ (-) πόλο.
4. Τὸ ἡλεκτρικὸ κύκλωμα περιλαμβάνει τὴν ἡλεκτρικὴ πηγή, τὰ ἀγωγὰ συρματα, τοὺς καταναλωτές, τὰ ὄργανα μετρήσεως καὶ τὸ διακόπτη.
5. Ἡ διέλευση ἡλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ ἔνα κλειστὸ κύκλωμα μπορεῖ νὰ προκαλέσει θερμικά, μαγνητικὰ καὶ χημικὰ ἀποτελέσματα.
6. Οἱ πόλοι μιᾶς ἡλεκτρικῆς πηγῆς δὲν εἶναι ἰσοδύναμοι. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἔχει ὄρισμένη φορά. "Η φορὰ αὐτὴ εἶναι ἀπὸ τὸν θετικὸ πρὸς τὸν ἀρνητικὸ πόλο ἔξω ἀπὸ τὴν πηγὴ (συμβατικὴ φορά) καὶ ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ πρὸς τὸν θετικὸ πόλο μέσα στὴν πηγὴ.

## ΚΑ' — ΑΓΩΓΑ ΚΑΙ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ. ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

**§ 105.** 'Αγωγοί καὶ μονωτές. Πείραμα.

'Αντικαθιστοῦμε τὰ χάλκινα σύρματα τοῦ κυκλώματος, μὲ τὸ δόποιο διαπιστώσαμε τὰ θερμικά, μαγνητικά καὶ χημικά ἀποτελέσματα τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος (βλ. σχ. 101) μὲ σύρματα ἀπὸ ἐλαστικὸ κόμι (καουτσούκ) ἢ ἀπὸ ἕνα πλαστικὸ ὄντικο καὶ κλείνομε τὸ διακόπτη. Διαπιστώνομε τότε διτί: α) ὁ λαμπτήρας δὲν ἀνάβει, β) ἡ μαγνητικὴ βελόνα δὲν ἀποκλίνει καὶ γ) ἀέρια δὲν ἀπελευθερώνονται στὰ ηλεκτρόδια.

'Αφοῦ κανένα φαινόμενο δὲν παρατηρεῖται στὸ κύκλωμα, ἀν καὶ τοῦτο εἶναι κλειστό, συμπεραίνομε διτί δὲν κυκλοφορεῖ σ' αὐτὸ ρεῦμα, πράγμα ποὺ δοφείλεται στὴ φύση τῶν ἀγωγῶν συνδέσεως, τῶν ἐλαστικῶν δηλαδὴ ἢ πλαστικῶν συρμάτων.

Τὰ χάλκινα σύρματα, ἐπομένως, ἐπιτρέπουν στὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα τοὺς, ἐνῷ τὰ ἐλαστικὰ ἢ πλαστικὰ σύρματα δχι. Γι' αὐτὸ λέμε διτί

ὅ χαλκός εἶναι καλὸς ἀγωγὸς ἢ ἀπλῶς ἀγωγὸς τοῦ ηλεκτρισμοῦ, ἐνῷ τὸ ἐλαστικὸ κόμι κακὸς ἀγωγὸς τοῦ ηλεκτρισμοῦ ἢ μονωτής.

Τὰ μέταλλα εἶναι ἀγωγοὶ τοῦ ηλεκτρισμοῦ, ἐνῷ τὸ γυαλί, τὸ ξύλο, ἡ πορσελάνη (σχ. 103), τὸ ἀποσταγμένο νερό, τὸ πετρέλαιο κλπ. εἶναι μονωτές. "Ωστε:

"Ολὰ τὰ σώματα δὲν ἐπιτρέπουν στὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα τοὺς. 'Υπάρχουν ἀγωγὰ σώματα, ὅπως τὰ μέταλλα, καὶ μονωτικὰ σώματα, ὅπως τὸ καουτσούκ.

**§ 106.** 'Εξήγηση τῆς ηλεκτρίσεως.

"Αν τρίψουμε τὸ ἄκρο μιᾶς ράβδου ἀπὸ ἐβονίτη μὲ δέρμα, θὰ ἐμφανιστοῦν στὸ μέρος τῆς ράβδου ποὺ τρίψαμε ἀρνητικὰ ηλεκτρικὰ φορτία, ποὺ ἔλκουν μικρὰ κομμάτια χαρτί (βλ. σχ. 91).

"Η ἔξήγηση τοῦ φαινομένου εἶναι ἀπλὴ στὸ γνώστη τῆς δομῆς τοῦ ἀτόμου.

Τὸ ἄτομο εἶναι ηλεκτρικῶς οὐδέτερο, ἀφοῦ τὸ θετικὸ φορτίο τοῦ πυρήνα εἶναι ἀριθμητικὰ ἵσο μὲ τὸ ἀρνητικὸ φόρτο τῶν ηλεκτρονίων ποὺ περιφέρονται γύρω του.

"Αν μὲ τὴν τριβὴ ἀποσπάσουμε ηλεκτρόνια ἀπὸ μερικὰ ἄτομα ἐνὸς ὄντικοῦ, παρουσιάζεται σ' αὐτὸ πλεόνεσμα θετικῶν φορτίων, ἐπειδὴ τὸ φορτίο τοῦ πυρήνα παραμένει ἀμετάβλητο.

Στὴν περίπτωση τῆς ράβδου τοῦ ἐβονίτη ἔχουμε νὰ παρατηρήσουμε τὰ ἔξης. Πρὶν τὴν τρίψουμε μὲ τὸ δέρμα, εἰχε ἴσαριθμα θετικὰ καὶ ἀρνητικὰ φορτία, πράγμα ποὺ συνέβαινε καὶ μὲ τὸ δέρμα. Κατὰ τὴν τριβὴ ὅμως τὸ δέρμα ἔχασε μερικὰ ηλεκτρόνια, ποὺ τὰ πῆρε ὁ ἐβονίτης



Σχ. 103. Μονωτές ἀπὸ πορσελάνη στὸ τηλεφωνικὸ δίκτυο.



Έρημα γάτας

$$\pm + \pm - \pm + \pm - \pm + \pm -$$

(I)



Έρημα γάτας

$$+ - + + - + + - + + -$$

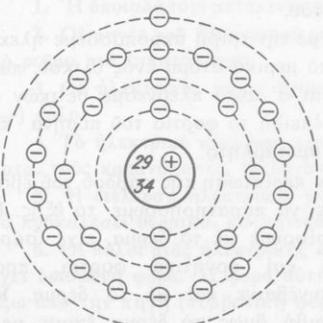
(II)

**Σχ. 104.** Για την έξηγηση της ήλεκτρίσεως τού έβονίτη. (I) Πριν από την τριβή τά θετικά και άρνητικά φορτία τού δέρματος και της ράβδου είναι ίσα. (II). Μετά την τριβή στο δέρμα πλεονάζουν θετικά και στον έβονίτη άρνητικά φορτία.

(σχ. 104). "Ετσι το δέρμα φορτίστηκε με θετικό ήλεκτρισμό, ένω ό έβονίτης με άρνητικό ήλεκτρισμό. Έπομένως συμπεραίνουμε ότι:

Τὰ σώματα πού είναι φορτισμένα με θετικό ήλεκτρισμό παρουσιάζουν έλλειμμα ήλεκτρονίων, ένω όντιθετα τὰ σώματα πού έχουν άρνητικό ήλεκτρισμό παρουσιάζουν πλεόνασμα ήλεκτρονίων.

**§ 107.** Τὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα στοὺς μεταλλικοὺς ἀγωγούς. Τὰ μετάλλα είναι ἀγωγοὶ τού ήλεκτρισμοῦ. "Αν μελετήσουμε τὴν κατασκευὴ τῶν ἀτόμων τῶν μετάλλων, θὰ παρατηρήσουμε ότι στὸν έξωτατὸ φλοιὸ

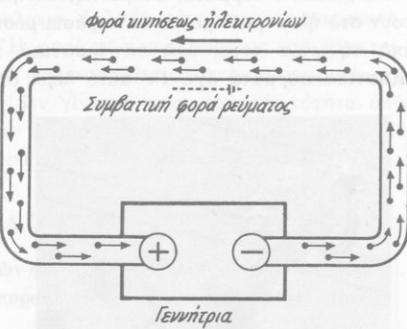


**Σχ. 105.** Σχηματικὴ παράσταση ἀτόμου χαλκοῦ.

κινεῖται ἔνας μικρὸς ἀριθμὸς ήλεκτρονίων (συνήθως 1, 2, ή 3 ήλεκτρόνια). "Ετσι τὸ ἀτόμο τοῦ χαλκοῦ, π.χ. ποὺ περιλαμβάνει 29 ήλεκτρόνια (σχ. 105), ἔχει ἔνα μόνο ήλεκτρόνιο πού περιφέρεται στὴν έξωτατὴ τροχιά. Τὸ ἀπομονωμένο αὐτὸ ήλεκτρόνιο είναι σχετικά ἀπομακρυσμένο ἀπὸ τὸν πυρήνα, δ ὅποιος δὲν μπορεῖ νὰ τὸ συγκρατήσῃ ισχυρά. Γι' αὐτὸ τὸ λόγο χωρίζεται μὲ εὐκολία ἀπὸ τὸ ἀτόμο τοῦ χαλκοῦ καὶ γίνεται ἐλεύθερο ήλεκτρόνιο.

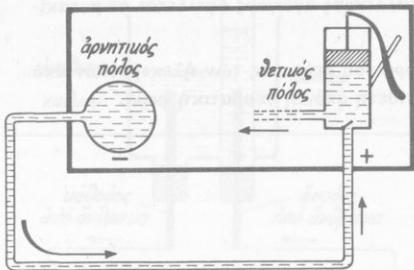
"Ενα κομμάτι χαλκοῦ ἡ ἔνα κομμάτι ἐνὸς ἄλλου μετάλλου περικλείουν ἐπομένως ἔναν ἀριθμὸ ἐλεύθερων ήλεκτρονίων, ποὺ κινοῦνται μέσα στὴ μάζα τοῦ μετάλλου ἐντελῶς ἀκανόνιστα.

"Αν συνδέσουμε τοὺς πόλους μιᾶς ήλεκτρικῆς γεννήτριας (π.χ. ἐνὸς συστορευτῆ) μὲ ἔνα μεταλλικὸ σύρμα, θὰ σχηματίσουμε ἔνα ἀπλὸ ήλεκτρικὸ κύκλωμα (σχ. 106). 'Ο θετικὸς πόλος τῆς πηγῆς ἔλκει



**Σχ. 106.** 'Ο θετικὸς πόλος τῆς πηγῆς ἔλκει τὰ ήλεκτρόνια τοῦ μετάλλου, ένω ό άρνητικὸς τὰ ἀπωθεῖ.

τὰ ἐλεύθερα ήλεκτρόνια τοῦ μετάλλου, ένω ό άρνητικὸς τὰ ἀπωθεῖ. Μ' αὐτὸ τὸν τρόπο δημιουργεῖται μιὰ ἀδιάκοπη κυκλοφορία ήλεκτρονίων μέσα στὸ μεταλλικὸ σύρμα. 'Η ήλεκτρικὴ πηγὴ λειτουργεῖ συνεπῶς σὰν μιὰ «ἀντλία ήλεκτρονίων» (σχ. 107). "Ωστε:



Σχ. 107. Η ήλεκτρική πηγή λειτουργεῖ σάνανάντια ήλεκτρονίων.

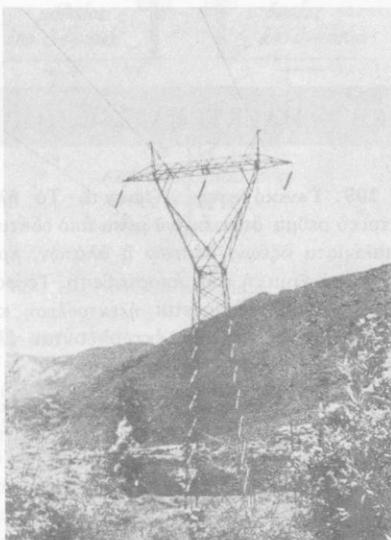
Τὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα μέσα στοὺς μεταλλικοὺς ἀγωγοὺς διφεύλεται στὴ μετακίνηση τῶν ήλεκτρονίων.

**§ 108. Πραγματικὴ καὶ συμβατικὴ φορὰ τοῦ ρεύματος.** "Οταν ἐνώσουμε τὸν θετικὸ καὶ τὸν ἀρνητικὸ πόλο μιᾶς γεννήτριας, προκαλοῦμε μετακίνηση ηλεκτρονίων μέσα στὸν μεταλλικὸ ἀγωγό, ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ πρὸς τὸν θετικὸ πόλο (βλ. σχ. 106). Η πραγματικὴ φορὰ ἐπομένως τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος, ἔξω ἀπὸ τὴν ηλεκτρικὴν πηγή, εἶναι ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ πρὸς τὸν θετικὸ πόλο. Η φορά αὐτὴ λέγεται ηλεκτρονικὴ φορὰ καὶ εἶναι, δπως βλέπομε, ἀντίθετη ἀπὸ τὴν συμβατικὴ φορά. "Ωστε:

"Η πραγματικὴ φορὰ τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα στοὺς ρευματοφόρους μεταλλικοὺς ἀγωγοὺς εἶναι ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ πρὸς τὸν θετικὸ πόλο καὶ δονομάζεται ηλε-

κτρονικὴ φορά. Η ηλεκτρονικὴ φορὰ εἶναι ἀντίθετη ἀπὸ τὴν συμβατικὴ φορά.

Γνωρίζομε δτὶ η ταχύτητα μεταδόσεως τῶν ηλεκτρικῶν φαινομένων εἶναι ἴση μὲ 300 000 km/sec. Η ταχύτητα ὥστόσο μετακινήσεως τῶν ηλεκτρονίων εἶναι πολὺ μικρὴ καὶ κυμαίνεται γύρω στὰ 0,5 m/h.



Σχ. 107, α. Γραμμὲς μεταφορᾶς ηλεκτρικοῦ ρεύματος ἀπὸ τὸ ἐργοσάσιο παραγωγῆς στοὺς τόπους κατανάλωσεως. Τέτοιες χρησιμοποιεῖ τὸ ἑλληνικὸ Έθνικὸ Δίκτυο (ΔΕΗ). Τὰ ἀγωγὰ σύρματα εἶναι κατασκευασμένα ἀπὸ ἀργιλίο μὲ χαλύβδινο διωκτικό πυρήνα καὶ εἶναι ἔξαρτημένα ἀπὸ τὰ στηρίγματα τῶν μεταλλικῶν στύλων μὲ κατάλληλους μονωτές.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Ολα τὰ σώματα δὲν ἐπιτρέπουν τὸ πέρασμα τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ τὴν μάζα τους.
2. Τὰ σώματα ποὺ ἀφήνουν τὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴν μάζα τους, δπως τὰ μέταλλα, λέγονται ἀγωγοί, ἐνῶ ἐκεῖνα ποὺ δὲν τὸ ἀφήνουν, δπως τὸ ξύλο, λέγονται μονωτές.
3. Τὰ θετικὰ ηλεκτρισμένα σώματα ἔχουν ἔλλειμμα ηλεκτρονίων. Τὰ ἀρνητικὰ ηλεκτρισμένα σώματα ἔχουν πλεόνασμα ηλεκτρονίων.

4. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μέσα στοὺς μεταλλικοὺς ἀγωγοὺς ὀφεῖλεται σὲ μετακίνηση ἡλεκτρονίων.

5. Ἡ ἡλεκτρονικὴ φορά, δῆλαδὴ ἡ φορὰ τοῦ ρεύματος τῶν ἡλεκτρονίων ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ πρὸς τὸ θετικὸ πόλο, εἶναι ἀντίθετη ἀπὸ τὴν συμβατικὴ φορά.

## ΚΒ' — ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΠΟΥΔΗ. ΙΟΝΤΑ

**§ 109. Γενικότητες.** Ὁρισμοί. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα δταν περνᾶ μέσα ἀπὸ ὄντατικὰ διαλύματα δξέων, βάσεων ἢ ἀλάτων, προκαλεῖ τὴν χημικὴν τους ἀποσύνθεση. Τὸ φαινόμενο αὐτὸν δονομάζεται ἡλεκτρόλυση καὶ τὰ διαλύματα ποὺ ἡλεκτρολύνονται ἡλεκτρολύτες. "Ωστε:

"Ἡλεκτρόλυση εἶναι ἡ ἀποσύνθεση, ποὺ παθαίνονται τὰ δξέα, οἱ βάσεις καὶ τὰ ἄλατα, δταν περάσει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μέσα ἀπὸ τὰ ὄντατικά τους διαλύματα.

"Ἡ ἡλεκτρόλυση γίνεται μέσα σὲ ἀπλές συσκευές, ποὺ δονομάζονται **βολτάμετρα**.

Τὸν πυθμένα τοῦ δοχείου τοῦ βολταμέτρου διατρυποῦν σὲ δυὸ σημεῖα δύο μεταλλικά, συνήθως, ἐλάστατα, τὰ **ἡλεκτρόδια**. Τὰ ἔξω ἀπὸ τὸ δοχεῖο ἄκρα τῶν ἡλεκτροδίων συνδέονται μὲ τοὺς πόλους μιᾶς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος. Πολλές φορὲς τὰ ἡλεκτρόδια περιβάλλονται ἀπὸ ἀναστραμμένους δοκιμαστικοὺς σωλῆνες, δπου συλλέγονται ἀέρια προϊόντα.

Τὸ ἡλεκτρόδιο ποὺ συνδέεται μὲ τὸν θετικὸ πόλο λέγεται **ἄνοδος** (+), ἐνῶ τὸ ἡλεκτρόδιο ποὺ συνδέεται μὲ τὸν ἀρνητικὸ πόλο τῆς πηγῆς **κάθοδος** (—). Σὲ ἄλλα βολτάμετρα τὰ ἡλεκτρόδια μπαίνονται ἀπὸ τὸ ἀνοιχτὸ ἐπάνω μέρος τοῦ δοχείου καὶ βυθίζονται στὸ ἡλεκτρολυτικὸ διάλυμα.

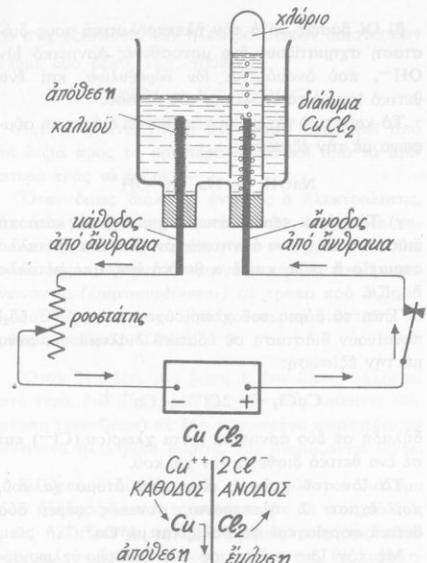
"Υπάρχουν καὶ βολτάμετρα ποὺ ἀποτελοῦνται ἀπὸ σωλήνα σὲ σχῆμα ν, ἀπὸ τὰ ἀνοιχτὰ σκέλη τοῦ ὅποιου μπαίνουν τὰ ἡλεκτρόδια.

Στὸ κύκλωμα τοῦ βολταμέτρου τοποθετεῖται ἔνας διακόπτης, γιὰ νὰ μποροῦμε νὰ ἀνοίγουμε καὶ νὰ κλείνουμε τὸ κύκλωμα, καθὼς κι ἔνας **ροστάτης**, γιὰ νὰ ρυθμίζουμε τὸ ρεῦμα τοῦ κυκλώματος.

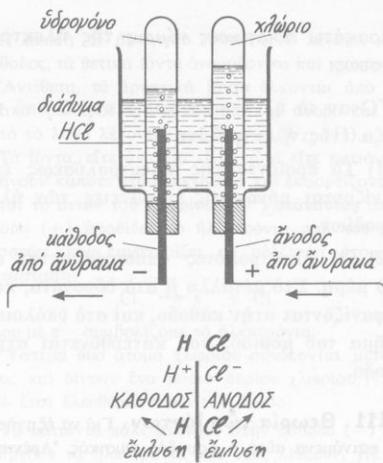
**§ 110. Ποιοτικοὶ νόμοι τῆς ἡλεκτρολύσεως.** Πείραμα. a) Κλείνομε τὸ διακόπτη τοῦ κυκλώματος ἐνὸς βολταμέτρου μὲ ἡλεκτρόδια ἀπὸ ἄνθρακα καὶ ἡλεκτρολυτικὸ ὑγρὸ διάλυμα χλωριούχου χαλκοῦ ( $CuCl_2$ ), δπότε παρατηροῦμε ὅτι στὴν ἄνοδο ἐμφανίζονται φυσαλλίδες ἀερίου. Τὸ ἀέριο αὐτὸν ἔχει ἀποπνικτικὴ ὀσμὴ καὶ κιτρινοπράσινο χρῶμα. Πρόκειται γιὰ χλώριο (σχ. 108). Ἐνῶ συμβαίνουν αὐτὰ στὴν ἄνοδο, ή κάθοδος σκεπάζεται μὲ ἔνα κόκκινο στρῶμα χαλκοῦ.

Χαρακτηριστικὸ τῆς ἡλεκτρολύσεως είναι ὅτι κανένα ἀπολύτως φαινόμενο δὲν παρατηρεῖται στὴ μάζα τοῦ ἡλεκτρολυτικοῦ ὑγροῦ, ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα στὰ ἡλεκτρόδια.

Γιὰ νὰ ἐμφανιστοῦν στὴν ἄνοδο καὶ στὴν κάθοδο τὰ παραπάνω προϊόντα, σημαίνει ὅτι ὁ χλωριούχος χαλκός, ποὺ ὑπάρ-



Σχ. 108. Ήλεκτρόλυση διαλύματος χλωριούχου χαλκού.



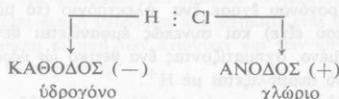
Σχ. 109. Ήλεκτρόλυση διαλύματος ύδροχλωρίου.

ύγρη κατάσταση. Κατά τήν ήλεκτρόλυση τὸ νάτριο μαζεύεται στὴν κάθοδο. "Ολες οἱ ἄλλες βάσεις ἀποσυνθέτονται μὲ παρόμιο τρόπῳ.

δ) "Αν ηλεκτρολύσουμε ἔνα διάλυμα ύδροχλωρικοῦ δξέος ( $HCl$ ), θὰ παρατηρήσουμε ὅτι στὰ δύο ηλεκτρόδια ἐμφανίζονται φυσαλλίδες, πράγμα ποὺ σημαίνει ὅτι ἐλευθερώνονται ἀέρια (σχ. 109).

Πραγματικὰ στὴν ἄνοδο ἐλευθερώνεται χλώριο, ἐνῶ στὴν κάθοδο ἐλευθερώνεται ἔνα εὑφλεκτὸ αέριο, τὸ ύδρογόνο.

Τὸ ύδροχλωρικὸ δξέν ( $HCl$ ) μποροῦμε νὰ ποῦμε λοιπὸν ὅτι παθαίνει ἀποσύνθεση σύμφωνα μὲ τὸ σχῆμα:



Γενικά, δλα τὰ δξέα ἀποσυνθέτονται μὲ παρόμιο τρόπῳ καὶ τὸ ύδρογόνο τους ἐλευθερώνεται στὴν κάθοδο.

Ἔπο τὰ παραπάνω πειράματα καὶ διαπιστώσεις μποροῦμε νὰ διατυπώσουμε τοὺς

παρακάτω ποιοτικούς νόμους της ήλεκτρο-λύσεως:

"Οταν τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα περνᾷ ἀπὸ τῇ μάζᾳ ἐνὸς ἡλεκτρολύτη:

1) Τὰ προΐντα τῆς ἡλεκτρολύσεως ἐμφανίζονται μόνο στὶς ἐπιφάνειες τῶν ἡλεκτροδίων.

2) Οἱ ἡλεκτρολύτες ἀποσυνθέτονται σὲ δύο μέρη. Στὸ μεταλλοῦ ἢ στὸ ὑδρογόνο, ποὺ ἐμφανίζονται στὴν κάθοδο, καὶ στὸ ὑπόλοιπο τμῆμα τοῦ μορίου, ποὺ κατευθύνεται στὴν ἄνοδο.

**§ 111. Θεωρία τῶν ίόντων.** Γιὰ νὰ ἔξηγήσει τὰ φαινόμενα αὐτὰ δὲ Σουηδός Φυσικός Ἀρένιους (Åгрενίους), πρότεινε τὸ 1887 τὴ «Θεωρία τῆς ἡλεκτρολυτικῆς διάστασεως» ἢ «Θεωρία τῶν ίόντων».

"Οταν διαλύνουμε σὲ νερὸ ἐνα δέξι, μιὰ βάση ἢ ἐνα ἀλάς, τότε ἐνα μέρος τῶν μορίων τῶν σωμάτων αὐτῶν παθίνει αὐτόματα διάσταση, διασπᾶται δηλαδὴ σὲ δύο φορτισμένα μὲ ἀντίθετα ἡλεκτρικά φορτία σωματιδία, ποὺ δύνομένονται ίόντα.

α) Τὰ δέξια παθάνουν διάσταση ἔτσι, ὥστε τὸ ὑδρογόνο νὰ σχηματίσει θετικά ίόντα, ποὺ τὰ συμβολίζουμε μὲ  $H^+$ , καὶ τὸ ὑπόλοιπο τοῦ μορίου ἀρνητικά ίόντα.

Τὸ ὑδροχλωρικὸ δέξι, π.χ. παθάνει διάσταση σύμφωνα μὲ τὸ σχῆμα:



Τὸ ἄτομο τοῦ χλωρίου ἔχει προσκολληθεῖ ἐνα πάρα πάνω ἡλεκτρόνιο καὶ σχηματίστηκε μὲ αὐτὸ τὸ τρόπο ἐνα ἀρνητικὸ μονοσθενὲς ἰόν χλωρίου, ποὺ συμβολίζεται μὲ  $Cl^-$ .

Τὸ σημεῖο (—) στὸ ἄτομο τοῦ χλωρίου μπαίνει γιὰ νὰ συμβολίζει καὶ νὰ μᾶς θυμίζει ὅτι τὸ ίόν τοῦ χλωρίου ἔχει ἀρνητικὸ ἡλεκτρικὸ φορτίο. Τὸ ἄτομο τοῦ ὑδρογόνου ἔχασε ἐνα ἡλεκτρόνιο (τὸ μοναδικὸ ποὺ εἶχε) καὶ συνεπῶς ἐμφανίζεται θετικὰ φορτισμένο, σχηματίζοντας ἐνα θετικὸ ίόν ὑδρογόνου, ποὺ συμβολίζεται μὲ  $H^+$ .

Τὰ ἡλεκτρικὰ φορτία τῶν δύο αὐτῶν εἰδόν τῶν ίόντων είναι ίσα καὶ ἀντίθετα.

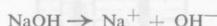
Τὸ θειικὸ δέξι παθάνει διάσταση σύμφωνα μὲ τὸ σχῆμα:



δίνοντας δύο θετικά ίόντα ὑδρογόνου καὶ ἐνα ἀρνητικό διστενές ἰόν  $SO_4^{2-}$

β) Οἱ βάσεις κατὰ τὴν ἡλεκτρολυτική τους διάσταση σχηματίζουν ἐνα μονοσθενὲς ἀρνητικὸ ἴον  $OH^-$ , ποὺ δομάζεται ἀπὸ ὑδροχνήλιον, καὶ ἐνα θετικὸ ἴον μὲ τὸ ὑπόλοιπο τοῦ μορίου.

Τὸ καωστικὸ νάτριο, π.χ. παθάνει διάσταση σύμφωνα μὲ τὴν ἔξιστωση:



γ) Τὰ μόρια τῶν ἀλάτων σχηματίζουν κατὰ τὴ διάσταση τους ἐνα ἀρνητικό ἴον, ἀπὸ ἐνα ἀμέταλλο στοιχεῖο ἢ ρίζα, καὶ ἐνα θετικό ἴον, ἀπὸ μέταλλο ἢ ρίζα.

"Ἐτσι τὰ μόρια τοῦ χλωριούχου χαλκοῦ ( $CuCl_2$ ) παθάνουν διάσταση σὲ ὑδατικὸ διάλυμα σύμφωνα μὲ τὴν ἔξιστωση:



δηλαδὴ σὲ δύο ἀρνητικά ίόντα χλωρίου ( $Cl^-$ ) καὶ σὲ ἐνα θετικό διστενές ἴον χαλκοῦ.

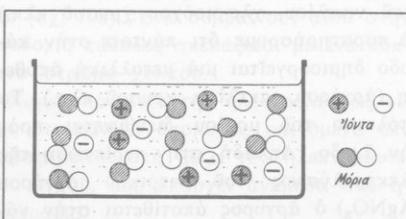
Τὸ ίόν τοῦ χαλκοῦ εἶναι ἐνα ἄτομο χαλκοῦ, ποὺ ἔχασε 2 ἡλεκτρόνια, συνεπῶς φέρει δύο θετικά φορτία καὶ συμβολίζεται μὲ  $Cu^{2+}$ .

Μὲ τὸν τρόπο σὲ ἐνα διάλυμα χλωριούχου ἀργιλίου ( $AlCl_3$ ) τὰ μόρια παθάνουν διάσταση σὲ 3 ίόντα χλωρίου ( $Cl^-$ ) καὶ σὲ ἐνα θετικό τρισθενές ἴον ἀργιλίου ( $Al^{3+}$ ) ποὺ φέρει τρία θετικά φορτία.

Σὲ ἐνα διάλυμα θειικοῦ χαλκοῦ ( $CuSO_4$ ) τὰ μόρια παθάνουν διάσταση σὲ ἐνα θετικό διστενές ἴον χαλκοῦ ( $Cu^{2+}$ ) καὶ σὲ ἐνα ἀρνητικό διστενές ἴον  $SO_4^{2-}$ .

Μέσα στὸ ὄπιοδήποτε ἡλεκτρολυτικὸ διάλυμα ὑπάρχουν, ταυτόχρονα, οὐδέτερα μόρια καὶ θετικά καὶ ἀρνητικά ίόντα σὲ ίσο ἀριθμό (τὰ δύο τελευταῖα) (σχ. 110), ποὺ κινοῦνται ἀπαχτά μέσα στὴ μάζα τοῦ ἡλεκτρολυτικοῦ ὑγροῦ.

Μερικά ἀπὸ τὰ ίόντα ἀντιδροῦν μεταξὺ τους καὶ ξανασχηματίζουν οὐδέτερα μόρια. Γ' αὐτὸν τὸ λό-



Σχ. 110. Σὲ ἐνα ἡλεκτρολυτικὸ διάλυμα ὑπάρχουν οὐδέτερα μόρια τοῦ ἡλεκτρολύτη καὶ ισάριθμα θετικά καὶ ἀρνητικά ίόντα.

γο στις έξισώσεις τῶν ἡλεκτρολυτικῶν διαστάσεων  
ἔχομε δύο βέλη, Π.χ. γράφομε:



Αὐτὸς σημαίνει διτί ἡ ἀντίδραση προχωρεῖ ἀπό τὰ δεξιά πρὸς τὰ ἄριστερά, ἀλλὰ καὶ ἀπό τὰ ἄριστερά πρὸς τὰ δεξιά.

“Οταν δύος διαλιθεί ἐντελῶς ὁ ἡλεκτρολύτης, ἀπὸ μία χρονική στιγμή και ἔπειτα, δύο μόρια παθείνουν διάσταση στὴ μονάδα τοῦ χρόνου, ἄλλα τόσα μόρια σχηματίζονται ἀπὸ ίοντα, ποὺ ἔναντινονται (ἐπανασυνέργονται) σὲ τρόπο ποὺ δὲ ἀριθμός τῶν μορίων ποὺ βρίσκονται σὲ διάσταση νὰ μένει σταθερός. Ωστε:

“Οταν ένα δέν, μια βάση ή ένα άλας διαλένεται στο νερό, ένα μέρος τῶν μορίων τους παθαίνει διάσταση (χωρίζεται) σε δύο φορτισμένα σωματίδια μὲ αντίθετα ἡλεκτρικά φορτία, ποιό δυναμάζονται ίοντα.

δ) "Οταν βυθίσουμε στο ήλεκτρολυτικό διάλυμα δύο ήλεκτρόδια και τά συνδέουμε με τους πόλους μας ήλεκτροπηγής συνεχόμενη ρεύματος κλείνοντας τὸν διακόπτη τοῦ κυκλώματος, θὰ παρατηρήσουμε τὰ γνωστά φαινόμενα τῆς ήλεκτρολύτεως.

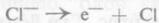
Αὐτὸς συμβαίνει, ἐπειδὴ τὰ ίόντα ποὺ κινοῦνται ἄταχτα μέσα στή μάζα τού ήλεκτρολυτικού διαλύματος προσανατολίζονται πιά, διακόπτοντας τήν ἄταχτη κίνησή τους.

Αὐτόματα τὰ θετικά λόγια ἔλκονται ἀπὸ τὸ ἀρνητικὸν ηλεκτρόδιο καὶ κατευθύνονται πρὸς αὐτό.

Καὶ ἐπειδὴ τὸ ἀρνητικὸν ἡλεκτρόδιο λέγεται καὶ κάθοδος, τὰ θετικὰ ίόντα δονομάζονται καὶ κατιόντα.

Αντίθετα, τὰ ἀρνητικά ίόντα ἔλκονται ἀπὸ τὸ θετικὸν ἡλεκτρόδιο, δηλαδὴ ἀπὸ τὴν ἄνοδο καὶ γι' αὐτὸν τὸ λόγο λέγονται καὶ ἀνιόντα (σχ. 111).

Τὰ ίοντα, είτε άνιόντα είναι αντά είτε κατιόντα, φτάνουν κάποτε στά ήλεκτρόδια και έκφορτίζονται. Έτσι τὸ ἄνιόν του χλωρίου ( $\text{Cl}^-$ ) φτάνοντας στὴν ἄνοδο (+) ἀποδίδει τὸ ήλεκτρόνιο ποὺ τοῦ περισσεύει καὶ ξαναγυρίζει σὲ οὐδέτερη ἀτομική κατάσταση:



ὅπου μὲν εἴ— συμβολίζομε τὸ ἡλεκτρόνιο.

Τύποι της αντίδρασης είναι οι παρακάτω:  
 Υστερά δύο ἄτομα χλωρίου συνδέονται μεταξύ τους και δίνουν ἔνα μόριο ἀερίου χλωρίου ( $\text{Cl}_2$ ), που έτσι έλευθερώνεται στην ανοδό.

Τά κατιόντα πάλι φτάνουν στήν κάθοδο (—) και παίρνουν τά ήλεκτρόνια πού τους λείπουν, για νά περιπέσουν κι αυτά σέ οιδέτερη κατάσταση. Τό κατιόν υδρογόνου,  $H^+$ ,  $\pi$ , παίρνει ένα ήλεκτρόνιο ( $e^-$ ) και γίνεται οιδέτερο άτομο υδρογόνου:

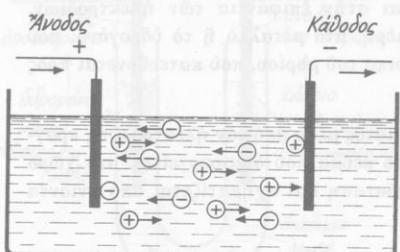


Ἐπειτα συνδέονται δύο ἄτομα ὑδρογόνου και σχηματίζουν ἕνα μόριο ἀερίου ὑδρογόνου, ποὺ μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο ἐλευθερώνεται στὴν κάθοδο.

Πρέπει νά τονιστεί ότι τά λόντα χλωρίου  $\text{Cl}^-$  και υδρογόνου  $\text{H}^+$  έχουν τελείως διαφορετικές ιδιότητες άπό τά στοιχεία χλώριο και υδρογόνο. Γι' αύτό το λόγο δὲν γίνονται άντιληπτά σάν άερια μέσα στό διάλυμα.

"Οπως παρατηρούμε, μέσος στή μάζα του ήλεκτρολυτικού υγρού και στό χώρο που περιορίζεται από τα ήλεκτρόδια έχουμε κίνηση θετικῶν και άρνητικῶν φορτίων, δηλαδή ήλεκτρικό ρεύμα. Τό ρεύμα αὐτό είναι σύνθετο και σχηματίζεται από τά θετικά κατιόντα, που πηγαίνουν πρός την κάθοδο, και τά άρνητικά άνιόντα, που κινούνται πρός την άνοδο. "Οστε:

Σὲ ἔνα ἡλεκτρολυτικό διάλυμα τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἔχει διπλὴ ὑπόσταση καὶ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν ἀντίθετη κίνηση τῶν ἀνιόντων καὶ τῶν κατιόντων τοῦ ἡλεκτρολύτου.



**Σχ. 111.** Έξήγηση του περάσματος του ηλεκτρικού  
ρεύματος μέσα από έναν ηλεκτροδολύτη.

- 111 -

1. Ἡλεκτρόλυση λέμε τὸ φαινόμενο τῆς ἀποσυνθέσεως ποὺ παθαίνουν διάφορες οὐσίες, ὅταν περάσει μέσα ἀπὸ τὰ ὑδατικά τους διαλύματα ἡλεκτρού ρεῦμα.

2. Τὰ σώματα ποὺ μποροῦν νὰ ὑποστοῦν ἡλεκτρόλυση ὁνομάζονται ἡλεκτρόλυτες. Τὰ δέξια, οἱ βάσεις καὶ τὰ ἄλατα, σὲ ὑγρὴ μορφὴ ἢ σὲ ὑδατικὰ διαλύματα, ἀποτελοῦν ἡλεκτρολύτες.

3. Ή συσκευή, μέσα στήν όποια πραγματοποιείται ή ηλεκτρόλυση, δονούμενης  
βολτάμετρο και άποτελεῖται, συνήθως, από ένα δοχείο, μέσα στό όποιο βρίσκεται  
ό ηλεκτρολύτης. Στη βάση του δοχείου ιπάρχουν δύο μεταλλικά στελέχη, που δονού-  
μένονται ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με την ηλεκτρική πηγή και σκε-  
πάζονται με άναστραμμένους γυάλινους σωλήνες. "Αλλοτε πάλι τα ηλεκτρόδια  
βυθίζονται από το επάνω μέρος του δοχείου μέσα στόν ηλεκτρολύτη.

4. Τὸ θετικὸ ηλεκτρόδιο λέγεται ἄνοδος καὶ τὸ ἀρνητικὸ κάθοδος.

5. Οἱ ἡλεκτρολύτες παθαίνουν διάσταση σὲ ίόντα, δηλαδὴ σὲ σωματίδια ἡλεκτρικὰ φορτισμένα. Τὰ θετικὰ ίόντα λέγονται κατιόντα καὶ τέτοια είναι τὸ οὐδρόγόντα καὶ τὰ μέταλλα. Τὰ ἀρνητικὰ ίόντα δονούμενται ἀγνόντα.

6. Τὰ ίόντα, ποὺ ύπάρχουν στὸν ἡλεκτρολύτη καὶ κινοῦνται ἄταχτα μέσα στὴ μάζα του, προσανατολίζονται, μόλις συνδεθούν τὰ ἡλεκτρόδια μὲ τοὺς πόλους τῆς ἡλεκτρικῆς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος. Τότε τὰ ἀνιόντα (ἀρνητικὰ ίόντα) πηγαίνουν πρὸς τὴν ἄνοδο (Θετικὸς πόλος), ἐνῶ τὰ κατιόντα (Θετικὰ ίόντα) πρὸς τὴν κάθοδο (Ἀρνητικὸς πόλος). "Ετσι ἀρχίζει ἡ ἡλεκτρόλυση.

7. Οι ποιητικοί νόμοι της ήλεκτρολύσεως είναι οι ίξης: α) Τα προϊόντα της ήλεκτρολυτικής άποσυνθέσεως έμφανίζονται στην έπιφάνεια τῶν ήλεκτροδίων. β) Ό ήλεκτρολύτης διαχωρίζεται σε δύο μέρη, στο μέταλλο ή τὸ υδρογόνο, που ἐλεύθερώνονται στην κάθοδο, καὶ στὸ υπόλοιπο τοῦ μορίου, που κατευθύνεται πρὸς τὴν ἄνοδο.

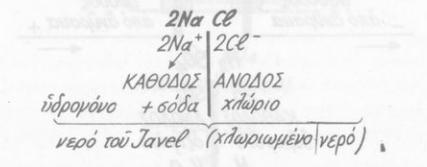
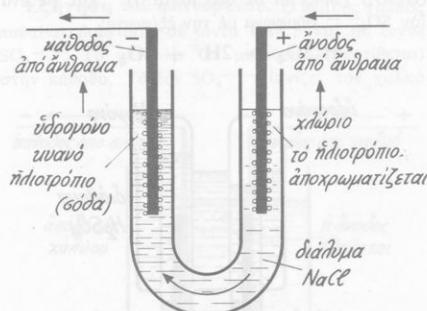
8. Τὸ πέρασμα τοῦ ἡλεκτρολυτικοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ τὸν ἡλεκτρολύτη πραγματοποιεῖται χάρη στὰ ίόντα. Ἐπομένως τὸ ρεύμα ποὺ δημιουργεῖται στὸ χῶρο ἀνάμεσα στὰ δύο ἡλεκτρόδια ἔχει διπλὴ ὑπόσταση καὶ σχηματίζεται ἀπὸ ἀνιόντα καὶ κατιόντα, ποὺ κινοῦνται ἀντίθετα.

## ΚΓ' — ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

**§ 112. Γενικότητες.** Κατά την ηλεκτρόλυση ένός ήλεκτρολύτη συμβαίνουν συνήθως και δευτερεύουσες χημικές αντιδράσεις. Στήν πραγματικότητα τὰ προϊόντα τῆς ἀποσυνθέσεως μποροῦν, κάτω ἀπὸ δρισμένες συνθῆκες, νά αντιδράσουν χημικῶς, εἴτε μὲ τὸ νερό τοῦ διαλύματος εἴτε μὲ τὰ ηλεκτρόδια τοῦ βολταμέτρου.

Γιά νά αντιληφθούμε τὸ μηχανισμὸν τῶν δευτερεούσων αντιδράσεων, θά θεωρήσουμε τὰ παρακάτω χαρακτηριστικὰ παραδείγματα ηλεκτρολύσεως.

**§ 113. I) Ηλεκτρόλυση διαλύματος χλωριούχου νατρίου.** Πείραμα. Βάζομε διάλυμα χλωριούχου νατρίου μέσα σὲ ἔνα βολτάμετρο μὲ ηλεκτρόδια ἀπὸ ἄνθρακα καὶ προσθέτομε λίγο κόκκινο βάμμα τοῦ ήλιοτροπίου. Συνδέομε τὸ βολτάμετρο μὲ μιὰ ηλεκτρικὴ πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος καὶ

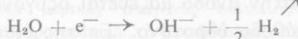


Σχ. 112. Ηλεκτρόλυση διαλύματος χλωριούχου νατρίου.

παρατηροῦμε ὅτι ἐλευθερώνονται ἀέρια στὰ δύο ηλεκτρόδια (σχ. 112).

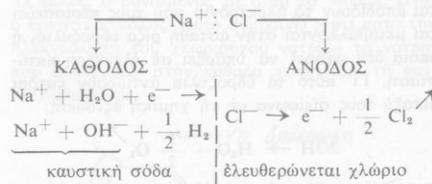
Στήν ἄνοδο ἐλευθερώνεται ἀέριο χλώριο, ποὺ ἔχει ἀποπνικτικὴ δύναμη καὶ ἀποχρωματίζει τὸ κόκκινο βάμμα τοῦ ήλιοτροπίου. Στήν κάθοδο, δπου ἐκλύεται ὑδρογόνο, τὸ βάμμα τοῦ ήλιοτροπίου παίρνει κυανὸν χρῶμα.

**Έξηγηση τοῦ φαινομένου.** Τὸ διάλυμα τοῦ χλωριούχου νατρίου παθαίνει διάσταση σὲ ἴοντα  $\text{Na}^+$  καὶ  $\text{Cl}^-$ . Τὰ ἴοντα  $\text{Cl}^-$  πηγαίνουν πρὸς τὴν ἄνοδο, δπου χάνονται τὸ ηλεκτρικὸν φορτίο καὶ σχηματίζουν ἄτομα χλωρίου καὶ αὐτὰ δημιουργοῦν μόρια ἀερίου χλωρίου ( $\text{Cl}_2$ ). Τὰ ἴοντα  $\text{Na}^+$  πηγαίνουν πρὸς τὴν κάθοδο. Ή κάθοδος ὅμως ἀποδίδει ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) στὰ γειτονικὰ τῆς μόρια τοῦ νερού ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ποὺ μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο παθαίνουν διάσταση, σύμφωνα μὲ τὴν παρακάτω χημικὴ ἔξισθση:

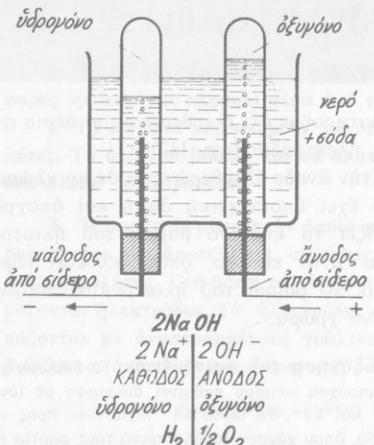


Δηλαδὴ ἔχομε ἀπελευθέρωση ὑδρογόνου. Τὰ ἴοντα  $\text{OH}^-$  μαζὶ μὲ τὰ ἴοντα  $\text{Na}^+$  δημιουργοῦν γύρω ἀπὸ τὴν κάθοδο ἔνα διάλυμα καυστικῆς σόδας. Χάρη στὴν καυστικὴ σόδα γίνεται κυανὸν τὸ βάμμα τοῦ ήλιοτροπίου.

Τὴν ηλεκτρόλυσην αὐτὴ μποροῦμε νά παραστήσουμε σχηματικὰ ώς ἔξης:



**II) Ηλεκτρόλυση διαλύματος καυστικῆς σόδας ( $\text{NaOH}$ ).** Πείραμα. Στὸ βολτάμετρο τοῦ σχήματος 113, ποὺ ἔχει γιὰ ηλεκτρόδια ἐλάσματα εἴτε ἀπὸ νικέλιο εἴτε ἀπὸ λευκόχρυσο (πλατίνα), βάζομε νερό, δπου ἔχομε προσθέσει λίγη καυστικὴ σόδα ( $\text{NaOH}$ ). Τὰ ηλεκτρόδια τὰ σκε-

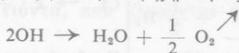


Σχ. 113. Ήλεκτρόλυση διαλύματος καυστικής σόδας.

πάζομε με δύναμης αναστραμμένους δοκιμαστικούς σωλήνες.

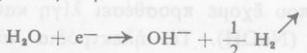
Κλείνομε τὸ διακόπτη καὶ παρατηροῦμε ὅτι στὴν ἄνοδο μαζεύεται δέιρη, ἐνῶ στὴν κάθοδο ὑδρογόνο. Ἐπίσης διαπιστώνομε ὅτι ὁ δύγκος τοῦ ὑδρογόνου εἶναι διπλάσιος ἀπὸ τὸν δύγκο τοῦ δέιρη.

**Ἐξήγηση τοῦ φαινομένου.** Η καυστική σόδα ( $\text{NaOH}$ ) βρίσκεται σὲ διάσταση. Στὸ διάλυμα δηλαδὴ ὑπάρχουν ίόντα  $\text{Na}^+$  καὶ ίόντα  $\text{OH}^-$ . Τὰ ίόντα  $\text{OH}^-$  διευθύνονται πρὸς τὴν ἄνοδο, διόν τοὺς περισσεύει καὶ μεταβάλλονται στὴν ἀσταθὴ ρίζα ὑδροξύλιο, ἡ δοπία δὲν μπορεῖ νὰ ὑπάρξει σὲ ἐλεύθερη κατάσταση. Γι' αὐτὸν τὰ ὑδροξύλια ἀντιδροῦν κατόπι μεταξὺ τοὺς σύμφωνα μὲ τὴ χημικὴ ἔξιση:



σχηματίζοντας νερὸν καὶ δέιρην, ποὺ ἐκλύεται στὴν ἄνοδο.

Τὰ ίόντα τοῦ  $\text{Na}^+$ , ὥστα καὶ στὴν ἡλεκτρόλυση τοῦ  $\text{NaCl}$ , πηγαίνουν πρὸς τὴν κάθοδο. Η κάθοδος ἀποδίδει ἡλεκτρόνια ( $e^-$ ) στὰ μόρια τοῦ νεροῦ καὶ ἔτσι ἐλευθερώνεται ὑδρογόνο, ἐνῶ ταυτόχρονα παράγονται ίόντα ὑδροξύλιον σύμφωνα μὲ τὴ γνωστὴ μᾶς ἀντιδραστή:



Τὰ ίόντα τοῦ  $\text{Na}^+$  καὶ τοῦ  $\text{OH}^-$  ἐνώνονται καὶ ξανασχηματίζουν τὴ βάση τοῦ νατρίου. Ἀντίθετα, τὸ νερὸν παθαίνει ἀποσύνθεση καὶ ἀποδίδει ὑδρογόνο καὶ δέιρην.

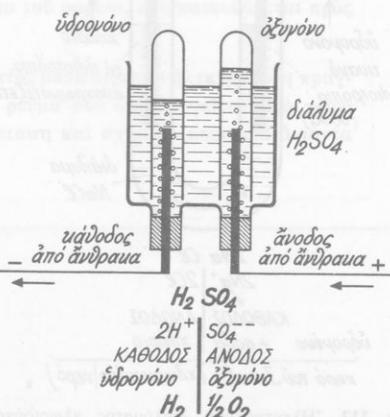
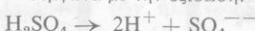
'Απὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε διότι:

Τὸ φαινομένον ἔξελίσσεται μὲ τίτοιον τρόπο, ὥστε τὰ δημιουργεῖται ή ἐντύπωση διότι παθαίνει ἀποσύνθεση μονάχα τὸ νερό.

**III) Ἡλεκτρόλυση διαλύματος θειικοῦ δέιρου.** Πείραμα. Ἀντικαθιστοῦμε στὸ βολτάμετρο τοῦ προηγούμενου πειράματος τὸ διάλυμα τῆς καυστικῆς σόδας μὲ ἀραιό διάλυμα θειικοῦ δέιρου ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Τὰ ἡλεκτρόδια τοῦ βολταμέτρου πρέπει νὰ εἰναι ἀπρόσβλητα ἀπὸ τὸ δέιρη, διότι εἰναι π.χ. μιὰ ράβδος ἄνθρακα ἡ ἔνα ἔλασμα λευκόχρυσου.

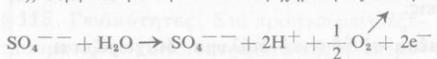
Τὰ προϊόντα τῆς ἡλεκτρολύσεως εἰναι τὰ ίδια μὲ τὰ προϊόντα τῆς ἡλεκτρολύσεως τοῦ διαλύματος τῆς καυστικῆς σόδας. Δηλαδὴ ἐμφανίζεται ὑδρογόνο στὴν κάθοδο, διπλάσιου δγκού ἀπὸ τοῦ δέιρην ποὺ ἐμφανίζεται στὴν ἄνοδο (σχ. 114).

**Ἐξήγηση τοῦ φαινομένου.** Τὸ θειικὸ δέιρη ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) χωρίζεται σὲ δύο ίόντα  $\text{H}^+$  καὶ σὲ ἔνα ιόν  $\text{SO}_4^{2-}$  σύμφωνα μὲ τὴν ἔξισηση:

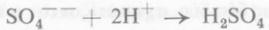


Σχ. 114. Ήλεκτρόλυση διαλύματος θειικοῦ δέιρου

Τὸ ὑδρογόνο ( $H_2$ ) ἐλευθερώνεται στὴν κάθοδο. Τὸ δὲ  $SO_4^{2-}$  — πηγαίνει πρὸς τὴν ἄνοδο καὶ δημιουργεῖ ιονισμὸν τοῦ νερού (προκαλεῖ δηλαδὴ λύσην), σύμφωνα μὲ τὴν ἀκόλουθη χημικὴ ἔξιση.



ὅποτε τὰ ιόντα  $SO_4^{2-}$  καὶ  $H^+$  ἀντιδροῦν καὶ σχηματίζουν θεικὸν χαλκό:



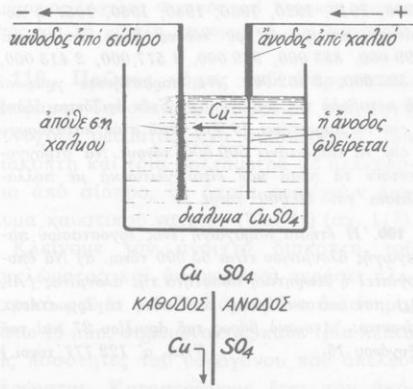
Μὲ αὐτὸν τὸν τρόπο τὸ θεικὸ δέξιν ξαναγεννεῖται στὴν ἄνοδο καὶ ἐλευθερώνεται δέξιγόνο, ἐνῶ καταναλώνεται νερό. "Οπως καὶ στὸ προηγούμενο παράδειγμα:

Τὸ φαινόμενο ἔξελισσεται κατὰ τέτοιον τρόπο, ὥστε νὰ δημιουργεῖται ή ἐντύπωση πώς παθαίνει ἀποσύνθεση μονάχα τὸ νερό.

**IV) Ἡλεκτρόλυση θειικοῦ χαλκοῦ μὲ ἄνοδο ἀπὸ χαλκό.** Πείραμα. Ἡλεκτρόλυμε διάλυμα θειικοῦ χαλκοῦ ( $CuSO_4$ ) χρησιμοποιώντας ὡς ἄνοδο ἔνα ἔλασμα ἀπὸ χαλκὸ καὶ ὡς κάθοδο ἔναν δοπιονδήποτε ἀγωγό, π.χ. μιὰ ράβδο ἀπὸ ἄνθρακα.

"Οταν κλείσουμε τὸ διακόπτη, δὲν παρατηρεῖται ἔκλυση ἀερίου, η χάλκινη ὅμως ἄνοδος ἀρχίζει νὰ φθείρεται (σχ. 115).

**Ἐξήγηση τοῦ φαινομένου.** Ο θειικὸς χαλκὸς παθαίνει δάσταση σὲ ιόντα  $Cu^{2+}$  καὶ σὲ ιόντα  $SO_4^{2-}$ . Τὸ μέταλλο  $Cu$  μαζεύεται (ἀποτίθεται) στὴν κάθοδο. Τὸ δὲ  $SO_4^{2-}$  ιονίζει τὸν χαλκὸ

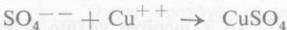


Σχ. 115. Ἡλεκτρόλυση θειικοῦ χαλκοῦ μὲ ἄνοδο ἀπὸ χαλκό.

τῆς ἀνόδου σύμφωνα μὲ τὴν χημικὴν ἀντιδραση:

$$SO_4^{2-} + Cu \rightarrow SO_4^{2-} + Cu^{2+} + 2e^-$$

ὅποτε τὰ ιόντα  $SO_4^{2-}$  καὶ  $Cu^{2+}$  ἀντιδροῦν καὶ σχηματίζουν θεικὸ χαλκό:



"Οπως παρατηροῦμε:

Τὸ φαινόμενο ἔξελισσεται μὲ τέτοιον τρόπο, ὥστε τελικὰ νὰ γίνεται μεταφορὰ χαλκοῦ ἀπὸ τὴν ἄνοδο στὴν κάθοδο.

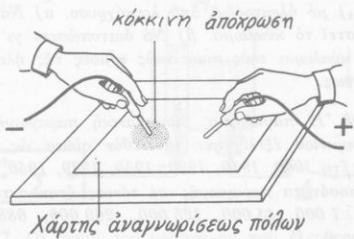
"Η ἄνοδος φθείρεται σιγά - σιγά σάν νὰ διαλυθῶν. Γι' αὐτὸν καὶ συχνά ὀνομάζεται διαλύμενη ἄνοδος.

"Αντίθετα, η κάθοδος σκεπάζεται ἀπὸ ἔνα στρῶμα χαλκοῦ, ποὺ τὸ πάχος του αὐθάνεται προοδευτικά, δσο περνά ἡ ώρα.

**Παρατήρηση.** Τὰ παραπάνω παραδείγματα δείχνουν τὴν σημασία ποὺ ἔχει η φύση τῶν ἡλεκτροδίων ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴν πορεία μιᾶς ἡλεκτρολύσεως.

**§ 114. Ἀναγνώριση τοῦ εἴδους τῶν πόλων μιᾶς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος.** Βυθίζομε ἔνα κομμάτι διηθητικοῦ χαρτί σὲ διάλυμα χλωριούχου νατρίου ( $NaCl$ ), δπον ἔχομε προσθέσει μερικές σταγόνες φαινολοφθαλεΐνη. Ἄφοι τὸ στραγγίσουμε, τὸ τοποθετοῦμε σε μιὰ πλάκα ἀπὸ γυαλὶ καὶ σύρομε ἐπάνω του δυὸ καλώδια ἀπὸ χαλκὸ μὲ ἀπογυμνωμένα ἄκρα, συνδέμενα στοὺς ἀκροδείπετες τῆς πηγῆς (σχ. 116). Κανονίζουμε ὅστε η ἀπόσταση ἀνάμεσα στὰ δύο ἄκρα τοῦ καλωδίου νὰ μένει 2 cm ἥνως 3 cm.

Τὸ ἔνα ἀπὸ τὰ δύο ἄκρα χαράζει κατὰ τὴν διαδρομὴ του ἐπάνω στὸ χαρτί μία κόκκινη γραμμὴ. Ὁ πόλος, δ συνδέμενος μὲ αὐτὸν τὸ σύρμα, είναι ὁ ἀρνητικὸς πόλος. Αὐτὸν συμβαίνει γιατὶ κατὰ τὴν ἡλεκτρόλυσην τοῦ χλωριούχου νατρίου τὸ νάτριο ποὺ ὄφανται στὴν κάθοδο κοκκινίζει τὴν φαινολοφθαλεΐνη.



Σχ. 116. Ἀναγνώριση τῶν πόλων. Ο ἀρνητικὸς πόλος κοκκινίζει τὴν φαινολοφθαλεΐνη.

1. Όταν τὰ ίόντα φτάσουν στὰ ήλεκτρόδια, προκαλοῦνται, ἀνάλογα μὲ τὴν φύση τῶν ήλεκτροδίων, δευτερέυουσες ἀντιδράσεις.

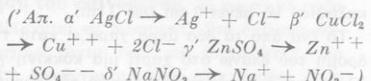
2. Τὸ χλωροῦχο νάτριο, ὅταν βρεθεῖ μέσα σὲ ὄντατικὸ διάλυμα, διαχωρίζεται σὲ ἀνιότα χλωρίου καὶ κατιόντα νατρίου. Τὰ ἀνιόντα  $Cl^-$  πηγαίνουν στὴν ἄνοδο καὶ, ὅταν ἡ ἄνοδος εἰναι ἀπρόσβλητη ἀπὸ τὸ χλώριο, ἐκφορτίζονται, μεταβάλλονται δηλαδὴ σὲ ἄπομα χλωρίου, ποὺ ἐνώνονται μεταξύ τους δύο δύο, σχηματίζοντας μόρια χλωρίου. Ἔτσι τελικὰ στὴν ἄνοδο ἐκλένεται χλώριο. Στὴν κάθοδο σχηματίζονται καυστικὴ σόδα καὶ ὄρογόν.

3. Κατὰ τὴν ἡλεκτρόλυσην καυστικῆς σόδας ἡ θεικοῦ δέξιος, σὲ βολτάμετρο μὲ ἡλεκτρόδια λευκόχρυσον, ὁ ἡλεκτρολύτης ποὺ διασπᾶται ζανασχηματίζεται. Τὸ φαινόμενο ἔξελίσσεται μὲ τέτοιον τρόπο, ὥστε νὰ δημιουργεῖται ἡ ἐντύπωση πώς παθαίνει ἀποσύνθεση μονάχα τὸ νερό.

4. Στὴν ἡλεκτρόλυση θεικοῦ χαλκοῦ, μὲ ἄνοδο ἀπὸ χαλκό, συμβαίνει μεταφορὰ χαλκοῦ ἀπὸ τὴν ἄνοδο στὴν κάθοδο.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

96. Νὰ καθοριστοῦν οἱ θεμελιώδεις ἀντιδράσεις στὶς ἡλεκτρολύτες τῶν παρακάτω διαλυμάτων:  
 α) Διάλυμα χλωριούχον ἀργίδιον ( $AgCl$ ). β) Διάλυμα χλωριούχον χαλκοῦ ( $CuCl_2$ ). γ) Διάλυμα θειούχον φενδάγνυρον ( $ZnSO_4$ ). δ) Διάλυμα νιτρικοῦ νατρίου ( $NaNO_3$ ).



97. Δύο βολτάμετρα συνδέμενα σὲ σειρὰ διαρέονται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεύμα. Τὸ πρῶτο περιέχει διάλυμα θειούχον χαλκοῦ ( $CuSO_4$ ) καὶ ἄνοδο ἀπὸ χαλκό, ἐνῶ τὸ δεύτερο διάλυμα θειούχον δέξιος ( $H_2SO_4$ ) μὲ ἡλεκτρόδια ἀπὸ λευκόχρυσο. α) Νὰ σχεδιαστεῖ τὸ κύκλωμα. β) Νὰ διατυπώσετε γ' αὐτὸ τὸ κύκλωμα τοὺς ποιοτικοὺς νόμους τῆς ἡλεκτρολύτων.

98. Η παγκόσμια βιομηχανικὴ παραγωγὴ τοῦ ἀλονυμίου ἔξελίχτηκε τὸν 20ὸν αἰώνα ὡς ἔξης: Τὰ ἔτη 1900, 1910, 1920, 1930, 1939, 1950, 1956 ἡ ποσότητα παραγωγῆς σὲ τόνους ἦταν ἀντίστοιχα: 7 000, 43 000, 125 000, 269 000, 688 000,

1 500 000, 3 374 000. Νὰ παραστήσετε γραφικὰ τὶς μεταβολὲς τῆς παραγωγῆς. Στὸν δριζόντιο ἔξονα 1 cm νὰ ἀντιστοιχεῖ μὲ 10 ἑτη, ἐνῶ στὸν κατακόνφρο ἔξονα 1 cm νὰ ἀντιστοιχεῖ σὲ 500 000 τόνους. Νὰ στρογγυλέψετε τὰ ποσά τὰ πλησιέστερα στὰ πολλαπλάσια τοῦ 50 000 τόνοι.

99. Η παγκόσμια παραγωγὴ τοῦ χαλκοῦ τὸν 20ὸν αἰώνα ἔξελίχτηκε ὡς ἔξης: Στὰ ἀκόλουθα ἔτη: 1900, 1910, 1920, 1930, 1940, 1950, 1957 ἡ ποσότητα παραγωγῆς σὲ τόνους ἦταν ἀντίστοιχα: 499 000, 888 000, 949 000, 1 577 000, 2 413 000, 2 522 000, 3 462 000. Νὰ παραστήσετε γραφικὰ τὴν μεταβολὴ τῆς παραγωγῆς. Στὸν δριζόντιο ἔξονα 1 cm νὰ παριστάνει 10 ἑτη, ἐνῶ στὸν κατακόνφρο 1 cm νὰ παριστάνει 500 000 τόνους. Νὰ στρογγυλέστοῦν τὰ ποσά ποὺ εἰναι γειτονικά μὲ πολλαπλάσια τοῦ 50 000 τόροι.

100. Η ἔτησια παραγωγὴ ἐνὸς ἐγοροστασίου παραγωγῆς ἀλονυμίου εἶναι 65 000 τόροι. α) Νὰ υπολογιστεῖ ἡ θεωρητικὴ ποσότητα τῆς ἀλονυμίας ( $Al_2O_3$ ) ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ αὐτὸ τὸ ἐγοροστάσιο. Λίγονται: Ἀτομικὸ βάρος τοῦ ἀργιλίου 27 καὶ τοῦ δεξηγρόν 16.  
 (Απ. α' 122 777 τόροι.)

**§ 115. Γενικότητες.** Στά προηγούμενα έξετάσαμε ποιοτικά τὸ φαινόμενο τῆς ήλεκτρολύσεως. Θά μελετήσουμε τὸ ίδιο φαινόμενο τώρα καὶ ποσοτικά μὲ τὴ βοήθεια τῶν δύο νόμων τῆς ήλεκτρολύσεως, ποὺ είναι γνωστοὶ μὲ τὸ δνομα τοῦ διάσημου Ἀγγλου Φυσικοῦ **Φάρανται** (Michael Faraday).



MICHAEL FARADAY (1791 - 1867)

Διάσημος Ἀγγλος Φυσικός καὶ Χημικός, δονομαστός γιὰ τὴ μεγάλη πειραματική του ικανότητα.

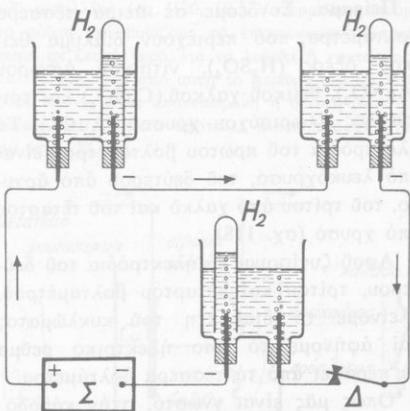
**§ 116. Πρῶτος νόμος τοῦ Φάρανται.** **Πείραμα.** Τοποθετοῦμε σὲ σειρὰ μιὰ πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος, ἔνα συσσωρευτή, ἔνα διακόπτη καὶ τρία βολτάμετρα μὲ ήλεκτρόδια ἀπὸ σίδηρο, τὰ δόποια περιέχουν διάλυμα καυστικοῦ νατρίου ( $\text{NaOH}$ ) (σχ. 117).

Κλείνομε τὸν ἀνοιχτὸ διακόπτη τοῦ κυκλώματος καὶ ἀφήνομε νὰ περάσει ηλεκτρικὸ ρεῦμα γιὰ ἔνα δρισμένο διάστημα, ἔστω 15 min, σημειώνοντας κάθε τρία λεπτὰ τὶς ποσότητες τοῦ θερόγονου ποὺ ἀπελευθερώνεται. Καταστρώνομε ἔτσι τὸν ἀκόλουθο πίνακα:

Χρόνος ποὺ περνάει ρεῦμα σὲ min	Όγκος θερόγονου σὲ cm³		
	1º βολτάμετρο	2º βολτάμετρο	3º βολτάμετρο
0	0	0	0
3	0,5	0,5	0,5
6	1	1	1
9	1,5	1,5	1,5
12	2	2	2
15	2,5	2,5	2,5

Μελετώντας τὸν παραπάνω πίνακα διαπιστώνομε ὅτι: α) Οἱ ὄγκοι τοῦ θερόγονου, ποὺ ἀπελευθερώνονται στὸ ίδιο χρονικὸ διάστημα στὰ τρία βολτάμετρα, εἰναι ἴσοι.  
β) Οἱ ὄγκοι τοῦ θερόγονου, ποὺ ἀπελευθερώνονται σὲ καθένα ἀπὸ τὰ βολτάμετρα, εἰναι ἀνάλογοι πρὸς τὸ χρόνο ποὺ κράτησε τὸ πέρασμα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος.

Ἄπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι:



**Σχ. 117.** Οἱ ὄγκοι τοῦ θερόγονου ποὺ ἀπελευθερώνονται στὸν ίδιο χρόνο στὰ τρία βολτάμετρα εἰναι ἴσοι.

I. Η ήλεκτρολυτική δράση του ήλεκτρικού ρεύματος, στο ίδιο ήλεκτρολυτικό διάλυμα, είναι ή ίδια σε δλα τά σημεία του κυκλώματος.

II. Η ήλεκτρολυτική δράση ένδος δρισμένου ήλεκτρικού ρεύματος είναι άναλογη πρός το χρόνο που διαρκεῖ τὸ πέρασμα του ρεύματος, δηλαδή πρός την ποσότητα του ήλεκτρισμοῦ που πέρασε άπο τὸ βολταμέτρο.

**Δεύτερος νόμος του Φάρανται. Γραμμοϊσοδύναμο ίόντος.** Ή έπαλήθευση τοῦ δεύτερου νόμου τῆς ήλεκτρολύσεως προϋποθέτει τὴν έκτελεση πολὺ ἀκριβῶν μετρήσεων καὶ τῇ γνώσῃ δρισμένων βασικῶν χημικῶν καὶ φυσικῶν ἐννοιῶν, δπως είναι τὸ ἀτομικὸ βάρος ένδος στοιχείου, τὸ σθένος ένδος ίόντος, τὸ γραμμοϊσοδύναμο ένδος στοιχείου καὶ τὸ γραμμοϊσοδύναμο ένδος ίόντος.

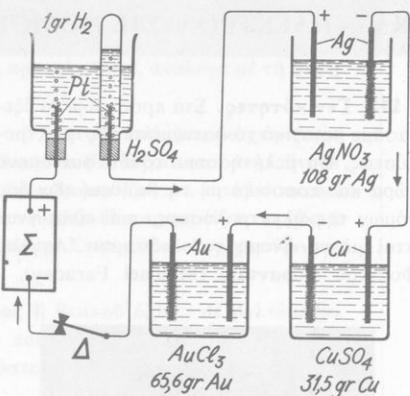
Οὐ περιοριστοῦμε στὸν δρισμὸ μόνο του γραμμοϊσοδύναμου ένδος ίόντος.

**Γραμμοϊσοδύναμο ένδος ίόντος δνομάζεται ποσότητα μάζας του ίόντος σὲ γραμμάρια, ἵση μὲ τὸ πηλίκο του γραμμοϊσοδύναμου του στοιχείου πρὸς τὸ σθένος του ίόντος.**

**Πείραμα.** Συνδέομε σὲ σειρὰ τέσσερα βολταμέτρα, πὸ περιέχουν διάλυμα θειικοῦ δξέος ( $H_2SO_4$ ), νιτρικοῦ ἀργύρου ( $AgNO_3$ ), θειικοῦ χαλκοῦ ( $CuSO_4$ ) καὶ τρισθενοῦς χλωριούχου χρυσοῦ ( $AuCl_3$ ). Τὰ ήλεκτρόδια του πρώτου βολταμέτρου εἰναι ἀπὸ λευκόχρυσο, του δεύτερου ἀπὸ ἄργυρο, του τρίτου ἀπὸ χαλκὸ καὶ του τέταρτου ἀπὸ χρυσό (σχ. 118).

Αφοῦ ζυγίσουμε τὰ ήλεκτρόδια του δεύτερου, τρίτου καὶ τέταρτου βολταμέτρου, κλείνομε τὸ διακόπτη του κυκλώματος καὶ ἀφήνομε τὸ ίδιο ήλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ περάσει ἀπὸ τὰ τέσσερα βολταμέτρα.

Οπως μᾶς είναι γνωστό, στὴν κάθοδο του πρώτου βολταμέτρου μποροῦμε νὰ μαζέψουμε ὑδρογόνο, στὴν κάθοδο του δεύτερου βολταμέτρου θὰ ἀποτεθεῖ στρῶ-



Σχ. 118. Γιὰ τὸ δεύτερο ποσοτικὸ νόμο τῆς ήλεκτρολύσεως.

μα ἀργύρου, στὴν κάθοδο τοῦ τρίτου βολταμέτρου στρῶμα χαλκοῦ καὶ στὴν κάθοδο τοῦ τέταρτου βολταμέτρου στρῶμα χρυσοῦ.

Ἄν λοιπὸν ζυγίσουμε τὰ τρία τελευταῖα ήλεκτρόδια, ἀφοῦ τελειώσει η ήλεκτρολύση, θὰ τὰ βροῦμε βαρύτερα. Ἔτσι θὰ διαπιστώσουμε, π.χ., πῶς γιὰ 1 mgr ύδρογόνου, ποὺ ἐλευθερώθηκε στὴν κάθοδο του πρώτου βολταμέτρου, ἀποτέθηκαν:

α) 108 mgr ἀργύρου = 108/1 mgr Ag στὴν κάθοδο του δεύτερου βολταμέτρου,

β) 31,5 mgr χαλκοῦ = 63/2 mgr Cu στὴν κάθοδο του τρίτου βολταμέτρου καὶ

γ) 65,66 mgr χρυσοῦ = 197/3 mgr Au στὴν κάθοδο του τέταρτου βολταμέτρου.

Ἐπειδὴ δμως ὁ ἄργυρος είναι μονοσθενῆς καὶ ἔχει ἀτομικὸ βάρος 108, ὁ χαλκὸς δισθενῆς καὶ ἔχει ἀτομικὸ βάρος 63 καὶ ὁ χρυσὸς τρισθενῆς μὲ ἀτομικὸ βάρος 197, συμπεραίνομε ὅτι τὰ πηλίκα:

$$\frac{108}{1} \text{ gr Ag}, \frac{63}{2} \text{ gr Cu}, \frac{197}{3} \text{ gr Au}$$

ἐκφράζουν τὰ γραμμοϊσοδύναμα τῶν μετάλλων ἀργύρου, χαλκοῦ καὶ χρυσοῦ. Πολλαπλασιάζοντας λοιπὸν μὲ τὸ 1000 τὰ ἀριθμητικὰ ἀποτελέσματα του πειράματος, κα-

ταλήγουμε στό ἀκόλουθο συμπέρασμα, ποὺ ἐκφράζει τὸν δεύτερο νόμο τοῦ Φάρανται:

Ἡ ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ ποὺ ἀπελευθερώνει ἔνα γραμμάριο ὑδρογόνου ἀπελευθερώνει ἐπίσης ἔνα γραμμοὶσοδύναμο ἵστος ὅπουισθήποτε μετάλλου.

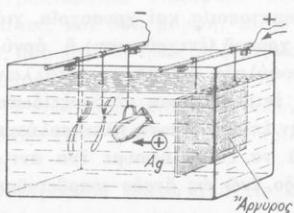
**§ 117. Ἐφαρμογές τῆς ἡλεκτρολύσεως.** Ἡ ἡλεκτρόλυση βρίσκει πολλές καὶ διάφορες ἐφαρμογές σὲ ὄρισμένους τομεῖς τῆς Τεχνικῆς καὶ τῆς Βιομηχανίας, διός εἰναι ἡ ἐπιμετάλλωση, ἡ γαλβανοπλαστική, ἡ ἡλεκτρομεταλλουργία, ἡ ἡλεκτροχρήσια κλπ.

**α) Ἐπιμετάλλωση.** Ἔτοι δύναμέται ἡ μέθοδος μὲ τὴν ὁποία περικαλύπτομε ἡλεκτρολυτικά μετάλλικές ἐπιφάνειες μὲ ἄλλα μετάλλα, διός π.χ. μὲ χαλκό, ἄργυρο, χρυσὸν κλπ.

Ἄν πρόκειται γιὰ ἐπιχάλκωση, ὡς ἡλεκτρολυτικὸν ὑγρὸν χρησιμοποιοῦμε θεικοῦ χαλκοῦ, ὡς κάθοδο τὸ ἀντικείμενο ποὺ θὰ ἐπιχαλκώσουμε καὶ ὡς ἄνοδο μιὰ χάλκινη πλάκα. Ὅπος γνωρίζουμε, στὴν περίπτωση αὐτῆς μεταφέρεται χαλκὸς ἀπὸ τὴν ἄνοδο στὴν κάθοδο καὶ ἐπικάθεται κατ' αὐτὸν τὸν τρόπο στὸ ἀντικείμενο ποὺ θέλουμε νὰ ἐπιχαλκάσουμε.

Στὴν ἐπαργύρωση, ὡς ἡλεκτρολυτικὸν ὑγρὸν χρησιμοποιοῦμε διάλυμα νιτρικοῦ ἄργυρου, ὡς κάθοδο τὸ ἀντικείμενο ποὺ πρόκειται νὰ ἐπαργυρωθεῖ καὶ ὡς ἄνοδο πλάκα ἀπὸ ἄργυρο. Ὅταν κλείσουμε τὸ κύκλωμα, γίνεται μεταφορὰ ἄργυρου ἀπὸ τὴν ἄνοδο στὴν κάθοδο καὶ ἔτσι ἐπαργυρώνεται τὸ ἀντικείμενο (σχ. 119).

Γενικά στὴν ἐπιμετάλλωση χρησιμοποιοῦμε ὡς ἡλεκτρολυτικὸν ὑγρὸν διάλυμα κατάληλου ἀλατος τοῦ μετάλλου μὲ τὸ ὄποιο θέλομε νὰ ἐπικαλύψουμε κάποιο ἀντικείμενο, ἔστω μὲ ἄλλας χρωμίου, ἃν



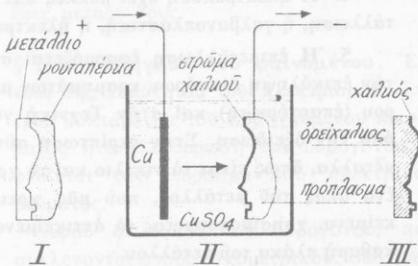
Σχ. 119. Διάταξη ἐπιμετάλλωσεως. Τὴν κάθοδο ἀποτελοῦν τὰ πρὸς ἐπιμετάλλωση ἀντικείμενα.

πρόκειται νὰ ἐκτελέσουμε ἐπιχρωμίωση, ὡς κάθοδο τὸ ἀντικείμενο καὶ ὡς ἄνοδο πλάκα καθαροῦ μετάλλου (δηλαδὴ πλάκα χρωμίου).

Ἡ ἐπιμετάλλωση χρησιμοποιεῖται στὴν κοσμηματοποιία (ἐπαργύρωση, ἐπιχρύσωση), διός ἐπίσης στὴν Τεχνικὴ καὶ στὴ Βιομηχανία (ἐπινικέλωση, ἐπιχρωμίωση) γιὰ τὴν προστασία δρισμένων μεταλλικῶν ἀντικειμένων, ἀπὸ τὴν δξειδωση ἡ γιὰ νὰ τοὺς δώσουμε μιὰ μόνιμη γναλάδα.

**β) Γαλβανοπλαστική.** Χρησιμεύει κυρίως στὴν παραγωγὴ χάλκινων ἔκμαγείων καὶ ἐπιτρέπει τὴν ἀναπαραγωγὴ μικρῶν ἀγαλμάτων, μεταλλίων, τυπογραφικῶν κλισέ, φωνογραφικῶν δίσκων κλπ. περισσότερα γενικότερα ἀντικειμένων τῶν ὅποιων ἡ ἐπιφάνεια παρουσιάζει μιὰν ἀνάγλυφη μορφὴ ποὺ πρέπει νὰ ἀποδοθῇ μὲ πιστότητα.

Στὴ γαλβανοπλαστικὴ ἐργαζόμαστε ὡς ἔξης: θερμαίνομε γουταπέρκα, ποὺ γίνεται τότε μαλακὴ καὶ εὐπλαστη, καὶ παίρνομε τὸ ἀρνητικὸ ἀποτύπωμα τῆς δύνης τοῦ ἀντικειμένου, ἔστω ἐνὸς μετάλλιου (σχ. 120, I). Ἀφήνομε κατόπιν τὴ γουταπέρκα νὰ κρυώσει καὶ νὰ ξαναγίνει σκληρή, καὶ τὴν σκεπάζουμε μὲ λεπτὸ στρῶμα γραφίτη, γιὰ νὰ τὴν κάνουμε ἔτσι ἀνώγμη στὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, καὶ τὴ χρησιμοποιοῦμε γιὰ κάθοδο σὲ διάλυμα θεικοῦ χαλκοῦ, διόν γιὰ ἄνοδο τοποθετοῦμε πλάκα ἀπὸ καθαρὸ χαλκό. Κατόπιν ἀφήνομε νὰ περάσει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα γιὰ ἔνα ἀρκετὸ χρονικὸ διάστημα καὶ ἔτσι νὰ ἀποτελεῖ ἔνα στρῶμα χαλκοῦ, ἀρκετοῦ πάχους, στὸ ἀρνητικὸ ἀποτύπωμα τοῦ μετάλλιου (σχ. 120, II). *Υστερεῖ διακόπτομε τὸ ρεῦμα καὶ βιθίζομε τὸ ἐπιχαλκωμένο ἀποτύπωμα σὲ ζεστὸ νερό, γιὰ νὰ λιώσει τὸ γουταπέρκα καὶ νὰ χωριστεῖ ἀπὸ αὐτὴ τὸ στρῶμα τοῦ χαλκοῦ, διόν ἐπάνω εἶναι ἀποτυπωμένη ἡ θεικὴ δύνη τοῦ μετάλλιου, ἡ ὁποία ἀποτελεῖ πιστὸ τοῦ ἀντίγραφο (σχ. 120, III).*

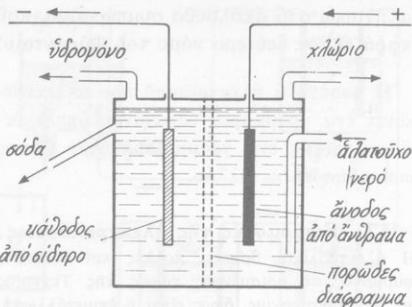


Σχ. 120. Γαλβανοπλαστική. (I) Ἐκμαγεῖο τοῦ ἀντικειμένου. (II) Ἐπιχαλκωση. (III) Ἀντίγραφο.

**γ) Ήλεκτρομεταλλουργία.** Διάφορα μέταλλα παρασκευάζονται ήλεκτρολυτικά άπό τά άλατα τους, τα δξειδιά τους ή τα ύδροξειδιά τους. Μέτη μέθοδο αυτή κατορθώνουμε νά παρασκευάσουμε μέταλλα με μεγάλο βαθμό καθαρότητας. Έτσι παρασκευάζουμε όργιλο (άλουμινο) με βαθμό καθαρότητας 99 ώς 99,8% άπό άλουμινα (δξειδιό τού άργιλου  $Al_2O_3$ ), νάτριο άπό καυστική σόδα (ύδροξειδιό τού νατρίου  $NaOH$ ), μαγνήσιο άπό χλωριούχο μαγνήσιο ( $MgCl_2$ ), ψευδάργυρο άπό θειικό ψευδάργυρο ( $ZnSO_4$ ) κλπ.

**δ) Ήλεκτροχημεία.** Πολυάριθμα σώματα παρασκευάζονται βιομηχανικάς με ήλεκτρολυτική μέθοδο. Έτσι, ήλεκτρολύνοντας διάλυμα καυστικής σόδας και χρησιμοποιώντας ήλεκτρόδια άπό σίδηρο, παρασκευάζουμε υδρογόνο και δξειδόν.

Ήλεκτρολύνοντας υδατικό διάλυμα μαγειρικού άλατος ( $NaCl$ ), πάρινομε χλώριο στήν ανοδο και καυστική σόδα στήν κάθοδο. Για να άποφύγουμε τήν έπαφή τού χλωρίου με τή σόδα, χρησιμοποιούμε ειδικά βολτάμετρα (σχ. 121), πού χω-



Σχ. 121. Βιομηχανική παρασκευή τής σόδας.

ρίζονται σε δύο μέρη άπό ένα πορώδες διάφραγμα. Το διάλυμα τής σόδας συλλέγεται και έπειτα συμπυκνώνεται με έξατμιση.

Άν άφαρέσουμε τό διάφραγμα και άφησουμε σε έπαφη τό διαλυμένο χλώριο και τή σόδα, παίρνουμε τό λεγόμενο νερό του Ζαβέλ (eau de Javel).

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

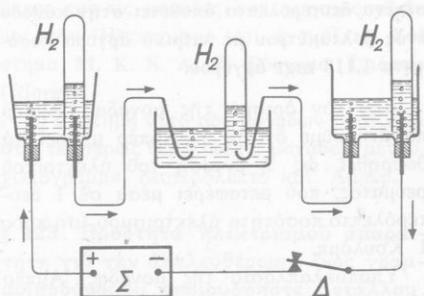
- Οι ποσοτικοί νόμοι τής ήλεκτρολύσεως είναι γνωστοί συνήθως ώς νόμοι Φάρανταιν.
- Ο πρώτος νόμος τής ήλεκτρολύσεως έκφραζε ούτι: Ή ήλεκτρολυτική δράση ένδος ήλεκτρικού ρεύματος είναι ή ίδια σε δλα τά σημεία τού κυκλώματος και άναλογη πρός τήν ποσότητα τού ήλεκτρισμού πού διαρρέει τό βολτάμετρο.
- Ο δεύτερος νόμος τής ήλεκτρολύσεως έκφραζε ούτι: "Οταν ένα όρισμένο ήλεκτρικό ρεύμα διαρρέει διαφορετικούς ήλεκτρολύτες, ή μάζα τού μετάλλου ή τού υδρογόνου, πού έλευθερώνονται στήν κάθοδο κάθε βολτάμέτρου, είναι άναλογη πρός τό γραμμοϊσοδύναμο τού ίοντος τού μετάλλου.
- Η ήλεκτρολυτική ση εχει πολλές και ποικίλες έφαρμογές, όπως είναι ή έπιμετάλλωση, ή γαλβανοπλαστική, ή ηλεκτρομεταλλουργία και ή ηλεκτροχημεία.
- Η έπιμετάλλωση έφαρμοζεται στήν κοσμηματούμα και χρυσοχώνα, γιά τήν έπικαλλυψη διαφόρων κοσμημάτων με στρόμα χρυσού (έπιχρύσωση) ή όργυρου (έπαργυρωση), και στήν Τεχνική γιά τήν προφύλαξη όρισμένων μετάλλων άπό τήν δξειδωση. Στήν περίπτωση αυτή κάνομε έπιμετάλλωση με άνοξειδωτα μέταλλα, όπως είναι τό νικέλιο και τό χρώμιο. Στήν έπιμετάλλωση ήλεκτρολύσεως ένα άλας τού μετάλλου, πού μάζ χρειάζεται γιά νά έπικαλλύψουμε ένα άντικείμενο, χρησιμοποιώντας τό άντικείμενο ώς κάθοδο, ένδω ώς ανοδο τοποθετούμε καθαρή πλάκα τού μετάλλου.
- Η γαλβανοπλαστική είναι ένα ειδος έπιχαλκώσεως και έπιτρέπει τήν άναπαραγωγή με μεγάλη πιστότητα άναγλυφων έπιφανειών.

7. Στήνη ήλεκτρομεταλλουργία παρασκευάζουμε μέταλλα μὲ πολὺ μεγάλο βαθός καθαρότητας, ήλεκτρολύτων ταχέα, δέξιδια η ύδροξείδια τῶν μετάλλων.

8. Στήνη ήλεκτροχημεία παρασκευάζομε πολυάριθμα σώματα βιομηχανικῶς, μὲ ήλεκτρολυτικὴ μέθοδο, ὅπως ύδρογόνο, δέξιγόνο, χλώριο, καυστικὴ σόδα κλπ.

## ΚΕ' — ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ. ΜΟΝΑΔΑ ΚΟΥΛΟΜΠ. ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ. ΜΟΝΑΔΑ ΑΜΠΕΡ

**§ 118. Ποσότητα ήλεκτρισμοῦ. Πείραμα.** Συνδέομε σὲ σειρὰ τρία διαφορετικὰ βολτάμετρα, τὰ οποῖα περιέχουν ἀραιὸν ύδατικὸ διάλυμα θειικοῦ δέξιος ( $H_2SO_4$ ) καὶ ἔχουν ήλεκτρόδια ἀπρόσβλητα ἀπὸ τὸ δέξιον ( $\pi.\chi.$  ἀπὸ λευκόχρυσο) (σχ. 122).



Σχ. 122. Οἱ δύκοι τοῦ ύδρογόνου ποὺ ἐλέυθερώνονται ἀπὸ τὰ τρία βολτάμετρα είναι ίσοι.

Τὰ βολτάμετρα διαφέρουν πολὺ στὶς διαστάσεις καὶ στὴ μορφὴ, τόσο τῶν δοχείων, δσο καὶ τῶν ήλεκτροδίων, καθὼς καὶ στὶς ἀποστάσεις ποὺ χωρίζουν τὰ ήλεκτρόδια. Ή ποσότητα ἐπίσης τοῦ δέξινισμένου νεροῦ δὲν είναι η ἴδια καὶ στὰ τρία βολτάμετρα.

Αναστρέφομε ἐπάνω ἀπὸ τὶς καθόδους τῶν βολταμέτρων τρεῖς δύκομετρικοὺς σωλῆνες γεμισμένους μὲ διάλυμα ἀραιοῦ θειικοῦ δέξιος, δμοιο μὲ τὸ διάλυμα ποὺ περιέ-

χουν τὰ δοχεῖα, καὶ κλείνομε τὸ κύκλωμα. Καθὼς γνωρίζομε, ἀπελευθερώνεται ύδρογόνο, ποὺ συλλέγεται στοὺς ἀναστραμμένους δύκομετρικοὺς σωλῆνες.

Μετὰ ἀπὸ μικρὸ χρονικὸ διάστημα διακόπτομε τὸ κύκλωμα καὶ παρατηροῦμε δτὶ οἱ δύκοι τοῦ ύδρογόνου, ποὺ ἀπελευθερώθηκαν σὲ κάθε ἔνα ἀπὸ τὰ βολτάμετρα, εἰναι ίσοι.

Αν πραγματοποιήσουμε ἔνα ἀνάλογο μὲ τὸ παραπάνω πείραμα, χρησιμοποιώντας σὰν ήλεκτρολύτη νιτρικὸ ἄργυρο ( $AgNO_3$ ) καὶ μὲ τελείως διαφορετικὸ βολτάμετρα, θὰ παρατηρήσουμε δτὶ οἱ πθσότητες τοῦ ἄργυρού ποὺ μαζεύονται στὶς καθόδους καὶ τῶν τριῶν βολταμέτρων ἔνναι ίσες.

Ἐπίσης ἂν χρησιμοποιήσουμε βολτάμετρα μὲ ήλεκτρολύτη θειικὸ χαλκὸ ( $CuSO_4$ ), θὰ διαπιστώσουμε δτὶ οἱ μάζες τοῦ χαλκοῦ ποὺ μαζεύονται στὶς καθόδους εἰναι πάλι ίσες μεταξύ τους.

**§ 119. Εξήγηση τοῦ φαινομένου.** Εννοια τῆς ποσότητας τοῦ ήλεκτρισμοῦ. Στὰ τρία βολτάμετρα τοῦ προηγούμενου πειράματος ἡ ἀπελευθέρωση τοῦ ύδρογόνου δοφείλεται στὸ πέρασμα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος.

Αφοῦ οἱ δύκοι τοῦ ύδρογόνου, ποὺ συλλέγονται στοὺς δύκομετρικοὺς σωλῆνες, ἡ οἱ μάζες τῶν μετάλλων, ποὺ ἀποθέτονται στήν κάθοδο, είναι ίσα, είναι λογικὸ νά

ύποθέσουμε ότι αὐτὸ συμβαίνει, ἐπειδὴ τὰ βολτάμετρα διαρρέονται ἀπὸ τὴν ἴδια ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ. Δηλαδὴ ἡ ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ εἶναι ἐκείνη ποὺ καθορίζει τὸν δύκο τοῦ ὑδρογόνου ποὺ ἀπελευθερώνεται ἢ τὴ μάζα τοῦ μετάλλου ποὺ μαζεύεται στὴν κάθοδο. Γι' αὐτὸ λέμε ὅτι:

'Η ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ, ποὺ μεταφέρεται ἀπὸ τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὸν δύκο τοῦ ὑδρογόνου ποὺ ἀπελευθερώνεται ἢ πρὸς τὴ μάζα τοῦ μετάλλου ποὺ μαζεύεται στὴν κάθοδο.

Δηλαδὴ, ὅταν ὁ δύκος τοῦ ὑδρογόνου ἢ ἡ μάζα τοῦ μετάλλου εἶναι διπλάσια, τριπλάσια, τετραπλάσια κλπ., αὐτὸ σημαίνει ὅτι ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ πέρασε ἀπὸ τὸ βολτάμετρο εἶναι δύο, τρεῖς, τέσσερεις φορὲς μεγαλύτερη κλπ.

**Μονάδες τῆς ποσότητας τοῦ ἡλεκτρισμοῦ.** 'Ως μονάδα γιὰ τὴ μέτρηση τῆς ποσότητας τοῦ ἡλεκτρισμοῦ χρησιμοποιοῦμε τὸ **1 Κουλόμπ** (**1 Coulomb**, **1 Cb**).

**Τὸ 1 Κουλόμπ (1 Cb)** εἶναι ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ, ποὺ, ὅταν περάσει ἀπὸ ἔνα βολτάμετρο μὲ νιτρικὸ ἄργυρο ( $\text{AgNO}_3$ ), ἀποθέτει στὴν κάθοδο ποσότητα 1,118 mgr ἄργυρου.

**Άριθμητικὴ ἐφαρμογὴ.** Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ, ποὺ ἀποθέτει 0,274 gr ἄργυρου στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου μὲ νιτρικὸ ἄργυρο.

Λύση. 'Αφοῦ τὰ 1,118 mgr ἄργυρου ἐλευθερώνονται στὴν κάθοδο ἀπὸ 1 Cb, τὰ 0,274 gr = = 274 mgr θὰ ἐλευθερώνονται ἀπὸ ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ ἵση πρός:

$$\frac{274}{1,118} \text{ Cb} = 245 \text{ Cb}$$

**§ 120.** "Ενταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Πολλές φορὲς μᾶς χρειάζεται νὰ γνωρίζουμε τὴν παροχὴ μιᾶς σωληνώσεως στὸ δίκτυο ὑδρεύσεως ἢ στὸ δίκτυο τοῦ φωτα-

ερίου. Μᾶς ἐνδιαφέρει δηλαδὴ νὰ γνωρίζουμε πόσα κυβικὰ μέτρα νερὸ ἢ ἀερίο περνοῦν ἀπὸ μιὰ τυχαία διατομὴ τοῦ δικτύου στὴ μονάδα τοῦ χρόνου.

'Ανάλογα καὶ τὴν ἡλεκτρικὴ παροχὴ ἐνὸς ἀγωγοῦ, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, τὴν δονομάζομε **ἐνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος** καὶ τὴ συμβολίζομε μὲ i.

'Η ἐνταση ἵ στον ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει ἔναν ἀγωγό, εἶναι ἡ ἴδια σὲ δλα τὰ σημεῖα ἐνὸς ἀπλοῦ κλειστοῦ κυκλώματος.

**Μονάδα ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.** Ή μονάδα ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος εἶναι τὸ **1 Αμπέρ** (**Ampère**) καὶ συμβολίζεται μὲ **1 A** ἢ **1 Amp**.

**Τὸ 1 Αμπέρ (1 A, 1 Amp)** εἶναι ἵσο μὲ τὴν ἐνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ μέσα σὲ ἔνα δευτερόλεπτο ἀποθέτει στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου μὲ νιτρικὸ ἄργυρο ποσότητα 1,118 mgr ἄργυρου.

'Απὸ τὸν ὄρισμὸ τῆς μονάδας **Αμπέρ** παρατηροῦμε ὅτι τὸ 1 Αμπέρ μπορεῖ νὰ θεωρηθεῖ ὡς ἡ ἐνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ μεταφέρει μέσα σὲ 1 δευτερόλεπτο ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ ἵση πρὸς 1 Κουλόμπ.

'Υποπολλαπλάσιο τῆς μονάδας **Αμπέρ** εἶναι τὸ **1 μιλιαμπέρ** (**1 milliampère**), ποὺ συμβολίζεται μὲ **1 mA** καὶ τὸ **1 μικρο-αμπέρ** (**1 microampère**), τὸ ὅποιο συμβολίζεται μὲ **1 μΑ**. "Ετσι ἔχομε:

$$1 \text{ mA} = \frac{1}{1000} \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = \frac{1}{1000000} \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$$

**§ 121.** **Σχέση μεταξὺ ποσότητας ἡλεκτρισμοῦ καὶ ἐντάσεως ρεύματος.** 'Αφοῦ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 1 Αμπέρ μεταφέρει μέσα σὲ 1 δευτερόλεπτο ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ ἵση πρὸς 1 Κουλόμπ, ἡ-

λεκτρικό ρεῦμα ἐντάσεως i 'Αμπέρ θὰ μεταφέρει σὲ χρόνο t δευτερολέπτων ποσότητα ήλεκτρισμοῦ q Κουλόμπ, ποὺ θὰ είναι ἵση μέ:

$$q = i \cdot t$$

**'Αριθμητικό παράδειγμα:** Πόσο ηλεκτρικό φορτίο μεταφέρει σὲ χρόνο 2 min ηλεκτρικό ρεῦμα ἐντάσεως 5 A;

Λύση. 'Απὸ τὴ σχέση  $q = i \cdot t$ , ἀντικαθιστώντας τὰ σύμβολα μὲ τὶς τιμές τους, δηλαδὴ  $i = 5 \text{ A}$ ,  $t = 2 \text{ min} = 2 \cdot 60 \text{ sec} = 120 \text{ sec}$ , ἔχομε:

$$q = 5 \cdot 120 \text{ Cb} = 600 \text{ Cb}$$

**§ 122. Σύστημα μονάδων M.K.S.A.** 'Αν στὶς θεμελιώδεις μονάδες τοῦ συστήματος M.K.S. προσθέσουμε ως θεμελιώδη μονάδα καὶ τὸ 'Αμπέρ, δημιουργεῖται ἕνα γενικότερο σύστημα μονάδων, ποὺ περιλαμβάνει καὶ τὶς μονάδες ποὺ χρησιμοποιοῦμε στὸν 'Ηλεκτρισμό καὶ δύναμέται Σύστημα M. K. S. A. ἢ Σύστημα Τζιόρτζι (Giorgi).

Τὸ σύστημα αὐτὸ τῶν μονάδων βασίζεται στὶς τέσσερεις θεμελιώδεις μονάδες: μέτρο, χιλιόγραμμο, δευτερόλεπτο καὶ 'Αμπέρ.

**§ 123. Ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἀπαραιτητη γιὰ τὴν ἀπελευθέρωση ἐνὸς γραμμοῖσοδύναμου δύναμης ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ.** 'Απὸ τὸν ὄρισμὸ τῆς μονάδας γιὰ τὴν ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ, γνωρίζομε ὅτι 1 Cb ἐλευθερώνει 1,118 mgr (0,001 118 gr) ἀργύρου σὲ μιὰ ήλεκτρόλινση, διαλύματος νιτρικοῦ ἀργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ).

'Επομένως γιὰ νὰ ἀπελευθερωθεῖ ἕνα γραμμοῖσοδύναμο ἀργύρου, δηλαδὴ μάζα 108 gr τοῦ μετάλλου, πρέπει νὰ περάσει ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἵση μέ:

$$q = \frac{108}{0,001 118} \text{ Cb} = 96\,500 \text{ Cb}$$

Αὐτὴ ἡ ἴδια ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἀπελευθερώνει ἐπίσης  $64/2 \text{ gr} = 32 \text{ gr}$  χαλκό,

$197/3 \text{ gr} = 65,6 \text{ gr}$  χρυσὸ ή 1 gr ὑδρογόνο, δηλαδὴ ποσότητες ἵσες πρὸς ἕνα γραμμοῖσοδύναμο τῶν ἀντίστοιχων μετάλλων ἢ ἕνα γραμμάριο ὑδρογόνο. 'Ωστε:

**Ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἵση πρὸς 96 500 Cb** ἀπελευθερώνει στὴν κάθοδο, στὴ διάρκεια μιᾶς ήλεκτρολίνσεως, μάζα ἵση μὲ ἕνα γραμμοῖσοδύναμο δύναμης ποσότητες μετάλλου ἢ ἕνα γραμμάριο ὑδρογόνο.

**§ 124. Γενίκευση.** Τύπος τοῦ Φάρανταιν. 'Υποθέτομε ὅτι ηλεκτρικό ρεῦμα ἐντάσεως i 'Αμπέρ διαρρέει, γιὰ χρονικὸ διάστημα t sec, ἕνα βολτάμετρο. Θὰ ὑπολογίσουμε τὴ μάζα μὲ σὲ γραμμάρια τοῦ μετάλλου ποὺ μαζεύεται στὴν κάθοδο, γνωρίζοντας τὸ ἀτομικὸ βάρος A τοῦ μετάλλου καὶ τὸ σθένος n τοῦ ἰόντος του.

Μάθαμε ὅτι ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἵση πρὸς 96 500 Cb ἀπελευθερώνει στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου ἕνα γραμμοῖσοδύναμο τοῦ μετάλλου, δηλαδὴ μάζα ἵση μὲ A/n γραμμάρια.

'Επομένως 1 Cb ἀπελευθερώνει μάζα ἵση μέ:

$$\frac{1}{96\,500} \cdot \frac{A}{n} \text{ gr}$$

καὶ συνεπῶς ποσότητα ήλεκτρισμοῦ q Cb θὰ ἀποθέσει μάζα μὲ τοῦ μετάλλου ἵση μέ:

$$m = \frac{1}{96\,500} \cdot \frac{A}{n} \cdot q$$

'Επειδὴ ὅμως ἴσχει ἡ σχέση  $q = i \cdot t$ , ἡ παραπάνω εξίσωση γράφεται καὶ ως ἔξης:

$$m = \frac{1}{96\,500} \cdot \frac{A}{n} \cdot i \cdot t$$

**§ 125. 'Αμπερώρα.** 'Αλλῃ μονάδα ποσότητας ήλεκτρισμοῦ. Τὸ Κουλόμπ είναι μιὰ πολὺ μικρὴ μονάδα καὶ γι' αὐτὸν τὸ λόγο στὶς πρακτικές ἐφαρμογές προτιμοῦμε νὰ

χρησιμοποιούμε ώς μονάδα ποσότητος ήλεκτρισμού τήν **1 άμπερώρα** (1 Ah).

Μία άμπερώρα (1 Ah) είναι ίση μὲ τήν ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ, ποὺ μεταφέρεται σε μιὰν ώρα ἀπὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως ἐνὸς Αμπέρ.

Ἐπομένως θὰ είναι:

$$1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ A} \cdot 3600 \text{ sec} = 3600 \text{ Cb}$$

Cb. Δηλαδή:

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ Cb}$$

Ἐτσι, λέμε π.χ. ὅτι ἔνας συσσωρευτής ἔχει χωρητικότητα 90 Ah, ἂν είναι σὲ θέση νὰ τροφοδοτεῖ μὲ ρεῦμα 3 A γιὰ 30 h ἔνα κύκλωμα ἢ νὰ τροφοδοτεῖ μὲ ρεῦμα 9 A γιὰ 10 h κλπ.

**Άριθμητικό παράδειγμα.** Ἐνας συσσωρευτής παράγει ρεῦμα ἐντάσεως 2,4 A ἀδιάκοπα 15 ώρες. Νὰ ὑπολογίσετε τὴ χωρητικότητα τοῦ συσσωρευτῆ σὲ ἀμπερόρες, δηλαδὴ τὴν ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ ποὺ είναι σὲ θέση νὰ ἀποδώσει.

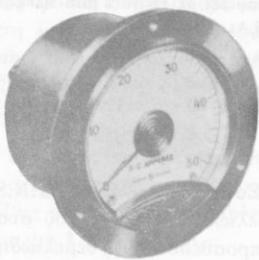
**Αὐστη.** Ἀντικαθιστώντας στὸν τύπο  $q = i \cdot t$ , (ὅπου  $q$  ἡ ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ, ποὺ είναι σὲ θέση νὰ ἀποδώσει σὲ συσσωρευτής,  $i$  ἡ ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματός του καὶ  $t$  ὁ χρόνος σὲ ώρες, μέσα στὸν ὅποιο ἀπόδιδεται τὸ ήλεκτρικὸ φορτίο) τὰ σύμβολα μὲ τὶς ἀριθμητικές τους τιμές, παίρνομε:

$$q = i \cdot t = 2,4 \text{ A} \cdot 15 \text{ h} = 36 \text{ Ah}$$

**§ 126. Μέτρηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος. Άμπερόμετρα.** Ἡ ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος μπορεῖ νὰ μετρηθεῖ βέβαια μὲ ἔνα βολτάμετρο νιτρικοῦ ἀργύρου.

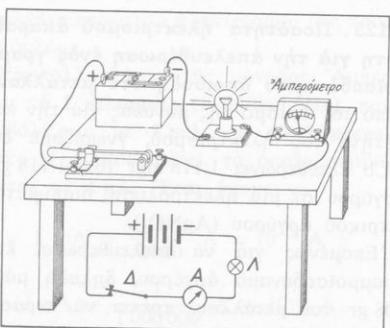
Ἡ ἐργασία αὐτὴ ὅμως δὲν είναι σύντομη καὶ εὔκολη. Πρέπει νὰ ζυγίσουμε τὴν κάθοδο πρὶν καὶ μετά τὴν ήλεκτρολύση, νὰ γνωρίζουμε τὴ διάρκεια τῆς ήλεκτρολύσεως καὶ νὰ κάνουμε ὑπολογισμούς.

Γι' αὐτὸν τὸ λόγο προτιμοῦμε ἔνα ἄλλο εἶδος δργάνων μὲ ἀπ' εἰδήσεις ἀνάγνωση, τῶν δόπιων οἱ ἐνδείξεις προκαλοῦνται ἀπὸ μαγνητικὰ ἢ θερμικὰ ἀποτελέσματα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος. Τὰ ὅργανα αὐτὰ δονομάζονται **άμπερόμετρα** (σχ. 123).



Σχ. 123. Ἐξωτερικὴ ὁψη συνηθισμένου ἀμπερόμετρου.

Τὰ ἀμπερόμετρα παρεμβάλλονται, ὅπως λέμε, στὸ κύκλωμα, τοποθετοῦνται δηλαδὴ σὲ σειρὰ μαζὶ μὲ τὶς διάφορες συσκευὲς (βολτάμετρα, διακόπτες, κινητῆρες κ.λπ.), ὅπως δείχνεται στὸ σχῆμα 124.



Σχ. 124. Σὲ ὅποιαδήποτε θέση τοῦ κυκλώματος παρεμβληθεῖ τὸ ἀμπερόμετρο, δείχνει τὴν ἴδια ἐνδείξη.

1. Η ποσότητα του ήλεκτρισμού είναι μετρήσιμο μέγεθος.
2. Μονάδα ποσότητας του ήλεκτρισμού είναι το Κουλόμπ (1 Cb), ίσο με τὴν ποσότητα του ήλεκτρισμού που ἀποθέτει 1,118 mgr ἀργύρου στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου μὲν νιτρικὸν ἄργυρο.
3. Ἐνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει ἔναν ἀγωγό, ὀνομάζομε τὴν παροχὴ τοῦ ἀγωγοῦ σὲ ηλεκτρικὰ φορτία.
4. Η Ἐνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος μετριέται σὲ Ἀμπέρ (1A) είναι ίσο μὲ τὴν Ἐνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ ἀποθέτει στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου μὲ νιτρικὸν ἄργυρο 1,118 mgr ἀργύρου σὲ κάθε δευτερόλεπτο.
5. Η ποσότητα του ήλεκτρισμού σὲ Κουλόμπ, ποὺ μεταφέρεται ἀπὸ ηλεκτρικὸν ρεῦμα ἐντάσεως 1 Ἀμπέρ σὲ χρόνο 1 sec, δίνεται ἀπὸ τὴν σχέση:

$$q = i \cdot t$$

6. Γιὰ νὰ ἐλευθερώθει στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου 1 gr οὐδρογόνου ἡ 1 γραμμοῖσσοδύναμο ὅποιουσδήποτε μετάλλου, χρειάζεται ποσότητα ηλεκτρισμοῦ ίση μὲ 96 500 Cb.

7. Η μάζα m σὲ gr τοῦ μετάλλου ποὺ μαζεύεται ἀπὸ ρεῦμα ἐντάσεως i σὲ χρόνο t δίνεται ἀπὸ τὴν σχέση:

$$m = \frac{1}{96\,500} \cdot \frac{\Lambda}{n} \cdot i \cdot t$$

8. Η ἀμπερώρα είναι μονάδα ποσότητας ηλεκτρισμοῦ καὶ είναι ίση μὲ 3 600 Cb.

9. Η Ἐνταση ἐνὸς ηλεκτρικοῦ ρεύματος μετριέται μὲ ἀμπερόμετρο, ποὺ συνδέεται πάντοτε σὲ σειρὰ μὲ τις ἄλλες συσκευὲς τοῦ κυκλώματος.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**101.** "Ενα βολτάμετρο περιέχει νιτρικὸν ἄργυρο. Αὐτὴν κατὰ τὴν ηλεκτρούληση ἀποθέτονται στὴν κάθοδο 3,6 gr ἀργύρου, νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ποσότητα τοῦ ηλεκτρισμοῦ ποὺ πέρασε ἀπὸ τὸ βολτάμετρο (ἀπομικοῦ βάρους ἀργύρου 108). ('Απ. 3216, 6 Cb.)

**102.** Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ Ἐνταση τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ σὲ μιὰ ὥρα ἀποθέτει 19 gr ἀργύρου στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου, ποὺ περιέχει νιτρικὸν ἄργυρο. ('Απ. 4, 7 A περίπτων.)

**103.** Νὰ ὑπολογιστεῖ ὁ χρόνος ποὺ ἀπαιτεῖται γιὰ νὰ μαζευτοῦν 9 gr ἀργύρου, στὴν κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου, ἀν ηλεκτρικὸν ρεῦμα ἐντάσεως 10 A περνᾷ ἀπὸ διάλυμα νιτρικοῦ ἀργύρου. ('Απ. 804 sec.)

**104.** Μία συστοιχία συσσωρευτῶν ἔχει χωρητικότητα 90 Ah καὶ είναι φορτισμένη κατὰ τὰ 3/5. Νὰ βρεθῇ πόσο χρόνο ἡ συστοιχία θὰ μπορεῖ νὰ δίνει ηλεκτρικὸν ρεῦμα ἐντάσεως 4,5 A. ('Απ. 12 h.)

105. "Ενα βολτάμετρο περιέχει δύνησιμένο νερό και διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα εντάσεως 1,5 A. α) Νά ψηλογιστεί η ποσότητα του ήλεκτρισμού που περνά από το βολτάμετρο σε 45 min. β) Νά ψηλογιστεί ο δρήγος του υδρογόνου που ελευθερώνεται στο βολτάμετρο σε 45 min. (σε κανονικές συνθήκες). (Απ. α' 4 050 Cb. β' 470 cm<sup>3</sup>.)

**106.** Νὰ υπολογιστεῖ ἡ μᾶζα τοῦ ἀργύρου ποὺ θὰ ἀποτεθεῖ στὴ κάθοδο ἐνὸς βολταμέτρου, ποὺ πεμψεῖ διάλυμα νιτρικοῦ ἀργύρου, ἀν περάσει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 5 A ἐπὶ 20 min. ('Αρ. 6, 7 gr.)

**107.** Νά βρεθεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ φεύγαματος ποὺ σὲ 23 min ἐλευθέρωσε 7,2 gr χαλκὸ κατὰ τὴν ἡλεκτρόλυση διαλόματος θευκοῦ χαλκοῦ. Τὸ λὸν τοῦ χαλκοῦ νὰ θεωρηθεῖ δισθενὲς καὶ τὸ ἀτομικὸ βάρος τοῦ χαλκοῦ νὰ ληφθεῖ ἵσο μὲ 63.

**108.** Ἡλεκτρικὸν φεῦμα διέρχεται ἀπό ἕνα βολτáμετρο, ποὺ περιέχει νιτρικό ἀγγυρό, καὶ ἀποθέτει στὴν κάθοδο σὲ 2 h μάζα ἀφρόνων 16,0992 gr. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ που διαφέρει τὸ βολτάμετρο. β) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἐνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ φεύματος.

(*Απ. α' 14 384,6 Ο. β' 2 Α περίου.*)

**109.** Ἡλεκτρικὸν φεῦμα ἐντάσεως 5 Α περνᾶ ἐπὶ 1 h καὶ 20 min ἀπὸ ἔνα βολτάμετρο, ποὺ περιέχει διάλυμα θειούχου χαλκοῦ. Νὰ ὑπολογιστοῦν.  
α) Ἡ μάζα τοῦ χαλκοῦ ποὺ μαζεύεται καὶ β) ὁ χρόνος ποὺ ἀπαιτεῖται γιὰ νὰ μαζευτοῦν 12 gr ἀργύρου, ὅταν τὸ βολτάμετρο περιέχει διάλυμα νιτρικοῦ ἀργύρου καὶ διαρρέεται ἀπὸ τὸ ίδιο ἡλεκτρικὸν φεῦμα, ἐντάσεως 5 A. (*Άτομικὸν βάρος χαλκοῦ 64 καὶ ἀργύρου 108· σθένος τοῦ λόντος τοῦ χαλκοῦ 2 καὶ τοῦ λόντος τοῦ ἀργύρου 1.*)

110. Ἡλεκτρικὸν ρεῖμα ἐντάσεως 2 A περνᾶ  
τι 10 h ἀπὸ δύο βολτάμετρα συνδεμένα σὲ σειρά.  
ὅ δὲ ἔχει διάλυμα θεικοῦ χαλκοῦ καὶ τὸ ἄλλο  
τειχικοῦ ἀργύρου (ἀπομικρὸς βάρος χαλκοῦ 64, σθέ-  
τος λόντος 2, Ἀτομικῷ βάρος ἀργύρου 108, σθέ-  
τος λόντος 1). α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ μάζα τοῦ χαλ-  
κοῦ ποὺ μαζεύνηκε στὴν κάθοδο τοῦ πρώτου βολ-  
τάμετρου. β) Ἀπὸ τὸ πορτορούμενο ἀπότελεσμα  
ὑπὸ χρησιμοποιῶντας μόνο τὸ ἀπομικρὸς βάρος καὶ  
τὴ σθένη, νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ μάζα τοῦ ἀργύρου ποὺ  
λεῖνεται στὴν κάθοδο τοῦ δεύτερου βολταμέτρου.

III. Θέλουμε νὰ καλύψουμε μὲ στρῶμα ἀπὸ νικέλιο πάχονς  $0,1$  mm ἔνα μεταλλικὸ ἀντικείμενο, ποὺ ἔχει ἐπιφάνεια  $116\text{ cm}^2$ . Ἡ ἔνταση τοῦ φεύγματος ποὺ χρησιμοποιοῦμε εἶναι  $2,5\text{ A}$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ὁ χρόνος ποὺ ἀπαιτεῖται γ' αὐτὴ τὴν ἐργασία. Πυνκνώτατα κινελέον:  $8,8\text{ gr/cm}^3$ , ἀτομικὸ βάρος  $59$  καὶ σθένος τοῦ λόντος του  $2$ .

**112.** Πρόσκειται νά ἐπιχαλκώσουμε και τίς δύο ὅψεις ματς τραπέζεοιδῶν πλάκας. Οἱ βάσεις τῆς πλάκας ἔχουν μῆρκος 3 dm καὶ 20 cm καὶ τὸ ὑψος της εἶναι 150 mm. Τὸ πάρος τοῦ χάλκινου στρώματος θὰ εἶναι 0,1 mm. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ μάζα ταῦθι χαλκοῦ ποὺ θὰ πρέπει νὰ καλύψῃ τὴν πλάκα. β) Νὰ καθοριστεῖ ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ἢ ἀνάγκαια γιὰ τὴν ἐπιχάλκωση. γ) Νὰ βρεθεῖ ἡ ἔνταση τοῦ παρεχόμενον ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ἀν εἶναι γνωστὸ δτὶ ἡ ἐπιχάλκωση θὰ διαρκέσει 5 h. Δίνονται: ἡ πυκνότητα τοῦ χαλκοῦ 8,8 gr/cm<sup>3</sup>, τὸ ἀτομικὸ τοῦ βράσου 63,6. Τὸ ἴὸν τοῦ χαλκοῦ νὰ ληφθεῖ διεγένετο.

(*'Aπ. α' 66 gr. β' 200 283 Cb περίπου,  
γ' 11,1 A περίπου.*)

# ΚΣΤ' — ΘΕΡΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ. ΜΟΝΑΔΑ ΟΗΜ. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΤΖΑΟΥΛΑ.

**§ 127. Γενικότητες.** Η θέρμανση ένδος ή-λεκτρικού σίδερου δφείλεται στό πέρασμα τού ήλεκτρικού ρεύματος. Τό ήλεκτρικό ρεῦμα προκαλεῖ ἐπίσης τήν πυράκτωση τού νήματος ένδος λαμπτήρα. Αύτό τό φαινόμενο είναι γενικότερο:

Κάθε ἀγωγός πού διαρρέεται άπό ήλεκτρικό ρεῦμα θερμαίνεται.

Τά χάλκινα σύρματα τῶν ήλεκτρικῶν ἐγκαταστάσεων θερμαίνονται μὲ τό πέρασμα τού ήλεκτρικού ρεύματος: στήν περίπτωση δμως αὐτή ή αὔξηση τῆς θερμοκρασίας είναι ἀσήμαντη και δὲν γίνεται εύκολα αἰσθητή.

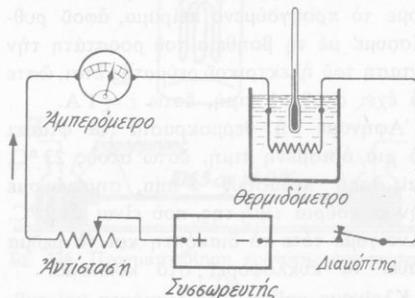
**§ 128. Πειραματική σπουδὴ τῶν θερμικῶν ἀποτελεσμάτων τού ήλεκτρικού ρεύματος.** Τά θερμικά ἀποτελέσματα τού ήλεκτρικού ρεύματος ἐμελέτησε πρῶτος ὁ Αγγελος Φυσικός Τζάουλ (Joule), γι' αὐτὸν ἀκριβῶς τό λόγο πολλές φορές τή θέρμανση ένδος ἀγωγοῦ, δταν τὸ διαρρέει ήλεκτρικό ρεῦμα, συνηθίζομε νὰ τή λέμε φαινόμενο Τζάουλ.

Η ποσότητα τῆς θερμότητας, πού ἀναπτύσσεται σὲ ἔναν ἀγωγό ή σὲ μιὰ ήλεκτρική συσκευή, ἔξαρτᾶται άπό τό χρόνο πού διαρκεῖ τό πέρασμα τού ρεύματος ἀπό τὸν ἀγωγὸ καὶ ἀπό τήν ἐνταση τού ρεύματος. Μεταβάλλεται δμως ἀπό τή μιὰ συσκευή στήν ἄλλη. "Ετσι, ἐνῶ είναι πολὺ σημαντική σὲ μιὰν ήλεκτρική θερμάστρα, είναι ἐντελῶς ἀσήμαντη σὲ ἔνα χάλκινο σύρμα.

**1) Ἐπίδραση τού χρόνου.** Πείραμα. Πραγματοποιοῦμε τὸ κύκλωμα τού σχήματος 125 και βυθίζομε σὲ ἔνα θερμιδόμετρο,

ποὺ περιέχει 200 gr πετρέλαιο, ἔνα πολὺ λεπτὸ ἀγωγὸ σύρμα ἀπό σιδηρονικέλιο.

Τό ἀμπερόμετρο, τό δοποῖο ἔχομε συνδέσει σὲ σειρά στό κύκλωμα, μᾶς ἐπιτρέπει μὲ τή βοήθεια ένδος զօսτάτη νὰ ρυθμίζουμε τήν ἐνταση τού ήλεκτρικού ρεύματος. Ή ρύθμιση γίνεται πρίν ἀρχίσουμε τό πειραματικό, ἐστω δὲ 2 A ή ἐνταση τού ρεύματος.



**Σχ. 125.** Γιά τήν πειραματική σπουδὴ τῶν θερμικῶν ἀποτελεσμάτων τού ήλεκτρικού ρεύματος.

Μὲ τή βοήθεια τού θερμομέτρου, ποὺ είναι βυθισμένο στό πετρέλαιο, σημειώνομε κάθε λεπτὸ τή θερμοκρασία τού πετρελαίου, σχηματίζοντας τὸν παρακάτω πίνακα:

Χρόνος σὲ min	0	1	2	3	4	5
Θερμοκρασία σὲ °C	19,8	20,7	21,7	22,6	23,6	24,6
Αὔξηση θερμοκρ. σὲ °C	0,9	1	0,9	1	1	

Ἄπο τή μελέτη τού πίνακα συμπεραίνομε ὅτι ή θερμοκρασία τού πετρελαίου

ύψωνεται κατά μέσο δρο 10°C σε κάθε λεπτό, πράγμα που μᾶς δόηγει στήν παραδοχή ότι η ποσότητα της θερμότητας που έκλινεται μέσα στὸν ἀγωγό, αὐξάνεται κανονικά στή διάρκεια τοῦ πειράματος. Έπομένως:

Η ποσότητα της θερμότητας που έκλινεται σὲ ἔναν ἀγωγό, ἀπὸ τὸ πέρασμα ἡλεκτρικοῦ ρεύματος σταθερῆς ἐντάσεως, είναι ἀνάλογη πρὸς τὴ χρονικὴ διάρκεια τοῦ πειράματος τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

2) Ἐπίδραση τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Πείραμα. Ἐπαναλαμβάνομε τὸ πρὸηγούμενο πείραμα, ἀφοῦ ρυθμίσουμε μὲ τὴ βοήθεια τοῦ ροοστάτη τὴν ἐνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἔτσι, ὥστε νὰ ἔχει σταθερὴ τιμὴ, ἔστω  $i = 1 \text{ A}$ .

Αφήνομε τὴ θερμοκρασία νὰ φτάσει σὲ μιὰ ὁρισμένη τιμὴ, ἔστω στοὺς 23 °C, καί, ἀφοῦ περάσουν 5 min, σημειώνομε τὴν καινούρια τιμὴ της, ποὺ είναι 24,2 °C. Ανοίγομε τότε τὸ διακόπτη καὶ τὸ ρεῦμα παύει νὰ κυκλοφορεῖ στὸ κύκλωμα.

Κλείνομε καὶ πάλι τὸ διακόπτη καὶ ρυθμίζομε τὸ ροοστάτη ἔτσι, ὥστε η ἐνταση τοῦ ρεύματος νὰ είναι 2 A. Παρατηροῦμε τότε ότι σὲ χρόνο 5-min η θερμοκρασία τοῦ πετρελαίου ἀνέβηκε ἀπὸ τοὺς 23 °C στοὺς 27,8 °C.

Ανοίγομε καὶ πάλι τὸ διακόπτη, ἐπαναλαμβάνομε τὸ ἴδιο πείραμα μὲ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 3 A καὶ παρατηροῦμε ότι μέσα σὲ χρόνο 5 min η θερμοκρασία ἀνέβηκε ἀπὸ τοὺς 23 °C στοὺς 33,8 °C.

Μὲ τὶς παραπάνω ἐνδείξεις καταστρώνομε τὸν ἀκόλουθο πίνακα:

Ἐνταση i σὲ A	1	2	3
Θερμοκρασία t=0 min	23	23	23
t=5 min	24,2	27,8	33,8
Αὔξηση τῆς θερμοκρασίας σὲ °C	1,2	4,8	10,8

Ἄπὸ τὸν πίνακα συμπεραίνομε ότι: α) Η ἀνύψωση τῆς θερμοκρασίας είναι 1,2 °C, δταν η ἐνταση τοῦ ρεύματος είναι 1 A. β) Η ἀνύψωση τῆς θερμοκρασίας είναι 4,8° C, δταν η ἐνταση τοῦ ρεύματος είναι 2 A. γ) Η ἀνύψωση τῆς θερμοκρασίας είναι 10,8 °C, δταν η ἐνταση τοῦ ρεύματος είναι 3 A. Ἐπειδὴ δμως είναι:

$$1,2 = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \cdot 1^2$$

$$4,8 = 1,2 \cdot 4 = 1,2 \cdot 2^2$$

$$10,8 = 1,2 \cdot 9 = 1,2 \cdot 3^2$$

παρατηροῦμε ότι η αὔξηση τῆς θερμοκρασίας είναι σὲ κάθε περίπτωση ἀνάλογη πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Ἐπειδὴ δμως γιὰ ἔνα δρισμένο σῶμα η αὔξηση τῆς θερμοκρασίας του είναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἀπορροφᾷ, καταλήγομε τελικά στὸ συμπέρασμα ότι:

Η ποσότητα τῆς θερμότητας, ποὺ σὲ ὄρισμένο χρόνο ἐκλινεῖται μέσα σὲ ἔναν ἀγωγὸ ἔξαιτιάς τοῦ περάσματος ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, είναι ἀνάλογη πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸν ἀγωγό.

3) Ἐπίδραση τῆς φύσης τοῦ ἀγωγοῦ. Αντίσταση. Πείραμα. Τὰ παραπάνω πειράματα ἐκτελέστηκαν μὲ τὸν ἴδιο ἀγωγὸ βυθισμένο μέσα στὸ θερμιδόμετρο.

Αντικαθιστοῦμε τὸν ἀγωγὸ ἀυτὸ μὲ ἔναν ἄλλο διαφορετικὸ ἀπὸ τὸν πρῶτο στὸ ὄντικό κατασκευῆς, στὸ μῆκος καὶ στὸ πάχος. Μετροῦμε τώρα τὴν ἀνύψωση τῆς θερμοκρασίας γιὰ πέρασμα ρεύματος ἐντάσεως ἔστω 2 A καὶ γιὰ χρονικὸ διάστημα 5 min στὸν δεύτερο ἀγωγὸ καὶ βρίσκομε ἔστω 14,4 °C ὑψωση τῆς θερμοκρασίας, ἐνδ στὸν πρῶτο ἀγωγὸ εἶχαμε βρεῖ, μὲ τὶς ἕδιες συνθῆκες, ὑψωση 4,8 °C.

Ἄπὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ότι η ὑψωση τῆς θερμοκρασίας στὸν δεύτερο ἀγωγὸ είναι τρεῖς φορές μεγαλύτερη ἀπὸ

ὅτι στὸν πρῶτο ἀγωγό, πράγμα ποὺ σημαίνει ὅτι καὶ ἡ θερμότητα ποὺ ἐκλύεται στὸν δεύτερο ἀγωγό εἶναι τριπλάσια ἀπὸ τὴν θερμότητα ποὺ ἐκλύεται στὸν πρῶτο ἀγωγό.

Τὰ συμπεράσματα μας αὐτὰ ἐκφράζομε λέγοντας ὅτι ἡ ἀντίσταση τοῦ δεύτερου ἀγωγοῦ εἶναι τριπλάσια ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τοῦ πρώτου ἀγωγοῦ. "Ωστε:

"Ἡ ἀντίσταση ἑνὸς ἀγωγοῦ εἶναι ἔνα φυσικὸ μέγεθος, ποὺ χαρακτηρίζει τὸν ἀγωγὸ στὸ φαινόμενο τοῦ Τζάουλ.

'Απὸ τὸ παραπάνω πείραμα συμπεραίνομε συνεπῶς ὅτι ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἐκλύεται στὸν ἀγωγό.

'Αντιστρέφοντας ἐπομένως τὸ συλλογισμὸ μποροῦμε γὰρ ποῦμε ὅτι:

"Ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας, ποὺ ἐκλύεται σὲ ἑναν ἀγωγὸ μὲ τὸ πέρασμα ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ἔχεται ἀπὸ τὴν φύση τοῦ ἀγωγοῦ καὶ εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ.

"Ἡ ἐκλυστή θερμότητας στὸ πέρασμα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ἔχεται ὡς ἔχει:

Τὰ ἡλεκτρόνια ποὺ μετακινοῦνται μέσα στὰ ἀγογὰ σύμματα συναντοῦν μάλισταν δυσκολία κατὰ τὴν κίνησή τους ἀνάμεσα στὰ ἄτομα τοῦ μετάλλου. Οἱ κρούσεις καὶ οἱ «τριβές» ποὺ ἀναπτύσσονται ἔχουν σάν ἀποτέλεσμα τὴν ἐκλυστή τῆς θερμότητας.

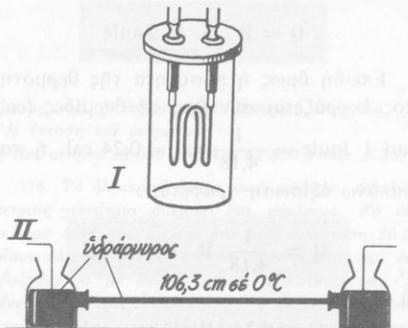
"Ἡ θερμότητα συνεπῶς, ποὺ παράγεται σ' ἑναν ἀγωγὸ στὸ πέρασμα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, διφέλεται στὴν ἀντίσταση ποὺ προβάλλει ὁ ἀγωγὸς στὴν κίνηση τῶν ἡλεκτρονίων.

**Μονάδα ἀντίστασεως.** Ἡ ἀντίσταση ἑνὸς ἀγωγοῦ μετριέται σὲ μονάδες Ὁμ (1 Ohm, 1 Ω), δονομασία ποὺ δόθηκε γιὰ νὰ τιμηθεῖ ὁ Γερμανὸς Φυσικὸς καὶ Μαθηματικὸς Georg Simon Ohm (1787 - 1850).

Τό Ὁμ (1 Ω) εἶναι ίσο μὲ τὴν ἀντίσταση ἑνὸς ἀγωγοῦ, στὸν ὅποιο ἐκλύεται κάθε

δευτερόλεπτο ποσότητα θερμότητας ίσοδύναμη μὲ 1 Joule, ὅταν ὁ ἀγωγὸς διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 1 Ampère.

Οἱ μετρήσεις ἡλεκτρικῶν ἀντίστασεων μποροῦν νὰ γίνονται μὲ σύγκριση πρὸς ἕνα πρότυπο -"Ωμ. Γ' αὐτὸν τὸ λόγο κατασκεύασταν μιὰ πρότυπη ἀντίσταση ἣν μὲ ἔνα Ὁμ (σχ. 126). "Ετσι τὸ "Ωμ παριστάνεται ἀπὸ τὴν ἀντίσταση μᾶς κυλινδρικῆς στήλης ὑδραργύρου, μήκους 106,3 cm καὶ τοιμῆς 1 mm<sup>2</sup> σὲ θερμοκρασία 0 °C.



Σχ. 126. Πραγματοποίηση πρότυπης ἀντίστασεως 1 "Ωμ.

Τὸ Μεγκάῳ (1 MΩ) εἶναι πολλαπλάσια πονάδα τοῦ 1 "Ωμ καὶ ἔχομε:

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

**§ 129. Νόμος τοῦ Τζάουλ.** Τὰ συμπεράσματα τῶν πειραμάτων ποὺ κάναμε στὴν προηγούμενη παράγραφο συγκεντρώνονται στὴν ἀκόλουθη γενικὴ διατύπωση, ποὺ φέρει τὴν δονομασία νόμος τοῦ Τζάουλ.

"Ἡ ποσότητα τῆς θερμότητος ποὺ ἐκλύεται σὲ ἑναν ἀγωγὸ, ὅταν διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, εἶναι ἀνάλογη: α) πρὸς τὴν ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ, β) πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ γ) πρὸς τὸ χρόνο ποὺ διαρκεῖ τὸ πέρασμα τοῦ ρεύματος.

**Τύπος τοῦ Τζάουλ.** Σύμφωνα μὲ τὸν δορισμὸ τῆς ἀντίστασεως, ἡ θερμότητα ποὺ

έκλινεται σε έναν άγωγό άντιστάσεως  $1\ \Omega$ , όταν τὸν περνᾶ ρεῦμα έντάσεως  $1\ A$  και γιὰ χρονικό διάστημα  $1\ sec$  είναι ίσοδύναμη μὲ  $1\ Joule$ .

Έπομένως ή ποσότητα  $Q$  τῆς θερμότητας ποὺ έκλινεται σε έναν άγωγό άντιστάσεως  $R\ Ohm$ , όταν διαρρέεται απὸ ρεῦμα έντάσεως  $i\ Ampere$  και γιὰ χρονικό διάστημα  $t\ sec$ , θὰ είναι ίσοδύναμη μὲ  $R \cdot i^2 \cdot t\ Joule$ . Δηλαδή:

$$Q = R \cdot i^2 \cdot t\ Joule$$

Έπειδὴ όμως ή ποσότητα τῆς θερμότητας έκφράζεται συνήθως σε θερμίδες (cal) και  $1\ Joule = \frac{1}{4,18}\ cal = 0,24\ cal$ , ή παραπάνω έξισωση γράφεται:

$$Q = \frac{1}{4,18} R \cdot i^2 \cdot t\ cal$$

ή

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot i^2 \cdot t\ cal$$

Αριθμητικὲς έφαρμογές. 1. Μία ηλεκτρική άντισταση  $100\ \Omega$  διαρρέεται απὸ ρεῦμα έντάσεως  $5\ A$  ἐπὶ  $10\ min$ . Νὰ βρεθεῖ τὸ ποσὸν τῆς θερμότητας σὲ

Joule και σὲ cal, τὸ όποιον έκλινεται στὸ χρονικὸ αὐτὸ διάστημα.

Λύση: Απὸ τὸν τύπο:

$$Q = R \cdot i^2 \cdot t\ Joule$$

άντικαθιστώντας τὰ δεδομένα:

$R = 100\ \Omega$ ,  $i = 5\ A$  και  $t = 10\ min = 10 \cdot 60\ sec = 600\ sec$ , παίρνουμε:

$$Q = 100 \cdot 5^2 \cdot 600\ Joule = 1,5 \cdot 10^6\ Joule$$

Έπειδὴ όμως  $1\ Joule = 0,24\ cal$ , θὰ ξουμε:

$$Q = 1,5 \cdot 10^6\ Joule = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,24\ cal$$

$$Q = 3,6 \cdot 10^5\ cal = 360\ kcal.$$

2. Ένας ηλεκτρικὸς λαμπτήρας διαρρέεται απὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα έντάσεως  $0,4\ A$  και είναι βυθισμένος μέσα σὲ ένα θερμιδόμετρο, ποὺ περιέχει  $450\ gr$  νερό. Μετὰ απὸ χρονικό διάστημα  $3\ min$  και  $20\ sec$ , ή αυξηση τῆς θερμοκρασίας τοῦ νεροῦ είναι  $4,8^\circ C$ . Νὰ βρεθεῖ ή άντισταση τοῦ ηλεκτρικοῦ λαμπτήρα.

Λύση: Η ποσότητα  $Q$  τῆς θερμότητας ποὺ έκλινεται είναι ίση μὲ:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$

$$Q = 450 \cdot 1 \cdot 4,8\ cal = 2160\ cal$$

Έφαρμόζοντας τὴν έξισωση τοῦ Τζάουλ ξομε δτὶ:  $Q = 0,24 \cdot R \cdot i^2 \cdot t$ , και βάζοντας  $Q = 2160\ cal$ ,  $i = 0,4\ A$  και  $t = 3\ min \cdot 20\ sec = 200\ sec$ , βρίσκουμε τελικά:

$$R = 282\ \Omega \text{ περίπου}$$

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Τὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα θερμαίνει τοὺς άγωγοὺς μέσα απὸ τοὺς όποιους περνᾶ (Θερμότητα Τζάουλ).

2. Ή πειραματικὴ σπουδὴ τῶν θερμικῶν ἀποτελεσμάτων τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος γίνεται μὲ ένα τμῆμα άγωγοῦ σύμματος, βυθισμένου σ' ένα θερμιδόμετρο μὲ πετρέλαιο. Μετροῦμε τότε τὴν άνυψωση τῆς θερμοκρασίας, ποὺ προκαλεῖται απὸ τὸ πέρασμα τοῦ ρεύματος.

3. Ή άντισταση ένὸς άγωγοῦ είναι μέγεθος ποὺ χαρακτηρίζει τὸν άγωγὸ άναφορικὰ μὲ τὸ φαινόμενο Τζάουλ. Ή άντισταση μετρίεται σὲ μονάδες "Ωμ". Τὸ "Ωμ ( $1\ \Omega$ ,  $1\ Ohm$ ) είναι ίσο μὲ τὴν άντισταση ένὸς άγωγοῦ, σπου έκλινεται κάθε δευτερόλεπτο ποσότητα θερμότητας ίσοδύναμη μὲ  $1\ Joule$ , όταν ο ἀγωγὸς διαρρέεται απὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα έντάσεως  $1\ A$ .

4. Ο νόμος τοῦ Τζάουλ έκφράζει δτὶ: Ή ποσότητα θερμότητας ποὺ έκλινεται μέσα σ' έναν άγωγό, ἄμα περνᾶ απὸ αὐτὸν ηλεκτρικὸ ρεῦμα, είναι άναλογη πρὸς

τὴν ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ, πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος καὶ πρὸς τὸ χρόνο διόδου τοῦ ρεύματος.

5. Η μαθηματική έκφραση του νόμου του Τζάουλ είναι η ακόλουθη:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot i^2 \cdot t$$

*"Οταν η ἀντίσταση R ἐκφράζεται σὲ μονάδες "Ωμ, η ἔνταση i σὲ μονάδες 'Αμπέρ καὶ ὁ γρόνος t σὲ δευτερόλεπτα, η ποσότητα θεωρίστηται Ο βρίσκεται σὲ θεωρίδες.*

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

113. "Ενας ήλεκτρικός θερμαντήρας έχει άντισταση  $30 \Omega$  και διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα έντασης  $4 A$ . Να υπολογιστεί η ποσότητα της θερμότητας που έλευθερώνεται σε  $5 \text{ min}$ .

('An. 34,56 kcal.)

114. "Ενας άγωγός είναι βιθυσμένος μέσα σε ένα θερμιδόμετρο με νερό. Το ισοδύναμο σε νερό του θερμιδόμετρου είναι  $500 \text{ cal/grad}$ . Αν περάσει από τὸν άγωγὸν ωρῆμα ἐντάσεως  $1,5$  Α καὶ γιὰ δύο ποδῶν λεπτά, η θερμοκρασία τοῦ νεροῦ ἀνθεβαίνει κατὰ  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Νὰ ἐπολογηστεῖ ἡ ἀντίσταση τοῦ άγωγοῦ. (Αξ. 19, 44 Ω.)

**115.** Σέ ένα θερμιδόμετρο, θερμοχωρητικότητας  $20 \text{ cal/grad}$ , πού περιέχει  $480 \text{ gr}$  νερό, βυθίζουμε ένα σύρμα, πού έχει άντισταση  $8 \Omega$ , και τροφοδοτούμε για  $3 \text{ min}$  και  $29 \text{ sec}$  με ήλεκτρικό ρεύμα. Η θερμοκαστία του νερού άνεβαίνει κατά  $20^{\circ}\text{C}$ . Να υπολογιστούν: α) Η ποσότητα τής θερμότητας πού έλευθερώθηκε άπό τό πέρασμα του οεύ-

ματος και η ἀντίστοιχη ἡλεκτρική ἐνέργεια. β)  
‘Η ἔνταση τοῦ οεύματος.

( $A\pi, g' Q = 10\,000 \text{ cal}, A = 41\,800 \text{ Joule}, \beta' 5 A$ ).

**116.** Τὸ δὲ λεκτικῷ ρεῦμα ποὺ παράγει μιὰ δηλεκτηρικὴ γεννήτρια διαφέρει ἔνα κύκλωμα. Τὸ κύκλωμα αὐτὸν ἀποτελεῖται ἀπὸ μιὰν ἀντίστασην  $20\Omega$ , ὃντος ἐλεύθερών τοις  $460\text{ cal}$  κάθε λεπτό, καὶ ἔνα βολτάμετρο μὲν θεικὸν χαλκό. Ζητοῦνται: α) Ὡς ἔνταση τὸν ρεύματος καὶ β) ἡ μάζα του τοῦ χαλκοῦ ποὺ μαζεύεται στὴν κάθοδο σε  $10\text{ πωτά}$  λεπτά. Απομικὸν βάρος του χαλκοῦ  $64$ . Ὁ χαλκὸς νὰ θεωρηθεῖ δισθενής. (*Ἀπ. α' 1,27 A. β' 0,25 gr.*)

117. Ρεύμα ἐντάσεως  $3\text{ A}$  διαρρέει ἐπὶ  $8$  ποδάτα λεπτὰ ἔναν ἀγώνδ ἀντιστάσεως  $3,5\text{ }\Omega$ . Ἡ ἀντίσταση εἶναι βυθισμένη μέσα σὲ  $1$  λίτρο νερό ἀρχικῆς θερμοκρασίας  $20^{\circ}\text{C}$ . α) Νὰ ὑπολογιστεῖ σὲ Joule ἡ θερμότητα πον ἀποδίδεται σὲ τὸ νερό. β) Νὰ βρεθεῖ ἡ τελικὴ θερμοκρασία τοῦ νερού. ( $\Upsilon_{\text{ποθετική}} = 4,2 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ )

## KZ — ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ

**§ 130.** 'Ηλεκτρική ένέργεια. α) Η θερμότητα πού έκλυεται σ' έναν άγωγό, δταν τὸν διαρρέει ήλεκτρικό ρεῦμα, είναι μιὰ μορφὴ ένέργειας.

Τὸ ήλεκτρικό ρεῦμα, πού προκαλεῖ τὴν έμφάνιση τῆς θερμότητας αὐτῆς, είναι μιὰ ἄλλη μορφὴ ένέργειας, πού τὴν δονομάζουμε ήλεκτρική ένέργεια. 'Η ήλεκτρική ένέργεια μετατρέπεται σὲ θερμική ένέργεια.

Στὸ προηγούμενο κεφάλαιο ἀναφέραμε δτὶ η ποσότητα θερμότητας  $Q = 0,24 R \cdot i^2 \cdot t$  cal είναι ίσοδύναμη μὲ  $R \cdot i^2 \cdot t$  Joule.

Μὲ τὸν ἴδιο τρόπο τὴν ήλεκτρική ένέργεια A σὲ Joule τὴν κάνομε ίσοδύναμη μὲ μηχανική ένέργεια καὶ γράφομε:

$$A = R \cdot i^2 \cdot t \text{ Joule}$$

'Αριθμητική ἐφαρμογή. 'Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως μὲ ἀντίσταση  $410 \Omega$ , διαρρέεται ἀπὸ ήλεκτρικό ρεῦμα, ἐντάσεως  $0,3 \text{ A}$ . Πόση ήλεκτρική ένέργεια καταναλώνει ὁ λαμπτήρας σὲ χρόνο  $10 \text{ min}$ .

Λύση. 'Απὸ τὸν τύπο  $A = R \cdot i^2 \cdot t$ , ἀντικαθιστῶντας τὰ σύμβολα μὲ τὶς τιμές τους, δηλαδὴ  $R = 410 \Omega$ ,  $i = 0,3 \text{ A}$ ,  $t = 10 \text{ min} = 10 \cdot 60 \text{ sec} = 600 \text{ sec}$ , πάροντες.

$$A = 410 \cdot (0,3)^2 \cdot 600 \text{ Joule} = 22140 \text{ Joule.}$$

β) Περίπτωση ἐνός βολταμέτρου ή ἐνὸς ήλεκτρικοῦ κινητήρα. 'Οπως οἱ ἀγωγοί, ἔτσι καὶ τὸ βολτάμετρο ή ὁ ήλεκτρικὸς κινητήρας (μιὰ μηχανὴ δηλαδὴ ποὺ λειτουργεῖ μὲ παροχὴ ήλεκτρικοῦ ρεύματος) θερμαίνονται, δταν περνᾶ ἀπ' αὐτὰ ήλεκτρικό ρεῦμα. 'Η ήλεκτρική ένέργεια ποὺ μετατρέπεται σὲ θερμική ένέργεια είναι  $R \cdot i^2 \cdot t$  Joule.

Τὸ ήλεκτρικό ρεῦμα δμως, διασπώντας τὸν ήλεκτρολύτη ἐνός βολταμέτρου, παράγει καὶ χημικὴ ένέργεια, ἐνδ, δταν στρέφει ἔναν κινητήρα, παράγει καὶ μηχανικὴ ένέργεια.

'Η ἔκφραση συνεπῶς  $R \cdot i^2 \cdot t$  δὲν ἀντιπροσωπεύει παρὰ ἔνα μέρος A' τῆς συνολικῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας A, ποὺ καταναλώνεται στὶς συσκευὲς αὐτές. Μιὰ ἄλλη ποσότητα ένέργειας A'', γενικὰ σπουδαιότερη ἀπὸ τὴν A', μετατρέπεται σὲ χημικὴ ἢ μηχανικὴ ένέργεια.

Ἐπομένως ἡ συνολικὴ ήλεκτρικὴ ένέργεια A, ποὺ καταναλώνεται στὶς περιπτώσεις αὐτές, είναι ἵση μὲ τὸ ἄθροισμα τῆς A' καὶ τῆς A''. Δηλαδὴ:

$$A = A' + A'' \quad \text{ἢ} \quad A = R \cdot i^2 \cdot t + A''$$

**§ 131.** 'Ηλεκτρικὴ ίσχυς. 'Η ήλεκτρικὴ ίσχυς μιᾶς συσκευῆς είναι ἵση μὲ τὴν ήλεκτρικὴ ένέργεια ποὺ καταναλώνει ἡ συσκευὴ σὲ ἔνα δευτερόλεπτο καὶ ἐκφράζεται σὲ:

Τζάουλ ἀνὰ δευτερόλεπτο (Joule/sec), δηλαδὴ σὲ Βάτ (W).

Χρησιμοποιοῦμε ἀκόμη καὶ τὸ πολλαπλάσιο τοῦ Βάτ τὸ κιλοβάτ (1 kW) καὶ, δπως γνωρίζομε, ίσχυει ἡ σχέση:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

'Επειδὴ η ήλεκτρικὴ ένέργεια A, ποὺ καταναλώνεται μὲ μορφὴ θερμότητας σὲ χρόνο t, είναι ἵση μὲ:  $A = R \cdot i^2 \cdot t$ , η ήλεκτρικὴ ένέργεια πού καταναλώνεται σὲ ἔνα δευτερόλεπτο, δηλαδὴ η ήλεκτρικὴ ίσχυς N, θὰ δίνεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{R \cdot i^2 \cdot t}{t} = R \cdot i^2. \text{ Δηλαδὴ:}$$

$$N = R \cdot i^2$$

"Οταν η R ἐκφράζεται σὲ "Ωμ καὶ η i σὲ 'Αμπέρ, τότε η ίσχυς βρίσκεται σὲ Βάτ.

'Η ήλεκτρικὴ ίσχυς ἐνὸς ήλεκτρικοῦ καταναλωτῆς σημειώνεται συνήθως ἐπάνω στὴ συσκευὴ μαζὶ μὲ ὅλες χρήσιμες ἐνδείξεις γιὰ τὴ λειτουργία του.

**Άριθμητικά παραδείγματα:** 1. Νά όπολογιστεί ή ηλεκτρική ίσχυς ένδεικνυτήρα, άντιστάσεως  $500 \Omega$ , που τὸν διαφρένει ρεύμα έντασης  $0,8 \text{ A}$ .

Άστη. 'Αντικαθιστώντας στὸν τύπο  $N = R \cdot i^2$  τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος παίρνομε:

$$N = 500 \cdot 0,8^2 \text{ W} = 320 \text{ W}$$

2. Μιὰ ηλεκτρική συσκευή, ποὺ ἔχει ίσχυν ίση μὲ 1440 W, ἔχει άντισταση  $10 \Omega$ . Πόση είναι ή ένταση τοῦ ρεύματος ποὺ διαφρένει τὴ συσκευή;

Άστη. 'Απὸ τὸν τύπο  $N = R \cdot i^2$ , λύνοντας ώς

$$\text{πρὸς } i \text{ παίρνομε } i = \sqrt{\frac{N}{R}}$$

'Αντικαθιστώντας τὰ δεδομένα βρίσκομε:

$$i = \sqrt{\frac{1440}{10}} = \sqrt{144} = 12 \text{ A}$$

**Πρακτική μονάδα ηλεκτρικῆς ένέργειας.**  
Τὸ Τζάουλ (1 Joule) είναι πολὺ μικρὴ μονάδα ένέργειας. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο στὶς τρέχουσες ἀνάγκες χρησιμοποιοῦμε μιὰ μεγαλύτερη μονάδα, τὴν:

**1 βατώρα (1 Wh)**

καὶ τὸ πολλαπλάσιό της

**1 κιλοβατώρα (1 kWh)**

\*Έχομε λοιπόν:  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$  καὶ

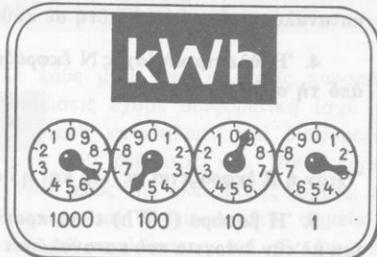
**1 Wh = 3600 Joule**

'Η μονάδα βατώρα (1 Wh) είναι ίση μὲ τὴν ένέργεια ποὺ καταναλώνεται σὲ μιὰ ώρα μέσα σὲ ἔναν ἀγώνη ή μιὰ συσκευή, δταν ή ίσχυν τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος εἶναι ένα Βάτ (1 W).

'Αν λύσουμε τὴν ἔξισωση τῆς ίσχύος ώς πρὸς A, παίρνομε:  $A = N \cdot t$ .

"Οταν ή ίσχυς N ἐκφράζεται σὲ Βάτ καὶ δὲ χρόνος t σὲ ώρες, ή ηλεκτρική ίσχυς N βρίσκεται σὲ βατόρες, (Wh). Βατόρες βρίσκουμε ἐπίσης, ἀν ἐκφράσουμε σὲ ώρες τὸ χρόνο στὴν ἔξισωση:  $A = R \cdot i^2 \cdot t$ .

"Η ένδειξη τῆς ηλεκτρικῆς ένέργειας ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ τὶς διάφορες συσκευὲς



Σχ. 127. Μετρητής ηλεκτρικῆς ένέργειας (κοινῶς ρολού ή ηλεκτρικού). \*Ένδειξη: 6 593 kWh.

μᾶς ηλεκτρικῆς έγκαταστάσεως δίνεται ἀπὸ εἰδικὰ δργανα, ποὺ τὰ δονομάζομε μετρητὲς ηλεκτρικῆς ένέργειας (σχ. 127).

Τέτοιους μετρητὲς τοποθετοῦν στὰ σπίτια ποὺ χρησιμοποιοῦν ηλεκτρικό ρεύμα καὶ κάθε μήνα ή κάθε δίμηνο, μὲ βάση τὶς ένδειξεις τοῦ μετρητῆ, γίνεται ή πληρωμὴ τῆς ἀξίας τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ καταναλώθηκε.

**Άριθμητική έφαρμογή.** Μιὰ ηλεκτρική συσκευή, ίσχυος 1200 W, χρησιμοποιεῖται, κατὰ μέσον δρο, 2 ώρες καὶ 30 λεπτά κάθε μέρα. Νά όπολογιστεί τὸ κόστος τῆς ηλεκτρικῆς ένεργειάς ποὺ καταναλώνει σὲ ένα μήνα (30 ημέρες), γνωρίζοντας δτι ή κιλοβατώρα στοιχίζει 1,5 δρχ.

**Λύση.** Η συσκευή χρησιμοποιείται συνολικά  $2,5 \cdot 30 = 75$  ώρες τό μήνα.

Αντικαθιστώντας τά δεδομένα στήν εξίσωση  $A = N \cdot t$ , δηλαδή  $N = 1\,200 \text{ W}$  και  $t = 75 \text{ h}$  παίρνουμε:

$$A = 1\,200 \text{ W} \times 75 \text{ h} = 90\,000 \text{ Wh} = 90 \text{ kWh.}$$

Η μηνιαία δαπάνη Δ συνεπώς τής συσκευής θά είναι:

$$\Delta = 90 \cdot 1,5 = 135 \text{ δρχ.}$$

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Τό ήλεκτρικό ρεύμα είναι μια μορφή ένέργειας, που δονομάζεται ήλεκτρική ένέργεια.

2. Η ποσότητα θερμότητας A, που έκλινεται άπο τό ήλεκτρικό ρεύμα, είναι ισοδύναμη με  $R \cdot i^2 \cdot t$  Joule. Η ήλεκτρική ένέργεια συνεπώς έκφραζεται σε μονάδες Τζούλι άπο τήν εξίσωση:

$$A = R \cdot i^2 \cdot t$$

3. Ήλεκτρική ίσχυ μιᾶς συσκευής άνομάζομε τήν ήλεκτρική ένέργεια που καταναλώνει ή συσκευή αὐτή σε κάθε δευτερόλεπτο.

4. Η ήλεκτρική ίσχυς N έκφραζεται σε Βάτ (W) ή κιλοβάτ (kW) και δίνεται άπο τή σχέση:

$$N = R \cdot j^2$$

"Οταν ή R έκφραζεται σε "Ωμ και ή i σε 'Αμπέρ, ή ίσχυς N βρίσκεται σε Βάτ.

5. Η βατώρα (1 Wh) είναι πρακτική μονάδα ήλεκτρικής ένέργειας και είναι ίση με τήν ένέργεια που καταναλώνει σε μιδ ώρα ένας άγωγός, όταν διαρρέεται άπο ρεύμα ίσχυος ένδος Βάτ. Πολλαπλάσιο τής βατώρας είναι ή κιλοβατώρα.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

118. Μία ήλεκτρική θερμάστρα έχει δύο βαθμίδες, μία τῶν 2 000 Watt και μία τῶν 1 200 Watt. Στή δάρκεια 2,5 h λειτουργεῖ 20 min ή βαθμίδα τῶν 2 000 Watt και τὸν υπόλοιπο χρόνο ή βαθμίδα τῶν 1 200 Watt. Νά ψηλογιστεῖ ή δαπάνη, ἀν ή 1 kWh κοστίζει 1,5 δρχ. (Άπ. 5 δρχ.)

β) Νά βρεθεῖ τό κόστος τής θερμάσσεως, ἀν γιὰ τή θέρμαση χρησιμοποιείται ήλεκτρικό ρεύμα και ή μία κιλοβατάρια κοστίζει 1,5 δρχ. Στήν περίπτωση αὐτή θεωροῦμε δτι δλη ή ποσότητα τής θερμότητας που παράγεται άποδιδεται στήν αιθουσα. (Άπ. α' 3,6 δρχ., β' 7 δρχ. περίπον.)

119. Η θέρμαση ένδος δωματίου άπαιτει ποσότητα θερμάστρας ίση με 4 000 kcal τήν ώρα. Γνωρίζουμε ἐπίσης δτι 1 kg ἀνθρακίτη άποδιδει κατά τήν καύση τον ποσότητα θερμάστρας ίση με 7 000 kcal· ἀντή δημος μόνο τά 40% χρησιμοποιούνται γιὰ τή θέρμαση. α) Νά βρεθεῖ πόσο θά κοστίσει γιὰ μία ώρα λειτουργίας η θέρμαση τής αιθουσας αὐτῆς, ἀν δ ἀνθρακίτης πονλέται 2,5 δρχ. τό 1 kg.

β) Νά βρεθεῖ τό κόστος τής θερμάστρας ίσχυος 720 Watt θερμανει όρισμένη ποσότητα νερού γιὰ 30 min. α) Νά ψηλογιστεῖ σε Joule η ένέργεια που καταναλώνεται και ή ἀντίστοιχη θερμότητα σε θερμίδες. β) Μέ τήν προϋπόθεση δτι μόνο τά 60% τής θερμότητας που παράγεται άπο τό θερμαντήρα χρησιμοποιούνται γιὰ τή θέρμαση τον νερού, νά ψηλογιστεῖ η τελική θερμοκρασία νερού μάζας 2 800

gr, δραχικής θερμοκρασίας  $10^{\circ}\text{C}$ , ἀν θερμαίνονται  $30\text{ min}$ . Υποθέτουμε ότι ή θερμοχωρητικότητα τού δοχείου είναι άμελτη.

('Απ. α' 1 296 000 J, 308 571 cal. β'  $76,1^{\circ}\text{C}$ .)

**121.** "Ενας θερμοσίφωνας έχει ίσχυ  $1\text{ kW}$  και διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα  $\epsilon$  έντασης  $8\text{ A}$ . α) Νά υπολογιστεί ή αντίσταση τού θερμοσίφωνα. β) "Αν περιέχει  $100\text{ l}$  νερό, πόσος χρόνος χρειάζεται για νά αδέηθει ή θερμοκρασία τού νερού από τους  $10^{\circ}\text{C}$  στους  $80^{\circ}\text{C}$ . ('Απ. α'  $16\text{ Ω}$  περίπου. β'  $8\text{ h}$ .)

**122.** "Ενας ήλεκτρικός βραστήρας καταναλώνει ίσχυ  $500\text{ Watt}$ . Τό ρεύμα πού τὸν διαρρέει έχει ένταση  $4\text{ A}$ . α) Νά υπολογιστεί ή αντίσταση τού βραστήρα. β) Νά υπολογιστεί ό χρόνος πού χρειά-

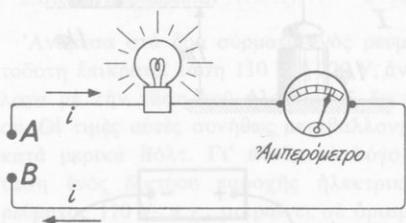
ζεται για νά βράσει  $1/2\text{ l}$  νερού  $\delta$ ραχικής θερμοκρασίας  $20^{\circ}\text{C}$ , μὲ τὴν προύποθεση ότι δέν έχομε άπωλεις θερμότητας. γ) Στὴν πραγματικότητα χρείζονται  $10$  πρώτα λεπτά. Νά υπολογιστοῦν οἱ άπωλεις. ('Απ. α'  $31\text{ Ω}$  περίπου. β'  $5,5\text{ min}$ . γ'  $45\%$ .)

**123.** "Ενας βραστήρας από άλογμανίο έχει μάζα  $700\text{ gr}$  καὶ περιέχει  $1\text{ l}$  νερό σὲ θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ . Ή αντίσταση τοῦ βραστήρα διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $5\text{ A}$ . Στὰ  $10$  πρώτα λεπτά ή θερμοκρασία τοῦ νερού φτάνει τους  $90^{\circ}\text{C}$ . Η ειδική θερμότητα τοῦ άλογμανίου είναι:  $0,22\text{ cal/gr. grad}$ . Νά υπολογιστοῦν: α) Η ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ άπωροφήθηκε κατά τὴ θέρμανση. β) Η ίσχυς τοῦ βραστήρα καὶ γ) ή αντίσταση τοῦ βραστήρα.

('Απ. α'  $80\text{ 780 cal}$ . β'  $565,5\text{ W}$ . γ'  $22,6\text{ Ω}$ .)

## ΚΗ' — ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ. ΜΟΝΑΔΑ ΒΟΛΤ

**§ 132.** "Εννοια τῆς διαφορᾶς δυναμικοῦ. α) Πείραμα. Συνδέομε ἔναν ήλεκτρικὸ λαμπτήρα στοὺς δύο άκροδέκτες Α καὶ Β ἐνὸς ρευματοδότη (πρίζα). "Ενα ἀμπερόμετρο παρεμβάλλεται στὸ κύκλωμα, για νά δείχνει τὴν ένταση τοῦ ρεύματος (σχ. 128).



Σχ. 128. Γιὰ τὴν έννοια τῆς διαφορᾶς δυναμικοῦ.

Μὲ λαμπτήρα ίσχυούς  $75\text{ W}$  βρίσκομε ένταση ρεύματος ίση μὲ  $0,34\text{ A}$ . Μὲ λαμπτήρα ίσχυούς  $40\text{ W}$  τὸ ἀμπερόμετρο δείχνει ρεύμα έντασεως  $0,18\text{ A}$ . Άφαιρούμε τὸ λαμπτήρα καὶ τοποθετοῦμε στὴ θέση του ἕνα σίδερο σιδερώματος ίσχυος  $600\text{ W}$ . Η ένταση τοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ κύκλωμα είναι τώρα  $1,36\text{ A}$ .

Σὲ κάθε μιὰν ἀπὸ τὶς τρεῖς παραπάνω περιπτώσεις έχομε διαφορετικὴ ίσχὺ τοῦ ήλεκτρικοῦ καταναλωτῆ καὶ διαφορετικὴ ένταση τοῦ ρεύματος ποὺ τὸν διαρρέει, δὲ λόγος δημοσίας τῆς ήλεκτρικῆς ίσχύος, ποὺ καταναλώνεται ἀνάμεσα στὰ σημεῖα Α καὶ Β τοῦ κυκλώματος, καὶ τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει τὸ τμῆμα αὐτὸ τοῦ κυκλώματος, είναι σταθερός <sup>(1)</sup>.

Πραγματικὰ έχομε ότι:

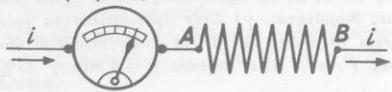
$$\frac{75}{0,34} = 220, \frac{40}{0,18} = 220, \frac{300}{1,36} = 220.$$

Ο σταθερὸς αὐτὸς λόγος χαρακτηρίζει αὐτὸ ποὺ δημοσίομε διαφορὰ δυναμικοῦ ή τάση ἀνάμεσα στοὺς δύο άκροδέκτες τοῦ ρευματολήπτη.

β) Ας θεωρήσουμε γενικότερα τὸν ἀγωγὸ ΑΒ, δὲ δοποῖος ἀποτελεῖ μέρος ἐνὸς κυ-

(1) Η ίσχυς ποὺ καταναλώνεται ἀνάμεσα στὰ σημεῖα Α καὶ Β είναι πρακτικὰ ίση μὲ τὴν ίσχὺ τῶν λαμπτήρων ή τοῦ ήλεκτρικοῦ σιδερού, γιατὶ η ίσχυς πού καταναλώνεται ἀπὸ τὸ ἀμπερόμετρο καὶ τὰ ἀγωγὰ σύρματα είναι ἀσήμαντη.

### Αμπερόμετρο



Σχ. 129. Η διαφορά δυναμικού U άνάμεσα στά σημεία A και B είναι ίση με N · i.

κλώματος, που διαρρέεται με ρεύμα έντάσεως i. Αμέρερ και εστω ότι ή ισχύς που καταναλώνεται άνάμεσα στά σημεία A και B είναι N Bάτ (σχ. 129). Με τις παραπάνω προϋποθέσεις λέμε ότι:

Η διαφορά δυναμικού άνάμεσα στά σημεία A και B ένδος κυκλώματος έχει ως μέτρο το πηλικό της ισχύος, που καταναλώνεται άνάμεσα στά δύο αντά σημεία τού κυκλώματος, πρός την ένταση τού ρεύματος πού διαρρέει τό κύκλωμα.

Η διαφορά δυναμικού ή τάση άνω σε δύο σημεία A και B συμβολίζεται με τό γράμμα U ή με  $U_A - U_B$ .

Σύμφωνα με τά παραπάνω θ. ουμε δτι:

$$U = \frac{N}{i}$$

διαφορά δυναμικού (τάση) =  $\frac{\text{ισχύς}}{\text{ένταση ρεύματος}}$

§ 133. Εξήγηση της διαφορᾶς δυναμικοῦ. Ας ξαναγυρίσουμε στό πείραμα της άρχης τού κεφαλαίου της § 132.

Οταν συνδέσουμε τό λαμπτήρα ισχύος 75 W στό κύκλωμα, τότε σε χρονικό διάστημα ένδος δευτερολέπτου ξοδεύεται άνάμεσα στά σημεία A και B (βλ. σχ. 128) ένέργεια 75 Joule, ένω στό ίδιο χρονικό διάστημα τό ρεύμα τών 0,34 A μεταφέρει ποσότητα ήλεκτρισμού 0,34 Cb.

Μέ αλλα λόγια, γιά νά μεταφερθεί ποσότητα ήλεκτρισμού 0,34 Cb άπο τόν άκρο-

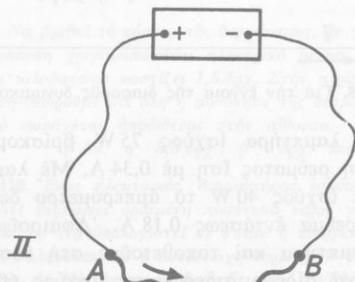
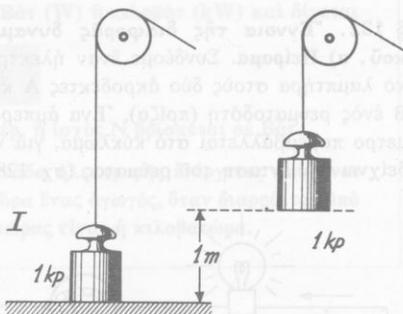
δέκτη A στόν άκροδέκτη B, καταναλώνεται ηλεκτρική ένέργεια 75 Joule.

Γιά ποιόν δμως λόγο ξοδεύεται αυτή ή ένέργεια;

Γιά νά καταλάβουμε καλλίτερα τό θέμα, θά θεωρήσουμε τό άκροδου μηχανικό άνάλογο.

Όταν θέλουμε νά άνεβάσουμε ένα σῶμα άπο τό έδαφος σε ένα δρισμένο ύψος, πρέπει νά ξοδέψουμε μηχανική ένέργεια. Κατά παρόμοιο τρόπο, όταν μεταφέρουμε ήλεκτρικά φορτία μέσα σ' έναν άγωγό, πρέπει νά ξοδέψουμε ήλεκτρική ένέργεια.

Τό άναλογο τής διαφορᾶς στάθμης στή Μηχανική είναι ή διαφορά δυναμικοῦ στόν Ήλεκτρισμό. Έτσι, όταν άνεβάζουμε ένα σῶμα βάρους 1 kp σε ύψος 1 m, ξοδέψουμε έργο 1 kpm. Όταν μεταφέρουμε ήλεκτρικά φορτία μέσα σε έναν άγωγό, έργο 1 kpm.



Σχ. 130. Μηχανικό άναλογο γιά την κατανόηση της διαφορᾶς δυναμικοῦ 1 Volt.

λεκτρικό φορτίο 1 Cb άπό ένα σημείο A σὲ ένα σημείο B ένδες άγωγού, ώστε νὰ ξοδευτεῖ έργο 1 Joule, μεταξὺ τῶν σημείων A καὶ B οπάρχει διαφορά δυναμικοῦ 1 Volt (σχ. 130).

**§ 134. Βόλτ.** Μονάδα διαφορᾶς δυναμικοῦ.  
Απὸ τὸν δρισμὸν τῆς διαφορᾶς δυναμικοῦ καθορίζεται καὶ ή σχετικὴ μονάδα, ποὺ δυνομάζεται 1 Βόλτ (1 Volt, 1 V), γιὰ νὰ τιμηθεῖ ὁ Ιταλὸς Φυσικὸς Ἀλέξανδρος Βόλτα (Alessandro Volta) (1745 - 1827).

Τὸ Βόλτ (1 V) εἶναι ἵσο μὲ τὴ διαφορὰ τοῦ ήλεκτρικοῦ δυναμικοῦ, ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα σὲ δόνο σημεῖα ένδες άγωγοῦ, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ σταθερὸ ρεῦμα ἐντάσεως 1 'Αμπερ (1 A) καὶ καταναλώνει ίσχυ 1 Βάτ (1 W) ἀνάμεσα στὰ δόνο αὐτὰ σημεῖα.

Μερικὲς τιμὲς διαφορᾶς δυναμικοῦ. Παραθέτομε μερικὲς τιμὲς ήλεκτρικῆς τάσης ἀνάμεσα στοὺς ἀκροδέκτες τῶν πόλων δρισμένων ήλεκτρικῶν πηγῶν:

'Ηλεκτρικό στοιχεῖο .....	1 - 2 V
'Ηλεκτρική στήλη (φανάρι τσέπτης) ...	4,5 V
Συστοιχία συσσωρευτῶν .....	6 - 12 V

Ἀνάμεσα στὰ δύο σύρματα ένδες ρευματοδότη ἐπικρατεῖ τάση 110 V ή 220 V, ἀνάλογα μὲ τὴν τάση τοῦ ήλεκτρικοῦ δικτύου. Οἱ τιμὲς αὐτὲς συνήθως μεταβάλλονται κατὰ μερικὰ Βόλτ. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο ἡ τάση ένδες δικτύου παροχῆς ήλεκτρικοῦ ρεύματος 110 V, π.χ., μικραίνει σὲ δρισμένες περιπτώσεις καὶ φτάνει τὰ 105 V ή καὶ τὰ 100 V ἀκόμη.

Ἡ τάση συνήθως στὰ σύρματα μιᾶς γραμμῆς μεταφορᾶς εἶναι ἀρκετὲς ἑκατοντάδες χιλιάδες Βόλτ (220 000 V ή 380 000 V).

Καταλαβαίνομε τώρα τὴ σημασία τῆς ἀναγραφῆς δρισμένων ἐνδείξεων ἐπάνω στοὺς λαμπτήρες φωτισμοῦ ή στὶς διάφορες συσκευές. Ἐτσι οἱ ἐνδείξεις 100 W, 220 V, ποὺ εἶναι δυνατὸ νὰ διαβάσουμε σὲ ένα λαμ-

πτήρα, ἔχουν τὴν ἔννοια ὅτι δὲ λαμπτήρας αὐτὸς λειτουργεῖ κανονικά, δταν συνδεθεῖ σὲ δίκτυο τάσεως 220 V. Ἡ ίσχυς ποὺ καταναλώνει τότε δὲ λαμπτήρας εἶναι 100 W.

Ἄν συνδέσουμε τὸν παραπάνω λαμπτήρα σὲ σημεῖα ἐνὸς κυκλώματος, ποὺ παρουσιάζουν διαφορὰ δυναμικοῦ 12 V, τὸ σπείραμα δὲν θὰ πυρακτωθεῖ καὶ δὲ λαμπτήρας θὰ παραμείνει σβηστός. Ἡ ἐνέργεια ποὺ ἀπορροφᾷ τὸ σύρμα πυρακτώσεως εἶναι ἐλάχιστη.

Ἄν δημοσιεύσουμε σὲ δίκτυο 220 V ἔνα λαμπτήρα κατασκευασμένο γιὰ νὰ λειτουργεῖ σὲ δίκτυο 12 V, αὐτὸς καίγεται ἀμέσως καὶ καταστρέφεται. Ἡ ἐνέργεια ποὺ ἀπελευθερώνεται στὸ σύρμα πυρακτώσεως εἶναι πολὺ μεγάλη καὶ προκαλεῖ τήξη τοῦ σύρματος.

**§ 135. Ἐκφράσεις τῆς ίσχυος καὶ τῆς ήλεκτρικῆς ἐνέργειας, ποὺ καταναλώνονται μέσα σ'** έναν ἀγωγό. Ἐχομε μάθει ὅτι ἡ ήλεκτρικὴ ίσχυς ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ τὴ θερμότητα Τζάουλ, μέσα σ' έναν ἀγωγό, ἀντιστάσεως R, δίνεται ἀπὸ τὸν τύπο:  $N = R \cdot i^2$  (βλ. § 131, σελ. 136).

Ἄπο τὴ σχέση  $U = N/i$ , (ποὺ βρίσκεται ἀπὸ τὴν  $N = R \cdot i^2$ , δταν θέσουμε  $R = U/i$ ) λύνοντας ὡς πρὸς N φτάνομε σὲ μίαν ἄλλη ἐκφραση τῆς ίσχυος:

$$N = U \cdot i$$

"Οταν ἡ τάση U ἐκφράζεται σὲ Βόλτ καὶ η ἐνταση i σὲ 'Αμπερ, η ίσχυς N βρίσκεται σὲ Βάτ.

**Ἀριθμητικὲς ἐφαρμογές.** 1. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ίσχυς ἐνὸς ήλεκτρικοῦ λαμπτήρα, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα ἐντάσεως 0,45 A, δταν ἡ τάση στὰ ἄκρα τῶν συρμάτων, ποὺ καταλήγουν στὸ λαμπτήρα, εἶναι 220 V.

Ἄλση. Ἐντικαθιστώντας στὸν τύπο:  $N = U \cdot i$  τὶς τιμὲς τῶν δεδομένων τοῦ προβλήματος, δηλαδὴ  $U = 220$  V καὶ  $i = 0,45$  A, παίρνομε:

$$N = 220 \cdot 0,45 = 99 \text{ W}$$

2. Ένα ηλεκτρικό σίδερο, ισχνός 400 W, τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα πού έχει τάση 110 V. Πόση είναι ή ένταση του ρεύματος πού το διαρρέει;

Λύση. Λύνοντας τὸν τύπο  $N = U \cdot i$  ως πρός  $i$  παίρνομε:  $i = N/U$  και άντικαθιστώντας σ' αυτὸν τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος έχομε:

$$i = \frac{400}{110} = 3,63 \text{ A}$$

**§ 136. Ηλεκτρική ένέργεια.** Γνωρίζουμε ότι η ηλεκτρική ένέργεια  $A$ , πού καταναλώνεται άπό τὴν θερμότητα Τζάουλ μέσα σ' έναν άγωγό, δίνεται άπό τὴν σχέση:  $A = R \cdot i^2 \cdot t$ . Επειδὴ δύμως τὸ γινόμενο  $R \cdot i^2$  είναι ίσο μὲ τὴν ίσχὺ  $N$  καὶ αὐτὴ πάλι είναι ίση μὲ  $U \cdot i$ , η παραπάνω έξισωση παίρνει τελικὰ τὴν μορφή:

$$A = U \cdot i \cdot t$$

"Οταν η τάση  $U$  έκφραζεται σὲ Βόλτ, η ένταση  $i$  σὲ Άμπερ και δ χρόνος  $t$  σὲ δευτερόλεπτα, η ηλεκτρική ένέργεια  $A$  βρίσκεται σὲ Τζάουλ. "Αν δύμως δ χρόνος έκφραζεται σὲ ώρες, η ένέργεια  $A$  βρίσκεται σὲ βατόρες (Wh).

**§ 137. Αλλη έκφραση τοῦ νόμου τοῦ Τζάουλ.** Η ένέργεια  $A = U \cdot i \cdot t$  Joule είναι Ισοδύναμη μὲ τὴν ἀκόλουθη ποσότητα θερμότητας σὲ θερμίδες:

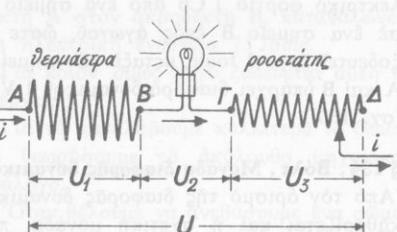
$$Q = 0,24 \cdot U \cdot i \cdot t$$

'Αριθμητική έφαρμογή. Νά υπολογιστεῖ σὲ κιλοβατόρες η ηλεκτρική ένέργεια πού καταναλώνεται σὲ 5 ώρες άπό μια ηλεκτρική θερμάστρα, πού λειτουργεῖ μὲ τάση 110 V καὶ διαρρέεται άπό ρεύμα έντασεως 4 Άμπερ:

Λύση. Αντικαθιστώντας στὸν τύπο  $A = U \cdot i \cdot t$  τὶς τιμὲς τῶν δεδομένων τοῦ προβλήματος, δηλαδὴ:  $U = 110 \text{ V}$ ,  $i = 4 \text{ A}$ ,  $t = 5 \text{ h}$ , παίρνομε:

$$A = 110 \cdot 4 \cdot 5 \text{ Wh} = 2200 \text{ Wh} = 2,2 \text{ kWh}$$

**§ 138. Πρόσθεση τάσεων.** Μιὰ ηλεκτρική θερμάστρα, ένας λαμπτήρας και ένας ροοστάτης (μιὰ μεταβλητὴ δηλαδὴ άντισταση)



Σχ. 131. Οι ηλεκτρικὲς τάσεις προσθέτονται, διατάσσονται διαδοχικές.

είναι συνδεμένα σὲ σειρά στὸ κύκλωμα τοῦ παραστατικοῦ σχήματος 131 καὶ διαρρέονται άπὸ τὸ ίδιο ρεύμα, ποὺ έχει ένταση  $i$ .

"Εστω  $U_1$  η τάση στοὺς ἀκροδέκτες  $A$  καὶ  $B$  τῆς θερμάστρας,  $U_2$  η τάση στοὺς ἀκροδέκτες  $B$  καὶ  $\Gamma$  τοῦ λαμπτήρα καὶ  $U_3$  η τάση στὰ σημεῖα  $\Gamma$  καὶ  $\Delta$  τοῦ ροοστάτη.

Κάθε μιὰ άπὸ τὶς τρεῖς αὐτὲς συσκευές καταναλώνει ηλεκτρικὴ ίσχυ:  $N_1 = U_1 \cdot i$  η θερμάστρα,  $N_2 = U_2 \cdot i$  δ λαμπτήρας και  $N_3 = U_3 \cdot i$  δ ροοστάτης.

"Αν έκφρασουμε μὲ  $U$  τὴν τάση στὰ ἀκραῖα σημεῖα  $A$  καὶ  $\Delta$ , τότε η διλικὴ ίσχὺς  $N$ , ποὺ καταναλώνεται ἀνάμεσα σὲ αὐτά, είναι ίση μὲ:

$$N = U \cdot i$$

"Η ίσχὺς δύμως  $N$  είναι ίση μὲ τὸ ἀθροίσμα τῶν ίσχύων ποὺ καταναλώνονται άπὸ τὶς τρεῖς συσκευές:

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

"Η σχέση αὐτὴ γράφεται καὶ ως ἐξῆς:

$$U \cdot i = U_1 \cdot i + U_2 \cdot i + U_3 \cdot i$$

καὶ άπλοποιώντας μὲ τὸ  $i$  τελικὰ παίρνομε διτι:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

"Ωστε:

"Οταν διάφορες συσκευές (ἢ ἀντιστάσεις) είναι συνδεμένες σὲ σειρά, τότε οἱ τάσεις ποὺ ἐπικρατοῦν στὰ ἄκρα τοὺς προσθέτονται.

1. Η διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση Ο άνάμεσα σε δύο σημεία Α και Β ένδος κυκλώματος, πού διαρρέεται από ρεύμα, έχει μέτρο ίσο με το πηλίκο της ηλεκτρικής ίσχυος Ν, πού ξοδεύεται άνάμεσα στα Α και Β, πρός την ένταση ι τού ρεύματος. Δηλαδή είναι:

$$U = \frac{N}{i}$$

2. Μονάδα διαφορᾶς δυναμικοῦ είναι τὸ Βόλτ (1 V). Τὸ Βόλτ είναι ίσο μὲ τὴν ηλεκτρική τάση ποὺ ὑπάρχει άνάμεσα σε δύο σημεῖα ἐνὸς ἀγωγοῦ, ποὺ διαρρέεται από σταθερὸ ηλεκτρικὸ ρεύμα ἐντάσεως ἐνὸς Ἀμπέρ, ὅταν άνάμεσα στὰ δύο αὐτὰ σημεῖα ξοδεύεται ηλεκτρική ίσχυς ἐνὸς Βάτ.

3. Απὸ τὴν ἔξισωση  $U = N/i$  λινοντας ως πρὸς  $N$  παίρνομε:

$$N = U \cdot i \quad \text{Watt}$$

Ἡ ἔξισωση αὐτὴ χρησιμεύει γιὰ νὰ βρίσκουμε τὴν ηλεκτρικὴν ίσχυν, ὅταν γνωρίζουμε τὰ  $U$  καὶ  $i$ .

4. Η ηλεκτρικὴ ἐνέργεια  $A$  ποὺ καταναλώνεται μέσα σὲ χρόνο  $t$  sec είναι ίση μὲ:

$$A = U \cdot i \cdot t \quad \text{Joule}$$

5. Ο νόμος τοῦ Τζάουλ μπορεῖ νὰ ἐκφραστεῖ καὶ μὲ τὴ σχέση:

$$Q = 0,24 \cdot U \cdot i \cdot t \quad \text{cal}$$

6. Ὅταν περισσότερες ἀπὸ μία ἀντιστάσεις είναι συνδεμένες σὲ σειρά, τότε οἱ διαφορὲς τοῦ ηλεκτρικοῦ δυναμικοῦ στὰ ἄκρα τῆς κάθε μιᾶς ἀντιστάσεως προσθέτονται.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

124. Αγωγὸς ἀντιστάσεως 20,9 Ω διαρρέεται απὸ ηλεκτρικὸ φεύγμα ἐντάσεως 2,5 A. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ηλεκτρικὴ ίσχυς ποὺ καταναλώνεται απὸ τὸ σύρμα. β) Πόση είναι ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ στὰ ἄκρα τῆς ἀντιστάσεως; ('Απ. α' 130,6 W. β' 52,2 V.)

125. Σὲ ἓνα θερμιδόμετρο βιθύζομε ἔναν ἀγωγὸ ηλεκτρικοῦ φεύγματος. Στὰ ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ ἐπιχρεπεῖ διαφορὰ δυναμικοῦ 10 Volt. Ἡ ἔνταση τοῦ ηλεκτρικοῦ φεύγματος ποὺ διαρρέει τὸν ἀγωγὸ είναι 5 A. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ίσχυς ποὺ καταναλώνεται απὸ τὴν ἀντιστάση. β) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἀντιστάση καὶ γ) νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας

ποὺ ἀποδίδεται στὸ θερμιδόμετρο σὲ 6 πρᾶτα λεπτὰ ( $1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ cal}$ ).

('Απ. α' 50 W. β' 2 Ω. γ' 4 320 cal.)

126. Ἡ θέρμανση ἐνὸς διαμερίσματος ἀπαιτεῖ 1 000 000 cal κάθε μιὰ ὥρα. Αὐτὸ τὸ ποσὸ τῆς θερμότητας παρέχεται απὸ μιὰ ηλεκτρικὴ θερμάστρα, ποὺ λειτουργεῖ μὲ διαφορὰ δυναμικοῦ 220 Volt. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ίσχυς ποὺ ἀπορροφᾶται απὸ τὴν θερμάστρα. β) Νὰ βρεθεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ηλεκτρικοῦ φεύγματος ποὺ διαρρέει τὴν ἀντιστάση τῆς θερμάστρας. ('Απ. α' 1 166,6 W. β' 5,3 A περίπου.)

**127.** "Ενας ήλεκτρικός λαμπτήρας ίσχνος 60 Watt βνθίζεται σε ένα θερμιδόμετρο μὲν νερό, ποὺ έχει θερμοκρατικότητα  $500 \text{ cal/grad}$  καὶ θερμοκρασία  $17^\circ\text{C}$ . α) Νὰ ύπολογιστεῖ ἡ τελικὴ θερμοκρασία τοῦ νεροῦ, ἢν δὲ λαμπτήρας λειτουργεῖ 15 πρώτα λεπτά. β) "Αν δὲ λαμπτήρας τροφοδοτεῖται ἀπὸ ηλεκτρικό δίκτυο 110 Volt νὰ ύπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ηλεκτρικού φεύγματος ποὺ τὸν διαρρέει.

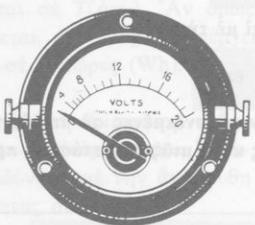
('Απ. α'  $43^\circ\text{C}$  περόπον. β'  $0,5 \text{ A}$  περόπον.)

**128.** "Ενα ηλεκτρικό σίδερο ίσχνος 500 Watt λειτουργεῖ 1 h 30 min. α) Νὰ ύπολογιστεῖ ἡ δαπάνη λειτουργίας, ἢν δὲ κυλοβατών κοστίζει  $1,5 \text{ drx}$ . β) "Αν δὲ διαφόρα δυναμικοῦ στὰ ἄκρα τῆς λήψης είναι  $125 \text{ Volt}$ , νὰ ύπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ηλεκτρικοῦ φεύγματος. γ) Νὰ ύπολογιστεῖ ἡ ποσότητα τοῦ ηλεκτρισμοῦ ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὸ σίδερο, καθὼς καὶ ἡ ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἐλευθερώνεται στὴ διάρκεια τοῦ σιδερώματος.  
('Απ. α'  $1,125 \text{ drx}$ . β'  $4 \text{ A}$ , γ'  $21\,600 \text{ Cb}$ ,  $648 \text{ kcal.}$ )

## ΚΘ — ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

### ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΟ. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ

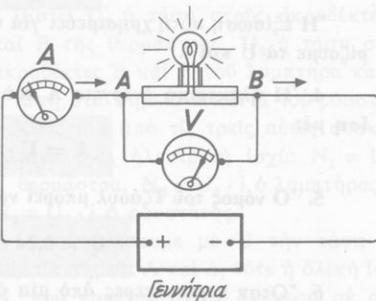
**§ 139. Βολτόμετρο.** Οἱ διαφορὲς δυναμικοῦ δύο σημείων ἐνὸς ήλεκτρικοῦ κυκλώματος μετριοῦνται μὲν εἰδικὰ ὅργανα, ποὺ δονομάζονται **βολτόμετρα** (σχ. 132) καὶ εἰναι βαθμολογημένα σὲ μονάδες Βόλτ.



Σχ. 132. Έξωτερική ἐμφάνιση βολτομέτρου.

"Οταν θέλουμε νὰ μετρήσουμε τὴ διαφορὰ δυναμικοῦ ἀνάμεσα σὲ δύο σημεῖα Α καὶ Β ἐνὸς κυκλώματος, δὲν διακόπτομε τὸ κύκλωμα, γιὰ νὰ παρεμβάλουμε τὸ ὅργανο, ὅπως γίνεται στὴν περίπτωση ἐνὸς ἀμπερομέτρου, ἀλλὰ συνδέομε τοὺς ἀκροδέκτες τοῦ βολτομέτρου μὲ τὰ σημεῖα Α καὶ Β τοῦ κυκλώματος, προκαλώντας, ὅπως λέμε, μιὰ διακλάδωση (σχ. 133).

"Αν τὸ κύκλωμα διαρρέεται ἀπὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα, ὁ δείκτης τοῦ ὅργανου θὰ κινηθεῖ καὶ θὰ σταματήσει ἐμπρὸς ἀπὸ μιὰ ἔνδει-



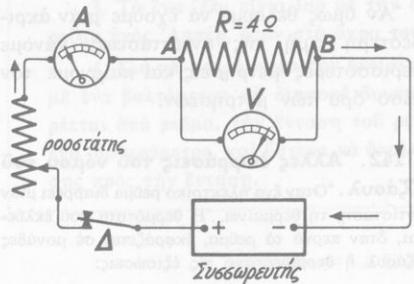
Σχ. 133. Σύνδεση βολτομέτρου γιὰ τὴ μέτρηση τῆς τάσης στὰ ἄκρα ἐνὸς λαμπτήρα.

ξη, ἡ ὁποία παρέχει σὲ μονάδες Βόλτ τὴ διαφορὰ δυναμικοῦ ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα στὰ δύο αὐτὰ σημεῖα.

"Ωστε:

Τὸ βολτόμετρο εἶναι ἔνα ὅργανο ποὺ μετρᾷ τὴν διαφορὰ δυναμικοῦ δύο σημείων Α καὶ Β ἐνὸς κυκλώματος, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα. Τὸ ὅργανο αὐτὸ τοποθετεῖται σὲ διακλάδωση, συνδέομε δηλαδὴ τοὺς ἀκροδέκτες του μὲ τὰ σημεῖα Α καὶ Β, χωρὶς νὰ διακόψουμε τὸ κύκλωμα.

**§ 140. Νόμος τοῦ "Ωμ (Ohm).** Πραγματοποιοῦμε τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 134,



Σχ. 134. Για την πειραματική έπαλθευση του νόμου του "Ωμ.

διού άνάμεσα στά σημεία A και B τον κυκλώματος παρεμβάλλομε ένα σύρμα, π.χ. άπο σιδηρονικέλιο, γνωστής άντιστάσεως, έστω π.χ. 4 Ω.

Ένα άμπερόμετρο, πού παρεμβάλλεται σὲ σειρὰ στὸ κύκλωμα (διακόπτομε δηλαδὴ τὸ κύκλωμα στὸ σημεῖο τοποθετήσεώς του) μᾶς δείχνει τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος, καὶ ἔνα βολτόμετρο, πού συνδέεται μὲ διακλάδωση στὰ σημεῖα A καὶ B, τὴ διαφορὰ τοῦ δυναμικοῦ πού ὑπάρχει στὰ δύο αὐτὰ σημεῖα.

**Πείραμα.** Κλείνομε τὸ διακόπτη τοῦ κυκλώματος καὶ, ρυθμίζοντας κατάλληλα τὸ ροοστάτη, πειραματίζομαστε μὲ τάσεις 1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V. Σὲ κάθε μιὰν ἀπὸ τὶς περιπτώσεις αὐτὲς σημειώνομε τὴν ἀντίστοιχη ἔνταση τοῦ ρεύματος, ὑπολογίζομε τὸ λόγο  $U_A - U_B / i$  καὶ σχηματίζομε τὸν ἀκόλουθο πίνακα:

$U_A - U_B$ σὲ Βόλτ	1	2	3	4	5
$i$ σὲ 'Αμπέρ	0,25	0,5	0,75	1	1,25
$\frac{U_A - U_B}{i}$	4	4	4	4	4

Ἄπὸ τὸν παραπάνω πίνακα παρατηροῦμε: **α)** δι τὸ λόγος  $(U_A - U_B) / i$  εἶναι σταθερός καὶ ίσος πρὸς 4.

**β)** "Οτι δι λόγος αὐτὸς εἶναι ἀριθμητικὰ ίσος μὲ τὴν ἀντίσταση AB, ποὺ παρεμβάλλαμε στὸ κύκλωμα.

Οι δύο αὐτὲς παρατηρήσεις δόηγοντα στὴ διατύπωση τοῦ παρακάτω νόμου, ποὺ φέρει τὴν δοματισία νόμος τοῦ "Ωμ (Ohm).

Ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ  $U_A - U_B$  (σὲ Βόλτ), ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα σὲ δύο σημεῖα A καὶ B ἐνὸς ἀγωγοῦ, καὶ ἡ ἔνταση i (σὲ 'Αμπέρ) τοῦ ρεύματος ποὺ τὸν διαρρέει, ἔχουν σταθερὸ λόγο, ίσον μὲ τὴν ἀριθμητικὴ τιμὴ τῆς ἀντίστασεως R τοῦ ἀγωγοῦ (σὲ "Ωμ).

Δηλαδὴ θὰ ἔχουμε:

$$\frac{U_A - U_B}{i} = R \quad \text{ἢ} \quad U_A - U_B = R \cdot i$$

Στὶς παραπάνω ἔξισώσεις τὰ  $(U_A - U_B)$ , R, i ἐκφράζονται ἀντίστοιχα σὲ Βόλτ, "Ωμ καὶ 'Αμπέρ.

Πολλές φορὲς ἀντὶ γιὰ  $U_A - U_B$  γράφομε ἀπλῶς U καὶ ὁ τύπος γίνεται:

$$\frac{U}{i} = R$$

Γιὰ τὴν ἀπομημόνευση τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ χρησιμοποιεῖται τὸ τρίγωνο τοῦ σχήματος 134,α. Μέσα στὶς γωνίες του τοποθετοῦνται τὰ σύμβολα τῆς τάσεως, τῆς ἔντάσεως καὶ τῆς ἀντίστασεως.

Γιὰ νὰ βροῦμε τὴ σχέση μὲ τὴν ὄποια συνδέεται ἔνα ἀπὸ τὰ τρία μεγέθη μὲ τὰ ἄλλα δύο, καλύπτομε τὸ μέγεθος αὐτὸν μὲ τὸ δάχτυλο καὶ τότε τὸ σχήμα ποὺ σχηματίζουν τὰ ἄλλα δύο ἐκφράζει τὴ ζητούμενη σχέση.



Σχ. 134, α. Γιὰ τὴν ἀπομημόνευση τοῦ νόμου τοῦ Ohm.

“Αλλος δρισμὸς τῆς μονάδας Ωμ. Ἡ μονάδα τῆς ἡλεκτρικῆς ἀντιστάσεως 1 Ω μπορεῖ νὰ δριστεῖ καὶ ώς ἔξης, ἢν κάνουμε χρήση τοῦ νόμου τοῦ Ωμ:

Τὸ 1 Ω εἶναι ἵσο μὲ τὴν ἀντίσταση ποὺ παρουσιάζει ἔνας ἀγωγός, ὁ ὁποῖος διαρρέεται μὲ ρεῦμα ἐντάσεως 1 A, ὅταν ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ στὰ ἄκρα του εἶναι ἵση μὲ 1 V.

**§ 141. Μέτρηση μιᾶς ἡλεκτρικῆς ἀντίστασεως.** Γιὰ νὰ μετρήσουμε μιὰν ἡλεκτρικὴ ἀντίσταση, ἀρκεῖ νὰ τὴν παρεμβάλουμε σ' ἕνα κύκλωμα καὶ νὰ μετρήσουμε μὲ ἔνα ἀμπερόμετρο καὶ ἔνα βολτόμετρο τὴν ἐνταση τοῦ ρεύματος ι ποὺ τῇ διαρρέει καὶ τῇ διαφορὰ δυναμικοῦ U, ποὺ ὑπάρχει στὰ ἄκρα της. Τὸ πηλίκο U:i, ὅταν ἡ U δίνεται σὲ Βόλτ καὶ ἡ i σὲ 'Αμπέρ, δίνει τὴν τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως σὲ "Ωμ.

Ἐτσι στὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 134, ἢν θέλουμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ἀντίσταση AB, μετροῦμε τὶς ἐνδείξεις τοῦ ἀμπερομέτρου (A) καὶ τοῦ βολτομέτρου (V) ποὺ παρεμβάλλονται στὸ κύκλωμα. Τὸ πηλίκο τῆς ἐνδείξεως τοῦ βολτομέτρου σὲ Βόλτ καὶ τοῦ ἀμπερομέτρου σὲ 'Αμπέρ δίνει τὴν τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως σὲ "Ωμ.

“Αν δημοσιεύουμε νὰ ἔχουμε μιὰν ἀκριβέστερη τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως, κάνουμε περισσότερες μετρήσεις καὶ παίρνομε τὸν μέσο δρό τῶν μετρήσεων.

**§ 142. "Αλλες ἐκφράσεις τοῦ νόμου τοῦ Τζάουλ.** “Οταν ἔνας ἡλεκτρικὸ ρεῦμα διαρρέει μιὰν ἀντίσταση, τὴν θερμαίνει. Ἡ θερμότητα ποὺ ἐκλύεται, ὅταν περνᾷ τὸ ρεῦμα, ἐκφράζεται σὲ μονάδες Τζάουλ ή θερμίδες ἀπὸ τὶς ἐξισώσεις:

$A = R \cdot i^2 \cdot t$  Joule ή  $Q = 0,24 \cdot R \cdot i^2 \cdot t$  cal  
ὅπου τὰ R, i, t δίνονται σὲ "Ωμ, 'Αμπέρ καὶ δευτέρολεπτα ἀντιστοίχως.

Τὸ γινόμενο δμως R · i<sup>2</sup> · t γράφεται:  $R \cdot i^2 \cdot t = (R \cdot i) \cdot (i \cdot t)$ . Ἐπειδὴ  $R \cdot i = U$  καὶ  $i \cdot t = q$  (ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ), οἱ παραπάνω ἐξισώσεις παίρνουν τὶς μορφές:

$A = U \cdot i \cdot t$  Joule ή  $Q = 0,24 \cdot U \cdot i \cdot t$  cal  
ἢ τὶς μορφές:

$A = U \cdot q$  Joule ή  $Q = 0,24 \cdot U \cdot q$  cal  
Στὶς δύο τελευταῖς ἐξισώσεις τὸ q ἐκφράζεται σὲ μονάδες Κουλόμπ (Cb).

Τέλος ή ἡλεκτρικὴ ίσχυς ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ τὸ φαινόμενο Τζάουλ δίνεται μὲ τὴ σχέση:

$$N = U \cdot i$$

ποὺ ἔχουμε βρεῖ καὶ σὲ προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. § 135).

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Η διαφορὰ δυναμικοῦ ποὺ ὑπάρχει ἀνάμεσα σὲ δύο σημεῖα A καὶ B ἐνὸς ἀγωγοῦ, ὁ ὁποῖος διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, μπορεῖ νὰ μετρηθεῖ μὲ ἔνα βολτόμετρο, ποὺ συνδέεται κατὰ διακλάδωση μὲ τὰ σημεῖα A καὶ B.

2. Ο νόμος τοῦ "Ωμ (Ohm) ἐκφράζει ὅτι: 'Η διαφορὰ δυναμικοῦ U τοῦ ἀγωγοῦ, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα ἐντάσεως i (σὲ 'Αμπέρ), πρὸς τὴν ἐνταση αὐτῆς ἔχει σταθερὸ λόγο. 'Ο λόγος αὐτὸς εἶναι ἴσος ἀριθμητικὰ μὲ τὴν ἀντίσταση R τοῦ ἀγωγοῦ (σὲ "Ωμ). Δηλαδὴ ίσχύει ή σχέση:

$$\frac{U}{i} = R \quad \text{ἢ}$$

$$U = R \cdot i$$

3. Τὸ ἔνα "Οὐμ εἰναι ἵσο μὲ τὴν ἀντίσταση ἐνὸς ἀγωγοῦ, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα ἐνὸς Ἀμπέρ, ὅταν στὰ ἄκρα του ὑπάρχει διαφορὰ δυναμικοῦ ἐνὸς Βόλτης.

4. Γιὰ νὰ μετρήσουμε τὴν ἀντίσταση ἐνὸς ἀγωγοῦ AB, ἀρκεῖ νὰ μετρήσουμε μὲ ἔνα βολτόμετρο τὴν διαφορὰ δυναμικοῦ ποὺ ὑπάρχει στὰ ἄκρα του, ὅταν διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα, τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος ποὺ τὸν διαρρέει, χρησιμοποιῶντας ἔνα ἀμπερόμετρο, καὶ unctionera νὰ ὑπολογίσουμε τὸ πηλίκο τὸν μετρήσεων τῆς τάσης πρὸς τὴν ἔνταση.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

129. "Ἐνα ἀγωγὸ σύρμα ἀντιστάσεως 5 Ω, διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 1,2 A. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ μεταξὺ τῶν δύο ἄκρων τοῦ σύρματος. ("Απ. 6 V.)

130. "Ἐνας ἀγωγὸς διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 1,5 A. "Η διαφορὰ δυναμικοῦ στὰ ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ εἶναι 5,4 Volt. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ. ("Απ. 3,6 Ω.)

131. Τὸ θερμαντικὸ σῶμα ἔνδος ἡλεκτρικοῦ βραστήρα ἔχει ἀντίσταση 60 Ω. "Ο βραστήρας λειτουργεῖ μὲ διαφορὰ δυναμικοῦ 120 Volt. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ βραστήρα. ("Απ. 2 A.)

132. "Ἐνα μεταλλικὸ σύρμα διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 0,5 A, ὅταν τοποθετηθῇ ἀνάμεσα στοὺς ἀκρώντες μᾶς γενήτημας, στοὺς δύο πόντους ὑπάρχει διαφορὰ δυναμικοῦ 12 Volt. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἀντίσταση τοῦ σύρματος. β) Νὰ ὑπο-

λογιστεῖ ἡ ἡλεκτρικὴ ἴσχυς ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ τὸ σύρμα καὶ γίνεται ἀντιληπτὴ μὲ μορφὴ θερμότητας. ("Απ. α' 24 Ω. β' 6 W.)

133. "Ἐνα ἡλεκτρικὸ σίδεο ἔχει μάζα 1 kg καὶ καταναλώνει ἵσχυ 300 Watt, ὅταν λειτουργεῖ μὲ διαφορὰ δυναμικοῦ 110 Volt. Ζητοῦνται: α) "Η ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει τὸ σίδεο. β) "Η τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως ποὺ περιέχει. γ) "Ο χρόνος ποὺ χρειάζεται γιὰ νὰ ἀνεβάσουμε τὴ θερμοκαστία τῆς συσκευῆς ἀπὸ τὸν 15 °C στὸν 65 °C. Εἰδικὴ θερμότητα σιδήρου 0,11 cal/gr. grad. ("Απ. α' 2,7 A, περίπου. β' 41 Ω, περίπου. γ' 77 sec.)

134. Σ' ἔναν ἡλεκτρικὸ λαμπτήρα ἀναγράφονται τὰ ἀκόλουθα: 120 Volt, 60 Watt. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ λαμπτήρα. β) Νὰ βρεθεῖ ἡ ἀντίσταση τοῦ μεταλλικοῦ νήματος τοῦ λαμπτήρα. ("Απ. α' 0,5 A. β' 240 Ω.)

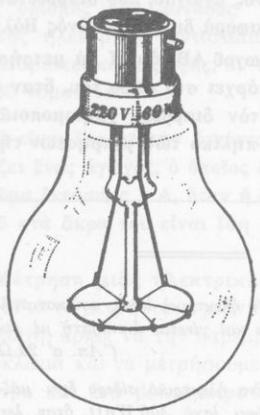
## Α' — ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ ΤΖΑΟΥΛ. ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΘΕΡΜΑΝΣΗ

§ 143. Ἡλεκτροφωτισμός. Σπουδαία ἐφαρμογὴ τοῦ θερμικοῦ ἀποτελέσματος τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος εἶναι ἡ χρησιμοποίησή του στὸ φωτισμό.

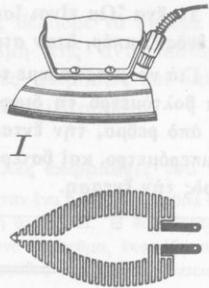
Γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ χρησιμοποιοῦνται εἰδικοὶ γυάλινοι λαμπτήρες, στοὺς ὅποιους τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα διαρρέει ἔνα σπείραμα ἀπὸ σύρμα δύστηκτου μετάλλου,

(συνήθως σύρμα ἀπὸ μέταλλο βιολφράμιο) τοποθετημένο κατάλληλα μέσα στὸ γυάλινο περίβλημα.

Τὸ σύρμα πυρακτώνεται, ἐπειδὴ διμως στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ λαμπτήρα ὑπάρχει ἀδρανές ἀέριο, συνήθως ἄζωτο ἢ ἀργό, σὲ πολὺ μικρὴ πίεση, δὲν καίγεται ἀλλὰ φωτοβολεῖ (σχ. 135).



Σχ. 135. Λαμπτήρας φωτισμού.



II

χ. 137. Ήλεκτρικό σίδερο (I) και διάταξη του σύρματος θερμάνσεώς του (II).

Στὸ ἡλεκτρικὸ σίδερο (σχ. 137, I) ἡ θερμαντικὴ ἀντίσταση ἔχει τὸ σχῆμα μιᾶς στενῆς ταινίας καὶ εἰναι στερεομένη ἐπάνω σὲ ἔνα φύλλο ἀπὸ μαρμαρυγίᾳ (κοινῶς μίκα), ποὺ εἰναι ἔνας πολὺ καλὸς μονωτῆς (σχ. 137, II).

Στοὺς ἡλεκτρικοὺς βραστήρες τὸ σύρμα εἰναι περιτολιγμένο συνήθως μὲν ὑαλοβάμβακα ἢ ἀμιαντο.

Ἡ ἡλεκτρικὴ θέρμανση εἰναι πολὺ εὔχροητη καὶ ρυθμίζεται εύκολα, εἰναι καθαρὴ καὶ ὑγιεινή, συγχρόνως δῆμος καὶ δαπανηρή.

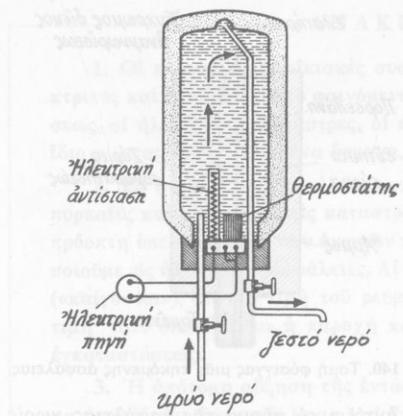
**β) Ἡλεκτρικοὶ φοῦρνοι.** Οἱ ἡλεκτρικοὶ φοῦρνοι, ποὺ χρησιμοτοιοῦμε στὰ διάφορα ἐργαστήρια, περιλαμβάνουν ἔνα σύρμα περιτολιγμένο γύρω ἀπὸ ἔναν κύλινδρο μονωτικὸ καὶ γυαλιστερό. Ὁ κύλινδρος εἰναι γυαλιστερὸς ἔτσι, ὅτε ἡ θερμότητα ποὺ πέφεται ἐπάνω του νά ἀνακλᾶται στὸ γύρω χῶρο καὶ νά μήν ἀπορροφᾶται ἀπὸ αὐτὸν καὶ χάνεται. Ἐνα μονωτικὸ περιβλήμα προστατεύει τὸ φοῦρνο ἀπὸ τις ἀπώλειες τῆς θερμότητος στὸ περιβάλλον.

**γ) Ἡλεκτρικοὶ θερμοσίφωνες.** Εἰναι συσκευές ποὺ παρέχουν ζεστὸ νερὸ γιὰ τὶς διάφορες οἰκιακὲς ἄναγκες.

Τὸ κρόνο νερὸ μπαίνει στὸ δοχεῖο τοῦ θερμοσίφωνα ἀπὸ τὸ κάτω μέρος καὶ θερμαίνεται μὲ μιὰν ἡλεκτρικὴ ἀντίσταση. Τὸ θερμαϊνόμενο νερὸ κινεῖται πρὸς τὸ ἐπάνω μέρος τοῦ δοχείου. Ὁταν ἀνοίξει μία βρύση ζεστοῦ νεροῦ σὲ ἔνα διαμέρισμα τοῦ σπιτιοῦ, τότε ἀπὸ τὴ βρύση αὐτὴ τρέχει



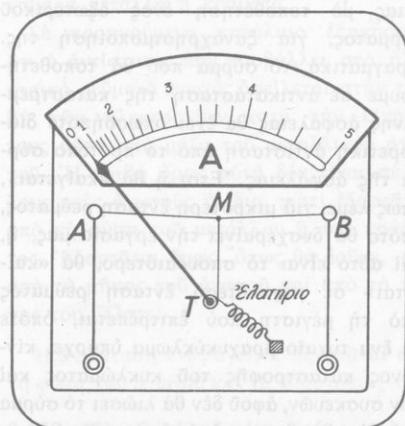
Σχ. 136. Θερμαινόμενη πλάκα μὲ κυκλικὸ ἀγωγὸ σύρμα.



Σχ. 137, α. Ήλεκτρικός θερμοσίφωνας.

ζεστό νερό. Τὸ δεστὸ αὐτὸν νερὸν κυκλοφορεῖ χάρη στὸν ἀγωγὸν ζεστοῦ νεροῦ, ποὺ βρίσκεται στὴν κορυφὴ τοῦ δοχείου (σχ. 137, α).

**§ 145. Θερμικὸ ἀμπερόμετρο.** Τὸ δργανὸν αὐτὸν (σχ. 138) ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα λεπτὸ μεταλλικὸ σύρμα AMB ἀπὸ λευκόχρυσον ἢ ἄργυρον, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ τὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα, τοῦ δοποίου θέλομενον μετρήσομεν τὴν ξενασην. Τὸ σύρμα μένει τεντωμένο μὲ τὴν βοήθεια ἐνὸς ἔλατηρίου,



Σχ. 138. Θερμικὸ ἀμπερόμετρο.

συνδεμένου στὸ σημεῖο M μὲ ἔνα εὐλύγιστο μεταλλικὸ σύρμα, ποὺ περνᾶ ἀπὸ μιὰ μικρὴ τροχαλία T.

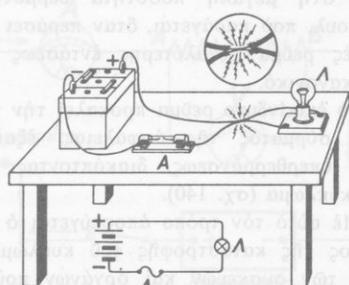
Ἡ θέρμανση τοῦ σύρματος AMB, ἔξαιτιας τῆς περάσματος τοῦ ρεύματος, προκαλεῖ διαστολὴν. Ἡ ἐπιμήκυνση τοῦ σύρματος AMB, ἔξαιτιας τῆς διαστολῆς, προκαλεῖ στροφὴ τῆς τροχαλίας καὶ τῆς βελόνας ποὺ εἶναι στερεὰ συνδεμένη μὲ αὐτὴ.

Ἡ διαστολὴ τοῦ σύρματος καὶ συνεπῆς ἡ ἀπόκλιση τῆς βελόνας εἶναι τόσο μεγαλύτερη, δοῦ ἡ ξεναση τοῦ ρεύματος εἶναι πιὸ μεγάλη.

Τὸ δργανὸν βαθμολογεῖται σὲ σύγκριση μὲ ἔνα συνηθισμένου τύπου ἀμπερόμετρο.

**§ 146. Βραχυκύκλωμα.** Ὅταν ἔνα ἀγωγὸ σύρμα διαρρέεται ἀπὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα, καθὼς γνωρίζομε, θερμαίνεται καὶ ἐπομένων ὑψώνεται ἡ θερμοκρασία του, ἐνῶ συγχρόνως ἔνα μέρος τῆς θερμότητας ποὺ παράγεται διασπείρεται στὸ περιβάλλον. Τελικὰ δὲ ἀγωγὸς ἀποχτᾶ μιὰ σταθερὴ θερμοκρασία.

Μία ἀπότομη αὐξηση τῆς ξενασεως τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος προκαλεῖ ἀπότομη αὐξηση τῆς θερμοκρασίας τοῦ ἀγωγοῦ σύρματος καὶ δημιουργεῖ κίνδυνο καταστροφῆς τοῦ μονωτικοῦ ὑλικοῦ ποὺ περιβάλλει τὸν ἀγωγό, καθὼς καὶ τῶν διαφόρων



Σχ. 139. Ὅταν ἐνθωδῶν δύο γυμνὰ καλόδια, προκαλεῖται βραχυκύκλωμα. Στὸ κάτω μέρος συμβολικὴ παράσταση τοῦ κυκλώματος.

συσκευῶν, ποὺ εἶναι συνδεμένες στὸ κύκλωμα.

Γι' αὐτὸ πρέπει νὰ ἐλέγχουμε συχνά τὴν κατάσταση τῶν μονωτικῶν περιβλημάτων τῶν ἀγωγῶν, γιατί, ἀν δύο ἀπογυμνωμένα σύρματα ἔλθουν σὲ ἐπαφὴ μεταξὺ τοὺς (σχ. 139), προκαλεῖται ἀπότομη αὔξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, μὲ ἀποτέλεσμα τὴν πρόκληση διαφόρων καταστροφῶν. Αὐτὸ τὸ φαινόμενο δονομάζεται βραχυκύκλωμα. "Ωστε:

Βραχυκύκλωμα δονομάζεται ἡ ἀπότομη αὔξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει ἔνα κύκλωμα, ἡ ὅποια προκαλεῖται ἀπὸ διάφορες αἰτίες καὶ μπορεῖ νὰ ἔχει καταστρεπτικὰ ἀποτελέσματα γιὰ τὶς ἡλεκτρικὲς συσκευὲς τοῦ κυκλώματος.

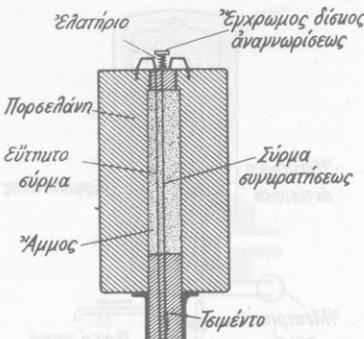
**§ 147. Ἀσφάλειες.** Ἡ πιὸ συνηθισμένη ἀπὸ τὶς αἰτίες ποὺ προκαλοῦν τὴν ἀπότομη αὔξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος σ' ἔνα κύκλωμα εἶναι τὰ βραχυκύκλωματα. Γιὰ νὰ ἀποφύγουμε τὰ βραχυκύκλωματα, παρεμβάλλομε σὲ σειρὰ μέσα στὸ κύκλωμα ἡλεκτρικὲς ἀσφάλειες. Οἱ ἀσφάλειες αὐτὲς εἶναι λεπτὰ καὶ εὐτηκτα μικροῦ μήκους σύρματα, ποὺ εἶναι κλεισμένα σὲ κατάληγες θῆκες.

Ἡ λειτουργία τῶν ἀσφαλειῶν στηρίζεται στὴ μεγάλη ποσότητα θερμότητας Τζάουλ, ποὺ παράγεται, ὅταν περάσει ἀπὸ αὐτὲς ρεῦμα μεγαλύτερης ἐντάσεως ἀπὸ τὸ κανονικό.

Τὸ ἐπικίνδυνο ρεῦμα προκαλεῖ τὴν τήξη τοῦ σύρματος τῆς ἀσφάλειας, ἔξαιτιας τῆς ὑπερθερμάνσεως, διακόπτοντας ἔτσι τὸ κύκλωμα (σχ. 140).

Μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο ἀποφεύγεται ὁ κίνδυνος τῆς καταστροφῆς τοῦ κυκλώματος καὶ τῶν συσκευῶν καὶ δργάνων ποὺ τὸ ἀποτελοῦν.

Σὲ κάθε ἀσφάλεια ἀναγράφεται ἡ μέγιστη ἐνταση σὲ ἄμπερ, στὴν ὅποια μπορεῖ



Σχ. 140. Τομὴ φύσιγγας μιᾶς τηκόμενης ἀσφάλειας.

νὰ ἀντέξει τὸ σύρμα τῆς ἀσφάλειας χωρὶς νὰ λιώσει.

Ἡ τηκόμενη ἀσφάλεια παρουσιάζει τὸ μειονέκτημα διτὶ, ἀφοῦ καταστραφεῖ, δὲν μπορεῖ νὰ ξαναχρησιμοποιηθεῖ πιά. Παρουσιάζει δῆμως τὸ πλεονέκτημα διτὶ καταστρέφεται ἀμέσως, μόλις ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος ξεπεράσει τὴν κανονικὴ τιμὴ, καὶ προστατεύει διποσδήποτε τὶς ἐγκαταστάσεις.

Γι' αὐτὸν τὸ λόγο ἀπαγορεύεται, γιατὶ εἶναι ἐπικίνδυνο γιὰ τὶς ἐγκαταστάσεις μας, ἡ ἐπισκευὴ μιᾶς καταστρεμμένης ἀσφάλειας μὲ τοποθέτηση ἐνὸς ἔξωτερικοῦ σύρματος, γιὰ ξαναχρησιμοποίησή της. Πραγματικά, τὸ σύρμα ποὺ θὰ τοποθετήσουμε σὲ ἀντικατάσταση τῆς καταστρεμμένης ἀσφάλειας θὰ ἔχει διποσδήποτε διαφορετικὴ ἀντίσταση ἀπὸ τὸ πρότυπο σύρμα τῆς ἀσφάλειας. "Ετσι ἡ θὰ «καίγεται», δῆμως λέμε, γιὰ μικρότερη ἐνταση ρεύματος, δόποτε θὰ δυσχεραίνει τὴν ἐργασία μας, ἡ, καὶ αὐτὸ εἶναι τὸ σπουδαιότερο, θὰ «καίγεται» σὲ μεγαλύτερη ἐνταση ρεύματος ἀπὸ τὴ μέγιστη ποὺ ἐπιτρέπεται, δόποτε σὲ ἔνα τυχαῖο βραχυκύκλωμα ὑπάρχει κίνδυνος καταστροφῆς τοῦ κυκλώματος καὶ τῶν συσκευῶν, ἀφοῦ δὲν θὰ λιώσει τὸ σύρμα καὶ δὲν θὰ διακοπεῖ ἡ παροχὴ ρεύματος στὸ κύκλωμα.

1. Οι περισσότερες οίκιακες συσκευές φωτισμού και θερμάνσεως είναι ήλεκτρικές και βασίζονται στὸ φαινόμενο Τζάουλ. Τέτοιες είναι οἱ λαμπτήρες πυρακτώσεως, οἱ ήλεκτρικές θερμάστρες, οἱ ήλεκτρικές κουζίνες, ὁ θερμοσίφωνας κλπ. Τὸ ίδιο γίνεται καὶ μὲ δρισμένα δργανα, διπος τὸ θερμικὸ ἀμπερόμετρο.

2. Τὸ φαινόμενο Τζάουλ παρουσιάζει καὶ κινδύνους. Γιὰ νὰ ἀποφεύγουμε τὶς πυρκαϊὲς καὶ γενικότερα τὶς καταστροφὲς ποὺ μποροῦν νὰ προκύψουν ἀπὸ μιὰν ἀ-πρόοπτη ὑπερθέρμανση τῶν ἀγωγῶν καὶ τῶν συσκευῶν ἐνὸς κυκλώματος, χρησιμο-ποιοῦμε τὶς ήλεκτρικὲς ἀσφάλειες. Αἱ ἀσφάλειες εἰναι λεπτὰ σύρματα, ποὺ τήκονται («καίγονται»), ὅταν ἡ τιμὴ τοῦ ρεύματος ξεπεράσει τὴν ἀνεκτὴ ἀπὸ τὸ κύκλωμα τιμὴ: τότε διακόπτεται ἡ παροχὴ καὶ ἀποφεύγεται ὁ κίνδυνος καταστροφῆς τῆς ἐγκαταστάσεως.

3. Ἡ ἀπότομη αὐξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος σὲ ἔνα κύκλωμα δονομάζεται βραχυκύκλωμα καὶ ἔχει καταστρεπτικὲς συνέπειες.

4. Είναι πολὺ ἐπικίνδυνο νὰ ἐπισκευάζουμε μιὰ καταστρεμμένη ἀσφάλεια μὲ τοποθέτηση ἔξωτερικοῦ σύρματος, γιὰ νὰ ξαναχρησιμοποιηθεῖ.

## ΛΑ' — ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΠΟΥΔΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ ΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΥ

**§ 148. Γενικότητες.** Οἱ ήλεκτρικοὶ ἀγωγοὶ εἰναι συνήθως σύρματα μεταλλικά, κυλινδρικὰ καὶ διμογενή, κατασκευασμένα ἀπὸ καθαρὰ μέταλλα ἢ κράματα.

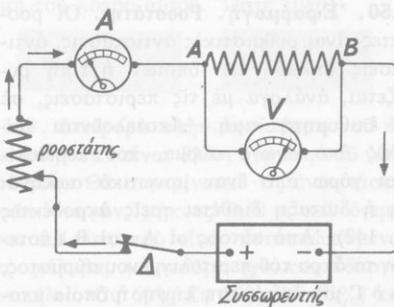
Σὲ προηγούμενο κεφάλαιο ἔξηγήσαμε δtti ἡ ἀντίσταση ποὺ προβάλλει στὸ ήλεκτρικὸ ρεύμα ὁ ἀγωγὸς ὀφείλεται στὴν τριβὴ τῶν ήλεκτρονίων κατὰ τὴν κίνησή τους μέσα στὴ μάζα τοῦ μεταλλικοῦ ἀγωγοῦ. Ἡ τριβὴ δμως αὐτὴ δὲν είναι σὲ ὅλους τοὺς ἀγωγοὺς ἡ ἴδια, γιατὶ ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τοῦ μετάλλου ἢ τοῦ κράματος. Ἐξαρτᾶται δμως, διπος θὰ δοῦμε, καὶ ἀπὸ τὸ μῆκος τοῦ ἀγωγοῦ καὶ ἀπὸ τὸ πάχος του. *“Ωστε:*

Ἡ ἀντίσταση ἐνὸς ἀγωγοῦ ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τοῦ ἀγωγοῦ καὶ τὶς διαστάσεις του.

**§ 149. Μεταβολὴ τῆς ἀντίστασεως ἐνὸς ἀγωγοῦ ἀπὸ τὸ μῆκος του.** Θὰ συγκρίνου-

με τὶς ἀντιστάσεις ἀγωγῶν κατασκευασμένων ἀπὸ τὸ ίδιο υλικό, ποὺ ἔχουν τὴν ἴδια διατομὴ (πάχος), διαφορετικὰ δμως μῆκη.

**Πείραμα.** Πραγματοποιοῦμε τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 141 καὶ ἀντικαθιστοῦμε διαδοχικὰ ἀνάμεσα στὰ σημεῖα A καὶ B



**Σκ. 141.** Κύκλωμα γιὰ τὴ μελέτη τῆς μεταβολῆς τῆς ἀντίστασεως ἐνὸς ἀγωγοῦ σὲ συνάρτηση μὲ τὸ μῆκος.

τίς άντιστάσεις πού πρόκειται νά συγκρίνουμε.

Χρησιμοποιούμε, π.χ., τρία σύρματα σιδηρονικελίου, (δηλαδή άγωγούς της ίδιας φύσεως) μὲ διάμετρο 0,5 mm, (δηλαδὴ μὲ τὴν ίδια διατομή) ἀλλὰ μὲ διαφορετικά μήκη π.χ. 1 m, 2 m καὶ 3 m.

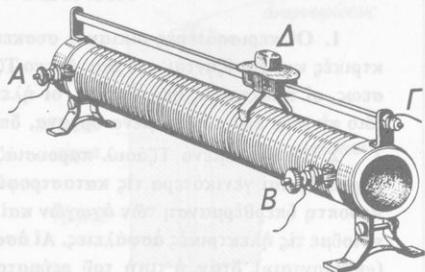
Μὲ τὴν βοήθεια ἐνὸς ροοστάτη ρυθμίζομε τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος ἔτσι, ὥστε νά είναι ἡ ίδια σὲ κάθε περίπτωση, πράγμα πού διευκολύνει τὴν σύγκριση. Τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεών μας ἀναγράφονται στὸν παρακάτω πίνακα.

Μήκος (m)	1	2	3
*Ενταση (A)	2	2	2
Διαρ. δυναμικοῦ (U)	8	16	24
R = U/i (Ω)	4	8 = 2 · 4	12 = 3 · 4

"Οπως παρατηροῦμε, δταν διπλασιάζεται τὸ μῆκος τοῦ ἄγωγοῦ, διπλασιάζεται ἡ τριπλασιάζεται, ἡ τριπλασιάζεται, ἡ τριπλασιάζεται, ἡ τριπλασιάζεται, ἡ τριπλασιάζεται, ἡ τριπλασιάζεται, καὶ ἡ ἀντίστασή του. "Ωστε:

Η ἀντίσταση ἐνὸς ἄγωγοῦ σύρματος, κατασκευασμένου ἀπὸ ἕνα δρισμένο ὄντικό, πού ἔχει σταθερὴ διατομή, είναι ἀνάλογη πρὸς τὸ μῆκος τοῦ σύρματος.

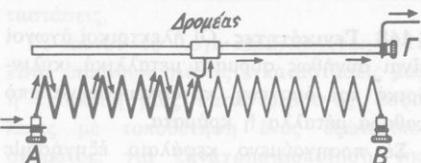
**§ 150. Έφαρμογή. Ροοστάτης.** Οἱ ροοστάτες είναι ρυθμιστικὲς ἀντιστάσεις, ἀντίστασις δηλαδὴ τῶν δόπιων ἡ τιμὴ ρυθμίζεται, ἀνάλογα μὲ τὶς περιστάσεις, σὲ μιὰ ἐπιθυμητὴ τιμὴ. Ἀποτελοῦνται συνήθως ἀπὸ ἄγωγὸ σύρμα, πού περιτυλίγεται γύρῳ ἀπὸ ἔναν μονωτικὸ σωλήνα· δλη ἡ διάταξη διαθέτει τρεῖς ἀκροδέκτες (σχ. 142). Ἀπὸ αὐτοὺς οἱ A καὶ B ἀποτελοῦν τὰ ἄκρα τοῦ περιτυλιγμένου σύρματος, ἐνῷ δ Γ μία ἀνδιάμεση λήψη, ἡ δοπία μπορεῖ νά ἀλλάξει θέση, δταν μετακινήσουμε τὸ δρομέα Δ. Πραγματικά τὸ σημεῖο Γ καὶ δ δρομέας Δ συνδέονται μὲ τὸ μεταλ-



Σχ. 142. Ροοστάτης (ρυθμιστικὴ ἀντίσταση) μὲ δρομέα Δ.

λικὸ ἄγωγὸ στέλεχος (σχ. 143), πού παρουσιάζει ἀστήμαντη ἀντίσταση.

"Ο ροοστάτης συνδέεται σὲ σειρὰ μὲ τὸ κύκλωμα ἀπὸ τὸ ἄκρο του A καὶ τὴν ἀνδιάμεση λήψη Γ. "Οταν μετακινήσουμε τὸ δρομέα Δ, μεταβάλλομε τὴν ἀντίσταση καὶ ρυθμίζομε ἔτσι τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος, πού διαρρέει τὸ κύκλωμα, ἀνάμεσα ἀπὸ μιὰν ἐλάχιστη τιμῇ, (δταν δ δρομέας

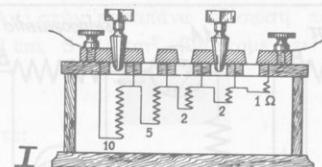


Σχ. 143. Πορεία τοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ τὸ ροοστάτη.

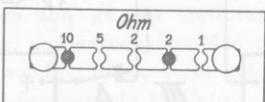
βρίσκεται στὸ B, δόποτε τὸ ρεῦμα διαρρέει δλη τὴν ἀντίσταση), καὶ μιὰ μέγιστη, (δταν δ δρομέας βρίσκεται στὸ A, δταν δηλαδὴ δλη ἡ ἀντίσταση είναι ἔξω ἀπὸ τὸ κύκλωμα).

"Ἄλλος τύπος ρυθμιζόμενης ἀντιστάσεως είναι τὸ κιβώτιο ἀντιστάσεων ἡ, δπως λέγεται ἀλλιῶς, ἡ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση μὲ γόμφους (σχ. 144).

Στὴν ἀντίσταση τοῦ τύπου αὐτοῦ τὸ ρύθμιση τὴν πετυχαίνομε μὲ τὴ χρήση μεταλλικῶν γόμφων, πού μπαίνουν σὲ κατάλληλες ὑποδοχές καὶ θέτουν ἔξω ἀπὸ τὸ κύκλωμα τὶς ἀντιστάσεις πού βρίσκονται κάτω ἀπὸ τὶς ὑποδοχές.



I



II

Σχ. 144. Κιβώτιο άντιστάσεων ρυθμισμένο για 8 Ω.

Στό σχήμα 144 είναι έξω από τό κύκλωμα οι άντιστάσεις  $10\Omega$  και  $2\Omega$  και άπομένουν γιά χρήση οι άλλες άντιστάσεις,  $5\Omega$ ,  $2\Omega$  και  $1\Omega$ . Αν ήταν βγαλμένοι δύο οι γύνφοι, θα χρησιμοποιούσαμε δεξιες τις άντιστάσεις, δηλαδή:  $10\Omega + 5\Omega + 2\Omega + 2\Omega + 1\Omega = 20\Omega$ .

**§ 151.** Μεταβολή της άντιστάσεως ένδος άγωγού από τη διατομή του. Θά συγκρίνουμε τώρα τις άντιστάσεις άγωγών που διαφέρουν μόνο στη διατομή τους.

**Πείραμα.** Στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 141 άντικαθιστούμε διαδοχικά άνάμεσα στά σημεῖα A και B τρία ίσα σε μήκος άγωγά σύρματα, π.χ. από σιδηρονικέλιο, μὲ κοινὸ μῆκος 1 m, ποὺ έχουν διαμέτρους 0,5 mm, 1 mm καὶ 2 mm.

Διατηρώντας μιὰ σταθερὴ ένταση ρεύματος, ίση έστω μὲ 0,5 A, μετροῦμε σὲ κάθε περίπτωση τὴν άντιστοιχη διαφορά δυναμικοῦ καὶ ίνπολογίζομε τὴν άντισταση, καταστρώνοντας τὸν άκόλουθο πίνακα:

Διάμετρος (mm)	0,5	1	2
Τομή (mm <sup>2</sup> )	$\pi/16$	$\pi/4$	$\pi$
*Ένταση (A)	0,5	0,5	0,5
Διαφορά δυναμικοῦ (U)	2	0,5	0,125
R = U/i (Ω)	4	1	0,25

Όπως παρατηροῦμε, ὅταν ή διατομὴ γίνει 4 φορές μεγαλύτερη:

$$\left( \frac{\pi}{4} = 4 \cdot \frac{\pi}{16} \text{ καὶ } \pi = 4 \cdot \frac{\pi}{4} \right)$$

ή άντισταση γίνεται τέσσερεις φορές μικρότερη ( $1 = 4 : 4$ , καὶ  $0,25 = 1 : 4$ ). "Ωστε:

Η άντισταση ένδος άγωγοῦ, ποὺ είναι κατασκευασμένη από δρισμένο ύλικο καὶ έχει σταθερὸ μῆκος, είναι άντιστρόφως άναλογη πρὸς τὴ διατομὴ του.

**§ 152.** Σχέση μεταξὺ άντιστάσεως, μήκους καὶ διατομῆς ένδος άγωγοῦ. Γνωρίζομε δτι, ὅταν ένα μέγεθος είναι άναλογο πρὸς δύο ἄλλα άνεξάρτητα μεγέθη, τὸ μέγεθος αὐτὸ είναι άναλογο καὶ πρὸς τὸ γινόμενό τους.

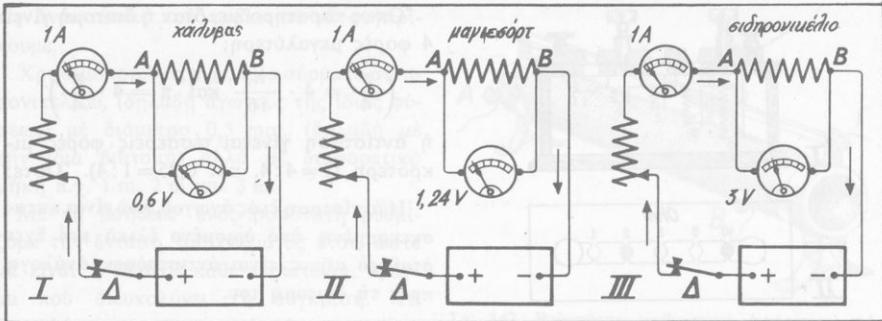
Ἐπομένως ή άντισταση R ένδος άγωγοῦ ἐφόσον είναι άναλογη πρὸς τὸ μῆκος l τοῦ άγωγοῦ καὶ άντιστρόφως άναλογη πρὸς τὴ διατομὴ του S ή, τὸ ἴδιο πράγμα, άναλογη πρὸς τὸ 1/S τοῦ άγωγοῦ, θά είναι άναλογη καὶ πρὸς τὸ γινόμενο  $l \cdot 1/S$ , δηλαδὴ πρὸς τὸ  $l/S$ .

Αὐτὸ σημαίνει δτι οὐπάρχει ένας σταθερὸς λόγος άνάμεσα στὰ R καὶ  $l/S$ , δταν μεταβάλονται μόνο οἱ διαστάσεις.

"Εχει ἐπικρατήσει ή συνήθεια διεθνῆς νὰ παριστάνουμε μὲ τὸ ἔλληνικο γράμμα ρ τὴν τιμὴ τοῦ λόγου αὐτοῦ. "Ωστε είναι:

$$R / \frac{l}{S} = p \quad \text{ἢ} \quad R = p \cdot \frac{l}{S}$$

**§ 153.** Διαφορὰ στὴν άντισταση τοῦ άγωγοῦ, ὅταν είναι ἄλλη ἡ φύση τοῦ ύλικοῦ του. Θά συγκρίνουμε τις άντιστάσεις τριῶν άγωγών, μήκους 0,50 m καὶ διαμέτρου 0,4 mm, ποὺ είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα, μαγιεσδόρτ (χαλκοψευδαργυρονικέλιο, Cu 60% Zn 25%, Ni 15%) καὶ σιδηρονικέλιο (Fe 75%, Ni 25%). Οἱ άγωγοι δηλαδὴ διαφέρουν μονάχα κατὰ τὸ ύλικό τῆς κατασκευῆς τους.



Σχ. 145. Η ἀντίσταση ἐνδός ἀγωγοῦ ἔξαρτᾶται ἀπό τὸ ὑλικὸ κατασκευῆς του.

**Πείραμα.** Στὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 141 ἀντικαθιστοῦμε διαδοχικὰ ἀνάμεσα στὰ σημεῖα A καὶ B τὰ σύρματα ποὺ ἀναφέραμε (σχ. 145).

Κλείνομε τὸ διακόπτη, διατηροῦμε μιὰ σταθερὴ ἔνταση ρεύματος, ἵστη ἔστω μὲ 1 A, μὲ τὴ βοήθεια τοῦ ροοστάτη, μετροῦμε σὲ κάθε περίπτωση τὴ διαφορὰ δυναμικοῦ καὶ ὑπολογίζομε τὴν ἀντίστοιχη ἀντίσταση, καταστρώνοντας τὸν ἀκόλουθο πίνακα μὲ τὶς μετρήσεις καὶ τοὺς ὑπολογισμούς μας.

Φύση τοῦ ἀγωγοῦ	χάλυβας	μαγιεσδόρτ	σιδηρονικέλιο
Διαφ. δύναμ. (V)	0,6	1,24	3
Ἐνταση (A)	1	1	1
R = U/i (Ω)	0,6	1,24	3

"Οπως παρατηροῦμε, τὰ τρία σύρματα, ἀν καὶ ἔχουν τὶς ἴδιες γεωμετρικὲς διαστάσεις, παρουσιάζουν διαφορετικὲς ἀντίστασεις στὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

"Η ἀντίσταση τοῦ σιδηρονικελίου εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τοῦ μαγιεσδόρτ καὶ ἀντὶ μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τοῦ χάλυβα. "Ωστε:

"Η ἀντίσταση ἐνδός ἀγωγοῦ ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τοῦ ὑλικοῦ του.

**§ 154. Εἰδικὴ ἀντίσταση.** Ἀναφέραμε διτὶ δὸ λόγος ρ διατηρεῖ σταθερὴ τιμὴ, δταν ἀλλάζουν οἱ διαστάσεις ἐνδός ἀγωγοῦ, κατασκευασμένου ἀπὸ ἔνα δριτσμένο ὑλικό.

'Αντίστροφα, ἂν συγκρίνουμε τὶς ἀντίστασεις δύο ἀγωγῶν, κατασκευασμένων ἀπὸ διαφορετικὰ ὑλικά, ποὺ παρουσιάζουν δῆμας τὶς ἴδιες γεωμετρικὲς διαστάσεις, θὰ ἔχουμε:

$$R_1 = \rho_1 \cdot \frac{l}{S} \quad \text{καὶ} \quad R_2 = \rho_2 \cdot \frac{l}{S}$$

"Ετσι, ἂν πειραματιστοῦμε μὲ μεταλλικοὺς ἀγωγούς, ἀπὸ σιδηρονικέλιο τὸν ἔναν καὶ ἀπὸ σίδηρο τὸν ἄλλο, μὲ τὶς ἴδιες δῆμας γεωμετρικὲς διαστάσεις καὶ στοὺς δύο, θὰ διαπιστώσουμε δτι ὁ ἀγωγὸς ἀπὸ τὸ σύρμα τοῦ σιδηρονικελίου παρουσιάζει ὀκταπλάσια ἀντίσταση ἀπὸ τὸν σιδερένιο ἀγωγό.

"Ο συντελεστής ρ, ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φύση τοῦ ὑλικοῦ κατασκευῆς τοῦ ἀγωγοῦ καὶ δονομάζεται εἰδικὴ ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ.

"Υπολογισμὸς τῆς εἰδικῆς ἀντίστασεως. Στὸν τύπο  $R = \rho \cdot l / S$  ἐκφράζομε τὸ μῆκος τοῦ ἀγωγοῦ σὲ ἑκατοστόμετρα, τὴ διατομὴ του σὲ τετραγωνικὰ ἑκατοστόμετρα καὶ τὴν ἀντίστασὴ του σὲ μονάδες "Ωμ.

\*Αν στήν παραπάνω έξισωση πάρουμε  $l = 1 \text{ cm}$ ,  $S = 1 \text{ cm}^2$ , βρίσκουμε ότι:

$$R = \rho$$

\*Ωστε:

\*Η ειδική άντισταση ένδος άγωγού είναι άριθμητικά ίση με την άντισταση ένδος κυλινδρου, κατασκευασμένου άπό τὸν άγωγὸν αὐτῷ, ποὺ ἔχει μῆκος 1 εμ καὶ διατομὴ 1  $\text{cm}^2$  (σὲ θερμοκρασία  $15^\circ\text{C}$ ) (σχ. 146).

Μονάδα ειδικῆς άντιστάσεως. Ο τύπος  $R = \rho \cdot l / S$ , δταν λυθεῖ ώς πρὸς  $\rho$ , δίνει:

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$

\*Αν  $R = 1 \Omega$ ,  $S = 1 \text{ cm}^2$  καὶ  $l = 1 \text{ cm}$ , βρίσκουμε τὴν μονάδα τῆς ειδικῆς άντιστάσεως. \*Ωστε:

\*Η μονάδα ειδικῆς άντιστάσεως είναι ίση μὲ τὴν ειδικὴ άντισταση ένδος ύλικον, τὸ δοποῖο σὲ κυλινδρικὸν άγωγό, μῆκους 1 εμ καὶ διατομῆς 1  $\text{cm}^2$ , παρουσιάζει άντισταση 1  $\Omega$ .

\*Η μονάδα αὐτὴ δονομάζεται \*Ωμ - ἑκατοστόμετρο ( $\Omega \cdot \text{em}$ ).

Συνήθως χρησιμοποιοῦμε τὸ ύποπολλαπλάσιο τῆς μονάδας αὐτῆς, τὸ μικρο-ώμ-ἑκατοστόμετρο ( $\mu\Omega \cdot \text{em}$ ) ΐσο μὲ τὸ ἔνα ἑκατομμυριοστὸ τῆς βασικῆς μονάδας.

Δηλαδὴ είναι:

$$1 \Omega \cdot \text{em} = 10^6 \mu\Omega \cdot \text{em}$$

Παραδείγματα ειδικῶν άντιστάσεων διαφόρων ύλικῶν καὶ κραμμάτων σὲ  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

*Αργυρος	1,5	Μαγιεσδρ	30
Χαλκός	1,6	Κονσταντάνη	50
Σίδηρος	10	Σιδηρονικέλιο	80
Νικέλιο	12	*Υδράργυρος	94
Μόλυβδος	20	Χρωμονικελίνη	137

**Πισταρήηση.** Οἱ καλοὶ άγωγοὶ εἰναι σώματα ποὺ ἔχουν πολὺ μικρὴ τιμὴ ειδικῆς άντιστάσεως (ἄργυρος, χαλκός, ἀργίλιο). \*Αντιθέτως τὸ σιδηρονικέλιο καὶ ἡ χρωμονικελίνη εἰναι κράματα ποὺ παρουσιάζουν μεγάλη άντισταση. Γι' αὐτὸν ἀκριβῶς τὸ λόγο τὰ χρησιμοποιοῦμε στὶς περιπτώσεις ποὺ χρειαζόμαστε ἔκλυση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας.

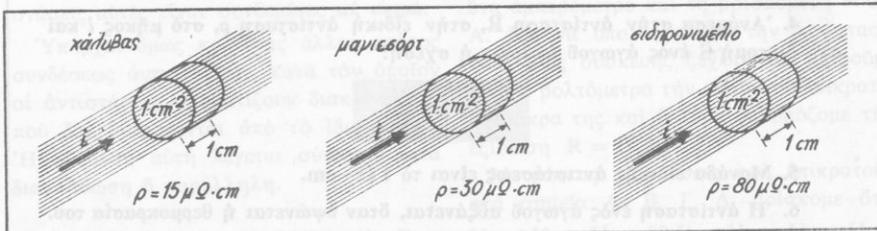
**Άριθμητικὸ παράδειγμα.** Νὰ υπολογιστεῖ ἡ άντισταση ένδος χάλκινου σόρματος μὲ μῆκος 1 km καὶ διάμετρο 1 mm. Ειδικὴ άντισταση τοῦ χαλκοῦ  $\rho = 1,6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

Ἄνση. \*Αντικαθιστώντας στὸν τύπο  $R = \rho \cdot l / S$  τὰ δεδομένα τοῦ προβλήματος, δηλαδὴ:

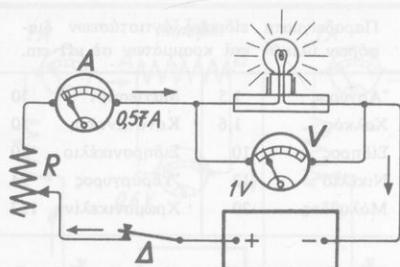
$$\rho = 1,6 \mu\Omega \cdot \text{cm} = 1,6 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}, \quad l = 1000 \text{ m} = 100000 \text{ cm} = 10^5 \text{ cm}, \quad S = \pi \cdot 0,05^2 = 0,0025 \cdot \pi \text{ cm}^2 \quad (\gammaιατὶ, ἀφοῦ ἡ διάμετρος είναι 1 mm = 0,1 cm, ἡ ἀκτίνα θὰ είναι 0,05 cm), \quad \theta \text{ εἶχουμε:}$$

$$R = \frac{1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}{0,0025 \cdot \pi} = \frac{0,16}{0,00785} = 20,3 \Omega$$

**§ 155. Μεταβολὴ τῆς άντιστάσεως μὲ τὴν ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας.** Συναρ-



Σχ. 146. Ειδικὴ άντισταση διαφόρων ύλικῶν.



**Σχ. 147.** Η άντισταση τού σύρματος αυξάνεται μὲ τή θερμοκρασία

μολογούμε τό κύκλωμα τού σχήματος 147. Η άντιστασή του άποτελεῖται ἀπό τό νῆμα πυρακτώσεως τού λαμπτήρα.

Ρυθμίζουμε τό ροοστάτη ἔτσι, ώστε νὰ ξχουμε στήνη ἀρχὴ τού πειράματος τάση 1 V στὶς ἄκρες τού λαμπτήρα. "Υστερα αὐξάνομε προοδευτικά τήν ένταση τού ρεύματος, ώστου δ λαμπτήρας ἀποχτήσει τήν καρνονική του φωτεινή ίσχυ.

Σημειώνοντας γιὰ διάφορες τιμές τῆς έντασεως τὶς άντιστοιχες τιμές τῆς τάσης, ήπολογίζομε τήν άντισταση καὶ καταστρώνομε τὸν ἀκόλουθο πίνακα:

"Ένταση (Α)	0,57	1	1,2
Διαφ. δυναμικοῦ (V)	1	3,8	6
"Άντισταση $R = U/i$ (Ω)	1,7	3,8	5

"Οπως παρατηροῦμε, η άντισταση τοῦ νήματος πυρακτώσεως αυξάνεται, δσο γίνεται φωτεινότερο τὸ νῆμα. Τὸ νῆμα δμως φωτοβολεῖ ἐντονότερα, δταν ὑψώνεται η θερμοκρασία του. "Ωστε:

"Η άντισταση ἐνὸς ἀγωγοῦ αυξάνεται, δταν ὑψώνεται η θερμοκρασία του.

Τὸν παραπάνω νόμο δὲν τὸν ἀκολουθοῦν δ ἄνθρακας καὶ οἱ ἡλεκτρολύτες. "Οταν ὑψώνεται η θερμοκρασία τῶν σωμάτων αὐτῶν, ἐλαττώνεται η άντιστασή τους.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Η άντισταση ἐνὸς ἀγωγοῦ δξαρτᾶται ἀπό τή φύση τοῦ ἀγωγοῦ καὶ τὶς διαστάσεις του.
2. Η άντισταση ἐνὸς ἀγωγοῦ σύρματος είναι ἀνάλογη μὲ τὸ μῆκος του, άντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τή διατομή του καὶ δξαρτᾶται ἀπό τὸ διλικὸ κατασκευῆς τοῦ ἀγωγοῦ.
3. Η εἰδικὴ άντισταση  $\rho$  ἐνὸς ἀγωγοῦ σύρματος είναι ἀριθμητικὰ ίση μὲ τήν άντισταση ἐνὸς διλικοῦ, ποὺ σὲ κυλινδρικὸ ἀγωγό, μῆκονς 1 cm καὶ διατομῆς 1 cm<sup>2</sup>, παρουσιάζει άντισταση 1 Ω.
4. Ανάμεσα στήν άντισταση  $R$ , στήν εἰδικὴ άντισταση  $\rho$ , στὸ μῆκος  $l$  καὶ στή διατομή  $S$  ἐνὸς ἀγωγοῦ ὑπάρχει η σχέση:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

5. Μονάδα εἰδικῆς άντιστάσεως είναι τὸ 1 Ω · cm.

6. Η άντισταση ἐνὸς ἀγωγοῦ αυξάνεται, δταν ὑψώνεται η θερμοκρασία του. Τὸ άντιθέτο συμβαίνει μὲ τὸν ἄνθρακα καὶ τοὺς ἡλεκτρολύτες.

**135.** Σύρμα ἀπό σιδηρονικέλου ἔχει μῆκος  $10 \text{ cm}$  και διατομή  $0,2 \text{ mm}^2$ . Ἡ εἰδικὴ ἀντίσταση τοῦ σιδηρονικέλου είναι  $30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἀντίσταση τοῦ σύρματος. (*Απ.  $R = 0,15 \Omega$ .*)

**136.** Ἡ ἀντίσταση μὲ τὴν ὅποια θεωρούνται ἔνα ἡλεκτρικὸ σίδεο είναι  $40 \Omega$ . Γιὰ νὰ τὴν ἀντικαταστήσουμε χρησιμοποιοῦμε σύρμα μὲ ἐμβαδὸ διατομῆς  $0,005 \text{ cm}^2$  και μὲ εἰδικὴ ἀντίσταση  $50 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ τὸ μῆκος τοῦ σύρματος ποὺ πάρει νὰ χρησιμοποιήσουμε. (*Απ.  $40 \text{ m}$ .*)

**137.** Νὰ ὑπολογιστεῖ σὲ τετραγωνικὰ χιλιοστά τὸ ἐμβαδὸ τῆς διατομῆς ἐνὸς ἀγωγοῦ, ποὺ ἔχει ἀντίσταση  $0,1 \Omega$  και μῆκος  $12,50 \text{ m}$ . Ἡ εἰδικὴ ἀντίσταση τοῦ μετάλλου ἀπὸ τὸ ὅποιο είναι κατασκενσμένος ὁ ἀγωγὸς είναι  $40 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ . (*Απ.  $50,24 \text{ mm}^2$ .*)

**138.** Ἐνα καλώδιο ἀπὸ χαλκὸ ἔχει εἰδικὴ ἀντίσταση  $\rho = 1,6 \text{ } \mu\Omega \cdot \text{cm}$ , κυκλικὴ διατομὴ διαμέτρου  $1 \text{ mm}$  και μῆκος  $50 \text{ m}$ . α) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν ἀντίστασή του. β) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν ποσότητα τῆς θεομότητας ποὺ ἐλεύθερώνται ἀν τὸ καλώδιο διαφέρεται  $1 \text{ } \delta\varphi$  ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως  $0,5 \text{ A}$ . (*Απ. α'  $1 \Omega$ , περίπου. β'  $214,2 \text{ cal}$ , περίπου.*)

**139.** Νὰ βρεθεῖ τὸ μῆκος τοῦ σύρματος ποὺ διαφέρεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως  $2 \text{ A}$ , διαν τὰ ἄκρα του συνδεθῶν μὲ πηγὴ τάσεως  $120 \text{ V}$ . Δινούνται: Ἡ εἰδικὴ ἀντίσταση τοῦ σύρματος:  $\rho = 30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$  και ἡ διάμετρος τῆς κυκλικῆς διατομῆς τοῦ καλωδίου  $d = 0,1 \text{ mm}$ . (*Απ.  $1,5 \text{ m}$ , περίπου.*)

**140.** Ἐνα καλώδιο ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἔχει μῆκος  $5 \text{ m}$ , ἐμβαδὸν διατομῆς  $1 \text{ mm}^2$  και ἡ ἀντίστασή του είναι  $4 \Omega$ . α) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν ἀντίσταση ἐνὸς καλωδίου ἀπὸ τὸ ἴδιο όλικό, τῆς ἴδιας διατομῆς, ἀλλὰ μήκους  $12 \text{ m}$ . β) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν ἀντίσταση ἐνὸς καλωδίου, ἀπὸ τὸ ἴδιο πάλι όλικό, μήκους  $5 \text{ m}$  ἀλλὰ ἐμβαδὸν διατομῆς  $3 \text{ mm}^2$ . γ) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν εἰδικὴ ἀντίσταση τοῦ κράματος ποὺ χρησιμοποιοῦμε γιὰ τὴν κατασκευὴ ἀντών τῶν καλωδίων. (*Απ. α'  $9,6 \Omega$ . β'  $1,33 \Omega$ . γ'  $80 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ .*)

**141.** Σὲ ἔνα κύκλωμα είναι συνδεμένες σὲ σειρὰ οἱ ἀκόλουθες συσκευές: *Mla* γεννήτρια, ἔνα ἀμπελόμετρο και μία ἀντίσταση. α) Νὰ ὑπολογίσετε τὴν τιμὴ τῆς ἀντιστάσεως  $R$ , γνωρίζοντας ὅτι ἀποτελεῖται ἀπὸ σύρμα μὲ διάμετρο  $0,4 \text{ mm}$ , μῆκος  $78,5 \text{ cm}$  και εἰδικὴ ἀντίσταση  $80 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ . β) "Ἐνα βολτόμετρο συνδεμένο στὶς ἄκρες τῆς ἀντιστάσεως  $R$  δείχνει διαφορὰ δυναμικοῦ  $20 \text{ Volt}$ . Ποιά θά είναι ἡ ἐνδειξη τοῦ ἀμπελομέτρου; (*Απ. α'  $5 \Omega$ . β'  $4 \text{ A}$ .*)

## ΑΒ — ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

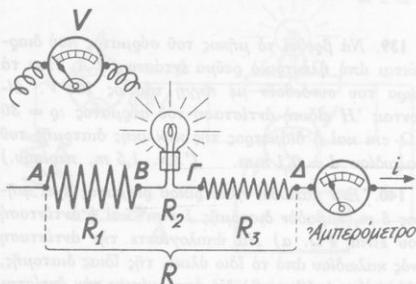
**§ 156. Γενικότητες.** "Οταν περισσότερες ἀπὸ μία ἀντιστάσεις είναι συνδεμένες σὲ ἔνα κύκλωμα ἔτσι, ώστε νὰ διαρρέονται ἀπὸ τὸ ἴδιο ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, λέμε διτὶ οἱ ἀντιστάσεις αὐτὲς είναι συνδεμένες σὲ σειρά.

"Υπάρχει δῆμος και ἔνας ἄλλος τρόπος συνδέσεως ἀντιστάσεων, κατὰ τὸν ὅποιον οἱ ἀντιστάσεις σχηματίζουν διακλαδώσεις ποὺ δὲν διαρρέονται ἀπὸ τὸ ἴδιο ρεῦμα. Ἡ σύνδεση αὐτὴ λέγεται σύνδεση κατὰ διακλαδωση ἢ παράλληλη.

**§ 157. Σύνδεση σὲ σειρά. Πείραμα.** Συνδέομε μερικὲς ἡλεκτρικὲς ἀντιστάσεις σὲ

σειρά, π.χ. μιὰν ἡλεκτρικὴ θερμάστρα, ἔνα λαμπτήρα και ἔνα ροοστάτη (σχ. 148), και τὶς τροφοδοτοῦμε μὲ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα. Τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος τὴν μετροῦμε μὲ ἔνα ἀμπερόμετρο και τὴ βρίσκομε:  $i = 0,5 \text{ A}$ . Γιὰ νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ἀντίσταση κάθε μιᾶς συσκευῆς ξεχωριστά, μετροῦμε μὲ ἔνα βολτόμετρο τὴν τάση ποὺ ἐπικρατεῖ στὰ ἄκρα τῆς και ὑπεριανά μετροῦμε τὴν ἐξίσωση  $R = U/i$ .

Μετρώντας τὶς τάσεις ποὺ ἐπικρατοῦν στὰ σημεῖα  $A$ ,  $B$ ,  $\Gamma$ ,  $\Delta$ , βρίσκομε διτὶ:  $U_A - U_B = U_1 = 20 \text{ V}$ ,  $U_B - U_\Gamma = U_2 = 65 \text{ V}$ ,  $U_\Gamma - U_\Delta = U_3 = 30 \text{ V}$ .



Σχ. 148. Οι άντιστάσεις σε σειρά προσθέτονται.

Συνεπῶς θὰ έχουμε:

$$R_{\text{ολ}} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{U_1}{i} = \frac{20}{0,5} = 40 \Omega$$

$$R_2 = \frac{U_2}{i} = \frac{65}{0,5} = 130 \Omega$$

$$R_3 = \frac{U_3}{i} = \frac{30}{0,5} = 60 \Omega$$

Η άντισταση  $R_{\text{ολ}}$  τῶν τριῶν συσκευῶν, δταν θεωρηθοῦν σὰν μιὰ διάταξη, ή άντισταση δηλαδὴ ποὺ περιλαμβάνεται άναμεσα στὰ σημεῖα Α καὶ Δ τοῦ κυκλώματος δνομάζεται δύλική άντισταση τῶν τριῶν συσκευῶν καὶ ὑπόλογίζεται μὲν ἐφαρμογὴ τοῦ τύπου  $R = U/i$ , δπου μὲν  $U$  παριστάνεται ή τάση άναμεσα στὰ σημεῖα Α καὶ Δ, δηλαδὴ ή  $U_A - U_D$ .

"Οπως δμως γνωρίζομε, οἱ τάσεις, δταν

είναι διαδοχικές, προσθέτονται. Έπομένως θὰ έχουμε δτι:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 20 + 65 + 30 = 115 \text{ V}$$

καὶ συνεπῶς θὰ είναι:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{115}{0,5} = 230 \Omega$$

"Αν προσθέσουμε δμως τὶς τρεῖς άντιστάσεις  $R_1$ ,  $R_2$  καὶ  $R_3$ , βρίσκομε:

$$R_1 + R_2 + R_3 = 40 + 130 + 60 = 230 \Omega.$$

"Ωστε θὰ ἀληθεύει ή σχέση:

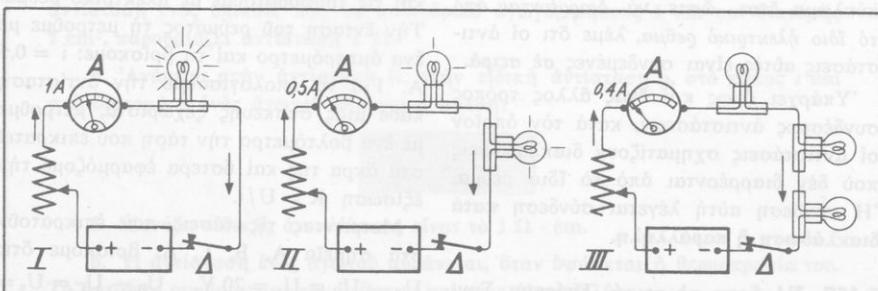
$$R_{\text{ολ}} = R_1 + R_2 + R_3$$

"Η ισότητα στὴν όποια καταλήξαμε ἐκφράζει δτι:

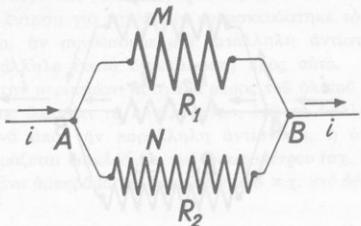
"Η διλικὴ άντισταση ( $R_{\text{ολ}}$ ) μιᾶς θμάδας άντιστάσεων, ποὺ είναι συνδέμενες σε σειρά, είναι ίση μὲ τὸ θύροισμα αὐτῶν τῶν άντιστάσεων.

### § 158. Μεταβολὴ τῆς ἔντάσεως. Πείραμα.

Σὲ ένα ηλεκτρικὸ κύκλωμα συνδέομε σε σειρά ἕνα ροοστάτη, ἕνα ἀμπερόμετρο καὶ ἕνα λαμπτήρα. Ρυθμίζομε τὸ ροοστάτη, ώστε νὰ έχουμε ἔνταση ρεύματος 1 A, καὶ κατόπι συνδέομε στὸ κύκλωμα δεύτερο καὶ τρίτο λαμπτήρα σε σειρά (σχ. 149). Παρατηροῦμε τὰ ἔξης: α) Η φωτεινὴ ίσχὺς τῶν λαμπτήρων ἔξασθενίζει, β) ή ἔνταση τοῦ ρεύματος ἐλαττώνεται.



Σχ. 149. Η ἔνταση τοῦ ρεύματος ἐλαττώνεται, δταν προσθέσουμε στὸ κύκλωμα άντιστάσεις σε σειρά.



Σχ. 150. Άντιστάσεις συνδεμένες παράλληλα.

Έφόσον οι συσκευές συνδέονται σε σειρά, αύξανεται ή διλική άντισταση τοῦ κυκλώματος, ὅλλα δταν δι παρονομαστής ἐνδὸς κλάσματος μεγαλώνει, μικραίνει ή τιμὴ τοῦ κλάσματος. Ἐπομένως συμπεραίνομε δτι ἐφόσον  $i = U/R$  καὶ μεγαλώνει ή άντισταση  $R$ , μικραίνει ή τιμὴ τοῦ κλάσματος, δηλαδὴ ή ἔνταση  $i$  τοῦ ρεύματος. Ωστε:

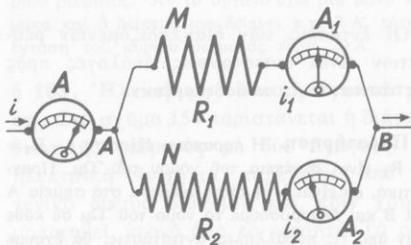
“Οταν συνδέουμε σ’ ἔνα κύκλωμα συσκευές σε σειρά, ἐλαττώνεται ή ἔνταση τοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τό κύκλωμα.

**§ 159. Σύνδεση ἀντιστάσεων συνδεμένων παράλληλα.** Τὰ σημεῖα  $A$  καὶ  $B$  ἐνδὸς κυκλώματος συνδέονται μὲν δύο ἀγωγοὺς  $AMB$  καὶ  $ANB$ , ποὺ ἔχουν ἀντίστοιχα ἀντιστάσεις  $R_1$  καὶ  $R_2$  (σχ. 150). Λέμε δτι οἱ δύο αὐτές ἀντιστάσεις εἰναι συνδεμένες κατὰ διακλάδωση ή παράλληλα. Γενικότερα:

Δύο ή περισσότερες ἀντιστάσεις εἰναι συνδεμένες κατὰ διακλάδωση ή παράλληλα, δταν τὰ ἄκρα τοὺς καταλήγουν σε δύο κοινὰ σημεῖα τοῦ κυκλώματος.

**§ 160. Ενταση τῶν διακλαδιζόμενων ρευμάτων.** α) Τὸ κύριο ρεῦμα, ἔντασεως  $i$ , ποὺ κυκλοφορεῖ στὸ κύκλωμα, διακλαδίζεται στὸ σημεῖο  $A$  καὶ σχηματίζει δύο ρεύματα, μὲ ἔντασεις  $i_1$  καὶ  $i_2$ , ποὺ διαρρέουν τὶς δύο διακλαδιζόμενες ἀντιστάσεις. Τὰ ρεύματα αὐτὰ ἐνώνονται καὶ πάλι στὸ σημεῖο  $B$  (σχ. 151).

“Αν μετρήσουμε δτην ἔνταση  $i$  τοῦ κυρίου ρεύματος μὲ τὸ ἀμπερόμετρο  $A$  καὶ τὶς ἐν-



Σχ. 151. Τὸ ἀθροισμα τῶν ἔντασεων τῶν διακλαδιζόμενων ρευμάτων ισοῦται μὲ τὴν ἔνταση τοῦ κυρίου ρεύματος.

τάσεις  $i_1$  καὶ  $i_2$  μὲ τὰ ἀμπερόμετρα  $A_1$  καὶ  $A_2$ , θὰ διαπιστώσουμε δτι:

Η ἔνταση  $i$  τοῦ κυρίου ρεύματος εἰναι ίση μὲ τὸ ἀθροισμα τῶν ἔντασεων  $i_1$  καὶ  $i_2$  τῶν διακλαδιζόμενων ρευμάτων.

Δηλαδὴ ἔχουμε δτι:  $i = i_1 + i_2$

β) Κατανομὴ τοῦ κυρίου ρεύματος στὶς παράλληλες ἀντιστάσεις. Ἐστω δτι οἱ παράλληλες ἀντιστάσεις τοῦ προηγούμενου σχήματος ἔχουν τιμὲς  $R_1 = 30 \Omega$  καὶ  $R_2 = 90 \Omega$ , δηλαδή:

$$R_1 = \frac{1}{3} R_2 \quad \text{η} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{3}$$

Μὲ τὰ ἀμπερόμετρα  $A_1$  καὶ  $A_2$  μετροῦμε τὶς ἔντασεις τῶν ἀντίστοιχων ρευμάτων  $i_1$  καὶ  $i_2$  καὶ βρίσκομε δτι:  $i_1 = 0,6 \text{ A}$  καὶ  $i_2 = 0,2 \text{ A}$ .

Παρατηροῦμε δτι τὸ ρεῦμα  $i_1$  εἰναι τριπλάσιο ἀπὸ τὸ ρεῦμα  $i_2$ . Δηλαδή:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{3}{1}$$

‘Απὸ τὰ παραπάνω συμπεραίνομε δτι δ λόγος τῶν ἔντασεων τῶν δύο ρευμάτων εἰναι ίσος μὲ τὸ ἀντίστροφο τοῦ λόγου τῶν ἀντιστάσεων ποὺ διαρρέουν:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}, \quad \text{η} \quad i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$$

"Ωστε:

Οι έντασεις των διακλαδιζόμενων ρευμάτων είναι άντιστρόφως άναλογες πρὸς τις άντιστάσεις που διαρρέουν.

**Παρατήρηση.** Η παραπάνω έξισωση  $i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$  είναι συνέπεια του νόμου του "Ωμ. Πραγματικά, ἀν είναι Ου ή τάση άναμεσα στά σημεῖα A καὶ B καὶ έφαρμόσουμε τὸ νόμο τοῦ "Ωμ σὲ κάθε μιὰν ἄπο τις παράλληλες άντιστάσεις, θὰ ξουμε δτι:

$U = i_1 \cdot R_1$  καὶ  $U = i_2 \cdot R_2$ , ἀπὸ τις δότες συμπεραίνομε δτι  $i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$ .

**'Αριθμητικὴ έφαρμογὴ.** Ένα ηλεκτρικό ρεύμα διακλαδίζεται σε δύο άντιστάσεις συνδεμένες παράλληλα, ποὺ οἱ τιμές τους είναι:

$R_1 = 50 \Omega$ ,  $R_2 = 3 R_1$ . Ή ἔνταση τοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὴν πρώτη άντισταση είναι 3 A. Νὰ υπολογιστοῦν: α) Η ἔνταση τοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὴν άντισταση  $R_2$  καὶ β) Η ἔνταση τοῦ κυρίου ρεύματος.

**Άνση.** α) Αφοῦ η  $R_2$  είναι τριπλάσια τῆς  $R_1$ , θὰ ξουμε δτι:  $R_2 = 3 \cdot 50 = 150 \Omega$ .

"Εφαρμόζοντας τὴν έξισωση  $i_1 \cdot R_1 = i_2 \cdot R_2$ , βρίσκομε:  $3 \cdot 50 = i_2 \cdot 150$ .

$$\text{Άρα } i_2 = 1 \text{ A}$$

β) Επειδὴ  $i = i_1 + i_2$  θὰ ξουμε δτι:

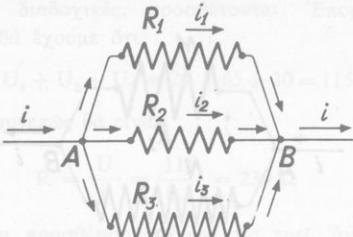
$$i = 3 + 1 = 4 \text{ A}$$

**§ 161.** Υπολογισμὸς τῆς δὲικῆς άντιστάσεως μιᾶς διακλαδιζόμενων παράλληλων παράλληλης.

"Οικικὴ άντισταση  $R_{ολ}$  μιᾶς διακλαδιζόμενης παράλληλης άναμεσα στά σημεῖα A καὶ B, ονομάζεται η άντισταση, η δοποία, δταν τοποθετηθεῖ στὴ θέση αὐτῶν τῶν άντιστάσεων, δὲν μεταβάλλει οὔτε τὴν ἔνταση ι τοῦ κυρίου ρεύματος οὔτε τὴν τάση ποὺ ἐπικρατεῖ στά σημεῖα A καὶ B.

"Εστω  $R_{ολ}$  η δὲικὴ άντισταση μιᾶς διακλαδιζόμενης παράλληλης άντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , συνδεμένων παράλληλα άναμεσα στά σημεῖα A καὶ B, ονομάζεται συνήθως έτσι, δτε πορούν νὰ χρησιμοποιηθοῦν μέχρι μιὰν δριμένη ένταση ρεύματος.

$$U = R_{ολ} \cdot i \quad \text{η} \quad i = \frac{U}{R_{ολ}}$$



Σχ. 152. Αγωγοὶ συνδεμένοι παράλληλα.

"Αν έφαρμόσουμε ἄλλωστε τὸ νόμο τοῦ "Ωμ σὲ κάθε μίᾳ ἄπο τις παράλληλες άντιστάσεις, θὰ ξουμε δτι:

$$U = R_1 \cdot i_1 \quad \text{η} \quad i_1 = \frac{U}{R_1}, \quad U = R_2 \cdot i_2 \quad \text{η} \quad i_2 = \frac{U}{R_2},$$

$$U = R_3 \cdot i_3 \quad \text{η} \quad i_3 = \frac{U}{R_3}.$$

"Επειδὴ δμως  $i = i_1 + i_2 + i_3$ , θὰ Ισχύει η σχέση:

$$\frac{U}{R_{ολ}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

ποὺ ἀπλοποιεῖται μὲ τὸ U καὶ γίνεται:

$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

"Οταν μίᾳ διάδα άντιστάσεων  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  κλπ. είναι συνδεμένες παράλληλα, τὸ άντιστρόφο  $1/R_{ολ}$  τῆς δὲικῆς τους άντιστάσεων  $R_{ολ}$  είναι ίσο μὲ τὸ ίδηθοισμα τῶν άντιστρόφων  $1/R_1$ ,  $1/R_2$ ,  $1/R_3$  κλπ. τῶν παράλληλων άντιστάσεων.

**'Αριθμητικὴ έφαρμογὴ.** Τρεῖς άντιστάσεις  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 5 \Omega$  είναι συνδεμένες παράλληλα. Νὰ βρεθεῖ η δὲικὴ άντισταση  $R_{ολ}$  τῶν τριῶν παράλληλων άντιστάσεων.

**Άνση.** Εχομε δτι:  $\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$   
η  $\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{31}{30}$ .

Δηλαδή:

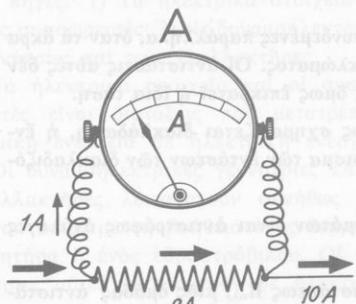
$$R_{ολ} = \frac{30}{31} \Omega = 0,97 \Omega$$

**§ 162. Διακλαδωση ἀμπερομέτρου.** Τὰ ἀμπερόμετρα κατασκευάζονται συνήθως έτσι, δτε πορούν νὰ χρησιμοποιηθοῦν μέχρι μιὰν δριμένη ένταση ρεύματος.

Μπορούμε δημοσίευτα μέρος του αμπερόμετρου να μετρήσουμε και ρεύματα μεγαλύτερης έντασεως από την ένταση για την οποία κατασκευάστηκε το δργανό, αν συνδέσουμε μια κατάλληλη άντισταση παράλληλα (κατά διακλάδωση) πρός αύτό.

Στήνωντας αυτή ένα μέρος του θλικού ρεύματος διαρρέει το αμπερόμετρο, έναντι της υπόλοιπης περνά από την παράλληλη άντισταση, η οποία δονούμεται διακλάδωση του άμπερομέτρου (σχ. 153).

\*Ένα αμπερόμετρο διακλαδισμένο π.χ. στο δέκατο

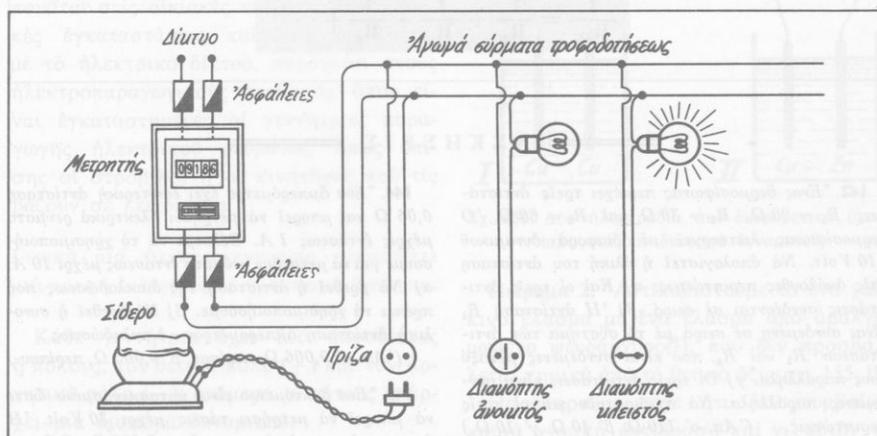


Σχ. 153. Αμπερόμετρο διακλαδισμένο στο δέκατο.

είναι ένα δργανό άπ' όπου περνά το 1/10 του κυρίου ρεύματος. "Αν τό δργανό έχει μια μόνο κλίμακα και δείκτης του δείχνει π.χ. 2 A, τότε ή ένταση του κύριου ρεύματος είναι 20 A.

**§ 163. Ήλεκτρική οίκιακή έγκατασταση.** Στό σχήμα 154 παριστάνεται ή διάταξη διανομής ρεύματος με δύο άγωνούς. Η ηλεκτρική ένέργεια παρέχεται από το γενικό δίκτυο διανομής και, πρίν χρησιμοποιηθεί, περνά από το μετρητή. Το ρεύμα έπισης διαρρέει άσφαλτεις, πρίν και μετά από το μετρητή, και, άφοδ περάσει από τὸν γενικὸν διακόπτη, διοχετεύεται μὲν χοντρὰ σύρματα στοὺς διάφορους χώρους τῆς έγκαταστάσεως.

Οι διάφορες συσκευές και οι λαμπτήρες συνδέονται παράλληλα μὲν τὰ σύρματα τροφοδοτήσεως και σὲ κάθε λαμπτήρα τοποθετεῖται και ένας διακόπτης. Η παράλληλη σύνδεση παρουσιάζει τὸ πλεονέκτημα διτι μπορούμε νὰ χρησιμοποιούμε τοὺς λαμπτήρες ή τὶς συσκευές ἀνεξάρτητα τὴν μία απὸ τὴν ἄλλη.



Σχ. 154. Κύκλωμα ηλεκτρικής οίκιακής έγκαταστάσεως.

1. Δύο ή περισσότερες άντιστάσεις είναι συνδέμενες σε σειρά, όταν διαρρέονται από τό το ίδιο ρεύμα.

2. Η θλική άντισταση  $R_{\text{ol}}$  μιᾶς θμάδας άντιστάσεων  $R_1, R_2, R_3$  κλπ., συνδεμένων σε σειρά, είναι ίση με τό άθροισμα τῶν άντιστάσεων τῆς θμάδας. Δηλαδή:

$$R_{\text{ol}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

3. Η σύνδεση άντιστάσεων σε σειρά προκαλεῖ έλλαττωση τῆς έντάσεως τοῦ ρεύματος τοῦ κυκλώματος.

4. Δύο ή περισσότερες άντιστάσεις είναι συνδέμενες παράλληλα, όταν τὰ ἄκρα τους καταλήγουν σε δύο κοινά σημεία τοῦ κυκλώματος. Οι άντιστάσεις αὐτὲς δὲν διαρρέονται από τό το ίδιο ρεύμα, στὰ ἄκρα τους θμως ἐπικρατεῖ ή ίδια τάση.

5. Οταν σὲ ένα σημεῖο ένδος κυκλώματος σχηματίζεται διακλάδωση, ή ένταση τοῦ κυρίου ρεύματος είναι ίση με τό άθροισμα τῶν έντάσεων τῶν διακλαδιζόμενων ρευμάτων.

6. Οι έντάσεις τῶν διακλαδιζόμενων ρευμάτων είναι άντιστρόφως άναλογες πρὸς τὶς άντιστάσεις ποὺ διαρρέουν.

7. Τὸ άντιστρόφο 1/ $R_{\text{ol}}$  τῆς θλικῆς άντιστάσεως  $R_{\text{ol}}$ , μιᾶς θμάδας άντιστάσεων  $R_1, R_2, R_3$  κλπ. συνδεμένων παράλληλα, είναι ίσο μὲ τό άθροισμα τῶν άντιστρόφων τῶν παράλληλων άντιστάσεων. Δηλαδή:

$$\frac{1}{R_{\text{ol}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**142.** "Ένας θερμοσίφωνας περιέχει τρεῖς άντιστάσεις  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 30 \Omega$  καὶ  $R_3 = 60 \Omega$ . Ο θερμοσίφωνας λειτουργεῖ μὲ διαφορὰ δυναμικοῦ 110 Volt. Νὰ υπολογιστεῖ ή θλική του άντισταση στὶς ἀκόλουθες περιπτώσεις: α) Καὶ οἱ τρεῖς άντιστάσεις συνδέονται σὲ σειρά. β) Η άντισταση  $R_1$  είναι συνδέμενη σὲ σειρά μὲ τὸ σύστημα τῶν άντιστάσεων  $R_2$  καὶ  $R_3$ , ποὺ είναι συνδέμενες μεταξύ τους παράλληλα. γ) Οι τρεῖς άντιστάσεις είναι συνδέμενες παράλληλα. Νὰ σχεδιαστοῦν καὶ οἱ τρεῖς περιπτώσεις. ("Απ. α' 110 Ω. β' 40 Ω. γ' 10 Ω.)

**143.** Νὰ μελετηθοῦν ὅλες οἱ δυνατὲς περιπτώσεις συνδέσεως τριῶν άντιστάσεων  $1 \Omega$ ,  $2 \Omega$  καὶ  $3 \Omega$  καὶ νὰ βρεθεῖ, γιὰ κάθε περιπτωση, ή θλικὴ άντισταση. ("Απ. α' 6 Ω. β' 0,54 Ω. γ' 2,2 Ω. δ' 2,75 Ω. ε' 3,66 Ω.)

**144.** "Ένα ἀμπελοφέτρο ἔχει ἑσωτερική άντισταση  $0,05 \Omega$  καὶ μπορεῖ νὰ μετρήσει ἡλεκτρικὰ φεύγματα μέχρις έντάσεως 1 A. Θέλονμε νὰ τὸ χρησιμοποιήσουμε γιὰ νὰ μετροῦμε φεύγματα έντάσεως μέχρι 10 A. α) Νὰ βρεθεῖ ή άντισταση τῆς διακλαδώσεως ποὺ πρέπει νὰ χρησιμοποιήσουμε. β) Νὰ βρεθεῖ ή συνολικὴ άντισταση ἀμπελοφέτρου - διακλαδώσεως.

("Απ. α' 0,006 Ω, περίπου. β' 0,005 Ω, περίπου.)

**145.** "Ένα βροτόμετρο είναι κατασκευασμένο ὥστε νὰ μπορεῖ νὰ μετρήσει τάσεις μέχρι 30 Volt. Η ἑσωτερική τον άντισταση είναι  $2\,500 \Omega$ . Θέλονμε νὰ τὸ χρησιμοποιήσουμε γιὰ νὰ μετροῦμε διαφορὰ δυναμικοῦ μέχρι 240 Volt. Ποιά διάταξη πρέπει νὰ νίσθετήσουμε καὶ ποιά άντισταση πρέπει νὰ χρησιμοποιήσουμε; ("Απ. Σύνδεση άντιστάσεως  $R$  σὲ σειρά,  $R = 17\,500 \Omega$ .)

## ΑΓ' — ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

**§ 164. Γενικότητες.** Οι ήλεκτρικές πηγές ή γεννήτριες ήλεκτρικού ρεύματος είναι συσκευές που άποδιδουν ήλεκτρικό ρεύμα.

Γιά τὴν παραγωγὴ καὶ τὴν παροχὴ τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος χρησιμοποιοῦμε σήμερα στὴν πράξη, ἀνάλογα μὲ τὶς ἀνάγκες, ὡς πηγές: 1) Τὰ ήλεκτρικὰ στοιχεῖα. 2) τοὺς συστρεψτές. 3) τὶς δυναμοηλεκτρικές γεννήτριες καὶ τοὺς ἐναλλακτῆρες.

Τὰ ήλεκτρικὰ στοιχεῖα καὶ οἱ συστρεψτές εἰναι διατάξεις ποὺ μετατρέπουν χημικὴ ἐνέργεια σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια.

Οἱ δυναμοηλεκτρικές γεννήτριες καὶ οἱ ἐναλλακτῆρες λειτουργοῦν συνήθως στὰ ἔργοστάσια, μὲ τὴ βοήθεια ἐνὸς θερμικοῦ κινητῆρα ή ἐνὸς ὑδροστρόβιλου. Οἱ γεννήτριες αὐτὲς μετατρέπουν σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια τὴ μηχανικὴ ἐνέργεια ποὺ τοὺς προσφέρει δι κινητῆρας.

Ἡ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια, ποὺ χρησιμοποιεῖται στὶς οἰκιακὲς καὶ στὶς βιομηχανικὲς ἐγκαταστάσεις καὶ ποὺ διανέμεται μὲ τὸ ήλεκτρικὸ δίκτυο, παράγεται στοὺς ήλεκτροπαραγωγικοὺς σταθμούς, διόπου εἰναι ἐγκαταστημένες οἱ γεννήτριες παραγωγῆς ήλεκτρικού ρεύματος, δῆπος ἐπίσης οἱ στρόβιλοι ή οἱ κινητῆρες ποὺ τὶς βάζουν σὲ λειτουργία.

Γενικὰ μιὰ ήλεκτρογεννήτρια μετατρέπει μιὰ μορφὴ ἐνέργειας σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια.

Κάθε γεννήτρια ἔχει δύο ἀκροδέκτες ἢ πόλους, τὸν θετικὸ πόλο (+) καὶ τὸν ἀρνητικὸ πόλο (-) ἀνάμεσα σ' αὐτοὺς ὑπάρχει μιὰ διαφορὰ δυναμικοῦ.

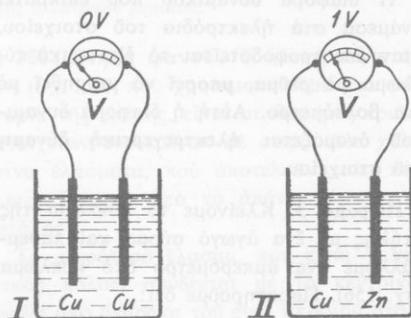
"Οταν οἱ δύο πόλοι ἐνώθοδην μὲ ἔνα ἀγωγὸ σύρμα, δι ἀρνητικὸς πόλος, ποὺ ἔχει πλεόνασμα ήλεκτρονίων, τὰ ἀπωθεῖ καὶ τὰ ἀποδίδει στὸ ἔχωτερικὸ κύκλωμα. Ὁ θετικὸς πόλος τὰ ἔλκει. Σ' αὐτὸ ἀκριβῶς

τὸ φαινόμενο τῆς ἔλξης καὶ τῆς ἀπώσεως τῶν ήλεκτρονίων ἀπὸ τοὺς δύο πόλους δοφείλεται τὸ συνεχές ηλεκτρικὸ ρεῦμα.

**§ 165. Ἡλεκτρικὸ στοιχεῖο τοῦ Βόλτα (Volta).**

**Πείραμα 1.** Βιθίζομε δύο λεπτὰ χάλκινα ἐλάσματα, χωρὶς αὐτὰ ν' ἀγγίζουν τὸ ἔνα τ' ἄλλο, σὲ ἀραιὸ διάλυμα θειικοῦ δέξιος (δέξινισμένο νερό) καὶ τὰ συνδέομε μὲ τοὺς ἀκροδέκτες ἐνὸς βολτομέτρου, ὅπότε παρατηροῦμε ὅτι ὁ δείκτης τοῦ βολτομέτρου δὲν ἀποκλίνει καὶ ὅτι καμιὰ χημικὴ ἀντίδραση δὲν γίνεται.

Τὸ θειικὸ δέξιο ἀραιωμένο καὶ «ἐν ψυχρῷ» δὲν προσβάλλει τὸ χαλκό (σχ. 155, I).



**Σχ. 155.** Δύο ήλεκτρόδια ἀπὸ διαφορετικὸ ύλικο παρουσιάζουν διαφορὰ δυναμικοῦ.

**Πείραμα 2.** Ἀντικαθιστοῦμε τὸ ἔνα χάλκινο ἐλάσμα μὲ ἔνα χλασμα ἀπὸ ἀμαλγαμού ψευδάργυρο<sup>(1)</sup>, ποὺ δὲν προσβάλλεται χημικὰ ἀπὸ τὸ θειικὸ δέξιο (σχ. 155, II).

Παρατηροῦμε τότε ὅτι δὲν συμβαίνει καμιὰ χημικὴ ἀντίδραση καὶ γι' αὐτὸν τὸ

(1) Ὁ ἀμαλγαμού ψευδάργυρος παρασκευάζεται, ἀν τρίψουμε μὲ στουπὶ ἔνα κομμάτι καθαρὸ ψευδάργυρο μέσα σὲ διάλυμα ποὺ περιέχει ὑδράργυρο καὶ δέξινισμένο μὲ θειικὸ δέξιο νερό.

λόγο τὸ θεικὸ δέξν δὲν προσβάλλει τὸν ἀμαλγαμωμένο ψευδάργυρο, ὅπως ἐπίσης δτὶ καὶ δείκτης τοῦ βολτομέτρου ἀποκλίνει καὶ δείχνει περίπου 1 Volt.

\*Αν τώρα πλησιάσουμε ἡ ἀπομακρύνουμε μεταξύ τους τὰ δύο ἡλεκτρόδια, ἡ θέση τοῦ δείκτη δὲν μεταβάλλεται, πράγμα ποὺ σημαίνει δτὶ:

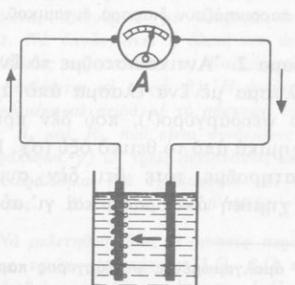
\*Πάρχει μιὰ διαφορὰ δυναμικοῦ ἀνάμεσα στὰ δύο διαφορετικὰ μεταλλικὰ ἔλασματα, δηλαδὴ ἀνάμεσα σὲ δύο ἡλεκτρόδια διαφορετικοῦ ὄντος, ποὺ εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὴν ἀπόστασην ποὺ τὰ χωρίζει.

\*Ἡ δῃ διάταξη, ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ τὰ δύο διαφορετικὰ ἡλεκτρόδια βυθισμένα μέσα στὸ δξυνισμένο νερό, μαζὶ μὲ τὸ δοχεῖο, δνομάζεται ἡλεκτρικὸ στοιχεῖο.

\*Ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ ποὺ ἐπικρατεῖ ἀνάμεσα στὰ ἡλεκτρόδια τοῦ στοιχείου, δταν δὲν τροφοδοτεῖται τὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα μὲ ρεῦμα, μπορεῖ νὰ μετρηθεῖ μὲ ἔνα βολτόμετρο. Αὐτὴ ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ δνομάζεται ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τοῦ στοιχείου.

Πείραμα 3. Κλείνομε τὸ κύκλωμα τῆς στήλης μὲ ἔνα ἀγωγὸ σύρμα καὶ παρεμβάλλομε ἔνα ἀμπερόμετρο στὸ κύκλωμα (σχ. 156). Παρατηροῦμε δτὶ:

α) Ὁ δείκτης τοῦ ἀμπερομέτρου ἀποκλί-



Σχ. 156. Ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μὲ ἔνταση ποὺ μικραίνει διαρρέει τὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα.

νει, πράγμα ποὺ σημαίνει δτὶ ὁ ἀγωγὸς διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

\*Ἀπὸ τὴ φορὰ τῆς ἀποκλίσεως τοῦ δείκτη τοῦ ἀμπερομέτρου συμπεραίνομε δτὶ τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα διαρρέει τὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα καὶ κινεῖται ἀπὸ τὸ ἔλασμα τοῦ χαλκοῦ πρὸς τὸ ἔλασμα τοῦ ψευδάργυρου.

\*Ἐμφανίζονται φυσαλίδες ἀερίου ἐπάνω στὸ ἔλασμα τοῦ χαλκοῦ, πράγμα ποὺ σημαίνει δτὶ γίνεται μία χημικὴ ἀντίδραση. Οἱ φυσαλίδες αὐτὲς εἶναι φυσαλίδες ὄνδρογόνου.

\*Ἀλλωστε καὶ ὁ ψευδάργυρος προσβάλλεται, καὶ ἀν τὸ πείραμα παραταθεῖ, τὸ ἔλασμα τοῦ ψευδάργυρου ἀρχίζει νὰ διαλύεται ἀργά.

\*γ) Παρατηροῦμε δτὶ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ἐλαττώνεται πολὺ γρήγορα.

\*Ἀπὸ τὰ παραπάνω πειράματα συμπεραίνομε δτὶ:

\*Ἀνάμεσα σὲ δύο ἡλεκτρόδια ἀπὸ διαφορετικοῦ ὄντος, ποὺ τὰ βυθίζομε σὲ ἀραιὸ διάλυμα θεικοῦ δέξεος, ἐμφανίζεται μιὰ διαφορὰ δυναμικοῦ. \*Ἡ διάταξη αὐτὴ ἀποτελεῖ ἔνα ἡλεκτρικὸ στοιχεῖο. \*Ἡ διαφορὰ τοῦ δυναμικοῦ ἀνάμεσα στὰ δύο ἡλεκτρόδια, δταν τὸ στοιχεῖο δὲν τροφοδοτεῖ μὲ ρεῦμα τὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα, δνομάζεται ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τοῦ στοιχείου.

\*Οταν συνδέσουμε τὰ δύο ἡλεκτρόδια μὲ ἔνα ἀγωγὸ σύρμα, τότε κυκλοφορεῖ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα.

§ 166. \*Εξήγηση τῶν φαινομένων. \*Ἡ λεκτρόλινση. \*Ἄφοδ ἔχομε δύο ἡλεκτρόδια βυθισμένα σὲ ἀραιὸ διάλυμα θεικοῦ δέξεος, τὸ στοιχεῖο τοῦ Βόλτα δὲν εἶναι στὴν οὐσίᾳ τίποτε ἄλλο παρὰ ἔνα βολτάμετρο.

\*Ἡ ἐμφάνισται τῶν φυσαλίδων τοῦ ὄνδρογόνου καὶ ἡ ἀργὴ διάλυση τοῦ ἡλεκτροδίου τοῦ ψευδάργυρου δείχνουν δτὶ γίνονται χημικὲς ἀντιδράσεις μέσα στὸ στοιχεῖο.

Τό αγωγό σύρμα, άλλωστε, που συνδέει τά δύο ήλεκτρόδια, διαρρέεται άπό ήλεκτρικό ρεύμα, που άποδιεί έργο (άποκλιση τού δείκτη τού άμπερομέτρου). Δηλαδή τό ήλεκτρικό στοιχείο άποδει ήλεκτρική ένέργεια. "Ωστε:

Τό ήλεκτρικό στοιχείο είναι μία άπλη γεννήτρια ήλεκτρικού ρεύματος, που μετατρέπει τή χημική ένέργεια σε ήλεκτρική ένέργεια.

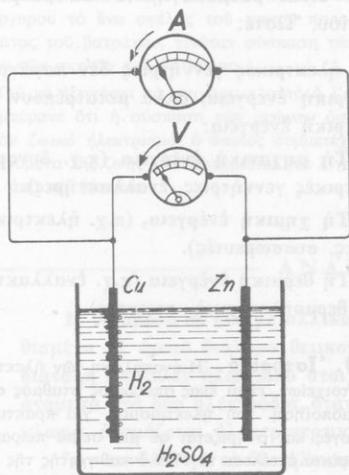
Πολλά ήλεκτρικά στοιχεῖα, κατάλληλα συνδέμενα, σχηματίζουν ήλεκτρική στήλη.

**§ 167. Πόλωση τῶν ήλεκτροδίων.** Στήν § 165 μάθαμε διτι, δταν ένα ήλεκτρικό στοιχείο τροφοδοτεί ένα έξωτερικό κύκλωμα, τό ήλεκτρικό ρέυμα έλαττάνεται παλύ γρήγορα και σε μικρό χρονικό διάστημα μηδενίζεται (σχ. 157).

Βγάζομε τό χάλκινο ήλεκτρόδιο, τό σφουγγίζομε προσεχτικά και τό ξαναβυθίζομε στό διάλυμα συνεχίζοντας τό πείραμα.

"Αν καθαρίσουμε τήν έπιφάνεια τού χάλκινου ήλεκτροδίου τρίβοντάς την μέσα σε νερό μὲν ένα φτερό, γιά νά άπομακρύνουμε τίς φυσαλίδες τού θόρογόνου, και τό ξαναβάλουμε στή δέστη του, παρατηρούμε πάλι ότι ή ένταση τού ρεύματος έχει πάλι αύξηθει.

"Από τό παραπάνω συμπεραίνομε διτι ή αίτια



Σχ. 157. Πόλωση τῶν ήλεκτροδίων άπό τό σχηματισμό φυσαλίδων θόρογόνου στό ήλεκτρόδιο τού χάλκου.

τής έλαττώσεως τής έντάσεως τού ήλεκτρικού ρεύματος είναι οι φυσαλίδες τού θόρογόνου, που είχαν σκεπάσει τήν έπιφάνεια τού χάλκινου ήλεκτροδίου.

Οι φυσαλίδες τού θόρογόνου τροποποιούν τήν έπιφάνεια τού χάλκινου έλάσματος, άλλοινοντας έτσι τό ίδιο τό ήλεκτρικό στοιχείο. Αντό τό άλλοιο μένο ήλεκτρικό στοιχείο παρουσιάζει μικρότερη ήλεκτρεγερτική δύναμη άπό διτι, τό άρχικο.

Οι φυσαλίδες τού θόρογόνου άλλωστε προβάλλουν άκομα μάλισταντισταση στό πέρασμα τού ήλεκτρικού ρεύματος.

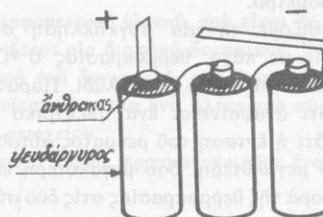
Γιά αύτούς τούς δύο λόγους τό ήλεκτρικό ρεύμα που παρέχει τό ήλεκτρικό στοιχείο έξασθενίζει. Λέμε τότε διτι τό στοιχείο πολώνεται και τό φαινόμενο άντό τό δονούμοις ηλεκτρική πόλωση.

Τό φαινόμενο τής πολώσεως έχουσετερώνεται είτε μετάχινα μέσα (καθαρισμός με ένα φτερό τῶν φυσαλίδων τού θόρογόνου) είτε με χημικά μέσα. "Ωστε:

"Ο σχηματισμός φυσαλίδων θόρογόνου στό χάλκινο ήλεκτρόδιο ένος ήλεκτρικού στοιχείου προκαλεῖ πόλωση, μὲ αποτέλεσμα τή διακοπή τής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

**§ 168. Στήλη φανού.** Η ήλεκτρική στήλη (σχ. 158), που χρησιμοποιούμε στά φανάρια τής τσέπης, είναι συνδεμένων σε σειρά. Δύο χάλκινα έλασματα, που άποτελούν τούς πόλους, έχειν άπό τό άπάνω μέρος τής στήλης.

Τό μικρότερο έλασμα, που είναι διθετικός πόλος, συνδέεται μὲ τό κεντρικό ραβδί άπό άνθρακα τού ένος άκρινού στοιχείου. Τό μεγαλύτερο έλασμα, διθρητικός πόλος, είναι συγκολλημένο στό περίβλημα άπό ψευδάργυρο, τού άλλου άκρινού στοιχείου (σχ. 158).



Σχ. 158. Ξηρή στήλη γιά φαναράκι τσέπης.

"Αν άνοιξουμε ένα στοιχείο, θά παρατηρήσουμε τά έξης μέρη: α) Τό άρνητικό ή-λεκτρόδιο, που είναι τό μεταλλικό περίβλημα άπό ψευδάργυρο. β) Τό θετικό ή-λεκτρόδιο, που άποτελείται άπό τήν κεντρική ράβδο άπό άνθρακα. γ) Τὸν ήλεκτρολύτη, που είναι πολτός χλωριούχου άμμωνίου ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). δ) Τὸν άντιπολωτικὸν όλικό, που είναι υπεροξείδιο τοῦ μαγγανίου ( $\text{MnO}_2$ ) και περιβάλλει τήν ράβδο άπό άνθρακα.

Άντο τὸ εἶδος τοῦ ήλεκτρικοῦ στοιχείου δονομάζεται ξηρὸ στοιχεῖο.

Ἡ χημικὴ ἀντιδραση ἀνάμεσα στὸν ψευδάργυρο καὶ στὸ χλωριούχῳ άμμώνιο προκαλεῖ τὴν ἀπελευθέρωση χημικῆς ἐνέργειας, που μετατρέπεται σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια.

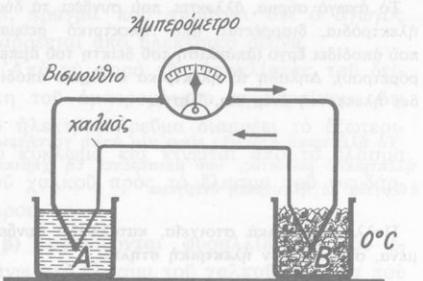
Τὸ θύρωγόν ποὺ παράγεται στὴ διάρκεια αὐτῆς τῆς ἀντιδράσεως ἐνώνεται μὲ τὸ δξυγόνο τοῦ ἀντιπολωτικοῦ όλικοῦ ( $\text{MnO}_2$ ) καὶ ἔξαφανίζεται. Ἐτσι ἀποφεύγεται ἡ πόλωση τῆς στήλης.

Κάθε ἔνα ξηρὸ στοιχεῖο ἔχει ήλεκτρεγερτικὴ δύναμη 1,5 Volt. Ἐπομένως ὁ συνδυασμὸς τῶν τριῶν στοιχείων γιὰ τὸ σχηματισμὸ τῆς στήλης τοῦ συνθισμένου φαναριοῦ τῆς τσέπης θὰ ἔχει ήλεκτρεγερτικὴ δύναμη 4,5 Volt.

**§ 169. Θερμοηλεκτρικὸ στοιχεῖο. Πείραμα.** Παίρνομε δύο μεταλλικά σύρματα άπό διαφορετικὸ όλικό, π.χ. άπό βισμούθιο καὶ χαλκό, καὶ συγκολλοῦμε τίς ἄκρες τους, παρεμβάλλοντας ἔνα πολὺ εὐαίσθητο ἀμπερόμετρο.

Βυθίζομε τὴν μία συγκόλληση σὲ ἔνα δοχεῖο μὲ πάγο, θερμοκρασίας 0 °C, καὶ τὴν ἄλλη σὲ πολὺ ζεστὸ λάδι. Παρατηροῦμε διτὶ ἀναφαίνεται ἔνα ήλεκτρικὸ ρεῦμα καὶ διτὶ ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος αὐτοῦ είναι τόσο μεγαλύτερη, δσο μεγαλύτερη είναι ἡ διαφορὰ τῆς θερμοκρασίας στίς δύο συγκόλλησεις (σχ. 159).

Σ' αὐτὸ τὸ εἶδος τοῦ στοιχείου ἡ θερμικὴ



Σχ. 159. Θερμοηλεκτρικὸ στοιχεῖο.

ἐνέργεια (ποσότητα τῆς θερμότητας ποὺ ἀποδίδεται στὴ συγκόλληση τὴ βυθισμένη στὸ δοχεῖο μὲ τὸ λάδι) μετατρέπεται σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια. Ἡ ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ δημιουργεῖται είναι πολὺ μικρὴ, γ' αὐτὸ καὶ τὸ θερμοηλεκτρικὸ στοιχεῖο δὲν χρησιμοποιεῖται στὴ βιομηχανία σὰν πηγὴ ήλεκτρικῆς ἐνέργειας.

Τὸ θερμοηλεκτρικὸ στοιχεῖο βρίσκεται ἐφαρμογὴ στὴν κατασκευὴ εὐαίσθητων θερμομέτρων γιὰ τὴ χρήση αὐτῆς τὸ ἀμπερόμετρο είναι βαθμολογημένο σὲ βαθμοὺς Κελσίου. "Ωστε:

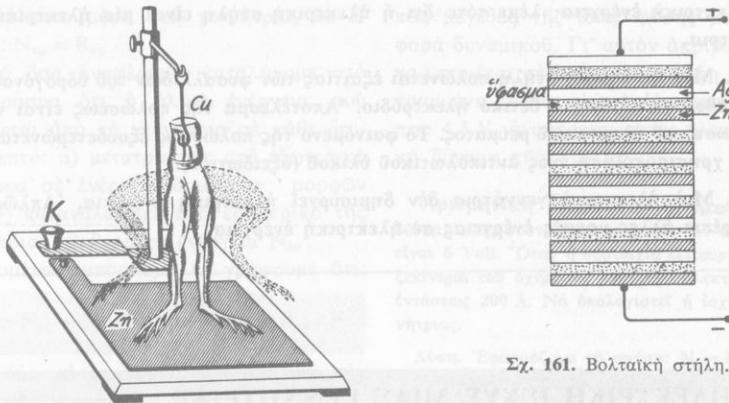
Οἱ ήλεκτρικὲς γεννήτριες δὲν παράγουν ήλεκτρικὴ ἐνέργεια, ἀλλὰ μετατρέπουν σὲ ήλεκτρικὴ ἐνέργεια:

α) Τὴ μηχανικὴ ἐνέργεια (π.χ. δυναμο-ηλεκτρικὲς γεννήτριες, ἐναλλακτήρες).

β) Τὴ χημικὴ ἐνέργεια, (π.χ. ήλεκτρικὲς στήλες, συσσωρευτές).

γ) Τὴ θερμικὴ ἐνέργεια (π.χ. ἐναλλακτῆρες, θερμοηλεκτρικὰ στοιχεῖα).

**§ 170. Ιστορικό.** Ἡ ἀνακάλυψη τῶν ήλεκτρικῶν στοιχείων, είναι ἔνας σπουδαῖος σταθμὸς στὴ χρησιμοποίηση τοῦ ήλεκτρισμοῦ γιὰ πρακτικὲς έφαρμογὲς καὶ στηρίζεται σὲ μιὰ σειρὰ πειραμάτων, ποὺ τὰ ἐκτέλεσε τὸ 1789 ὁ καθηγητὴς τῆς Ἀντονίας στὸ Πανεπιστήμιο τῆς Βολωνίας Γαλβάνι (Luigi Galvani, 1737 - 1798). Ἀπό τὰ πειράματα αὐτὰ θὰ πειργάψουμε τὸ ἀκόλουθο, ἔξατίας τῆς μεγάλης καὶ ιστορικῆς του σημασίας.



Σχ. 161. Βολταϊκή στήλη.

Σχ. 160. "Όταν πιέσουμε τό κουμπί Κ, έρχονται σ' έπαφή τά έλασματα από χαλκό και ψευδάργυρο και οι μυνώνες τού βατράχου παθαίνουν σύσπαση.

"Ο Γαλβάνι ένέκρωσε ένα βάτραχο, τού άφαίρεσε τό δέρμα, κράτησε τά πίσω σκέλη και τό παρασκευασμα τό κρέμασε από τά ισοχακά νεύρα μέ ένα χάλκινο έλασμα (σχ. 160). Στό έλασμα αύτό είχε προσαρμόσει κατάλληλα στό ένα του ίακρο ένα έλασμα από ψευδάργυρο" παρατήρησε τότε μὲ έκπληξη δτί, δταν άγγιζε μέ τό έλασμα τού ψευδάργυρου τό ένα σκέλος τού νωπού παρασκευασμάτος τού βατράχου, γινόταν σύσπαση τῶν μυώνων τῶν σκελῶν τού βατράχου.

Γιά νά ξέγγησει τό φαινόμενο αύτό δ Γαλβάνι, συμπέρανε δτί ή σύσπαση τῶν μυώνων οφείλεται στόν ζωικό ήλεκτρισμό, διόποιος συμμετέχει στά φαινόμενα τῆς ζωῆς και διατηρεῖται γιά λίγο θετερα από τό θάνατο.

Τά παραπάνω ξειναν γρήγορα γνωστά σε πλατύτερο κύκλο έπιστημόνων άναμεσα σ' αὐτούς ήταν και ο έπιστης Ιταλός διάσημος Φυσικός Βόλτα (Alessandro Volta, 1745 - 1827), καθηγητής τῆς Φυσικῆς στό Πανεπιστήμιο τῆς Παβίας, πού έδωσε τή σωτήρι έμρηνεία σε πειράμα τού Γαλβάνι, με βάση τήν, άργότερα διατυπωμένη, θεωρία του, τῆς ήλεκτρισίας έξ έπαφής άναμεσα σε δύο διαφορετικά μέταλλα.

Μέ τά πειράματα τού Γαλβάνι σε παρασκευασμάτα βατράχων πλουτίστηκαν οι γνώσεις μας γιά τόν ήλεκτρισμό και με βάση τίς έρευνες έκεινες κατόρθωσε δύο Βόλτα νά κατασκευάσει τή βολταϊκή στήλη. "Η στήλη αυτή (σχ. 16) αποτελείται από ζεύη δίσκων από χαλκό και άργυρο, πού τοποθετούνται διαδοχικά δύο ένας έπάνω στόν άλλο. Άναμεσα σε δύο δίσκους παρεμβάλλεται ένα στρώμα άφασμάτος, ποτισμένο με άραιο θεικό δέξη ή διάλυμα άλατιοδ. "Ολα σχεδόν τά μέταλλα μπορούν δύο - δύο νά αποτελέσουν στήλη τού Βόλτα.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Άναμεσα σε δύο μεταλλικά ήλεκτρόδια διαφορετικού όλικου, πού είναι βυθισμένα σε άραιο διάλυμα θεικού δέξιος, έμφανίζεται μία διαφορά δυναμικού. "Η διάταξη αποτελεῖ ήλεκτρικό στοιχείο. "Η διαφορά τού δυναμικού, πού έπικρατεῖ άναμεσα στά δύο ήλεκτρόδια, δταν δέν τροφοδοτεῖται με ρεύμα ένα ήλεκτρικό κύκλωμα, ονομάζεται ήλεκτρεγερτική δύναμη τού στοιχείου.

"Αν συνδέσουμε τά δύο ήλεκτρόδια με ένα άγωγό σύρμα, πραγματοποιούμε ένα απλό κύκλωμα, πού τό διαρρέει ήλεκτρικό ρεύμα.

2. "Η ήλεκτρική στήλη περιλαμβάνει περισσότερα ήλεκτρικά στοιχεία κατάλληλα συνδεμένα και αποτελεῖ μιά διάταξη, πού μετατρέπει τή χημική ένέργεια

σε ήλεκτρική ένέργεια· λέμε τότε ότι η ήλεκτρική στήλη είναι μία ήλεκτρική γεννήτρια.

3. Μια ήλεκτρική στήλη πολύτελεται έξαιτίας των φυσαλλίδων του άνδρογόνου που κάθονται πάνω στο θετικό ήλεκτρόδιο. Αποτέλεσμα της πολύτελεως είναι η έλάττωση του ήλεκτρικού ρεύματος. Τό φαινόμενο της πολύτελεως έξουδετερώνεται με τη χρησιμοποίηση ένδος άντιπολωτικού ύλικου (όξειδωτικού).

4. Μια ήλεκτρική γεννήτρια δέν δημιουργεῖ ήλεκτρική ένέργεια. Άπλως μετατρέπει άλλες μορφές ένέργειας σε ήλεκτρική ένέργεια.

## ΔΔ' — ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΜΙΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### ΗΛΕΚΤΡΟΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

§ 171. "Εννοια της ήλεκτρικής ισχύος μιᾶς γεννήτριας. Θεωροῦμε ένα κύκλωμα ποὺ περιλαμβάνει μία συστοιχία συσσωρευτῶν, ένα λαμπτήρα φωτισμού, ένα βολτάμετρο μὲ δυνισμένο νερό και ένα μικρὸν κινητήρα (σχ. 162).

"Εστω  $U$  η διαφορά δυναμικοῦ, ποὺ δείχνει τὸ βολτόμετρο, τὸ συνδεμένο στοὺς ἀκροδέκτες τῆς συστοιχίας, καὶ ι ή ἔνταση του ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ κύκλωμα. Στὴν περίπτωση αὐτή η τάση  $U$  είναι ίση μὲ τὴν τάση στὰ ἄκρα τοῦ κυκλώματος.

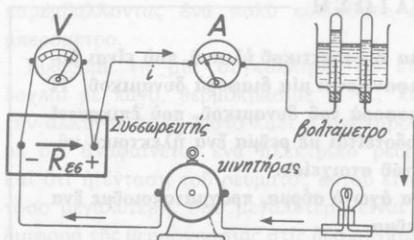
"Η ήλεκτρική ένέργεια ποὺ διοχετεύει η συστοιχία στὸ έξωτερικό κύκλωμα με-

τατρέπεται: α) σὲ θερμική ένέργεια, μέσα σὲ δόλκηρο τὸ κύκλωμα καὶ ιδιαίτερα μέσα στὸ λαμπτήρα, β) σὲ ζημική ένέργεια, μέσα στὸ βολτάμετρο, καὶ γ) σὲ μηχανική ένέργεια, μέσα στὸν κινητήρα.

"Όνομάζομε  $N_{ee}$  τὴν ένέργεια ποὺ καταναλώνεται σὲ κάθε δευτερόλεπτο ἀπὸ τὸ έξωτερικό κύκλωμα, δηλαδὴ ἀπὸ τὸ λαμπτήρα, τὸ βολτάμετρο καὶ τὸν κινητήρα, ὅποτε η  $N_{ee}$  είναι ίση μὲ τὴν ίσχὺ ποὺ δαπανᾷ τὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα. Θὰ ξούμε συνεπῶς διτ:  $N_{ee} = U \cdot i$ .

"Τὸ ρεῦμα δύμως δέν κυκλοφορεῖ μόνο στὸ έξωτερικό κύκλωμα. Συνεχίζει τὴν κυκλοφορία του καὶ μέσα στὴν πηγή, χάρη σὲ κατάλληλα ήλεκτρολυτικὰ διαλύματα η ἀγωγὰ σύρματα. Είναι λοιπὸν λογικὸ νὰ παραδεχτοῦμε διτ τὸ ρεῦμα συναντᾶ καὶ στὴν κίνησή του αὐτὴ μιὰν ἀντίσταση ποὺ προκαλεῖ ἐκλυσηθεὶρη θερμόμοτητας. Ή ἀντίσταση αὐτὴ  $R_{ee}$ , ποὺ τὴν συναντᾶ τὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα στὴν κίνησή του μέσα στὴν πηγή, λέγεται έσωτερικὴ ἀντίσταση.

"Αν  $N_{ee}$  είναι η ένέργεια ποὺ καταναλώνεται ἀπὸ τὸ φαινόμενο Τζάουλ σὲ κάθε



Σχ. 162. Γιὰ τὴ σπουδὴ τῆς άλικῆς ισχύος μιᾶς γεννήτριας.

δευτερόλεπτο μέσα στή γεννήτρια, θά ξ-  
χουμε:  $N_{es} = R_{es} \cdot i^2$ .

Από όσα άναφέραμε, καταλήγομε στό συμπέρασμα ότι η διλική ένέργεια, πού παρέχεται άπο τή γεννήτρια σε κάθε δευτερόλεπτο: α) μετατράπηκε στό ξεωτερικό κύκλωμα σε ένέργεια διαφόρων μορφών  $N_{es}$ , β) καταναλώθηκε στό έσωτερικό τής γεννήτριας σε θερμική ένέργεια  $N_{es}$ .

Έπομένως μπορούμε νά γράψουμε ότι:

$$N = N_{es} + N_{es} \quad \text{ή} \quad N = U \cdot i + R_{es} \cdot i^2$$

Οι δύο αυτές έκφρασίες δρίζουν τήν ισχὺ μιᾶς γεννήτριας. "Ωστε:

"Η ήλεκτρική ισχὺς μιᾶς γεννήτριας είναι ίση με τό διάφορισμα τῶν ισχών πού καταναλώνονται άπο τό ήλεκτρικό ρεῦμα στό ξεωτερικό κύκλωμα και στό έσωτερικό τής γεννήτριας.

**§ 172.** Ήλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς γεννήτριας. Γιά νά υπολογίσουμε τήν ισχὺ  $N_{es}$ , πού καταναλώνεται στό ξεωτερικό κύκλωμα, μετρούμε τή διαφορά δυναμικού  $U$  στούς άκροδέκτες τής πηγῆς, πού είναι ή ίδια με τή διαφορά δυναμικού στά άκρα τού κυκλώματος, δταν αυτό διαρρέεται άπο ρεῦμα, και τήν ένταση i τού ρεύματος, δπότε θά ξχουμε ότι:  $N_{es} = U \cdot i$ .

Κατ' άναλογία πρός τὸν τύπο αυτόν, γράφομε ότι η διλική ισχὺς  $N_{ol}$ , πού παρέχει μιὰ γεννήτρια, δίνεται άπο τή σχέση:

$$N_{ol} = E \cdot i$$

δπού η  $E$  άποτελεί τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τής γεννήτριας. "Ωστε:

"Η ήλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  μιᾶς γεννήτριας είναι ίση με τό πηλικό τής συνολικῆς ισχύος τής γεννήτριας πρός τήν ένταση τού ρεύματος πού παράγει.

"Η ήλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  είναι συνε-

πώς μέγεθος τής ίδιας φύσης με τή διαφορά δυναμικού. Γι' αυτόν δικριβός τό λόγο μετριέται σε Βόλτ. Ή ένδειξη πού είναι γραμμένη έπάνω σε μιὰ ήλεκτρική στήλη, π.χ. 4,5 V, άναφέρεται στήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τής στήλης.

'Αριθμητική έκφραση. Η ήλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς συστοιχίας συσσωρευτῶν αύτοκινήτου είναι 6 Volt. "Όταν η συστοιχία λειτουργεῖ κατά τό ξεκίνημα τού διχήματος άποδίδει ήλεκτρικό ρεῦμα έντασεως 200 A. Νά υπολογιστεί η ισχύς τής γεννήτριας.

Λόντ. Έφαρμόζουμε τή σχέση:  $N = E \cdot i$ .

'Αντικαθιστώντας τά σύμβολα με τίς τιμές τους βρίσκουμε:

$$N = 6 V \times 200 A = 1200 \text{ Watt}$$

**§ 173.** Ήλεκτρική ένέργεια μιᾶς γεννήτριας. Αν μία γεννήτρια ήλεκτρικής ισχύος  $N$  Watt άποδίδει ήλεκτρικό ρεῦμα σταθερής έντασεως γιά χρόνο  $t$  sec, η ήλεκτρική ένέργεια  $A$  πού άποδόθηκε σ' αυτόν τό χρόνο είναι ίση μέ:  $A = N \cdot t$ . "Επειδή δημος  $N = E \cdot i$ , η παραπάνω σχέση γράφεται:

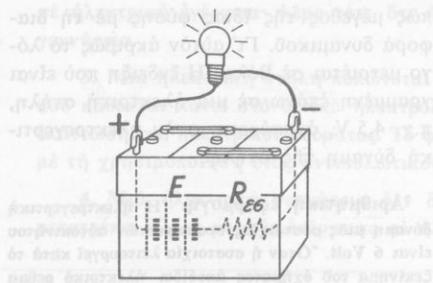
$$A = E \cdot i \cdot t$$

και η ήλεκτρική ένέργεια  $A$  έκφραζεται σε μονάδες Τζάουλ (Joule).

**§ 174.** Νόμος τού "Ωμ  $\sigma$  σε πλήρες κύκλωμα. "Ας θεωρήσουμε ένα ήλεκτρικό κύκλωμα, δπού οι καταναλωτές (άντιστάσεις) μετατρέπουν σε θερμότητα δλη τήν ήλεκτρική ένέργεια πού παίρνουν. Αυτό τό κύκλωμα έπομπών δὲν θά περιλαμβάνει ούτε βολτάμετρο ούτε κινητήρα (σχ. 163).

"Εστω  $R$  η συνολική άντισταση τῶν καταναλωτῶν,  $R_{es}$  η έσωτερική άντισταση, Ε η ήλεκτρεγερτική δύναμη τής γεννήτριας και i η ένταση τού ρεύματος πού άποδίδει η γεννήτρια.

"Η ισχὺς πού καταναλώνεται στό ξεωτερικό κύκλωμα, έχαιτιας τού φαινομένου



Σχ. 163. Η έσωτερική άντισταση  $R_{es}$  της πηγής θεωρείται συνδεμένη σε σειρά με την άντισταση τού έσωτερικού κυκλώματος.

Τζάουλ, είναι ίση με  $R \cdot i^2$ , ένω ή ισχύς πού καταναλώνεται από την ίδια τη γεννήτρια, έξαιτίας πάλι τού φαινομένου Τζάουλ, είναι ίση με  $R_{es} \cdot i^2$  (με την προϋπόθεση βέβαια ότι ή έσωτερική άντισταση της γεννήτριας μετατρέπει δλη την ήλεκτρική ένέργεια πού παίρνει σε θερμότητα Τζάουλ).

Έπομένως ή όλικη ισχύς  $N_{ol} = E \cdot i$  πού αποδίδεται από τη γεννήτρια θά είναι:

$$N_{ol} = E \cdot i = R \cdot i^2 + R_{es} \cdot i^2$$

Δηλαδή:  $E = R \cdot i + R_{es} \cdot i$

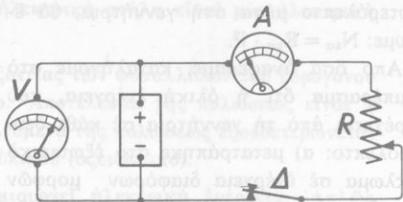
$$\text{ή } E = (R + R_{es}) \cdot i$$

Η παραπάνω σχέση έκφραζει ποσοτικά το νόμο του "Ωμ σε πλήρες κύκλωμα.

"Ωστε:

Το γινόμενο τού άθροίσματος της έσωτερικής και της έσωτερικής άντιστασεως ένως πλήρους ήλεκτρικού κυκλώματος έπι την ένταση τού ήλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει είναι ίσο με την ήλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας πού υπάρχει στο κύκλωμα.

§ 175. Διαφορά δυναμικού στά άκρα μιᾶς γεννήτριας. Όνομάζομε  $U_{yev}$  τή διαφορά δυναμικού πού έπικρατει στούς



Σχ. 164. Για τή σπουδή τής τάσης στούς πόλους μιᾶς γεννήτριας.

πόλους Α και Β της γεννήτριας (σχ. 164), δταν διαρρέεται από ρεύμα, δηλαδή στά άκρα τού έσωτερικού κυκλώματος.

Έφαρμόζοντας τό νόμο του "Ωμ στο έσωτερικό κύκλωμα, άντιστάσεως  $R$ , παίρνομε:

$$U_{yev} = R \cdot i$$

Έπομένως ή σχέση  $E = R \cdot i + R_{es} \cdot i$  γράφεται  $E = U_{yev} + R_{es} \cdot i$ , η :

$$U_{yev} = E - R_{es} \cdot i$$

Τό γινόμενο  $R_{es} \cdot i$  όνομάζεται ώμικη πτώση τάσης μέσα στή γεννήτρια.

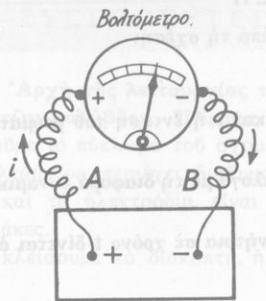
§ 176. Μέτρηση της ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως μιᾶς γεννήτριας. Για νά μετρήσουμε τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς γεννήτριας, συνδέομε τούς δύο πόλους της γεννήτριας με τούς άκροδέκτες ένως βολτόμετρου (σχ. 165).

Τά βολτόμετρα έχουν πολὺ μεγάλη έσωτερική άντισταση, με άποτέλεσμα τό ρεύμα πού τά διαρρέει νά είναι άσήμαντο.

Έάν  $R$  είναι ή άντισταση τού βολτομέτρου,  $R_{es}$  ή άντισταση της πηγής και ή ένταση τού ρεύματος, πού προκαλείται από τή σύνδεση τῶν πόλων με τούς άκροδέκτες τού βολτομέτρου, θά έχουμε:

$$E = R \cdot i + R_{es} \cdot i$$

Έπειδή θμως ή έσωτερική άντισταση  $R_{es}$  της γεννήτριας είναι πολὺ μικρή και



*Γεννήσια*

**Σχ. 165.** Μέτρηση της ήλεκτρεγερτικής δύναμεως μάς γεννήτριας.

μπορούμε νά τήν παραλείψουμε μπροστά στη μεγάλη άντισταση  $R$  του βολτόμετρου, ή παραπάνω σχέση γίνεται:

$$E = R \cdot i \text{ περίπου} \quad (1)$$

\*Αλλά ή διαφορά δυναμικού  $U_{\text{rev}}$ , πού μετριέται άπό το δργανό, είναι σύμφωνα με τό νόμο τού \*Ωμι:

$$U_{\text{rev}} = R \cdot i \quad (2)$$

Συνεπώς, άπό τις σχέσεις (1) και (2) διαπιστώνομε δτι:

$$E = U_{\text{rev}} \text{ περίπου}$$

\*Ωστε:

Τό Βολτόμετρο δείχνει τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας, δταν οι άκροδέκτες του συνδέονται με τούς πόλους της πηγής, χωρίς νά τροφοδοτείται και τό έξωτερικό κύκλωμα.

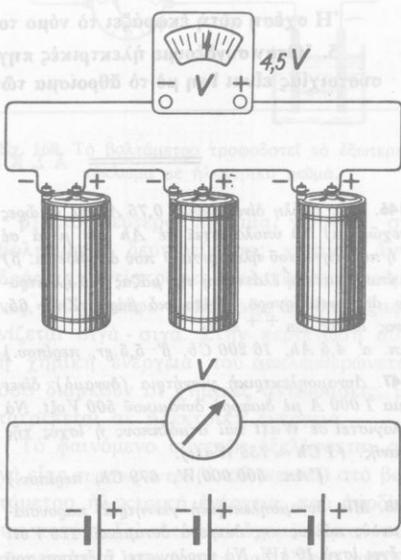
**§ 177. Σύνδεση ήλεκτρικών πηγών.** Οι συσσωρευτές, τά ήλεκτρικά στοιχεία και ή ή-

λεκτρικές στήλες πολὺ συχνά συνδέονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας συστοιχίες.

Γιά νά κατασκευάσουμε μία συστοιχία ήλεκτρικών πηγών, συνδέομε μέ αγώγό τόν άρνητικό πόλο της πρώτης πηγής με τό θετικό πόλο της δεύτερης πηγής και συνεχίζομε μέ αύτό τόν τρόπο ώς την τελευταία πηγή πού διαθέτουμε. Έτσι μενούν έλευθερος ο θετικός πόλος της πρώτης πηγής και ο άρνητικός πόλος της τελευταίας (σχ. 166), πού άποτελούν τούς πόλους της συστοιχίας. Ό τρόπος αύτός συνδέσεως ήλεκτρικών πηγών λέγεται σύνδεση σε σειρά.

\*Όπως μπορούμε μέ ένα βολτόμετρο νά δεικνύει τη σύνδεση:

\*Όταν συνδέουμε σε σειρά πολλές ήλεκτρικές πηγές, η ήλεκτρεγερτική δύναμη της συστοιχίας είναι ίση με τό άθροισμα τούς ήλεκτρεγερτικών δυνάμεων των πηγών.



**Σχ. 166.** Σύνδεσμολογία τριών ήλεκτρικών πηγών σε σειρά. Στό κάτω μέρος συμβολική παράσταση.

1. Η όλικη ίσχυς  $N$  μιᾶς γεννήτριας δίνεται από τὴ σχέση:

$$N = E \cdot i$$

ὅπου  $E$  ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τῆς γεννήτριας καὶ  $i$  ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος, ποὺ μπορεῖ νὰ δώσει ἡ γεννήτρια.

2. Η ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη εἶναι μέγεθος ἀνάλογο μὲ τὴ διαφορὰ δυναμικοῦ καὶ μετριέται σὲ Βόλτ.

3. Η ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια ποὺ παρέχει μιὰ γεννήτρια σὲ χρόνο  $t$  δίνεται απὸ τὴν ἔξισωση:

$$A = E \cdot i \cdot t$$

4. Αν  $E$  εἶναι ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη μιᾶς πηγῆς,  $R_{eq}$  ἡ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τῆς,  $R$  ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐξωτερικοῦ κυκλώματος καὶ  $i$  ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος ποὺ δίνει ἡ πηγή, ίσχνει ἡ σχέση:

$$E = (R + R_{eq}) \cdot i$$

Ἡ σχέση αὐτὴ ἐκφράζει τὸ νόμο τοῦ Ωμ σὲ πλήρες κύκλωμα.

5. Οταν συνδέουμε ἡλεκτρικὲς πηγὲς σὲ σειρά, ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τῆς συστοιχίας εἶναι ίση μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν ἡλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων τῶν πηγῶν.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

146. Μία στήλη δίνει ρεῦμα  $0,75 A$  ἐπὶ 6 ὅρες συνεχῶς. α) Νὰ ὑπολογιστεῖ σὲ  $Ah$  καὶ μετά σὲ  $Cb$  ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ ἀποδέσται. β) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἐλάττωση τῆς μάζας τοῦ ἡλεκτροδίου ἀπὸ φευδάργυρο. ( $\text{Άτομικὸ βάρος } Zn = 65$ , σθένος λόντος  $Zn^{++} = 2$ ). ( $\text{Άρ. } \alpha' 4,5 Ah, 16\ 200 Cb. \beta' 5,5 gr, περίπου.$ )

147. Δυναμοηλεκτρικὴ γεννήτρια (δύναμο) δίνει ρεῦμα  $1\ 000 A$  μὲ διαφορὰ δυναμικοῦ  $500 Volt$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ σὲ Watt καὶ ἀτμόπληπτος ἡ ίσχυς τῆς μηχανῆς. ( $1 Ch = 736 Watt$ ).

( $\text{Άρ. } 500\ 000 W, 679 Ch, περίπου.$ )

148. Μία δυναμοηλεκτρικὴ γεννήτρια παροντιάζει στὸν πόλον τῆς διαφορὰ δυναμικοῦ  $125 Volt$  καὶ ἔχει ίσχυν  $10 kW$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ μπορεῖ νὰ δώσει ἡ γενήτρια. ( $\text{Άρ. } 80 A.$ )

149. Δυναμοηλεκτρικὴ γεννήτρια λειτουργεῖ μὲ τὴ βοήθεια κινητήρα ἐσωτερικῆς καύσης.  $H$  ισχὺς τοῦ κινητήρα εἶναι  $8 Ch$  καὶ ἡ ὀλικὴ ἀπόδοση  $85\%$ . α) Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ίσχυς τῆς δυναμοηλεκτρικῆς μηχανῆς. β)  $\text{"Αν } \eta \text{ διαφορὰ δυναμικοῦ στὸν πόλον εἶναι } 125 Volt, νὰ ὑπολογιστεῖ } \eta \text{ ἔνταση τοῦ$

ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ μπορεῖ νὰ δώσει ἡ γενήτρια αὐτῆν.

( $\text{Άρ. } \alpha' 6,8 Cb, \beta' 40 A \text{ περίπου.}$ )

150. Μία ἡλεκτρικὴ στήλη ἔχει ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη  $10 Volt$ , ἐσωτερικὴ ἀντίσταση  $3 \Omega$  καὶ δίνει ρεῦμα σὲ ἕναν καταναλωτὴ ἀντιστάσεως  $5 \Omega$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ κύκλωμα.

( $\text{Άρ. } 1,25 A.$ )

151. Μία ἡλεκτρικὴ στήλη ἔχει ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη  $4,5 Volt$ .  $\text{"Οταν } \epsilon \text{ ένώσουμε τὸν δύο πόλους τῆς στήλης μὲ ἓνα ἀγωγό σύνθημα ἀντιστάσεως } 2,5 \Omega$ , κωκλοφορεῖ ρεῦμα ἐντάσεως  $1,25 A$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τῆς στήλης.

( $\text{Άρ. } 1,1 \Omega.$ )

152. Οἱ δύο πόλοι μιᾶς ἡλεκτρικῆς στήλης, ἐσωτερικῆς ἀντιστάσεως  $1 \Omega$ , εἰναι ἐνωμένοι μὲ μεταλλικὸ καλάδιο, ἀντιστάσεως  $5 \Omega$ .  $\text{"Ενα } \alpha \text{ ἀμπερόμετρο, συνδεμένο σὲ σειρά, δείχνει } 2 A$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τῆς στήλης.

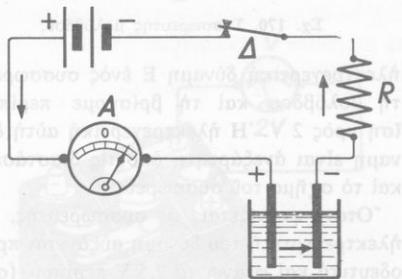
( $\text{Άρ. } 12 V.$ )

153. Οἱ δύο πόλοι μιᾶς ἡλεκτρικῆς στήλης εἶναι συνδεμένοι μὲ ἓνα ἀγωγό, ἀντιστάσεως  $3 \Omega$ , καὶ ἡ διαφορὰ δυναμικοῦ μεταξὺ τῶν εἶναι  $1,5 Volt$ .  $\text{"Οταν } \tau \text{ τὸ κύκλωμα εἶναι ἀνοιχτό, } \eta \text{ διαφορὰ δυναμικοῦ εἶναι } 2 Volt$ . Νὰ ὑπολογιστεῖ  $\eta$  ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τῆς στήλης.

( $\text{Άρ. } 9 \Omega.$ )

§ 178. Αρχή της λειτουργίας τῶν συσσωρευτῶν μολύβδου. Πείραμα 1. Συναρμολογοῦμε τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 167. Τὸ βολτάμετρο περιέχει διάλυμα θεικοῦ δξέος καὶ τὰ ἡλεκτρόδια εἰναι μολύβδινες πλάκες.

\* Αν κλείσουμε τὸ διακόπτη, ἡ ἡλεκτρι-



Σχ. 167. Ἡλεκτρικὸ ρεῦμα διαρρέει τὸ βολτάμετρο.

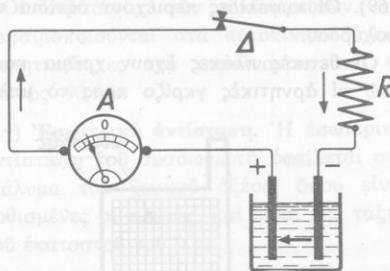
κὴ πηγὴ τροφοδοτεῖ τὸ κύκλωμα μὲν ἡλεκτρικὸ ρεῦμα καὶ δείκτης τοῦ ἀμπερομέτρου ἀποκλίνει πρὸς τὰ δεξιά.

\*Αφήνομε γιὰ λίγο κλείστο τὸ κύκλωμα καὶ unctionera ἀνοίγομε τὸ διακόπτη Δ, ὅπότε διακόπτεται ἡ παροχὴ τοῦ ρεύματος καὶ δείκτης τοῦ ἀμπερομέτρου ξαναγρίζει στὸ μηδὲν τῆς κλίμακας.

Πείραμα 2. Ἀφαιροῦμε τὴν ἡλεκτρικὴ πηγὴ τοῦ προηγούμενου κυκλώματος καὶ κλείνομε τὸ διακόπτη (σχ. 168). Παρατηροῦμε τότε ὅτι δείκτης τοῦ ἀμπερομέτρου ἀποκλίνει πρὸς τὰ ἀριστερά, πράγμα ποὺ ἀποδεικνύει ὅτι ἔνα ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, μὲν ἀντίθετη φορά ἀπὸ τὸ προηγούμενο, διαρρέει τὸ κύκλωμα. Αὐτὸ τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα παράγεται ἀπὸ τὸ βολτάμετρο, ποὺ ἔχει μεταβληθεῖ σὲ ἡλεκτρικὴ πηγὴ.

\*Ἐξήγηση τοῦ φαινομένου: α) Στὸ πρῶτο πείραμα συμβαίνει ἡλεκτρόλυση τοῦ διαλύματος τοῦ θεικοῦ δξέος μὲ πολύπλοκες

δευτερεύουσεις ἀντιδράσεις στὰ ἡλεκτρόδια. Μποροῦμε δμως νὰ παρατηρήσουμε τὸ καφὲ χρῶμα ποὺ ἀποχτᾶ ἡ ἀνοδος. Τὸ χρῶμα αὐτὸ δφείλεται σὲ δξείδιο τοῦ μολύβδου ποὺ σκέπασε τὴν ἐπιφάνεια τῆς. Ἡ ἡλεκτρικὴ δηλαδὴ ἐνέργεια ποὺ δέχεται τὸ βολτάμετρο μετατρέπεται σὲ χημικὴ ἐνέργεια.



Σχ. 168. Τὸ βολτάμετρο τροφοδοτεῖ τὸ ἔξωτερικὸ κύκλωμα μὲ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

β) Στὸ δεύτερο πείραμα γίνονται στὸ βολτάμετρο δευτερεύουσες χημικὲς ἀντιδράσεις, ἀντίστροφες ἀπὸ τίς προηγούμενες, καὶ τὸ καφὲ χρῶμα τῆς ἀνόδου ἔξαφανίζεται σιγὰ - σιγά. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ἡ χημικὴ ἐνέργεια ποὺ ἀπελευθερώνεται, δσο διαρκοῦν οἱ χημικὲς ἀντιδράσεις, μετατρέπεται σὲ ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια.

Τὸ φαινόμενο συνεπῶς ἔξελιστεται σὰν νὰ είχε συσσωρευτεῖ (ἀποθηκευτεῖ) στὸ βολτάμετρο ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια, ποὺ ἀποδίδεται κατόπι. Γ' αὐτὸ καὶ δομάστηκαν συσσωρευτὲς οἱ γεννήτριες τοῦ εἰδούς αὐτοῦ.

Τὰ δύο πειράματα ποὺ περιγράψαμε ἀντιστοιχοῦν στὴ φόρτιση καὶ τὴν ἐκφόρτιση τοῦ συσσωρευτῆ.

§ 179. Περιγραφὴ ἐνὸς συνηθισμένου συσσωρευτῆ. Τὸ βολτάμετρο μὲ τὰ μολύβδινα ἡλεκτρόδια ἔκφορτίζεται (χάνει τὸ ἡ-

λεκτρικό του φορτίο) πολὺ γρήγορα. Αύτὸς συμβαίνει, ἐπειδὴ ἡ ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ ἀποθηκεύει εἶναι πολὺ μικρή. Στὴν περίπτωση αὐτὴ λέμε δτὶ «ὁ συσσωρευτής παρουσιάζει μικρὴ χωρητικότητα».

Γιὰ νὰ αἰδήσσουμε τὴν χωρητικότητα τοῦ συσσωρευτῆς, τὴν ποσότητα δηλαδὴ τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ μπορεῖ νὰ ἀποδώσει, χρησιμοποιοῦμε ἡλεκτρόδια ἀπὸ μολύβδινες πλάκες, σκαμμένες σάν τις κυψέλες τῶν μελισσῶν, μὲ μορφὴ πλέγματος (σχ. 169). Οἱ κυψελίδες περιέχουν δξεῖδια τοῦ μολύβδου.

Οἱ θετικές πλάκες ἔχουν χρῶμα καφέ, ἐνῶ οἱ ἀρνητικές γκρίζο πρὸς τὸ μπλέ.

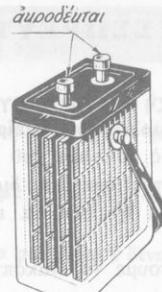


Σχ. 169. Πλάκα συσσωρευτῆς.

Πολλὲς θετικές πλάκες εἶναι συνδεμένες μεταξὺ τους: τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ μὲ τὶς ἀρνητικές πλάκες (σχ. 169). Τὸ σύστημα αὐτὸς τῶν θετικῶν καὶ ἀρνητικῶν πλακῶν τοποθετεῖται μέσα σ' ἔνα δοχεῖο ἀπὸ μονωτικὸν ὑλικὸν (γυαλί, ἐβονίτης, πλαστικές ὕλες κλπ.) ποὺ περιέχει διάλυμα θειικοῦ δέξεος (σχ. 170).

Γιὰ ν' ἀποφύγουμε τὰ βραχυκυκλώματα, τοποθετοῦμε ἀνάμεσα ἀπὸ τὶς θετικές καὶ ἀρνητικές πλάκες φύλλα ἀπὸ πορόδες μονωτικὸν ὑλικὸν (ὑαλοβάμβακας, πορόδες ἐλαστικό).

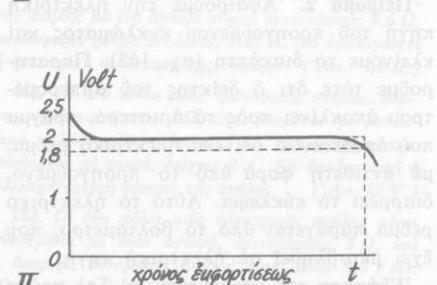
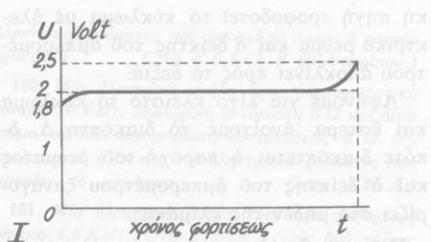
**§ 180. Χαραχτηριστικὰ μεγέθη ἐνὸς συσσωρευτῆς. α)** Ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη. Χρησιμοποιώντας ἔνα βολτόμετρο μετροῦμε τὴν



Σχ. 170. Συσσωρευτής μολύβδου.

ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη Ε ἐνὸς συσσωρευτῆς μολύβδου καὶ τὴν βρίσκομε περίπου ἵση πρὸς 2 V. Ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ αὐτὴ δύναμη εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὶς διαστάσεις καὶ τὸ σχῆμα τοῦ συσσωρευτῆς.

“Οταν φορτίζεται ὁ συσσωρευτής, ἡ ἡλεκτρεγερτικὴ του δύναμη αὐξάνεται προοδευτικὰ καὶ φτάνει τὰ 2,5 V περίπου (σχ. 171, I). Μόλις ἀρχίσει ἡ ἐκφορτίση, ἡ ἡ-



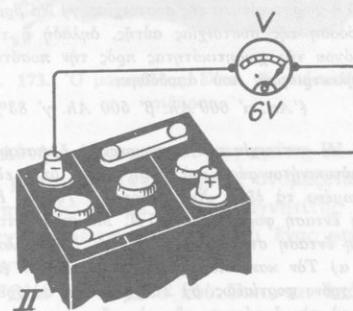
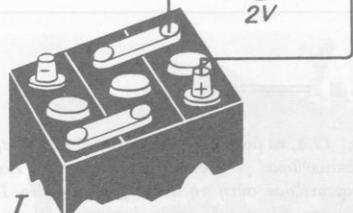
Σχ. 171. Καμπύλη φορτίσεως (I) καὶ ἐκφορτίσεως (II) ἐνὸς συσσωρευτῆς.

λεκτρεγερτική δύναμη παθαίνει άπότομη πτώση και κατεβαίνει στά 2 V. Στήν τιμή αυτή παραμένει σταθερή κατά τὸ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τῆς ἐκφορτίσεως.

Στὸ τέλος τῆς ἐκφορτίσεως ή ἡλεκτρεγερτική δύναμη πέφτει άπότομα κάτω ἀπὸ τὰ 2 V (σχ. 171, II).

Στὶς πρακτικὲς ἐφαρμογὲς χρησιμοποιοῦμε συχνὰ συστοιχίες συσσωρευτῶν, ποὺ ἀποτελοῦνται συνήθως ἀπὸ τρία ή ἔξη στοιχεῖα συσσωρευτῶν, συνδεμένα σὲ σει-

ριανὴν συστοιχίαν τριῶν συσσωρευτῶν τοῦ διαφορετικοῦ φορτίου (σχ. 172).



Σχ. 172. (I) Μέτρηση τῆς τάσης στοὺς ἀκροδέκτες ἐνὸς στοιχείου καὶ (II) στοὺς ἀκροδέκτες μιᾶς συστοιχίας τριῶν συσσωρευτῶν.

τὸν ἵστατορα τὸ ξένο τὸ διάφορο αὐτοράνιοντα ἀντικείμενον.

§ 183. Τεχνητοὶ μαγνήτες. "Αν πάρουμε μάραβδο ὅπε χάλυβα καὶ τὴν τρίψουμε μὲν φυσικὸ μαγνῆτη, παρατηροῦμε δὲ

ρά: ἔχομε τότε ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη τῆς συστοιχίας  $3 \times 2 = 6$  V ή  $6 \times 2 = 12$  V (σχ. 172). Τὰ δύο ή τρία αὐτὰ στοιχεῖα περιέχονται σὲ ἕνα κοινὸ δοχεῖο, ποὺ χωρίζεται σὲ δύο ή τρία διαμερίσματα.

β) Χωρητικότητα. Ως χωρητικότητα ἐνὸς συσσωρευτῆ δρίζομε τὴν ποσότητα τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ μπορεῖ νὰ ἀποδώσει ὁ συσσωρευτῆς στήν ἐκφόρτιση.

Ἡ χωρητικότητα ἐνὸς συσσωρευτῆ ἐκφράζεται συνήθως σὲ ἀμπεροῦρες (Ah).

Οἱ συστοιχίες τῶν συσσωρευτῶν ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὰ αὐτοκίνητα ἔχουν χωρητικότητες ποὺ κυμαίνονται ἀπὸ 45 Ah ὥς 90 Ah.

γ) Ἐσωτερικὴ ἀντίσταση. Ἡ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τοῦ συσσωρευτῆ δοφείλεται στὸ διάλυμα τοῦ θειοκοῦ δξέος, δην εἶναι βυθισμένες οἱ πλάκες, καὶ εἶναι τῆς τάξης τοῦ ἑκατοστοῦ τοῦ "Ωμ.

δ) Ἀπόδοση. Κατὰ τὴ διάρκεια τῆς ἐκφορτίσεως τοῦ δ συσσωρευτῆς ἀποδίδει τὰ 90% περίπου τοῦ ἡλεκτρισμοῦ ποὺ ἀποθήκευσε κατὰ τὴ φόρτιση. Λέμε τότε δτὶ δ συσσωρευτῆς ἔχει ἀπόδοση 90% ή 0,9.

§ 181. Χρήσεις τοῦ συσσωρευτῆ. Οἱ συσσωρευτὲς χρησιμοποιοῦνται ως πηγὲς συνεχοῦς ρεύματος στὰ ἐργαστήρια, στὰ τηλεφωνικά κέντρα, στοὺς σηματοδότες τοῦ σιδηροδρομικοῦ δικτύου κλπ. Ἐπίσης χρησιμοποιοῦνται ως ἐφεδρικὴ πηγὴ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, γιὰ τὴν περίπτωση βλάβης τοῦ δικτύου διανομῆς. Οἱ συσσωρευτὲς βρίσκουν ἐφαρμογὴ ἐπίσης στὰ αὐτοκίνητα, στὰ ὑποβρύχια, στὰ ἀεροπλάνα κλπ.

ρέρδο ὥπο μαλακὸ οἰδηρὸ (ὅπε χάλυψ) καὶ τὴν τρίψουμε μὲν φυσικὸ μαγνῆτη, θὰ παρατηρήσουμε δτὶ, ὃν μαγνητίζεται, σὲ λίγο χάνει τὸ μεγνητισμὸ τῆς.

Σημέρα, ἄκτος ἀπὸ τὸ χάλυβα, τὸ νό κατασκευάσουν ἰσχύρος μόνιμος μαγνῆ-

1. Οι συσσωρευτές είναι πηγές συνεχούς ρεύματος, που μετατρέπουν χημική ένέργεια σε ήλεκτρική ένέργεια.
2. Για νὰ λειτουργήσει ὁ συσσωρευτής, πρέπει προηγουμένως νὰ φορτιστεῖ. Φόρτιση είναι ἡ μετατροπή τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας, που δέχεται ὁ συσσωρευτής, σὲ χημική ένέργεια. Μὲ τὴν ἐκφόρτιση συμβαίνει τὸ ἀντίθετο.
3. Ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη ἐνὸς συσσωρευτῆς μολύbdου είναι περίπου 2 V. Στὴν κοινὴ χρήση συνδέομε σὲ σειρὰ δύο η περισσότερα στοιχεῖα καὶ σχηματίζομε συστοιχίες.
4. Ἡ χωρητικότητα τῶν συσσωρευτῶν, η ποσότητα δηλαδὴ τοῦ ήλεκτρισμοῦ που μποροῦν νὰ ἀποδώσουν στὴν ἐκφόρτιση, μετριέται σὲ ἀμπεράρες.
5. Οι συσσωρευτές χρησιμοποιοῦνται ὡς πηγές συνεχούς ρεύματος.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**154.** Μία συστοιχία συσσωρευτῶν ἔχει χωρητικότητα 150 Ah. Περιορίζομε τὴν ἐκφόρτιση στὰ 80% αὐτῆς τῆς χωρητικότητας. α) Πόση ποσότητα ήλεκτρισμοῦ μποροῦμε νὰ πάρουμε; β) "Αν ἡ διάρκεια τῆς ἐκφόρτισης είναι 5 h, νὰ βρεθεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ ἀποδίδεται.

('Απ. α' 432 000 Cb. β' 24 A.)

**155.** Θέλουμε νὰ ξαναφορτίσουμε μιὰ συστοιχία συσσωρευτῶν χωρητικότητας 90 Ah, χρησιμοποιώντας ήλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 9 A. α) Ἐπὶ πόσες δύος θὰ πρέπει νὰ φορτίζεται ἡ συστοιχία; β) Νὰ βρεθεῖ σὲ βατᾶρες (Wh) ἡ ήλεκτρικὴ ένέργεια ποὺ παρέχεται ἀπὸ τὸ ήλεκτρικὸ ρεῦμα, ἀν ἡ διαφορὰ τοῦ δυναμικοῦ στὰ ἄκρα τοῦ συσσωρευτῆς είναι 6,6 Volt.

('Απ. α' 10 h. β' 594 Wh.)

**156.** Οἱ μολύbdines πλάκες μᾶς συστοιχίας συσσωρευτῶν ἔχουν βάρος 100 kp. Φορτίζομε τὸ συσσωρευτή χρησιμοποιώντας ήλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 0,5 A στὸ kp μολύbdon. α) "Αν ἡ φόρτιση

διαρκεῖ 12 h, νὰ βρεθεῖ ἡ ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ ποὺ ἀπαγόρευτη γίνεται αὐτὴ τὴ φόρτιση. β) Κατόπιν ἐκφορτίζουμε αὐτὴ τὴ συστοιχία σὲ χρόνο 10 h ἀποδίδοντας ήλεκτρικὸ ρεῦμα ἐντάσεως 50 A. Νὰ βρεθεῖ ἡ χωρητικότητα τῆς συστοιχίας. γ) Νὰ βρεθεῖ ἡ ἀπόδοση τῆς συστοιχίας αὐτῆς, δηλαδὴ ἡ τιμὴ τοῦ λόγου τῆς χωρητικότητας ποὺ διατίθεται τοῦ ήλεκτρισμοῦ ποὺ ἀποδίδεται.

('Απ. α' 600 Ah. β' 500 Ah. γ' 83%).

**157.** Ἡ συστοιχία τῶν συσσωρευτῶν (μπαταρία) ἐνὸς αὐτοκινήτου φέρει μιὰ μικρὴ πλάκα, δύον εἶναι σημειωμένα τὰ ἔξης: Χωρητικότητα: 75 Ah. Κανονικὴ ἔνταση φορτίσεως: 7,5 A. Μέγιστη ἐπιτρέπομέρη ἔνταση στὴ φόρτιση 12,5 A. Νὰ ὑπολογίσετε: α) Τὸν κανονικὸ χρόνο καθὼς καὶ τὸν ἐλάχιστο χρόνο φορτίσεως. β) Τὸ χρόνο ποὺ θὰ χρειαστεῖ γιὰ τὴν ἐκφόρτιση, ἀν τὸ ρεῦμα ἐκφορτίσεως ἔχει ἔνταση 1,5 A. γ) Τὴ χωρητικότητα σὲ Cb.

('Απ. α' 10 h, 6 h. β' 50 h, 270 000 Cb.)

αρχεικα, πλακα, φυλοι υπο καρπου, μοντεκιδιού οικικού (επιλογή μεταξυ), πορθμού, θεατρικού,

**158.** Χαρακτηριστικὰ μεγίθη τῆς συσσωρευτῆς α) Ήλεκτρογεργετικὴ δύναμη. Χρησιμοποιούμεντες εἴναι βολτόμετρα μετρούμενα τὴν

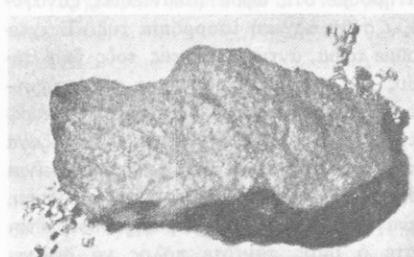
κίνησης έντασης.

β) 171. Καπιτίη φορτίους (I) καὶ θεατρικούς (II) ἐνὸς συσσωρευτοῦ.

## ΛΑΣΤ' — ΜΑΓΝΗΤΕΣ. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΥΞΙΔΑ

**§ 182. Φυσικοί μαγνήτες.** Ἀπὸ τὴν ἀρχαιότητα, πρὶν ἀπὸ 2 500 περίπου χρόνια, ἡταν γνωστὸ διὰ τὴν ὁρισμένο δρυκτὸ τοῦ σιδήρου, διὰ τὴν ἰδιότηταν νὰ ἔλκει ἀντικείμενα κατασκευασμένα ἀπὸ σίδερο, δχι δῆμος καὶ ἀπὸ ξύλο ἢ χαλκό.

**Πείραμα.** Βυθίζουμε ἔνα κομμάτι μαγνητίτη σὲ ρινίσματα σιδήρου. Παρατηροῦμε τότε διὰ, δταν τὸ ἀνασύρουμε, μένει ἐπάνω του ἔνας μεγάλος ἀριθμὸς ρινίσμάτων (σχ. 173).



Σχ. 173. Ὁ μαγνητίτης ἔλκει τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου.

Ἀντὴ ἡ ἰδιότητα τοῦ μαγνητίτη, νὰ ἔλκει τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου, ὀνομάζεται μαγνητισμός. Λέμε διὰ διὰ τὸ μαγνητίτης εἶναι μαγνητισμένος καὶ διὰ εἶναι ἔνας φυσικὸς μαγνήτης.

Ολα τὰ σώματα ποὺ ἔλκονται ἀπὸ τὸν μαγνήτη δονομάζονται μαγνητικὰ σώματα. "Ωστε:

"Ο μαγνητίτης εἶναι ἔνα δρυκτό, ποὺ ἔχει τὴν ἴκανότητα νὰ ἔλκει τὰ διάφορα σιδερένια ἀντικείμενα.

**§ 183. Τεχνητοί μαγνήτες.** Ἀν πάρουμε μιὰ ράβδο ἀπὸ χάλυβα καὶ τὴν τρίψουμε μὲ ἔνα φυσικὸ μαγνήτη, παρατηροῦμε διὰ

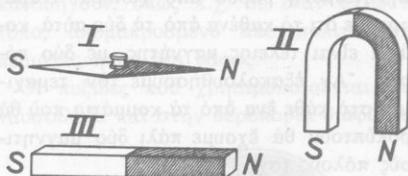
μαγνητίζεται καὶ αὐτὴ καὶ γίνεται τεχνητὸς μαγνήτης.



Σχ. 174. Στοὺς τεχνητοὺς μαγνήτες ἡ ἐλκτικὴ δύναμη ἐντοπίζεται κυρίως στὰ ἄκρα.

Στοὺς τεχνητοὺς μαγνήτες ἡ ἐλκτικὴ ἴκανότητα ἐντοπίζεται στὰ ἄκρα, ποὺ τὰ δονομάζομε πόλον τοῦ μαγνήτη. "Ετσι ἔνας τεχνητὸς μαγνήτης ἔχει δύο πόλους (σχ. 174).

Στοὺς τεχνητοὺς μαγνήτες δίνονται διάφορα σχήματα, δῶς εἰναι ἡ μαγνητικὴ βελόνα, διὰ πεταλοειδῆς μαγνήτης καὶ διὰ βαθδόμορφος μαγνήτης (σχ. 175).



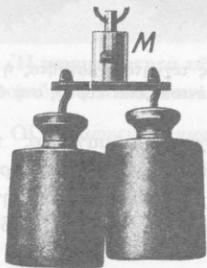
Σχ. 175. Μορφές τεχνητῶν μαγνητῶν.

Οι τεχνητοὶ μαγνήτες εἶναι μόνιμοι μαγνήτες, μποροῦμε δῆμος νὰ φτιάξουμε καὶ παροδικὸν μαγνήτης, μαγνητεῖς δηλαδὴ ποὺ, ἀφοῦ μαγνητιστοῦν, χάνουν σὲ λίγο τὸ μαγνητισμό τους. "Ετσι, ἀν πάρουμε μιὰ ράβδο ἀπὸ μαλακὸ σιδηρό (δχι χάλυβα) καὶ τὴν τρίψουμε μὲ ἔνα φυσικὸ μαγνήτη, θὰ παρατηρήσουμε διὰ, ἐνδὲ μαγνητίζεται, σὲ λίγο χάνει τὸ μαγνητισμό της.

Σήμερα, ἐκτὸς ἀπὸ τὸ χάλυβα, γιὰ νὰ κατασκευάσουν ἵσχυροὺς μόνιμοὺς μαγνή-

τες μὲ μικρὴ μάζα, χρησιμοποιοῦν εἰδικὰ κράματα μετάλλων, δπως είναι τὸ κράμα Ἀλνίκο (Alnico), ποὺ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀλουμίνιο (Al), νικέλιο (Ni), κοβάλτιο (Co), καθὼς ἐπίσης καὶ ἀπὸ χαλκὸ καὶ σίδηρο.

Τὸ σχῆμα 176 δείχνει ἔναν τέτοιο μαγνήτη, ποὺ μπορεῖ νὰ συγκρατήσει ἔνα βάρος σαράντα φορὲς μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ δικό του.

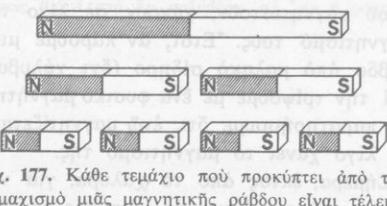


Σχ. 176. Τεχνητὸς μαγνήτης Ἀλνίκο. Συγκρατεῖ βάρος 40πλάσιο ἀπὸ τὸ δικό του.

**Πείραμα.** Κόβομε σὲ δύο κομμάτια μία μαγνητισμένη ράβδο ἀπὸ χάλυβα. Παρατηροῦμε διτὶ τὸ καθένα ἀπὸ τὰ δύο αὐτὰ κομμάτια είναι τέλειος μαγνήτης, μὲ δύο πόλους. Ἐν τούτοις πόλοις μαγνητισμός, στὸ κάθε ἔνα ἀπὸ τὰ κομμάτια ποὺ θὰ προκύψουν θὰ ἔχουμε πάλι δύο μαγνητικοὺς πόλους (σχ. 177).

Δηλαδή:

Είναι ἀδύνατο νὰ ἀπομονώσουμε ἔνα μαγνητικὸ πόλο. Ὁποιοσδήποτε μαγνήτης, δσο μικρὸς καὶ ἀν είναι, ἔχει πάντα δύο πόλους.



Σχ. 177. Κάθε τεμάχιο ποὺ προκύπτει ἀπὸ τὸν τεμαχισμὸ μιᾶς μαγνητικῆς ράβδου είναι τέλειος μαγνήτης.

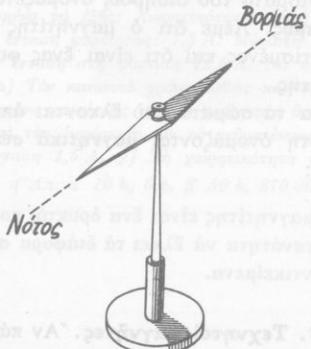
§ 184. Ἐπίδραση τῆς Γῆς στὴ μαγνητικὴ βελόνα. **Πείραμα.** Στηρίζομε μία μαγνητικὴ βελόνα, ἔνα μαγνήτη δηλαδὴ σὲ σχῆμα μακρόστενου ρόμβου, ἀπὸ τὸ κέντρο βάρους της πάνω σὲ ἔναν κατακόρυφο αἰλμηρό (μυτερό) ἄξονα (σχ. 178). Ἀν ἀφήσουμε τὴ βελόνα νὰ ἡρεμήσει, παρατηροῦμε διτὶ ἀρχικὰ ταλαντεύεται, ἔπειτα δῶμας προσανατολίζεται σὲ μιὰ δρισμένη διεύθυνση.

Ἡ διεύθυνση αὐτὴ καθορίζεται ἀπὸ τὸ μεγάλο (διαμήκη) ἄξονα τῆς μαγνητικῆς βελόνας. Ἡ διεύθυνση αὐτοῦ τοῦ ἄξονα ἔχει περίπου τὴ διεύθυνση Βοριάς - Νότος.

Ἀν ἀπομακρύνουμε τὴ μαγνητικὴ βελόνα ἀπὸ τὸ αὐτὴ τὴ θέση ἰσορροπίας τῆς, παρατηροῦμε διτὶ, ἀφοῦ ταλαντεύεται, ἔναναγρίζει στὴν ἀρχικὴ ἰσορροπία τῆς. Ἐπιχειροῦμε τώρα, ἀντιστρέφοντας τοὺς δύο πόλους τῆς μαγνητικῆς βελόνας, νὰ πετύχουμε νέαν θέση ἰσορροπίας. Γι' αὐτὸ τὴν περιστρέφομε κατὰ 180° γύρω ἀπὸ τὸν ἄξονα στηρίζεως τῆς. Παρατηροῦμε διτὶ αὐτὸ εἶναι ἀδύνατο. Μόλις τὴν ἀφήσουμε ἐλεύθερη, ἔναναγρίζει στὴν ἀρχικὴ τῆς θέση, ἔτσι ὥστε δὲ τοῖς πάντοτε πόλοις νὰ δείχνει πρὸς τὸ Βοριά.

Συμπεραίνομε λοιπὸν διτὶ οἱ δύο πόλοι τῆς μαγνητικῆς βελόνας δὲν είναι δῶμοιοι.

Γι' αὐτὸν τὸ λόγο δρίζομε σὰν βόρειο



Σχ. 178. Ἡ μαγνητικὴ βελόνα προσανατολίζεται κατὰ τὴ διεύθυνση Βοριάς (Βορράς) - Νότος.

μαγνητικό πόλο (και σημειώνομε μὲ τὸ γράμμα N, ἀπὸ τὴ λέξη North = Βοριάς) τὸν πόλο ποὺ δείχνει πρὸς τὸν γεωγραφικό Βοριά καὶ νότιο μαγνητικό πόλο τὸν πόλο τῆς βελόνας ποὺ δείχνει πρὸς τὸν γεωγραφικό Νότο (και σημειώνομε μὲ τὸ γράμμα S, ἀπὸ τὴ λέξη South = Νότος).

“Ωστε:

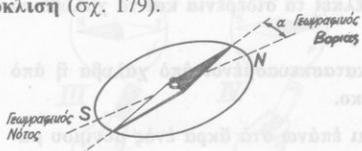
Ἐνας μαγνήτης ἔχει δύο διαφορετικούς πόλους: τὸ βόρειο μαγνητικὸ πόλο (N) καὶ τὸ νότιο μαγνητικὸ πόλο (S).

Ἄν διαμαγνήτης μπορεῖ νὰ περιστραφεῖ ἐλεύθερα στὸ δριζόντιο ἐπίπεδο, ὁ βόρειος μαγνητικὸς πόλος προσανατολίζεται πρὸς τὸν γεωγραφικὸ Βοριά καὶ ὁ νότιος μαγνητικὸς πόλος πρὸς τὸ γεωγραφικὸ Νότο τῆς Γῆς.

**§ 185. Διάκριση μαγνητικῶν πόλων.** Γιὰ νὰ διακρίνουμε μεταξύ τους τοὺς δύο πόλους ἐνὸς μαγνήτη, χρωματίζομε τὸ βόρειο μαγνητικὸ πόλο συνήθως μὲ κόκκινο χρῶμα ἢ σημειώνομε ἐπάνω του τὸ γράμμα N.

**§ 186. Μαγνητικὴ ἀπόκλιση.** Ἡ διεύθυνση ποὺ ἔχει ἡ μαγνητικὴ βελόνα σὲ ἔναν διεύθυνσην τόπο καθορίζει τὸν μαγνητικὸ μεσημβρινὸ τοῦ τόπου. Στὴν πραγματικότητα αὐτὴ ἡ διεύθυνση διαφέρει λίγο ἀπὸ τὴ γεωγραφικὴ διεύθυνση Βοριᾶ - Νότου (γεωγραφικὸς μεσημβρινός).

Ἄντες οἱ δύο διεύθυνσεις σχηματίζουν μεταξύ τους μία γωνία, ποὺ δονομάζεται ἀπόκλιση (σχ. 179).



Σχ. 179. Γιὰ τὴν ἔννοια τῆς μαγνητικῆς ἀπόκλισης.

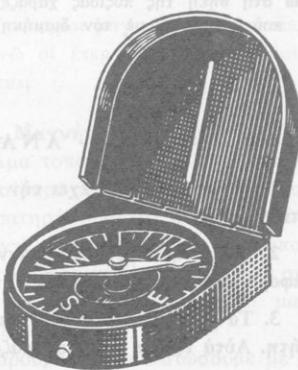
Ἄν διαβορειος πόλος μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας βρίσκεται ἀριστερὰ ἀπὸ τὸν γεωγραφικὸ μεσημβρινό, ἡ ἀπόκλιση δονομάζεται δυτική. Στὴν ἀντίθετη περίπτωση ἡ ἀπόκλιση δονομάζεται ἀνατολική.

Ἡ ἀπόκλιση δὲν μένει σταθερὴ σὲ ἔναν διρισμένο τόπο, ἀλλὰ μεταβάλλεται ἀπὸ τὸν ἔναν τόπο στὸν ἄλλο.

Μαγνητικὴ ἀπόκλιση σὲ ἔναν τόπο δονομάζεται τὴν δεξιὰ γωνία ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὶς διευθύνσεις τοῦ μαγνητικοῦ καὶ τοῦ γεωγραφικοῦ μεσημβρινοῦ.

**§ 187. Μαγνητικὴ πυξίδα.** Ἡ πυξίδα ἀποτελεῖται ἀπὸ μία μαγνητικὴ βελόνα, ποὺ στηρίζεται σὲ ἔναν κατακόρυφο αἰχμηρὸ ἄξονα. Τὸ δὲ σύστημα βρίσκεται μέσα σὲ ἕνα προστατευτικὸ περίβλημα (σχ. 180). Μία κατάλληλη διάταξη μᾶς ἐπιτρέπει νὰ ἀκινητοποιοῦμε τὴ μαγνητικὴ βελόνα. Ἡ πυξίδα εἶναι δρυγανὸ πολὺ χρήσιμο γιὰ τὸν καθορισμὸ τῆς πορείας σὲ μέρη δου πὲν δὲν ὑπάρχουν σημάδια ποὺ νὰ μᾶς καθοδηγοῦν, δημοσ. π.χ. σὲ ἔναν ἄγνωστο τόπο, ἀπομακρυσμένο ἀπὸ πολιτισμένες περιοχὲς ἢ σὲ ἔνα δάσος.

Οἱ πυξίδες ποὺ χρησιμοποιοῦνται στὴ ναυσιπλοῖα καὶ στὴν ἀεροπορία διαφέρουν



Σχ. 180. Συνθημένη μαγνητικὴ πυξίδα.



Σχ. 181. Ναυτική πυξίδα με δξάρτηση Καρντάνο.

ἀπό τις κοινές πυξίδες. Ἡ διαφορὰ εἰναι δι τὸ κιβώτιο ποὺ τὶς περιέχει στηρίζεται μὲ εἰδικὸ τρόπο (σύστημα Καρντάνο, Cardano) κατάλληλο ὥστε ἡ μαγνητικὴ βελόνα νὰ μένει πάντοτε ὅριζόντια, παρ’ ὅλους τοὺς κλυδωνισμοὺς τῶν σκαφῶν (σχ. 181).

Ἡ μαγνητικὴ βελόνα εἰναι προσαρμοσμένη ἔτσι, ὥστε νὰ ἀποτελεῖ διάμετρο ἐνὸς γωνιομετρικοῦ κύκλου, ἐπάνω στὸν ὅποιο ἔχουν σημειωθεῖ τὰ κύρια καὶ τὰ δευτερεύοντα σημεῖα τοῦ ὅριζοντα. Ὁ γωνιομετρικὸς αὐτὸς κύκλος ὄνομαζεται ἀνεμολόγιο. Τὰ τέσσερα κύρια σημεῖα καθορίζονται ἀπὸ τὰ γράμματα N (Βοριάς), E (Ἀνατολῆ), S (Νότος). W (Δύση). Οἱ ἐνδιάμεσες ἐνδείξεις σημειώνονται μὲ τὰ παρακάτω ζεύγη γραμμάτων: NE (Βορειοανατολικά), SE (Νοτιοανατολικά), SW (Νοτιοδυτικά) καὶ NW (Βορειοδυτικά).

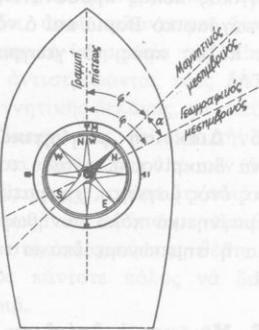
Ἐπάνω στὴ θήκη τῆς πυξίδας χαράζεται μία γραμμή, ποὺ συμπίπτει μὲ τὸν διαμήκη δξονα

τοῦ πλοίου καὶ ποὺ ὄνομάζεται γραμμὴ πίστεως.

Ὄταν τὸ πλοίο στρέφεται, στρέφεται ἐπίσης καὶ ἡ γραμμὴ πίστεως μαζὶ του, ἀλλὰ ἡ βελόνα καὶ τὸ ἀνεμολόγιο μένουν πάντα στὴν ίδια θέση.

Γιὰ νὰ χαράζουμε τὴν πορεία ἐνὸς πλοίου καθορίζουμε πρῶτα στὸν ναυτικὸ χάρτη τὴ γωνία φ ἀνάμεσα στὸ γεωγραφικὸ μεσημβρινὸ καὶ τὴ διεύθυνση ποὺ πρόκειται νὰ ἀκολουθήσει τὸ πλοίο. Ἡ γωνία αὐτὴ διορθώνεται, δταν ληφθεῖ ὑπόψη ἡ ἀπόκλιση α καὶ ἐτοι καθορίζεται μία νέα γωνία φ', ποὺ σηματίζεται ἀπὸ τὸ μαγνητικὸ μεσημβρινὸ καὶ τὴ γραμμὴ πίστεως τοῦ πλοίου.

Ἅστερα, μὲ τὸ πηδάλιο στρέφεται τὸ πλοίο, ὁπότοι ἡ γραμμὴ πίστεως σχηματίσει, μὲ τὸ Βοριά τοῦ ἀνεμολογίου τῆς πυξίδας, τὴν ὑπολογισμένη γωνία φ', ποὺ μένει πάλι σταθερὴ καὶ ρυθμίζει τὴν πορεία τοῦ σκάφους (σχ. 182).



Σχ. 182. Καθορισμὸς τῆς πορείας τοῦ πλοίου. Ἡ γωνία ποὺ σηματίζει ἡ γραμμὴ πίστεως μὲ τὸν γεωγραφικὸ μεσημβρινὸ διορθώνεται σύμφωνα μὲ τὴν ἀπόκλιση.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ἔνας μαγνήτης ἔχει τὴν ίδιότητα νὰ ἔλκει τὰ σιδερένια καὶ τὰ χαλύβδινα ἀντικείμενα.

2. Οἱ μόνιμοι τεχνητοὶ μαγνῆτες εἰναι κατασκευασμένοι ἀπὸ χάλυβα ἢ ἀπὸ διάφορα κράματα, δπως εἶναι τὸ κράμα Ἀλνίκο.

3. Τὰ ρινίσματα ἔλκονται καὶ κρατιοῦνται ἐπάνω στὰ ἄκρα ἐνὸς μόνιμου μαγνήτη. Αὐτὰ τὰ δύο ἔλκονται μαγνητικοὶ πόλοι.

4. Ἔνας μαγνήτης ἔχει δύο διαφορετικοὺς πόλους: Τὸν βόρειο μαγνητικὸ πόλο καὶ τὸ νότιο μαγνητικὸ πόλο. Ἀν ὁ μαγνήτης εἶναι ἐλεύθερος νὰ περιστραφεῖ στὸ

όριζόντιο έπιπεδο, ό βόρειος μαγνητικός πόλος είναι έκεινος πού διευθύνεται πρὸς τὸ γεωγραφικὸ Βοριά.

5. Ἡ πυξίδα είναι βασικὰ μιὰ μαγνητικὴ βελόνα, ποὺ στρέφεται γύρω ἀπὸ κατακόρυφο ἄξονα, ἡ ὁποία προσανατολίζεται κατὰ τὴ διεύθυνση Βοριάς-Νότος.

6. Ἀπόκλιση σὲ ἕνα τόπο δονομάζομε τὴ γωνία ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὶς διευθύνσεις τοῦ μαγνητικοῦ μεσημβρινοῦ καὶ τοῦ γεωγραφικοῦ μεσημβρινοῦ τοῦ τόπου.

## ΑΖ' — ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΟΛΩΝ

### ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ

§ 188. Ἀμοιβαία ἐπενέργεια μαγνητικῶν πόλων. Πείραμα. Πλησιάζομε τὸν νότιο μαγνητικὸ πόλο ἐνὸς μαγνήτη στὸν νότιο πόλο μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας. Παρατηροῦμε τότε ὅτι ὁ νότιος πόλος τῆς μαγνητικῆς βελόνας ἀπωθεῖται καὶ ἡ βελόνα στρέφεται ἀπότομα (σχ. 183, I). Ἀκρι-

βῶς τὸ ἴδιο ἀποτέλεσμα παρατηροῦμε καὶ ἡν πλησιάσουμε τὸν βόρειο μαγνητικὸ πόλο τοῦ μαγνήτη στὸν βόρειο πόλο τῆς μαγνητικῆς βελόνας.

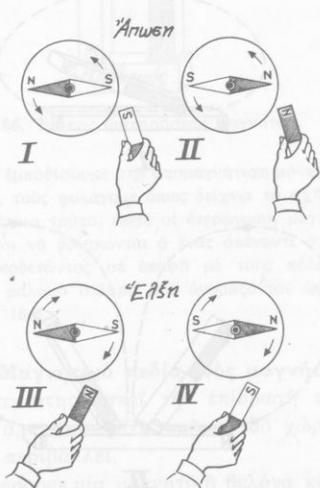
"Αν ἀντίθετα πλησιάσουμε τὸν βόρειο μαγνητικὸ πόλο τοῦ μαγνήτη στὸν νότιο πόλο τῆς μαγνητικῆς βελόνας, ἐμφανίζεται ἔλξη μεταξύ τους. "Ἐλξη ἐμφανίζεται ἐπίσης καὶ ἡν πλησιάσουμε τὸν νότιο μαγνητικὸ πόλο τοῦ μαγνήτη στὸν βόρειο πόλο τῆς μαγνητικῆς βελόνας (σχ. 183, III).

'Απὸ τὸ πείραμα αὐτὸ συμπεραίνομε ὅτι:

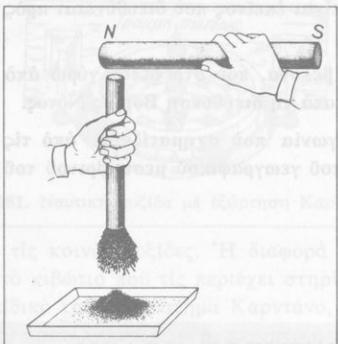
Οἱ ὅμοινυμοι μαγνητικοὶ πόλοι ἀπωθοῦνται, ἐνῷ οἱ ἑτερώνυμοι μαγνητικοὶ πόλοι ἔλκονται.

§ 189. Μαγνήτιση ἀπὸ ἐπίδραση. Πείραμα. "Αμα τοποθετήσουμε ἔνα κομμάτι μαλακὸ σίδηρο πολὺ κοντά σ' ἔνα μαγνήτη, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι, μ' ὅλο ποὺ τὸ σίδερο δὲν ἀγγίζει τὸ μαγνήτη, ἔχει ἀποχτῆσει τὴν ἰκανότητα νὰ ἔλκει ρινίσματα σιδήρου. "Ἐχει γίνει δηλαδὴ καὶ αὐτὸ μαγνήτης (σχ. 184).

Μποροῦμε νὰ διαπιστώσουμε μὲ μιὰ μαγνητικὴ βελόνα, ὅτι τὸ ἄκρο τοῦ μαλακοῦ σιδήρου ποὺ βρίσκεται ἀπέναντι στὸν βό-



Σχ. 183. Οἱ ὅμοινυμοι μαγνητικοὶ πόλοι ἀπωθοῦνται καὶ οἱ ἑτερώνυμοι ἔλκονται.



Σχ. 184. Μαγνήτιση άπό έπιδραση.

ρειο μαγνητικό πόλο του μαγνήτη, έγινε νότιος μαγνητικός πόλος, ένω τὸ ἄλλο του ἄκρο έγινε βόρειος μαγνητικός πόλος. Αὐτὴ ἡ μαγνήτιση ποὺ ἀπόχτησε ὁ μαλακὸς σίδηρος, μόλις βρέθηκε κοντά σὲ ἔνα μόνιμο μαγνήτη, δονούμαζεται μαγνήτιση ἀπό έπιδραση ἢ μαγνήτιση ἀπό έπαγωγῆ.

Αὐτὸ τὸ φαινόμενο μᾶς ἐπιτρέπει νὰ ἔξηγησουμε τοὺς θυσάνους (τὶς φοῦντες) ἀπό ρινίσματα σιδήρου, ποὺ σχηματίζονται στοὺς πόλους του μαγνήτη. Τὰ κομματάκια δηλαδὴ τῶν ρινισμάτων γίνονται μικροὶ μαγνήτες ἀπό έπιδραση καὶ ἔλκονται ἀμοιβαῖα.

Ἀπομακρύνομε κατόπι τὸν μόνιμο μαγνήτη ἀπὸ τὸ κομμάτι του μαλακοῦ σιδήρου. Παρατηροῦμε διτὶ τὰ ρινίσματα του σιδήρου πέφτουν. Δηλαδὴ ὁ μαλακὸς σίδηρος ἔχασε τὴ μαγνήτισή του. Συμπεραίνομε ἐπομένως διτὶ:

Ἡ μαγνήτιση ἀπό έπιδραση του μαλακοῦ σιδήρου είναι πρόσκαιρη.

Ξανακάνομε τὸ ἴδιο πείραμα χρησιμοποιώντας ἔνα κομμάτι ἀπὸ χάλυβα. Παρατηροῦμε τότε διτὶ καὶ αὐτὸς μαγνητίζεται, διτὸν πλησιάσοντες τὸ μόνιμο μαγνήτη διτὸν δύμως ἀπομακρύνοντες τὸν μόνιμο μαγνήτη, ὁ χάλυβας δὲν χάνει τὴ

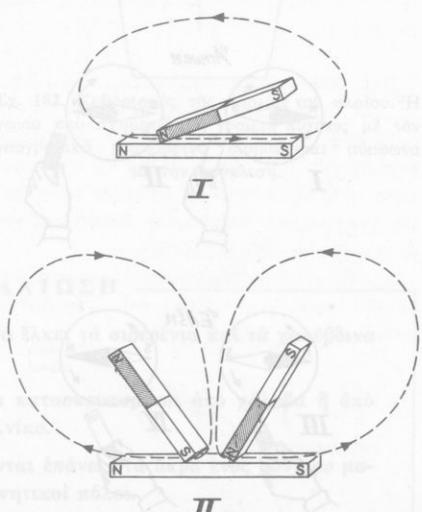
μαγνήτισή του, ἀλλὰ ἔξακολουθεῖ νὰ συγκρατεῖ τὰ ρινίσματα του σιδήρου. Δηλαδὴ ἡ μαγνήτιση του χάλυβα εἶναι μόνιμη.

Ἐτσι ἔξηγεται γιατὶ οἱ τεχνητοὶ μαγνῆτες κατασκευάζονται ἀπὸ χάλυβα. "Ωστε:

Ἡ μαγνήτιση ἀπὸ έπιδραση του χάλυβα εἶναι μόνιμη.

**§ 190. Στοιχειώδεις τρόποι μαγνητίσεως.** **a) Μαγνήτιση μὲ άπλη ἐπαφῇ.** Κατὰ τὴ μέθοδο αὐτὴ στὴ ράβδο ποὺ πρόκειται νὰ μαγνητίσουμε ἐφάπτεται μὲ κλίση ὁ βόρειος πόλος ἐνὸς μαγνήτη (σχ. 185, I). Κατόπι μετακινοῦμε τρίβοντας τὸ μαγνήτη στὴ ράβδο κατὰ τὴ φορά ποὺ δείχνουν τὰ βέλη, διπὼς ὅταν χτενιζόμαστε, καὶ ἔτσι ἡ χαλύβινη ράβδος γίνεται καὶ αὐτὴ μαγνήτης.

**b) Μαγνήτιση μὲ διπλὴ ἐπαφῇ.** Χρησιμοποιοῦμε κατὰ τὴ μέθοδο αὐτὴ δύο μόνιμους μαγνῆτες, τοὺς δόπιους τοποθετοῦμε ἐπάνω στὴ ράβδο ποὺ θὰ μαγνητίσουμε, καὶ τοὺς μεταποτίζουμε πολλές φορές, ἀκολουθώντας τὶς τροχιές ποὺ δείχνουν τὰ βέλη (σχ. 185, II).

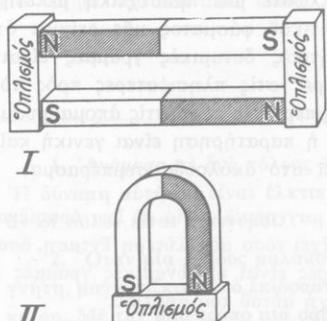


Σχ. 185. Μαγνήτιση μὲ προστριβὴ ἐνὸς μαγνήτη (I) καὶ δύο μαγνητῶν (II).

**γ) Μαγνήτιση ἀπὸ ἐπίδραση.** Ὅπως ἀναφέρουμε παραπάνω, ἂν μία ράβδος ἀπὸ μαλακό σιδήρου τοποθετηθεῖ κοντά σὲ ίσχυρὸ μόνιμο μαγνήτη, ὁ μαλακὸς σιδήρος γίνεται καὶ αὐτὸς παροδικὸς μαγνήτης.

**δ) Μαγνήτιση μὲν ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.** Ίσχυροὺς μαγνῆτες κατασκευάζουμε μὲν τοποθέτηση χαλύβδινων ράβδων μέσα σὲ πηνία, ποὺ τὰ διαρρέει ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, δπως θὰ μελετήσουμε σὲ ἐπόμενα κεφάλαια.

**§ 191. Διατήρηση τῶν μαγνητῶν.** Στὴν περίπτωση τοῦ μαλακοῦ σιδήρου, ἡ ἔξαφάνιση τῶν μαγνητικῶν πόλων γίνεται σὲ χρονικὸ διάστημα κλάσματος τοῦ δευτερόλεπτο, ἐνδὸν γὰρ δρισμένους χάλυβες ἡ ἔξαφάνιση τῶν πόλων γίνεται σὲ χρονικὸ διάστημα πολλὰν ἑταῖρη.



Σχ. 186. Τρόπος διατηρήσεως μαγνητῶν.

Γιὰ νὰ ἐμποδίσουμε τὴν ἀπομαγνήτιση μόνιμων μαγνητῶν, τοὺς φυλάγομε δπως δεῖχνει τὸ σχῆμα 186, μὲ τέτοιο τρόπῳ, ὥστε οἱ ἔτερώνων μαγνητικοὶ πόλοι νὰ βρίσκονται δ ἔνας ἀπέναντι στὸν ἄλλο, τοποθετώντας σὲ ἐπαφὴ μὲ τοὺς πόλους κομμάτια μαλακὸ σιδήρου, ποὺ ὀνομάζονται ὅπλισμοί (σχ. 186).

**§ 192. Μαγνητικὸ πεδίο ἐνὸς μαγνήτη.** Κάθε μαγνήτης ἀσκεῖ τὴν ἐπίδρασή του σὲ ἔνα ἀρκετά μεγάλο τμῆμα τοῦ χώρου ποὺ τὸν περιβάλλει.

Ἄν φέρουμε μία μαγνητικὴ βελόνα κοντὰ σὲ ἔνα μόνιμο μαγνήτη, παρατηροῦμε δητὶ ἡ βελόνα ἀποκλίνει. Ἀλλωστε ἂν στὸ

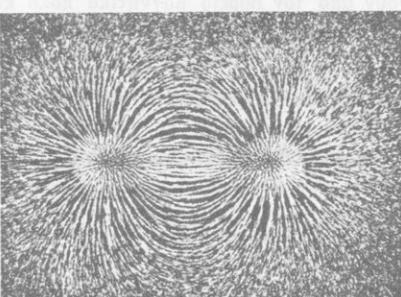
μαγνήτη πλησιάσουμε ρινίσματα σιδήρου, παρατηροῦμε δητὶ αὐτὰ ἔλκονται.

Συμπεραίνομε λοιπὸ δητὶ στὸν γειτονικὸ τοῦ μαγνήτη χῶρο, δροῦν μαγνητικὲς δυνάμεις.

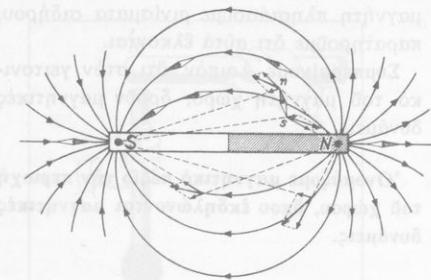
**’Ονομάζομε μαγνητικὸ πεδίο τὴν περιοχὴν τοῦ χώρου, δπου ἐκδηλώνονται μαγνητικὲς δυνάμεις.**

**§ 193. Μαγνητικὸ φάσμα ἐνὸς εὐθύγραμμου μαγνήτη.** Πείραμα. Σὲ ἔνα κομμάτι χαρτού σκορπίζομε ρινίσματα σιδήρου. Κρατοῦμε τὸ χαρτόνι δριζόντο καὶ τοποθετοῦμε ἀπὸ τὴν κάτω ἐπιφάνεια ἔνα ραβδόμορφο μαγνήτη. Τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου τότε διατάσσονται ἔτσι, ὥστε νὰ σχηματίζουν καμπύλες γραμμές, μὲ ἀρχὴ καὶ τέλος τοὺς δύο πόλους τοῦ μαγνήτη (σχ. 187). Αὐτὲς οἱ καμπύλες γραμμές δονομάζονται μαγνητικὲς δυναμικές γραμμές, ἐνδὼν τὸ σύνολο αὐτῶν τῶν γραμμῶν ὀνομάζεται μαγνητικὸ φάσμα τοῦ μαγνήτη.

Ἀν πάρουμε μιὰ μικρὴ μαγνητικὴ βελόνα καὶ τὴν μετακινήσουμε κατὰ μῆκος μᾶς μαγνητικῆς δυναμικῆς γραμμῆς, παρατηροῦμε δητὶ ὁ διαμήκης ἄξονας τῆς βελόνας μένει συνεχῶς ἐφαπτόμενος στὴ δυναμικὴ γραμμὴ (σχ. 188). Μποροῦμε ἐπομένων νὰ πούμε δητὶ:



Σχ. 187. Μαγνητικὸ φάσμα ραβδόμορφου μαγνήτη.



Σχ. 188. Η μαγνητική βελόνα παραμένει συνεχώς έφαπτόμενη κατά μῆκος μιᾶς δυναμικῆς μαγνητικῆς γραμμῆς.

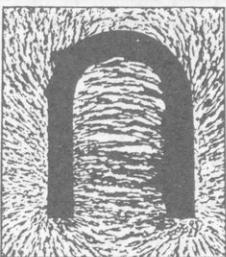
Η μαγνητική δυναμική γραμμή είναι ή γραμμή έκεινη, στο κάθε σημείο της οποίας μένει έφαπτόμενος ο διαμήκης ξένος της μαγνητικής βελόνας.

Άς θεωρήσουμε τώρα διτι ό βόρειος πόλος της μαγνητικής βελόνας μπορεῖ νὰ μετακινηθεῖ ἐλεύθερα. Θά παρατηρήσουμε τότε διτι ἀποθέται ἀπὸ τὸν βόρειο μαγνητικὸ πόλο τοῦ μόνιμου μαγνήτη, ἐνῶ συγχρόνως ἔλκεται ἀπὸ τὸν νότιο μαγνητικὸ πόλο του, ἀκολουθώντας τὴ δυναμική γραμμῆ μὲ φορὰ ἀπὸ τὸ Βοριά (N) πρὸς τὸ Νότο (S). Ἔτσι θεωροῦμε διτι σύμφωνα μὲ τὴ φορὰ αὐτὴ διαγράφεται καὶ η δυναμικὴ μαγνητικὴ γραμμή. "Ωστε:

Οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς βγαίνουν ἀπὸ τὸν Βόρειο μαγνητικὸ πόλο καὶ μπαίνουν στὸν Νότιο πόλο τοῦ ραβδόμορφου μαγνήτη.

Ἡ διεύθυνση καὶ η φορὰ τῶν δυναμικῶν γραμμῶν καθορίζουν τὴ διεύθυνση καὶ τὴ φορὰ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου σὲ κάθε σημεῖο τοῦ χώρου.

**§ 194.** Ενταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Οἱ δυνάμεις ποὺ ἀσκοῦνται ἀπὸ ἔνα μόνιμο μαγνήτη στοὺς πόλους μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας ἐλαττώνονται σημαντικά, δισο η ἀπόσταση μαγνήτη - βελόνας αὐξάνεται.



Σχ. 189. Φάσμα πεταλοειδοῦς μαγνήτη.

Λέμε τότε διτι η ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ποὺ δημιουργεῖται ἀπὸ τὸ μαγνήτη, είναι μεγαλύτερη σὲ κοντινὰ σημεῖα παρὰ σὲ ἀπομακρυσμένα.

Ἄλλωστε μία προσεχτικὴ μελέτη τοῦ μαγνητικοῦ φάσματος μᾶς δείχνει διτι οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς είναι πυκνότερες στὶς πλησιέστερες πρὸς τὸ μαγνήτη περιοχὲς παρὰ στὶς ἀπομακρυσμένες. Αὐτὴ η παρατήρηση είναι γενικὴ καὶ μᾶς δόηγει στὸ ἀκόλουθο συμπέρασμα:

Τὸ μαγνητικὸ πεδίο σὲ ἔνα δρισμένο σημεῖο ἔχει τόσο μεγαλύτερη ἔνταση, δισο πυκνότερες είναι οἱ δυναμικὲς γραμμὲς στὴν περιοχὴ ἀντοῦ τοῦ σημείου.

Άς θεωρήσουμε τὸ μαγνητικὸ φάσμα ἐνὸς πεταλοειδοῦς μαγνήτη (σχ. 189). Οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς στὸ χῶρο ἀνάμεσα στοὺς δύο πόλους τοῦ μαγνήτη είναι εὐθεῖες παράλληλες καὶ ἴσαπέχουσες. Λέμε τότε διτι σ' αὐτὴ τὴν περιοχὴ τὸ μαγνητικὸ πεδίο είναι ὀμογενὲς η, ἀλλιδις, διτι η ἔνταση του είναι σταθερή. "Ωστε:

"Ἐνα μαγνητικὸ πεδίο είναι ὀμογενές, διταν σὲ κάθε σημεῖο του η ἔνταση του διατηρεῖται σταθερή.

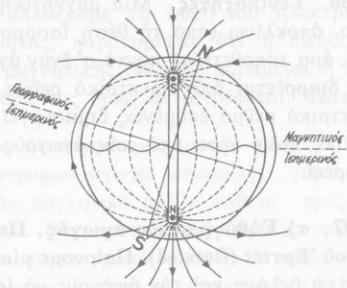
**§ 195.** Μαγνητικὸ πεδίο τῆς Γῆς. Καθὼς ξέρομε, ἂν ἀφήσουμε μία μαγνητικὴ βελόνα νὰ ισορροπήσει, ο διαμήκης ξένονάς

της θὰ προσανατολιστεῖ, πάντοτε, ἀκολουθῶντας τὴ διεύθυνση Βοριάς - Νότος. Ἀφοῦ κοντά στὴ μαγνητική βελόνα δὲν ὑπάρχει κανένας ἄλλος μαγνήτης, συμπεραίνομε ὅτι, γιὰ νὰ προσανατολίζεται αὐτή, θὰ ὑπάρχει στὴν περιοχὴ τῆς Γῆς ἔνα μαγνητικὸ πεδίο.

Ἄντο τὸ μαγνητικὸ πεδίο, ποὺ ὑπάρχει μόνιμα στὴν περιοχὴ τῆς Γῆς, δονομάζεται γῆνιο μαγνητικὸ πεδίο.

Δηλαδὴ, ἡ Γῆ συμπεριφέρεται σὰν ἔνας τεράστιος μαγνήτης, ποὺ ἔχει τοὺς μαγνητικοὺς του πόλους κοντά στὶς πολικές της περιοχὲς (σχ. 190). Ὁ ἔνας ἀπὸ τοὺς μαγνητικοὺς πόλους τῆς Γῆς βρίσκεται κοντά στὸ βόρειο γεωγραφικὸ πόλο, στὸ βόρειο τμῆμα τοῦ Καναδᾶ, ἐνῷ ὁ ἄλλος

μαγνητικὸς πόλος τῆς Γῆς βρίσκεται κοντὰ στὸ νότιο γεωγραφικὸ πόλο, στὴ Γῆ τῆς Βικτωρίας.



Σχ. 190. Τὸ γῆνιο μαγνητικὸ πεδίο. Ἡ Γῆ συμπεριφέρεται σὰν τεράστιος μαγνήτης.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. 'Ανάμεσα σὲ δυὸ πόλους δυὸ διαφορετικῶν μαγνητῶν ἐνεργεῖ μιὰ δύναμη. Ἡ δύναμη αὐτὴ θὰ εἰναι ἐλκτικὴ, ἢν οἱ πόλοι εἰναι ἐτερώνυμοι, καὶ ἀποθητικὴ, ἢν οἱ πόλοι εἰναι ὄμόνυμοι.

2. 'Οταν μία ράβδος μαλακοῦ σιδήρου τοποθετεῖται κοντὰ σὲ ἔνα μόνιμο μαγνήτη, μαγνητίζεται ἀπὸ ἐπίδραση. Ἡ μαγνήτιση τοῦ μαλακοῦ σιδήρου εἰναι πρόσκαιρη. Μὲ τὸν ἴδιο τρόπο μιὰ ράβδος ἀπὸ χάλυβα, ὅταν τοποθετηθεῖ κοντὰ σὲ ἔνα μόνιμο μαγνήτη, μαγνητίζεται, ἡ μαγνήτιση ὅμως τοῦ χάλυβα εἰναι μόνιμη.

3. Μαγνητικὸ πεδίο ὄνομάζομε τὴν περιοχὴ τοῦ χώρου ὅπου ἐμφανίζονται μαγνητικὲς δυνάμεις.

4. Τὸ μαγνητικὸ φάσμα ἐνὸς μαγνήτη σχηματίζεται, ἢν σκορπίσουμε ρινίσματα σιδήρου σὲ ἔνα κομμάτι χαρτόνι ἡ τζάμι, κάτω ἀπὸ τὸ ὅποιο βρίσκεται ὁ μαγνήτης.

Τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου διατάσσονται κατὰ μῆκος ὁρισμένων καμπυλῶν ἡ εὐθειῶν γραμμῶν, ποὺ ὄνομάζονται μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμές.

5. Οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς εἰναι οἱ γραμμὲς ἐκεῖνες, στὸ κάθε σημεῖο τῶν ὅποιων διαμήκης ἄξονας τῆς μαγνητικῆς βελόνας εἰναι ἐφαπτόμενος.

6. 'Ο προσανατολισμὸς μᾶς μαγνητικῆς βελόνας στὴν περιοχὴ τῆς Γῆς ὀφείλεται στὸ γῆνιο μαγνητικὸ πεδίο.

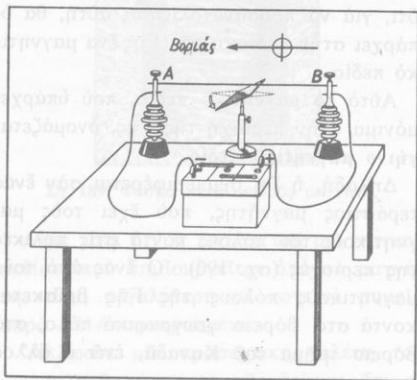
## ΛΗ' — ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΑΓΩΓΟΥ. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ

**§ 196. Γενικότητες.** Μία μαγνητική βελόνα άποκλίνει (άπο τη θέση ισορροπίας της), άμα τοποθετηθεῖ κοντά σ' έναν άγωγό που διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα. Τό ήλεκτρικό ρεύμα έπομένως δημιουργεῖ μαγνητικό πεδίο γύρω από τους άγωγους που διαρρέει.

**§ 197. α) Εύθυγραμμος άγωγός.** Πείραμα του "Ερστετ (Oersted). Παίρνομε μία μαγνητική βελόνα και τὴν ἀφήνομε νὰ ισορροπήσει. Καθώς παρατηροῦμε, ήρεμει, ὅταν ὁ διαμήκης ἔξονάς της πάρει τὴ διεύθυνση Βοριάς - Νότος. "Επειτα τοποθετοῦμε ἐπάνω απὸ τὴ μαγνητικὴ βελόνα ἔναν εὐθύγραμμο άγωγὸ ΑΒ, παράλληλο πρὸς τὸν διαμήκη ἔξονά της, και διοχετεύμε στὸν άγωγὸ ήλεκτρικὸ ρεύμα. Παρατηροῦμε τότε ὅτι ἡ μαγνητικὴ βελόνα ἀποκλίνει κατὰ μία ὄρισμένη γωνία (σχ. 191).



Ο "Ερστετ ἐκτελεῖ τὸ ιστορικὸ πείραμά του.

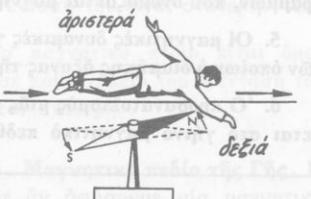


Σχ. 191. Πείραμα του "Ερστετ. "Οταν περάσει ρεύμα, ἡ μαγνητικὴ βελόνα ἀποκλίνει.

"Αν αὐξήσουμε κατόπι τὴν ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος που διαρρέει τὸν άγωγό, παρατηροῦμε ὅτι ἡ ἀπόκλιση τῆς βελόνας αὐξάνεται, και ὅταν ἡ ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος αὐξήθει ἀκόμη περισσότερο, ἡ ἀπόκλιση πλησιάζει τὶς 90°, δηλαδὴ ἡ βελόνα τείνει νὰ πάρει διεύθυνση κάθετη πρὸς τὸν άγωγό.

"Αν ἀλλάζουμε τὴ φορὰ τοῦ ρεύματος, ἀλλάζει και ἡ διεύθυνση ἀποκλίσεως τῆς μαγνητικῆς βελόνας.

**§ 198. Κανόνας τοῦ 'Αμπέρ.** Η φορὰ τῆς ἀποκλίσεως βρίσκεται μὲ τὸν ἀκόλουθο κανόνα τοῦ 'Αμπέρ:



Σχ. 192. Κανόνας τοῦ παρατηρητῆ τοῦ 'Αμπέρ.

**Ο βόρειος Πόλος (Ν) μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας ἀποκλίνει πρὸς τὰ ἀριστερὰ τοῦ παρατηρητῆ, ποὺ θὰ τὸν φάνταστοῦμε τοποθετημένο ἐπάνω στὸν ἀγωγὸ ἔτσι, ὡστε τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ τὸν διαρρέει ἀπὸ τὰ πόδια πρὸς τὸ κεφάλι (σχ. 192). Λιού δοτ πρᾶτον διαδέξεις που προστίθεται στὴν παραπάνω σχήμα § 199. Μελέτη τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ποὺ δημιουργεῖται γύρω ἀπὸ ἔναν εὐθύγραμμο ἀγωγό. Πείραμα. Σκορπίζομε ρινίσματα σιδήρου ἐπάνω σ' ἔνα δριζόντιο χαρτόνι, ποὺ τὸ διαπερνᾶ κάθετα ἔνας καλκίνος ἀγωγός (σχ. 193). Διοχετεύομε στὸν ἀγωγὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μεγάλης ἐντάσεως (6 - 10 Α περίπον) καὶ χτυποῦμε ἐλαφρὰ τὸ χαρτόνι ἔτσι, ὡστε νὰ διευκολύνουμε τὸν προσανατολισμὸ τῶν ρινισμάτων. Διαπιστώνομε τότε ὅτι τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου διατάσσονται στὶς περιφέρειες διμόκεντρων κύκλων ποὺ ἔχουν κέντρο τὸ σημεῖο Ο, δηνού δ ἀγωγὸς διαπερνᾶ τὸ χαρτόνι. Τὰ ρινίσματα δηλαδὴ τοῦ σιδήρου ὑλοποιοῦν τὶς μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμές.**

Κατόπι τοποθετοῦμε μία μικρὴ μαγνητικὴ βελόνα κατὰ μῆκος μιᾶς γραμμῆς ρινισμάτων. Παρατηροῦμε τότε ὅτι ὁ διαμήκης ἄξονας τῆς μαγνητικῆς βελόνας ἔχει τὴ διεύθυνση τῆς ἐφαπτομένης στὴ γραμμὴ τῶν ρινισμάτων. Ό βόρειος πόλος τῆς μαγνητικῆς βελόνας μᾶς δίνει τὴ φορά τῶν μαγνητικῶν δυναμικῶν γραμμῶν.



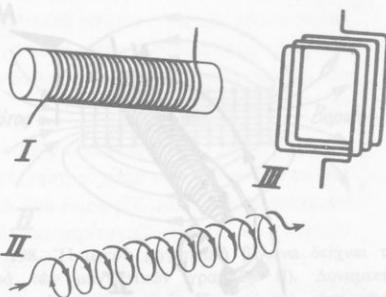
Σχ. 192. Τὰ ρινίσματα διατάσσονται κατὰ μῆκος τῶν γραμμῶν τοῦ αγωγοῦ (Ν) μεταξύ της περιφέρειας τοῦ "Αριστερά" καὶ της φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν.

Σχ. 193. Μαγνητικὸ πεδίο ἐνὸς εὐθύγραμμου ἀγωγοῦ.

Αν χρησιμοποιούσουμε τὸν κανόνα τοῦ Ἀμπέρ, παρατηροῦμε ὅτι τὸ ἀριστερὸ χέρι τοῦ παρατηρητῆ μᾶς δίνει τὴ φορὰ ποὺ ἔχουν οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμές. "Αν ἀλλάξουμε τὴ φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, παρατηροῦμε ὅτι ἡ διεύθυνση τῆς μαγνητικῆς βελόνας παραμένει ἡ ίδια, ἡ φορά τῆς ὅμως ἀντιστρέφεται. "Ωστε:

Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, ποὺ διαρρέει ἔναν εὐθύγραμμο ἀγωγό, δημιουργεῖ γύρω ἀπὸ αὐτὸν μαγνητικὸ πεδίο, κάθετο πρὸς τὸν ἀγωγό. Οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς εἰναι συγκεντρικοὶ κύκλοι. Ή φορὰ ἀντιστρέφεται, ὅταν τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ἀλλάζει φορά.

**Σχ. 200. Σωληνοειδές.** Τὸ σωληνοειδὲς είναι μία εἰδικὴ μορφὴ ἀγωγοῦ, ποὺ κατασκευάζεται, ὅταν τυλίξουμε γύρω ἀπὸ ἔνα κύλινδρο σύρμα ἀγωγὸ ἔτσι, ὡστε νὰ σχηματίσουμε κανονικὴ ἐλικοειδή γραμμὴ (σχ. 194, I). "Αν τὸ σύρμα παρουσιάζει ἀρκετὴ ἀκαμψία μετὰ ἀπὸ τὸ περιτύλιγμα, μποροῦμε νὰ ἀπομακρύνουμε τὸν κύλινδρο. "Αν τὸ ἀγωγὸ σύρμα εἰναι γυμνό, οἱ σπείρες δὲν πρέπει νὰ είναι σ' ἐπαφὴ ἡ μιὰ μὲ τὴν ἄλλη, γιατὶ θὰ δημιουργηθεῖ βραχυκύλωμα (σχ. 194, II) καὶ τὸ σωληνοειδὲς καταστραφεῖ, ὅταν περάσει ρεῦμα ἀπὸ τὸ σύρμα.

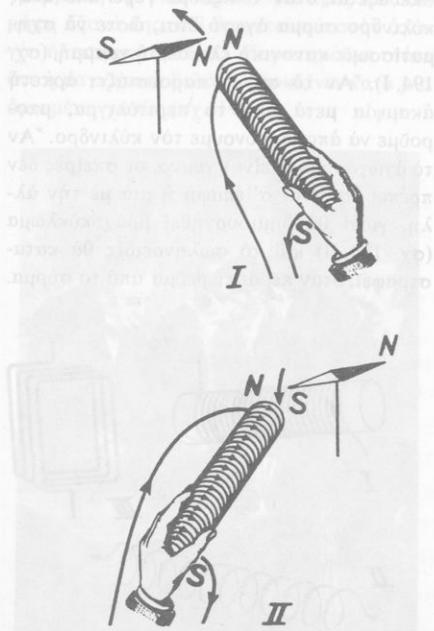


Σχ. 194. Σωληνοειδές: (I) μὲ πυρήνα καὶ (II) χωρὶς πυρήνα. (III) Πλαίσιο.

Γιά νά έξοικονομήσουμε χώρο και γιά μεγαλύτερη άσφαλεια, γιά την κατασκευή ένδος σωληνοειδούς χρησιμοποιούμε μονωμένο σύρμα. Τότε πιά μπορούμε και νά περιτυλίξουμε διαδοχικά τὸ σύρμα σε άλλεπάλληλες στρώσεις. .

Τὸ μῆκος ἐνὸς σωληνοειδοῦς εἶναι μεγάλο, σχετικὰ μὲ τὴ διάμετρο τοῦ κυλίδρου, δῶπον περιτυλίγεται τὸ ἀγωγό σύρμα. Ἀντίθετα ἔνα ἐπίπεδο πλαίσιο ἔχει πολὺ μικρὸ μῆκος. Ἡ διατομὴ τοῦ ἐπίπεδου πλαισίου εἶναι πολλές φορὲς τετραγωνική (σχ. 194, III).

**Πείραμα.** Διοχετεύομε ήλεκτρικό ρεύμα σὲ ἔνα σωληνοειδές καὶ πλησιάζομε στη μία ἀπὸ τις ἄκρες του τὸν βόρειο πόλο Ν μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας. Παρατηροῦμε τότε ὅτι ἡ βελόνα ἀπωθεῖται βίᾳα (σχ. 195, I).



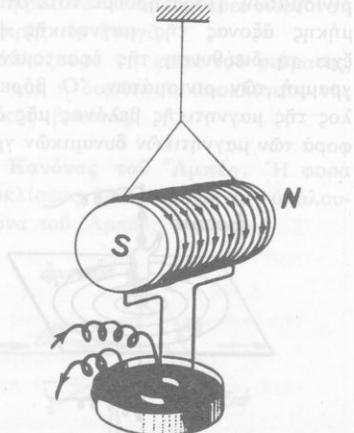
**Σχ. 195.** Τὸ σωληνοειδὲς ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα παρουσιάζει νότιο καὶ βόρειο πόλο στὰ ἄκρα του.

Αντίθετα, ἀν πλησιάσουμε στὴν Ἰδια ἄκρη τοῦ σωληνοειδοῦς τὸν νότιο πόλο S τῆς μαγνητικῆς βελόνας, παρατηρούμε διτέλεσται ἔντονα (σχ. 195, ΙΙ).

Ξανακάνουμε τὸ ἕδιο πείραμα στὴν ἄλλη ἄκρη τοῦ σωληνοειδοῦς. Αὐτὴ τῇ φορᾷ δὲ βόρειος πόλος Ν τῆς μαγνητικῆς βελόνας ἔλκεται, ἐνῶ δὲ νότιος πόλος ἀπωθεῖται. Ἀπὸ τὸ παραπάνω πείραμα συμπεραίνουμε διὰ:

Ἐνα σωληνοειδές, δταν διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, συμπεριφέρεται σὰν παρδόμορφος μαγνήτης μὲ ένα βόρειο μαγνητικὸ πόλο N καὶ ένα νότιο μαγνητικὸ πόλο S.

**Πείραμα.** Κρεμούμε ἔνα σωληνοειδές μὲν ἔνα νῆμα ἀπὸ μετάξι. Τὰ δύο ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ σύρματος ἀγγίζουν ἐλαφρὰ τὴν ἐπιφάνεια τοῦ ὑδράργυρου ποὺ βρίσκεται σὲ δύο συγκεντρικὰ αὐλάκια (σχ. 196). Κλείνομε τὸ διακόπτη καὶ παρατηροῦμε διτὶ τὸ σωληνοειδές περιστρέφεται γύρω ἀπὸ τὸ νῆμα καὶ σταθεροποιεῖται στὴ διεύθυνση Βοριάς - Νότος.



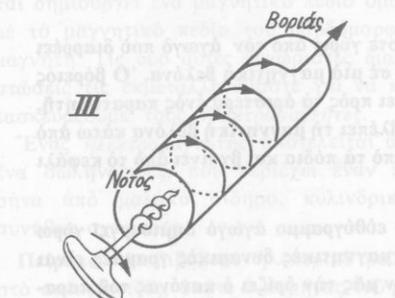
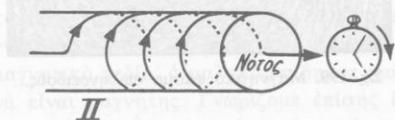
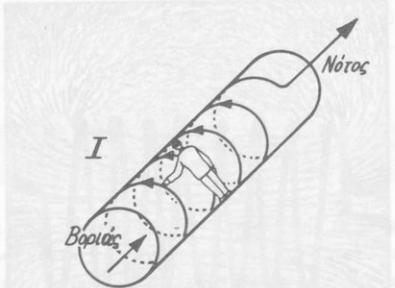
**Σχ. 196.** "Ενα σωληνοειδές ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα προσανατολίζεται στὸ μαγνητικὸ πεδίο τῆς Γῆς.

ήλεκτρικού ρεύματος, παρατηροῦμε ότι τὸ σωληνοειδὲς στρέφεται κατὰ γωνία 180°.

“Ωστε:

Τὸ σωληνοειδὲς προσανατολίζεται, ὅπως καὶ οἱ μαγνῆτες, στὸ γύμνο μαγνητικὸ πεδίο.

**§ 201.** Ἀναγνώριση τοῦ βόρειου καὶ τοῦ νότιου πόλου ἐνὸς σωληνοειδοῦς.



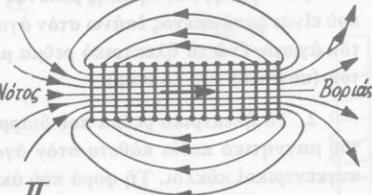
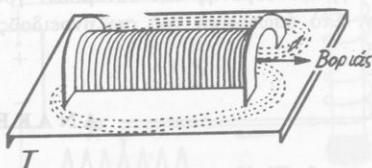
**Σχ. 197.** Γιά τὴν ἀναγνώριση τῆς βόρειας καὶ νότιας δύψης ἐνὸς σωληνοειδοῦς ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα: (I) μὲ τὸν κανόνα τοῦ παρατηρητῆ τοῦ Ἀμπέρ, (II) μὲ τὸ ρολόι, (III) μὲ τὸν κανόνα τοῦ ἐκπομπιστῆ.

‘Ο καθορισμὸς τῶν πόλων ἐνὸς σωληνοειδοῦς μπορεῖ νὰ γίνει μὲ τὸν κανόνα τοῦ Ἀμπέρ. ‘Ο παρατηρητῆς πρέπει νὰ είναι ξαπλωμένος σὲ μία σπεῖρα καὶ νὰ βλέπει στὸ ἑσωτερικὸ τοῦ σωληνοειδοῦς ἔτοι ποὺ τὸ ρεῦμα νὰ μπαίνει ἀπὸ τὰ πόδια του καὶ νὰ βγαίνει ἀπὸ τὸ κεφάλι του (σχ. 197, I). Τότε ὁ βόρειος πόλος βρίσκεται ἀριστερά του.

‘Επιστὶς γιὰ τὸν καθορισμὸν τοῦ βόρειου καὶ νότιου πόλου τοῦ σωληνοειδοῦς χρησιμοποιεῖται πολλὲς φορές Ἑναὶ ρολόι. ‘Ο νότιος πόλος είναι ὁ πόλος πρὸς τὸν ὃποιο κινεῖται τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, διὸν τὸ βλέπουμε νὰ ἔχει φορά ἴδια μὲ τὴ φορὰ τὸν δεικτὸν τοῦ ρολογίου (σχ. 197, II).

Μποροῦμε ἀκόμη νὰ χρησιμοποιήσουμε τὸν κανόνα τοῦ ἐκπομπιστῆ (σχ. 193, III): ‘Η νότια δύψη ἐνὸς σωληνοειδοῦς είναι ἡ δύψη ἐκείνη, μπροστὰ ἀπὸ τὴν ὃποια πρέπει νὰ τοποθετήσουμε ἔναν ἐκπομπιστή, ποὺ γυρίζοντας κατὰ τὴ φορά τοῦ ρεύματος βιδώνεται κατὰ τὴ φορὰ τῶν δυναμικῶν γραμμῶν.

**§ 202.** Μαγνητικὸ φάσμα ἐνὸς σωληνοειδοῦς. Τὸ μαγνητικὸ φάσμα ἐνὸς σωληνοειδοῦς τὸ παίρνομε μὲ τὸν ἴδιο τρόπο ποὺ πήραμε τὸ μαγνητικὸ φάσμα τοῦ ραβδόμορφου μαγνήτη.



**Σχ. 198.** ‘Η μικρὴ μαγνητικὴ βελόνα δείχνει τὴ φορὰ τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν (I). Δυναμικές μαγνητικές γραμμές στὸν έξω καὶ στὸ μέσα χῶρο ἐνὸς σωληνοειδοῦς (II).

**Πείραμα.** Παίρνομε ἔνα κομμάτι χαρτόνι καὶ κατασκευάζομε ἔνα σωληνοειδὲς ἔτσι, ὅστε οἱ σπείρες του νὰ διαπερνοῦν τὸ χαρτόνι (σχ. 198, I). Στὴ μίᾳ δψῃ τοῦ χαρτονιοῦ σκορπίζομε ρινίσματα σιδήρου καὶ διοχετεύμε ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ σωληνοειδές. Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου τοποθετοῦνται κατὰ μῆκος δρισμένων γραμμῶν, ποὺ μοιάζουν μὲ τὶς μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς τοῦ ραβδόμορφου μαγνήτη.

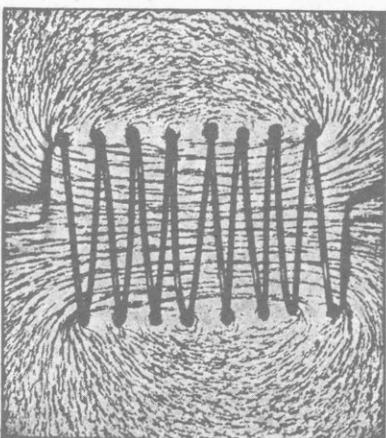
Οἱ μαγνητικὲς δηλαδὴ δυναμικὲς γραμμὲς βγαίνουν ἀπὸ τὴ βόρεια δψη, καμπύλωνται καὶ μπαίνουν στὴ νότια δψη τοῦ σωληνοειδοῦς. Εἶναι κλειστὲς γραμμὲς καὶ στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ σωληνοειδοῦς γίνονται εὐθεῖες παράλληλες μεταξὺ τοὺς, μὲ φορὰ ἀπὸ τὸν νότιο πρὸς τὸν βόρειο πόλο (σχ. 198, II καὶ 199).

Ἄν τώρα μετακινήσουμε μία μικρὴ μαγνητικὴ βελόνα στὸ μαγνητικὸ πεδίο ἐνὸς σωληνοειδοῦς, διαπιστώνομε ὅτι ὁ διαμῆκτης ἄξονάς της παίρνει πάντοτε τὴ διεύθυνση τῆς ἐφαπτομένης τῶν δυναμικῶν γραμμῶν. Στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ σωληνοειδοῦς ἡ

μαγνητικὴ βελόνα ἔχει διεύθυνση παράλληλη πρὸς τὸν ἄξονά του. "Ωστε:

"Ἐνα σωληνοειδὲς ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα συμπεριφέρεται σὰν μαγνήτης μὲ πόλους τὰ δύο ἄκρα του.

"Ἡ πολικότητα τοῦ σωληνοειδοῦς ἔξαρταται ἀπὸ τὴ φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.



Σχ. 199. Μαγνητικὸ φάσμα σωληνοειδοῦς.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα δημιουργεῖ πάντοτε γύρω ἀπὸ τὸν ἀγωγὸ ποὺ διαρρέει ἔνα μαγνητικὸ πεδίο, ποὺ προκαλεῖ ἀπόκλιση σὲ μιὰ μαγνητικὴ βελόνα. Ὁ βόρειος πόλος αὐτῆς τῆς μαγνητικῆς βελόνας ἀποκλίνει πρὸς τὰ ἀριστερὰ ἐνὸς παρατηρητῆ, ποὺ εἶναι ζαπλωμένος ἐπάνω στὸν ἀγωγὸ καὶ βλέπει τὴ μαγνητικὴ βελόνα κάτω ἀπὸ τὸν ἀγωγό, ἐνῷ τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα μπαίνει ἀπὸ τὰ πόδια καὶ βγαίνει ἀπὸ τὸ κεφάλι του (κανόνας τοῦ Ἀμπέρ).

2. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ποὺ διαρρέει ἔναν εὐθύγραμμο ἀγωγὸ δημιουργεῖ γύρω του μαγνητικὸ πεδίο κάθετο στὸν ἀγωγό. Οἱ μαγνητικὲς δυναμικὲς γραμμὲς εἶναι συγκεντρικοὶ κύκλοι. Τὴ φορὰ ποὺ ἀκολουθοῦν μᾶς τὴν δρίζει ὁ κανόνας τοῦ παρατηρητῆ τοῦ Ἀμπέρ. Συγκεκριμένα, ὅταν ὁ παρατηρητής τοῦ Ἀμπέρ παρακολουθεῖ ἔνα σημεῖο, ἡ δυναμικὴ γραμμὴ ποὺ περνᾷ ἀπὸ αὐτὸν τὸ σημεῖο ἔχει φορὰ πρὸς τὰ ἀριστερὰ τοῦ παρατηρητῆ.

Οἱ δυναμικὲς γραμμὲς ἀλλάζουν φορά, ὅταν ἀναστρέψουμε τὴ φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

3. Όταν ένα σωληνοειδές διαρρέεται άπό ήλεκτρικό ρεύμα, συμπεριφέρεται σάν μαγνήτης. Έμφανίζει μιά βόρεια και μιά νότια δύψη και προσανατολίζεται κατά τη διεύθυνση του γήινου μαγνητικού πεδίου.

4. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα ποὺ διαρρέει ἔνα σωληνοειδὲς δημιουργεῖ γύρῳ του ἔνα μαγνητικὸ πεδίο, τὸ ὅποιο, ὅταν ὑλοποιεῖται, δίνει ἔνα μαγνητικὸ φάσμα ὅμοιο μὲ τὸ φάσμα τῶν ραβδόμορφῶν μαγνητῶν. Ἡ πολικότητα τοῦ σωληνοειδοῦς ἔξαρται απὸ τὴ φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

5. Γιὰ νὰ καθορίσουμε τὴ βόρεια καὶ τὴ νότια δύψη ἐνὸς σωληνοειδοῦς, χρησιμοποιοῦμε συνήθως τὸν κανόνα τοῦ Ἀμπέρ.

## ΛΘ' — ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΕΣ

§ 203. Γενικότητες. Ἐρχὴ τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη. Σὲ προηγούμενα μαθήματα εἰχαμε ἀναφέρει ὅτι, ὅταν ἔνα κομμάτι μαλακὸς σίδηρος τοποθετηθεῖ στὸ μαγνητικὸ πεδίο ἐνὸς μαγνήτη, μαγνητίζεται πρόσκαιρα. Ὅταν δηλαδὴ ἀπομακρύνουμε τὸ κομμάτι τοῦ μαλακοῦ σιδήρου ἀπὸ τὸ μαγνητικὸ πεδίο ἢ ἂν πάψει νὰ ὑπάρχει τὸ μαγνητικὸ πεδίο, ὁ μαλακὸς σίδηρος πάνει νὰ είναι μαγνήτης. Γνωρίζουμε ἐπίσης ὅτι ἔνα σωληνοειδές, ὅταν διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, ισοδυναμεῖ μὲ μαγνήτη καὶ δημιουργεῖ ἔνα μαγνητικὸ πεδίο ὅμοιο μὲ τὸ μαγνητικὸ πεδίο τοῦ ραβδόμορφου μαγνήτη. Τὶς δύο αὐτές ἔχεωριστες διαπιστώσεις τὶς ἐκμεταλλεύμαστε γιὰ νὰ κατασκευάζουμε τοὺς ἡλεκτρομαγνήτες.

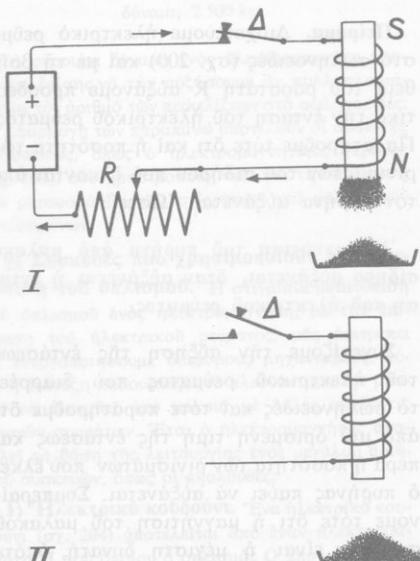
Ἐνας ἡλεκτρομαγνήτης ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα σωληνοειδές, ποὺ περιέχει ἔναν πυρήνα ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο, κυλινδρικοῦ συνήθως σχήματος.

**Πείραμα.** Διαβιβάζουμε ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ σωληνοειδές, ὅπότε ὁ πυρήνας τοῦ μαλακοῦ σιδήρου μαγνητίζεται καὶ ἀποχωτᾷ τὴν ἴκανότητα νὰ ἔλκει τὰ ρινίσματα τοῦ μαλακοῦ σιδήρου (σχ. 200).

Ἄν πλησιάσουμε διαδοχικὰ μία μαγνητὴ βελόνα στὰ δύο ἄκρα τοῦ πυρήνα,

διαπιστώνουμε ὅτι ὁ πυρήνας παρουσιάζει ἔνα βόρειο καὶ ἔνα νότιο μαγνητικὸ πόλο.

Ἄν ἀλλάξουμε τὴ φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ἡ πολικότητα τοῦ πυρήνα ἀντιστρέφεται.



Σχ. 200. Ἡλεκτρομαγνήτης (ἀρχή).

Διακόπτομε τὸ κύκλωμα, ὅπότε παρατηροῦμε ὅτι τὰ ρινίσματα τοῦ σιδήρου πέφτουν ἀπὸ τὸν πυρήνα ἀμέσως. Ὁ πυρήνας ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο χάνει ἀμέσως τὴ μαγνήτισθ του.

Εἶναι δυνατὸ συχνά νὰ μείνουν κολλημένα στὸν πυρήνα μερικὰ ρινίσματα σιδήρου. Αὐτὸ δοφεῖλεται στὸ δτὶ δ πυρήνας δὲν ἀποτελεῖται ἀπὸ τελείως καθαρὸ σίδηρο, ἀλλὰ περιέχει καὶ προσμεξεῖς χάλυβα. **Ωστε:**

Ἐνας ἡλεκτρομαγνῆτης εἶναι ἔνας πρόσκαιρος μαγνήτης, ὁ ὥποιος ἀποτελεῖται ἀπὸ ἔνα σωληνοειδὲς, ποὺ περιέχει ἔναν πυρήνα ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο.

Ἡ διέγερση τοῦ ἡλεκτρομαγνῆτη προκαλεῖται ἀπὸ τὸ πέρασμα ἡλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπὸ τὸ σωληνοειδές. **Ωστε να**

Ο ἡλεκτρομαγνῆτης παρουσιάζει δύο πόλους καὶ ἡ πολικότητά του ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὴ φορά τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

**Πείραμα.** Διοχετεύομε ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ σωληνοειδὲς (σχ. 200) καὶ μὲ τὴ βοήθεια τοῦ ροοστάτη R αὐξάνομε προοδευτικὰ τὴν ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Παρατηροῦμε τότε δτὶ καὶ ἡ ποσότητα τῶν ρινισμάτων τοῦ σιδήρου ποὺ ἔλκονται ἀπὸ τὸν πυρήνα αὐξάνεται. **Ωστε :**

Ἡ μαγνήτισθ τοῦ πυρήνα ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο αὐξάνεται, ὅταν αὐξάνεται ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

Συνεχίζομε τὴν αὔξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ σωληνοειδές καὶ τότε παρατηροῦμε δτὶ ἀπὸ μιὰ δρισμένη τιμὴ τῆς ἐντάσεως καὶ πέρα ἡ ποσότητα τῶν ρινισμάτων ποὺ ἔλκει ὁ πυρήνας παύει νὰ αὐξάνεται. Συμπεραίνομε τότε δτὶ ἡ μαγνήτισθ τοῦ μαλακοῦ σιδήρου εἶναι ἡ μέγιστη δυνατή, ὅπότε λέμε δτὶ ἔχομε ἐπιτύχει μαγνητικὸ κόρο.

**Ωστε:**

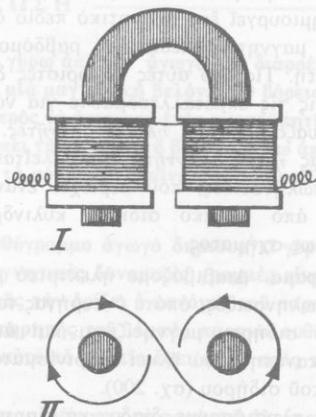
Ἡ μαγνήτισθ τοῦ πυρήνα ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο αὐξάνεται, καθὸς αὐξάνεται ἡ ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ σωληνοειδές. Ἡ μαγνήτισθ αὐτῇ δὲν μπορεῖ νὰ ἔξεπεράσει ἔνα δρισμένο δριο (μαγνητικὸς κόρος), δσο καὶ ἀν αὐξήσουμε τὴν ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

### § 204. Διάφορα εἴδη ἡλεκτρομαγνητῶν.

Ο ἡλεκτρομαγνῆτης ποὺ χρησιμοποιήσαμε στὴν ἀνάπτυξη τῆς προηγούμενης παραγράφου, ἦταν ἐπιμήκης καὶ ραβδόμορφος. Πολὺ συχνὰ δμως χρησιμοποιοῦμε καὶ πεταλοειδῆς ἡλεκτρομαγνῆτες (σχ. 201). Σ' αὐτὸ τὸ εἰδός τοῦ ἡλεκτρομαγνῆτη οἱ δύο πόλοι βρίσκονται πολὺ κοντά ὁ ἔνας στὸν ἄλλο, μὲ ἀποτέλεσμα ἡ ἔλξη νὰ είναι πολὺ ἴσχυρή.

Κάθε σκέλος τοῦ πεταλοειδοῦ πυρήνα φέρει μιὰ περιέλιξη. Οἱ περιελίξεις τῶν δύο σκελῶν πρέπει νὰ γίνονται κατὰ ἀντίθετες φορές (σχ. 201, II) ἕτοι, ὡστε τὰ ἐλεύθερα ἄκρα τοῦ πυρήνα νὰ είναι ἐτερόνυμοι μαγνητικοὶ πόλοι.

Μία ράβδος ἡ πλάκα ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο, ἡ ὥποια δνομάζεται ὀπλοσμός, ἔλκεται ἀπὸ τὸ σύστημα τῶν δύο πόλων, ὅταν τὸ σωλη-



Σχ. 201. Πεταλοειδῆς ἡλεκτρομαγνῆτης.

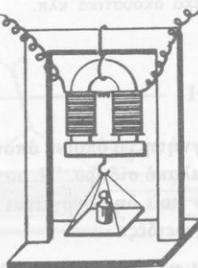
νοειδές διαρρέεται άπό ρεύμα, καὶ ἀποχωρίζεται, διακοπεῖ ἡ παροχὴ τοῦ ρεύματος.

**§ 205.** Ἐφαρμογές τῶν ἡλεκτρομαγνητῶν. Οἱ ἐφαρμογές τῶν ἡλεκτρομαγνητῶν εἰναι πολλές καὶ διάφορες. Οἱ συσκευὲς ποὺ κατασκευάζονται μὲ βάση τῆν ἀρχῆ τῶν ἡλεκτρομαγνητῶν μποροῦν νὰ παράγουν ἴσχυρὰ μαγνητικὰ πεδία καὶ νὰ χρησιμοποιοῦνται ὡς ἀνύψωτικὲς διατάξεις. Ἐξάλλου τὴν ἔλξη τοῦ δύλισμοῦ τὴν ἐκμεταλλεύμαστε σὲ μιὰ μεγάλη ποικιλία συσκευῶν καὶ κυρίως στὶς συσκευὲς αὐτοματοποιήσεως.

**α)** **Παραγωγὴ μαγνητικῶν πεδίων.** Οἱ ἡλεκτρομαγνητὲς χρησιμοποιοῦνται πολὺ περισσότερο ἀπὸ τοὺς μόνιμους μαγνῆτες, γιατὶ ἐπιτέρεπτουν τὴν πραγματοποίηση ἴσχυρῶν μαγνητικῶν πεδίων. Γ' αὐτὸ δρίσκουν ἐφαρμογές στὰ διάφορα ἐργαστήρια ἐρευνῶν, στοὺς δυναμοκινητῆρες, στὶς γεννήτριες ἐναλλασσόμενου ρεύματος κλπ.

**β)** **Ἀνύψωτικὲς διατάξεις. Πείραμα.** Διοχετεύομε ἡλεκτρικὸ ρεύμα στὸ σπείραμα ἐνὸς πεταλοειδοῦς ἡλεκτρομαγνήτη, ποὺ εἶναι στερεωμένος σὲ πλάισιο, ἵνα δὲ δύλισμος τοῦ βαστᾶ ἔνα δίσκο μὲ βάρη (χ. 202). Φορτίζουν διαδοχικά τὸ δίσκο μὲ μεγαλύτερα συνεχῶς βάρη, ὅστουν δύλισμὸς ἀποχωρίστει ἀπὸ τὸν ἡλεκτρομαγνήτη.

Αὐξάνομε προοδευτικὰ τὴν ἔνταση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, ποὺ διαρρέει τὸν ἡλεκτρομαγνήτη. Παρατηροῦμε τότε διὰ ἡ φέρουσα δύναμη, δηλαδὴ ἡ ἐλεκτικὴ ἱκανότητα, αὐξάνεται ως μία ὄρισμένη τιμὴ. Ἡ μέγιστη φέρουσα δύναμη ἀντιστοιχεῖ στὸν μαγνητιό κόρῳ.



χ. 202. Φέρουσα δύναμη ἡλεκτρομαγνήτη.



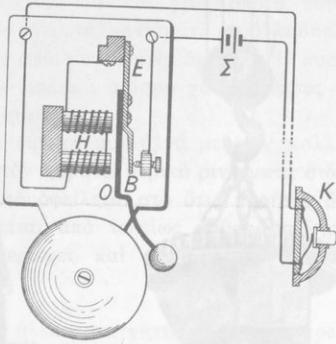
χ. 203. ἡλεκτρομαγνητικὸς γερανὸς μὲ φέρουσα δύναμη 2 500 kp.

Τὴ φέρουσα δύναμη ἐνὸς ἡλεκτρομαγνήτη μποροῦμε ἐπίσης νὰ τὴν αὐξήσουμε, ἀν πολλὰ πλασιάσουμε τὸν ἀριθμὸ τῶν περιελίξεων στὸ σωληνοειδὲς.

Ἐφαρμογὴ τῶν παραπάνω ἀποτελοῦν οἱ συσκευὲς ἀνύψωσεως, ὅπως ὁ ἡλεκτρομαγνητικὸς γερανὸς (χ. 203), ποὺ χρησιμοποιοῦνται για τὴν ἀνύψωση καὶ μεταφορὰ βαριῶν σιδερένιων καὶ χαλύβδινων ἀντικειμένων.

**γ) Συσκευὲς ποὺ χρησιμοποιοῦν τὴ μετάτοπιση τοῦ δύλισμοῦ.** Ἡ στιγμαίᾳ μετατόπιση τοῦ δύλισμοῦ ἐνὸς ἡλεκτρομαγνήτη, μὲ τὴν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, μᾶς ἐπιτέρεπται νὰ ἐνεργοποιήσουμε διάφορους μηχανισμούς. Αὐτὴ ἡ διάταξη παρουσιάζει τὸ πλεονέκτημα δὶ μπορεῖ νὰ ἐλεγχθεῖ ἀπὸ μακρὰ μὲ ἀπλές συνδέσεις ἀγωγῶν συρμάτων. Ἔτσι ὁ ἡλεκτρομαγνήτης ἀποτελεῖ τὴ βάση τῆς λειτουργίας ἐνὸς μεγάλου ἀριθμοῦ συσκευῶν, ὅπως οἱ ἀκόλουθες:

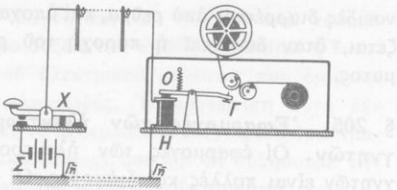
**1) Ἡλεκτρικὸ κουδούνι.** Ἔνα ἡλεκτρικὸ κουδούνι (χ. 204) ἀποτελεῖται ἀπὸ ἐνναὶ ἡλεκτρομαγνήτη H, τοῦ διοιου δύλισμος O ἀπὸ μαλακὸ σίδηρο εἰναι στερεωμένος σὲ ἔνα ἐλαστικὸ χαλύβδινο ἔλασμα EB. Τὸ ἔλασμα αὐτὸ στηρίζεται μὲ τὴ



Σχ. 204. Ήλεκτρικό κουδούνι.

μιάν άκρη του στή βάση τής συσκευής. Όταν πιέζουμε τό κουμπί Κ, τό κύκλωμα κλείνει και τό ήλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τόν ήλεκτρομαγνήτη, με άποτέλεσμα νά έλκεται ο όπλισμός και τό σφράκι νά χτυπά τό κουδούνι. Συγχρόνως τό άκρο Β τού έλασματος άποχωρίζεται από τή βίδα, δησού άκουμποδες και τό κύκλωμα διακόπτεται. Ή έλξη σταματά και τό έλαστικό χαλύβδινο έλασμα ξαναφέρνει τόν όπλισμο στήν άρχική του θέση, δόπτε ξανακλείνει τό κύκλωμα και τό φαινόμενο έπαναλαμβάνεται, δοτά σώμα πιέζουμε τό κουμπί.

**2) Τηλέγραφος.** Ότι τηλέγραφος έπιτρέπει με τή χρήση τού ήλεκτρικού ρεύματος τήν άποστολή σημάτων σε μεγάλες άποστάσεις. Ό σταθμός έκπομπής περιλαμβάνει μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος Σ (ήλεκτρικές στήλες, συσσωρευτές) και ένα χειριστήριο Χ (σχ. 205). Ό σταθμός λήψης άποτελείται από έναν ήλεκτρομαγνήτη, πού έχει όπλισμό μία μικρή πλάκα Ο, στερεωμένη σε έναν κινητό μοχλό. Ένα κατάλληλο έλατηριο διατηρεῖ τόν όπλισμο μακριά από τόν πυρήνα τού ήλεκτρομαγνήτη.



Σχ. 205. Μονόπλευρη τηλεγραφική άνταπόκριση.

Όταν πιέζουμε τό χειριστήριο, ή πλάκα (όπλισμός) έλκεται, ή άκρη Γ τού μοχλού σηκώνεται και ή γραφίδα πού είναι στερεωμένη στό άκρο τού μοχλού χαράζει γραμμές σε μία ταινία από χαρτί. Ή ταινία αυτή παρασύρεται σε μία σταθερή συνεχή κίνηση με τή βοήθεια ένδος ωρολογιακού μηχανισμού.

Μόλις σταματήσει η πίεση στό χειριστήριο, ή πλάκα παύει νά έλκεται, τό έλατηριο τήν άπομακρύνει από τόν πυρήνα τού ήλεκτρομαγνήτη και ή γραφίδα παύει νά είναι σ' έπαρη με τή χάρτινη ταινία. Τό μηκός τής γραμμής πού χαράζει ή γραφίδα έξαρται από τόν χρόνο πού έξακολουθούμε νά πιέζουμε τό χειριστήριο. Μία πολύ σύντομη έπαφη απόδιδει μία βραχεία στιγμή (τελεία), ένδος, διαφέρει περισσότερο ή έπαφη, ή γραφίδα σημειώνει μακριά στιγμή (γραμμή). Τά διάφορα γράμματα τού άλφαβητου μεταδίδονται με συνδυασμούς γραμμών και στιγμών (Μορφικό άλφαβητο).

Αυτό τό υπόδειγμα τού τηλεγράφου έχει άντικα τασταθεί σήμερα από πολύπλοκες συσκευές, πού αποδίδουν τά γράμματα στήν ταινία απ' εύθειας με τη πογραφικούς χαρακτήρες, αντί με γραμμές και τελείες. Πάντως ή άρχη παραμένει ή ίδια.

"**Άλλες χρήσεις τού ήλεκτρομαγνήτη.** Ωι ήλεκτρομαγνήτες χρησιμοποιούνται στή μετάδοση τών σημάτων στά σιδηροδρομικά δίκτυα, στά ήλεκτρικά ρολόγια, στοις ήλεκτρονόμους (ρελαϊ), στά τηλεφωνικά άκουστικά κλπ.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ό ήλεκτρομαγνήτης είναι ένας πρόσκαιρος μαγνήτης, δι όποιος άποτελείται από ένα σωληνοειδές, πού περιέχει έναν πυρήνα από μαλακό σίδηρο. Ή μαγνήτιση τού μαλακού σιδήρου οφείλεται στό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργείται από τό πέρασμα τού ήλεκτρικού ρεύματος μέσα από τό σωληνοειδές.

2. Ό μαγνήτιση ένδος ήλεκτρομαγνήτη αυξάνεται με τήν αεξηση τής έντασης τού ήλεκτρικού ρεύματος, ώς ένα όρισμένο σημείο. Πέρα από μιά όρισμένη

τιμή τῆς ἐντάσεως ή μαγνήτιση παραμένει σταθερή, καὶ τότε λέμε ὅτι φτάσαμε σὲ μαγνητικό κόρο.

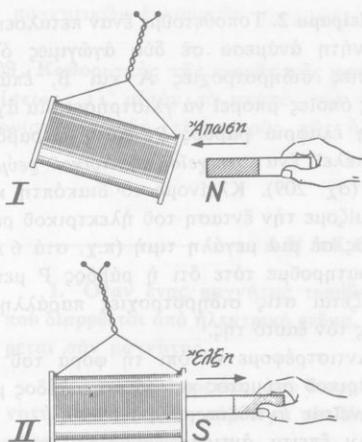
3. Ἐνας ἡλεκτρομαγνήτης παρουσιάζει δύο μαγνητικοὺς πόλους, Βόρειο καὶ Νότιο. Ή πολικότητα τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη ἀντιστρέφεται, ὅταν ἀντιστρέψουμε τὴν φορὰ τῆς ἐντάσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

4. Ἐφαρμογές τῆς χρήστης τῶν ἡλεκτρομαγνητῶν είναι τὸ ἡλεκτρικὸ κουδούνι, ὁ τηλέγραφος, οἱ ἀνυψωτικὲς διατάξεις κλπ.

## Μ' — ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

§ 206. Δράση ἐνὸς μαγνήτη σὲ ἔνα σωληνοειδές. Παίρνομε ἔνα σωληνοειδές καὶ τὸ κρεμοῦμε ἀπὸ δύο σταθερὰ σημεῖα μὲ δύο εὔκαμπτα ἀγωγὰ σύρματα. Διοχετεύομε ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στὸ σωληνοειδές καὶ πλησιάζομε τὸν ἔνα πόλο ἐνὸς μαγνήτη στὴ μία δύψη τοῦ σωληνοειδοῦς.

Παρατηροῦμε τότε ὅτι τὸ σωληνοειδές ἡ ἔλκεται ἢ ἀπωθεῖται ἀπὸ τὸ μαγνήτη



Σχ. 206. Τὸ κρεμαστὸ σωληνοειδές ἀπωθεῖται ἢ ἔλκεται ἀπὸ τὸ μαγνήτη.

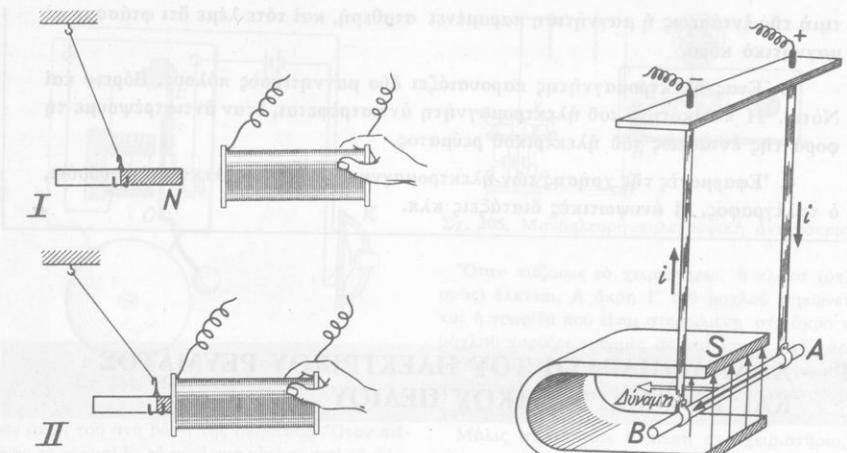
(σχ. 206). Ἡ ἔλξη ἢ ἡ ἀπωση αὐτὴ ἔξαρται ἀπὸ τὸ εἰδος τοῦ πόλου τοῦ μαγνήτη ποὺ πλησιάζομε.

Ἀντιστρέφομε τὴν φορὰ τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος στὸ σωληνοειδές, ὅπότε παρατηροῦμε ὅτι οἱ μετατοπίσεις τοῦ σωληνοειδοῦς είναι ἀντίθετης φορᾶς ἀπὸ τὶς προηγούμενες. "Ωστε: πολικό νότιο πόλον" αὐτῷ συντίθεται.

"Οταν ἔνα σωληνοειδές, ποὺ διαρρέεται ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα, βρίσκεται κοντά σὲ μιὰ μαγνητισμένη ράβδο, μετατοπίζεται ὅπως ἔνας κινητὸς μαγνήτης.

§ 207. Δράση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος σὲ ἔνα μαγνήτη. Πείραμα. Παίρνομε ἔναν ραβδόμορφο μαγνήτη, ποὺ κρέμεται ἀπὸ ἔνα σταθερὸ σημεῖο μὲ λεπτὸ καὶ εὔκαμπτο νῆμα (σχ. 207, I), ὅπότε, δύπως γνωρίζομε, παίρνει τὴ διεύθυνση Βοριάς - Νότος, καὶ πλησιάζομε στὸν βόρειο πόλο του τὴ νότια δύψη ἐνὸς σωληνοειδοῦς. 'Ο μαγνήτης προσανατολίζεται τότε παράλληλα πρὸς τὸν ἄξονα τοῦ σωληνοειδοῦς καὶ ἔλκεται ἐλαφρά.

"Αν πλησιάσουμε ἀκόμη περισσότερο τὸ σωληνοειδές, δο μαγνήτης ἔλκεται δυνατά καὶ εἰσχωρεῖ στὴν κοιλότητα τοῦ σωληνο-



Σχ. 207. Τό σωληνοειδές έλκει τό μαγνήτη.

ειδούς (σχ. 207, II). "Αν κατόπι περιστρέψουμε τό σωληνοειδές κάτα  $180^{\circ}$  ή άν αντιστρέψουμε τό ηλεκτρικό ρεύμα, τότε ο νότιος πόλος τού μαγνήτη έλκεται και είσχωρει στήν κοιλότητα τής βόρειας δύψης τού σωληνοειδούς. "Ωστε:

"Ένα σωληνοειδές, πού διαρρέεται άπο ηλεκτρικό ρεύμα, έπιδρα σε μιά κινητή μαγνητισμένη ράβδο, όπως θά έπιδρούσε ένας μόνιμος μαγνήτης.

**§ 208. Ήλεκτρομαγνητική δύναμη.** **Πείραμα 1.** Παίρνομε έναν πεταλοειδή μαγνήτη και τόν τοποθετούμε όπως δείχνει τό σχήμα 208. "Ένα πλαίσιο άπο χάλκινο ευκαμπτό άγωγό σύρμα τοποθετεῖται έτσι, ώστε ο κλάδος AB νά είναι κάθετος στίς μαγνητικές γραμμές.

Διοχετεύομε ηλεκτρικό ρεύμα, όποτε παρατηροῦμε ότι τό πλαίσιο άποκλίνει και έλκεται πρός τό έσωτερικό τού μαγνήτη.

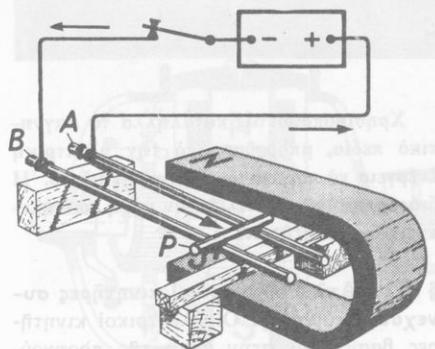
Ξανακάνομε τό ίδιο πείραμα άντιστρέφοντας τήν πολικότητα τού μαγνήτη. Τό πλαίσιο άπωθεῖται τώρα πρός τό έξωτε-

ρικό τού μαγνήτη. "Αν άντιστρέψουμε τή φορά τού ηλεκτρικού ρεύματος, άφηνοντας τό μαγνήτη με τόν βόρειο μαγνητικό πόλο πρός τά έπάνω, θά δοῦμε ότι τό πλαίσιο άποκλίνει και έλκεται πάλι πρός τό έσωτερικό τού μαγνήτη.

**Πείραμα 2.** Τοποθετούμε έναν πεταλοειδή μαγνήτη άνάμεσα σε δύο άγωγιμες ορίζοντες σιδηροτροχιές A και B, έπάνω στίς οποίες μπορεῖ νά γλιτστήσει μία άγωγιμη έλαφριά ράβδος P. Αύτή ή ράβδος άποτελεί ένα στοιχείο ηλεκτρικού ρεύματος (σχ. 209). Κλείνομε τό διακόπτη και ρυθμίζομε τήν ένταση τού ηλεκτρικού ρεύματος σε μιά μεγάλη τιμή (π.χ. στά 6 Α). Παρατηροῦμε τότε ότι ή ράβδος P μετατοπίζεται στίς σιδηροτροχιές παράλληλα πρός τόν έσωτο τής.

"Άντιστρέφομε κατόπι τή φορά τού ηλεκτρικού ρεύματος και τότε ή ράβδος μετακινεῖται άντιθέτως.

"Αν έπειτα άντιστρέψουμε τήν πολικότητα τού μαγνήτη έτσι, ώστε ο νότιος μαγνητικός πόλος νά είναι πρός τά έπάνω,



**Σχ. 209.** Μετατόπιση ένδος στοιχείου ήλεκτρικού ρεύματος με τή δράση μιᾶς ηλεκτρομαγνητικής δυνάμεως.

Θὰ παρατηρήσουμε ότι οι μετατοπίσεις τῆς ράβδου είναι άντιθετες άπό δ', τι τήν προηγούμενη φορά. "Ωστε:

"Αν ένας άγωγός, ποὺ διαρρέεται άπό ηλεκτρικό ρεύμα, τοποθετηθεὶ στὸ μαγνητικὸ πεδίο ένδος μαγνήτη, δέχεται τὴν ἐπιδρασὴ μιᾶς ηλεκτρομαγνητικῆς δυνάμεως. Ή φορὰ τῆς δυνάμεως αὐτῆς ἔξαρτα· α., άπό τή φορὰ τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ άπό τή φορὰ τῶν μαγνητικῶν δυναμικῶν γραμμῶν.

**§ 209. Καθορισμὸς τῆς φορᾶς τῆς μετατοπίσεως.** Γι' αὐτὸν τὸ σκοπό, γιὰ τὸν καθορισμὸ δηλαδὴ τῆς φορᾶς τῆς ηλε-

κτρομαγνητικῆς δυνάμεως, χρησιμοποιοῦμε τοὺς ἀκόλουθους δύο κανόνες.

**α) Κανόνας τοῦ Ἀμπέρ.** "Αν ἔνας παρατηρητής, ποὺ βρίσκεται ξαπλωμένος ἐπάνω στὸν ἄγωγό, κοιτάζει κατὰ τὴν φορὰ τῶν μαγνητικῶν δυναμικῶν γραμμῶν καὶ τὸ ηλεκτρικὸ ρεύμα μπαίνει άπὸ τὰ πόδια του καὶ βγαίνει άπὸ τὸ κεφάλι του, ἡ δύναμη ἔχει φορὰ πρὸς τὰ ἀριστερά του.

**β) Κανόνας τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ.** "Οταν δ ἀντίχειρας τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ ἔχει τὴ διεύθυνση τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ δ ἀδείκτης τὴ διεύθυνση τῶν μαγνητικῶν δυναμικῶν γραμμῶν (μαγνητικὸ πεδίο), τότε δ μέσος, ἂν κρατηθεῖ κάθετα πρὸς τοὺς ἄλλους δύο, δείχνει τὴ φορὰ τῆς μετατοπίσεως, δηλαδὴ τῆς ηλεκτρομαγνητικῆς δυνάμεως (σχ. 210).



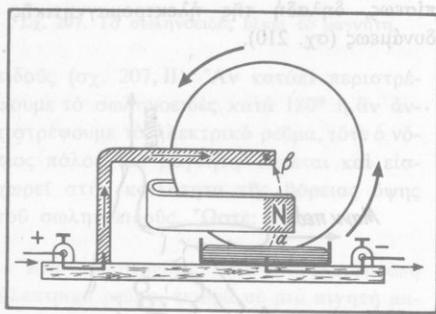
**Σχ. 210.** Ο κανόνας τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ.

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Οταν ἔνας μαγνήτης τοποθετηθεὶ κοντὰ σὲ ἔνα κρεμαστὸ σωληνοειδὲς, ποὺ διαρρέεται άπὸ ηλεκτρικὸ ρεύμα, τὸ σωληνοειδὲς μετατοπίζεται καὶ συμπεριφέρεται σὰν μαγνήτης.

2. "Ενα σωληνοειδές, ποὺ διαρρέεται άπὸ ηλεκτρικὸ ρεύμα, ἐπιδρᾶ σὲ μιὰ κινητὴ μαγνητισμένη ράβδο μὲ τὸν ἴδιο τρόπο, ποὺ θὰ ἐπιδροῦσε καὶ ἔνας ραβδός μορφος μαγνήτης.

**§ 210. Τροχός του Μπάρλοου (Barlow).** Παίρνομε ἔνα συμπαγή χάλκινο δίσκο, τοποθετημένο στὸ διάκενο ἐνὸς μόνιμου πεταλοειδοῦς μαγνήτη. Ὁ δίσκος αὐτὸς μπορεῖ νὰ στρέφεται γύρω ἀπὸ δριζόντιο ἄξονα, ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὸ κέντρο του β καὶ εἶναι ἐλαφρὰ βυθισμένος στὸν ὑδράργυρο μιᾶς λεκάνης. Ὁ ὑδράργυρος χρησιμοποιεῖται σὰν ἀγωγός, γιὰ νὰ μπορέσει τὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα νὰ κυκλωφορήσει, δῶς δείχνεται στὸ σχῆμα 211.



Σχ. 211. Τροχός του Μπάρλοου.

"Όταν περνᾶ τὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα αβ ἀπὸ τὸ μαγνητικὸ πεδίο, δέχεται τὴν ἐπίδραση μιᾶς ηλεκτρομαγνητικῆς δυνάμεως  $F$ . Ἡ δύναμη αὐτῆ, ἐπειδὴ δὲν περνᾶ ἀπὸ τὸν ἄξονα περιστροφῆς  $\beta$ , ἔχει μία ροπὴ ὡς πρὸς αὐτὸν καὶ ἔτσι ὁ τροχὸς παρασύρεται σὲ περιστροφικὴ κίνηση. Ἡ φορὰ τῆς δυνάμεως  $F$  καθορίζεται μὲ τὸν κανόνα τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ.

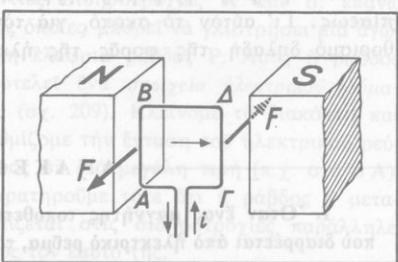
"Ἄν στερεώσουμε μιὰ τροχαλία στὸν ἄξονα  $\beta$ , τότε, ἔχαιτας τῆς περιστροφῆς τοῦ τροχοῦ, μποροῦμε νὰ ἀνυψώσουμε ἔνα φορτίο, δηλαδὴ μποροῦμε νὰ παραγάγουμε μηχανικὸ ἔργο. Ὡστε:

Χρησιμοποιώντας κατάληλα τὸ μαγνητικὸ πεδίο, μποροῦμε ἀπὸ τὴν ηλεκτρικὴ ἐνέργεια νὰ παραγάγουμε μηχανικὸ ἔργο. Ἡ διάταξη αὐτῇ ἀποτελεῖ τὴν ἀρχὴ τῶν ηλεκτρικῶν κινητήρων.

**§ 211. 'Απλοὶ ηλεκτρικοὶ κινητῆρες συνεχοῦς ρεύματος.** Οἱ ηλεκτρικοὶ κινητῆρες βασίζονται στὴν ἀρχὴ τῆς προηγούμενης παραγράφου, μὲ μόνη τὴ διαφορὰ διτὶ ἀγωγὸς ἔχει σχῆμα πλαισίου (σχ. 212).

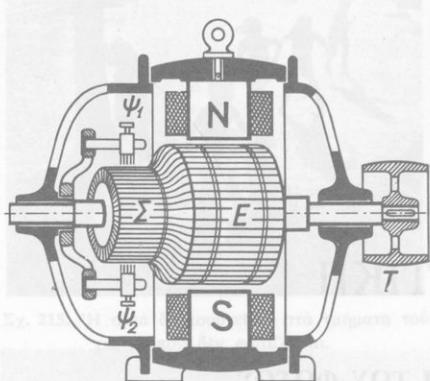
Τὸ πλαίσιο διαφρέεται ἀπὸ ηλεκτρικὸ ρεῦμα καὶ βρίσκεται μέσα στὸ μαγνητικὸ πεδίο ἐνὸς μόνιμου μαγνήτη. Καθὼς ἔρομε, στὶς πλευρὲς  $AB$  καὶ  $ΓΔ$  τοῦ πλαισίου ἀσκοῦνται δύο δυνάμεις τοῦ ἴδιου μέτρου  $F$  ἀλλὰ ἀντίθετης φορᾶς. Στὸ πλαίσιο συνεπῶς ἀσκεῖται ἔνα ζεύγος δυνάμεων, ποὺ ἡ ροπὴ του, ὡς πρὸς τὸν ἄξονα τοῦ πλαισίου, παρασύρεται τὸ πλαίσιο σὲ περιστροφικὴ κίνηση.

Στὴν Τεχνικὴ ἀντὶ ἐνὸς πλαισίου χρησιμοποιοῦμε πολλὰ πλαίσια, κατάλληλα περιτυλιγμένα καὶ μονωμένα μεταξὺ τους.



Σχ. 212. 'Αρχὴ τῆς λειτουργίας ἐνὸς ηλεκτρικοῦ κινητῆρα.

"Ἐνας ηλεκτρικὸς κινητῆρας βιομηχανικῆς χρήσεως περιλαμβάνει ἔναν ηλεκτρομαγνήτη (σχ. 213), ποὺ ἀποτελεῖ τὸ ἀκί-



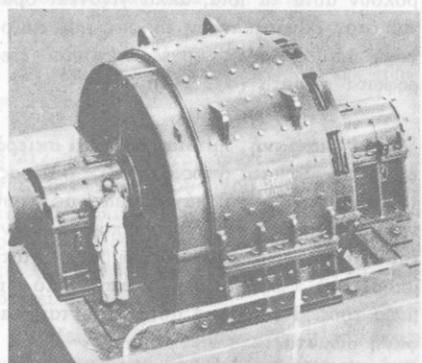
Σχ. 213. Σχεδιάγραμμα ένός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

νητο μέρος τοῦ κινητήρα καὶ δονομάζεται στάτωρας, καὶ τὸ σύστημα τῶν πλαισίων Ε μαζὶ μὲ τὸν ἔχονα περιατροφῆς, ποὺ ἀποτελεῖ τὸ κινητὸ μέρος τοῦ κινητήρα καὶ δονομάζεται ρότωρας.

Σὲ κάθε κινητήρα ὑπάρχει μία μικρὴ πλάκα, πάνω στὴν ὥποια εἶναι σημειωμένα διάφορα στοιχεῖα σχετικὰ μὲ τὴ λειτουργία τοῦ κινητήρα (σχ. 213, β).



Σχ. 213, β. Ἐπιγραφὴ μὲ τὰ χαρακτηριστικὰ στοιχεῖα ένός ἡλεκτροκινητήρα. (1/25 Ch, 3 500 στρ./min. 0 - 7 Ampere, 110 Volt).



Σχ. 213, α. Ἐξωτερικὸ ἡλεκτρικὸ κινητήρα ισχύος 4 200 Ch.

**§ 212.** Ἰσχὺς τῶν ἡλεκτρικῶν κινητήρων. Οἱ ἡλεκτροκινητῆρες, ἀνάλογα μὲ τὸν προορισμό τους, κατασκευάζονται μὲ διάφορες τιμὲς ἰσχύων. Ἔτσι, π.χ., μιὰ ἡλεκτρικὴ υψηλιστικὴ μηχανὴ ἔχει ἰσχὺ 50 Watt, ἔνας συνηθισμένος ἀνεμιστήρας 100 Watt, μία ἡλεκτροκίνητη ραπτομηχανὴ 100 Watt ἐπισῆς κλπ.

Σὲ διάφορα ἐργαστήρια καὶ μηχανουργεῖα χρησιμοποιοῦνται κινητῆρες ἰσχύος 3 ὥς 10 Ch, ἐνῶ στὰ ἡλεκτροκίνητα σδημοδρομικὰ δίκτυα λειτουργοῦν κινητῆρες μὲ ἰσχὺ πολλῶν χιλιάδων ἵππων.

#### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Οἱ ἡλεκτρομαγνητικὲς δυνάμεις ἔχουν τὴν ίκανότητα νὰ παράγουν μηχανικὸ ἔργο. Αὐτὴ τὴν ίδιότητα ἐκμεταλλεύομαστε στὴν κατασκευὴ τῶν ἡλεκτρικῶν κινητήρων.

2. Οἱ ἡλεκτρικοὶ κινητῆρες ποὺ χρησιμοποιοῦνται σὲ συσκευὲς οἰκιακῆς χρήστης ἔχουν μικρὴ ἰσχὺ, τῆς τάξης τῶν 100 Watt. Σὲ ἐργοστάσια, στὰ μηχανουργεῖα καὶ στὰ ἐργαστήρια χρησιμοποιοῦνται κινητῆρες ἰσχύος μερικῶν ἀτμοπιπῶν.

πολυτόνων περιπτώνων δεν ρρέψει την  
νομιμότητα νάντιας απότασης ή της προστάσης  
—ού δοκ έχει φαίνεται αναζητήσεις για την ίδια. Ε  
ίνα καράτηνα δεν ρρέψει διαφοράς ή της περιπτώσης  
της προστάσης της απότασης από την προστάση  
της προστάσης της απότασης από την προστάση



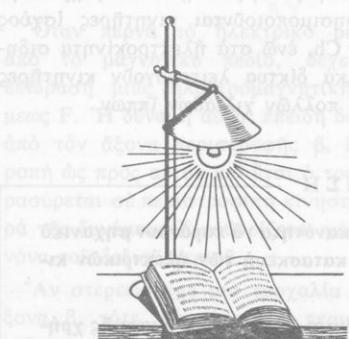
## V. ΟΠΤΙΚΗ

### ΜΒ' — ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

**§ 213. Φώς.** Σὲ ἔνα σκοτεινὸ δωμάτιο  
ἔνα κερὶ ἀναμένει μᾶς κάνει νὰ βλέπουμε  
τὰ γύρω μας ἀντικείμενα, τὸ χρῶμα καὶ τὸ  
σχῆμα τους. Τὸ αἴτιο ποὺ ἐπιδρᾶ στὸ μάτι  
μας ἔτσι, ὥστε νὰ βλέπουμε, ὀνομάζεται  
φῶς.

**§ 214. Φωτεινὲς πηγές.** Τὰ σώματα ποὺ  
φωτισθοῦν, δπως ὁ Ἡλιος, ή φλόγα ἐνὸς  
κεριοῦ, τὸ διάπυρο σύρμα ἐνὸς ἡλεκτρι-  
κοῦ λαμπτήρα, ὀνομάζονται αὐτόφωτα  
σώματα ή φωτεινὲς πηγές.

Τὰ σώματα πού, δπως ἡ Σελήνη, ὁ πίνα-



Σχ. 214. Ο ἡλεκτρικὸς λαμπτήρας, ὅταν φωτίζει,  
εἶναι φωτεινὴ πηγὴ. Τὸ βιβλίο εἶναι ἑτερόφωτο  
σώμα.

κας τῆς τάξης, τὰ βιβλία ή τὰ διάφορα  
ἀντικείμενα τοῦ δωματίου κλπ., δὲν φωτο-  
βολοῦν αὐτὰ τὰ ἴδια, ἀλλὰ γίνονται ὀρα-  
τά, ὅταν ξαναστέλνουν τὸ φῶς ποὺ παίρ-  
νουν ἀπὸ φωτεινὲς πηγές, λέγονται ἑτε-  
ρόφωτα σώματα (σχ. 214).

**§ 215. Διαφανή, ἡμιδιαφανή καὶ σκιερά  
σώματα.** Σώματα δπως τὸ γυαλί, ὁ ἀέρας,  
τὸ νερὸ σὲ μικρὸ πάχος, μᾶς ἀφήνουν  
νὰ βλέπουμε τὰ ἀντικείμενα ποὺ βρίσκον-  
ται πίσω ἀπὸ αὐτά. Αὐτὸ συμβαίνει γιατὶ  
μπορεῖ τὸ φῶς νὰ περνᾷ μέσα ἀπὸ τὴ  
μάζα τους. Τὰ σώματα αὐτὰ λέγονται δια-  
φανὴ σώματα.

Τὸ γαλακτόχρωμο γυαλί ἀφήνει τὸ φῶς  
νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα του, χωρὶς  
δμος νὰ μπορεῖ νὰ διακρίνει κανεὶς καθαρὰ  
τὰ ἀντικείμενα ποὺ βρίσκονται πίσω ἀπὸ  
αὐτό. Τὸ γαλαχτόχρωμο γυαλί εἶναι ἡμι-  
διαφανὲς σώμα.

‘Ο τοῖχος τοῦ δωματίου μᾶς, τὸ χαρτί,  
τὸ ξύλο καὶ ἄλλα σώματα, δὲν ἀφήνουν  
νὰ δοῦμε τὰ ἀντικείμενα ποὺ βρίσκονται  
πίσω ἀπὸ αὐτά, γιατὶ ἐμποδίζουν τὸ φῶς  
νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα τους. Τὰ σώ-  
ματα αὐτὰ ὀνομάζονται ἀδιαφανὴ ή σκιερὰ  
σώματα.



Σχ. 215. Ή σκιά δημιουργεῖται στά τμήματα τοῦ χώρου ποὺ δὲν φωτίζονται.

**§ 216. Σκιά.** Ο χῶρος ποὺ βρίσκεται πίσω ἀπὸ τὰ σκιερά σώματα καὶ δὲν φωτίζεται μᾶς παρουσιάζεται σκοτεινός σχετικά μὲ τὸ χῶρο ποὺ φωτίζεται. Ο χῶρος αὐτὸς δονομάζεται σκιά (σχ. 215).

“Ωστε:

Η σκιά δημιουργεῖται πίσω ἀπὸ ἔνα ἀδιαφανές σῶμα ποὺ φωτίζεται.

**§ 217. Διάδοση τοῦ φωτός.** Μάθαμε διτὶ γιὰ τὴ διάδοση τοῦ ἥχου χρειάζεται πάντοτε ἔνα ὑλικό στερεό, ὅγρο ἢ ἀέριο. Ξέρομε ἐπίσης διτὶ ἡ θερμότητα δὲν χρειάζεται ὑλικό σῶμα γιὰ νὰ διαδοθεῖ. Τί νὰ συμβαίνει ἄραγε μὲ τὸ φῶς;

**α) Πείραμα.** Μὲ μιὰν ἀεραντλία ἀφαιροῦμε τὸν ἀέρα ἀπὸ ἔνα γυάλινο σωλήνα. Παρατηροῦμε διτὶ ὁ σωλήνας μένει διαφανής, ὅπως καὶ πρίν. Τὸ φῶς τοῦ Ἡλίου καὶ τῶν ἄστρων φτάνει ἀπὸ τὸ Διάστημα στὴ Γῆ διαπερνώντας τὸν κενὸ χῶρο. “Ωστε:

Τὸ φῶς δὲν χρειάζεται ὑλικὸ μέσο γιὰ νὰ διαδοθεῖ.

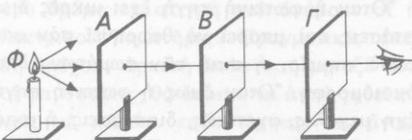
**β)** “Ενας λαμπτήρας, ποὺ φωτοβολεῖ στὴ μέση ἑνὸς δωματίου, φώνεται ἀπὸ δὲς τὶς πλευρές του καὶ φωτίζει δῆλους τοὺς τοίχους. Τὸ φῶς τοῦ Ἡλίου κάνει νὰ φαι-

νονται οἱ πλανῆτες, ἡ Σελήνη καὶ οἱ τεχνητοὶ δορυφόροι μὲ τὸν ἴδιο τρόπο, ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴ θέση ποὺ βρίσκονται ὡς πρὸς τὸν “Ἡλιο. “Ωστε:

Τὸ φῶς διαδίδεται πρὸς δὲς τὶς διευθύνσεις καὶ κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο.

γ) “Αν τοποθετήσουμε πάνω σὲ ἔνα τραπέζι ἔνα ἀναμμένο κερί καὶ πάρουμε τρία διαφράγματα, ποὺ νὰ ἔχει τὸ καθένα μιὰ τρύπα στὸ ὄψος τῆς φλόγας τοῦ κεριοῦ (σχ. 216) καὶ βάλουμε τὸ μάτι μας σὲ κατάλληλη θέση, παρατηροῦμε διτὶ ἡ φλόγα τοῦ κεριοῦ φαίνεται, μόνον δὲν οἱ τρεῖς τρύπες, ἡ φλόγα καὶ τὸ μάτι βρίσκονται σὲ εὐθεία γραμμή. “Ωστε:

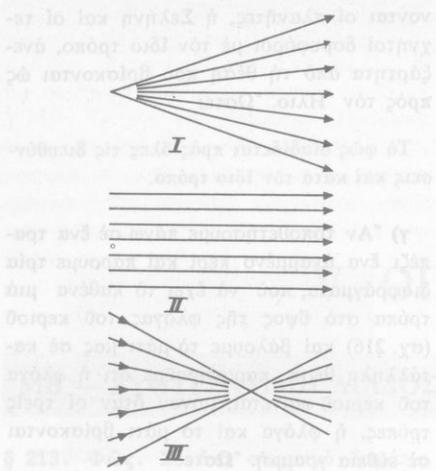
Τὸ φῶς διαδίδεται εὐθύγραμμα.



Σχ. 216. Όταν οἱ τρεῖς τρύπες βρίσκονται στὴν ίδια εὐθεία μὲ τὴ φωτεινὴ πηγὴ καὶ τὸ μάτι μας, βλέπομε τὸ φῶς τοῦ κεριοῦ.

δ) “Αν σὲ ἔνα σκοτεινὸ δωμάτιο μπεῖ φῶς τοῦ Ἡλίου ἀπὸ ἔνα ἀνοιγμα, παρατηροῦμε μιὰ παράλληλη φωτεινὴ δέσμη. “Αν τὸ ἀνοιγμα εἶναι πολὺ μικρό, π.χ. μία τρύπα μὲ διáμετρο 1 mm, ἡ δέσμη παρουσιάζεται λεπτή. Τέτοιες λεπτές φωτεινὲς δέσμες δονομάζονται στὴ Φυσικὴ φωτεινὲς ἀκτίνες.

“Οταν οἱ ἀκτίνες μιᾶς φωτεινῆς δέσμης κατευθύνονται σὲ ἔνα σημεῖο, ἡ δέσμη δονομάζεται συγκλίνουσα (σχ. 217, III). “Αντίθετα ἡ δέσμη λέγεται ἀποκλίνουσα, διτὸν οἱ ἀκτίνες της, ἀφοῦ συγκεντρωθοῦν σ' ἔνα σημεῖο, ἀπομακρύνονται ἡ μιὰ ἀπὸ τὴν ἄλλη (σχ. 217, I).

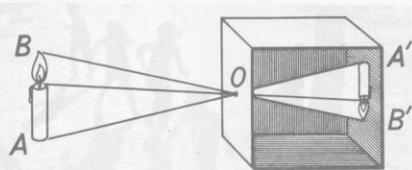


Σχ. 217. Φωτεινές δέσμες: (I) Αποκλίνουσα, (II) παράλληλη και (III) συγκλίνουσα.

Όταν η φωτεινή πηγή έχει μικρές διαστάσεις και μπορεῖ νά θεωρηθεῖ σάν φωτεινό σημείο, η σκιά τῶν σωμάτων είναι δμοιόμορφη. Όταν δώμας η φωτεινή πηγή έχη μεγάλες, σχετικώς, διαστάσεις, η σκιά δὲν είναι δμοιόμορφη. Στὴν περίπτωση αὐτή τὸ μέρος τῆς σκιᾶς ποὺ περιβάλλει τὴν κεντρικὴ σκιά καὶ είναι λιγότερο ἔντονο ἀπὸ αὐτὴ δνομάζεται παρασκιά. Η παρασκιά δὲν φωτίζεται ἀπὸ δλες τὶς περιοχὲς τῆς φωτεινῆς πηγῆς, ἀλλὰ μόνο ἀπὸ δρισμένες.

**§ 218. Αποτελέσματα τῆς εύθυγραμμῆς διαδόσεως τοῦ φωτός.** 1) Σκοτεινὸς θάλαμος. Ό σκοτεινὸς θάλαμος στρογγεῖται στὴν εύθυγραμμὴ διαδόση τοῦ φωτός. Αποτελεῖται ἀπὸ ἔνα κλειστὸ ἀδιαφανὲς κιβώτιο, ποὺ έχει στὸ κέντρο μιᾶς ἔδρας του μιὰ μικρὴ τρύπα. Τὰ ἀντικείμενα ποὺ βρίσκονται μπροστὰ ἀπὸ τὴν τρύπα ἀπεικονίζονται στὴν ἀπέναντι ἀπὸ αὐτὴν ἔδρα ἀναστραμμένα (σχ. 218).

Ἐφαρμογὴ τοῦ σκοτεινοῦ θαλάμου έχομε στὴ φωτογραφικὴ μηχανή. Στὴ θέση τῆς τρύπας ὑπάρχει φακός καὶ στὴν ἀπέναντι ἔδρα τοποθετεῖται ή φωτογραφικὴ πλάκα.



Σχ. 218. Σκοτεινὸς θάλαμος.

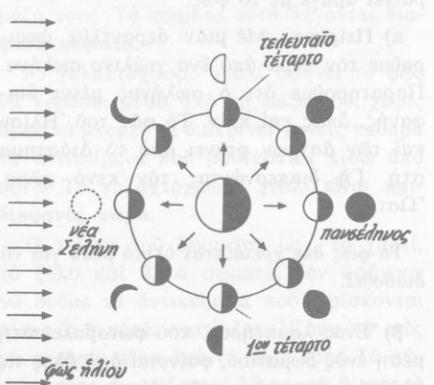
2) Σκιὰ καὶ παρασκιά. Η σκιὰ καὶ η παρασκιά, γιὰ τὶς ὅποιες μιλήσαμε παραπάνω, δοφεῖλονται στὴν εύθυγραμμὴ διαδόση τοῦ φωτός.

3) Φάσεις τῆς Σελήνης. Εκλείψεις τοῦ Ήλιού καὶ τῆς Σελήνης: α) Η Σελήνη στὸ διάστημα περίπου ἐνὸς μηνὸς μᾶς παρουσιάζεται μὲ διαφορετικὲς μορφές, ποὺ τὶς δονομάζομε συνήθως φάσεις τῆς Σελήνης.

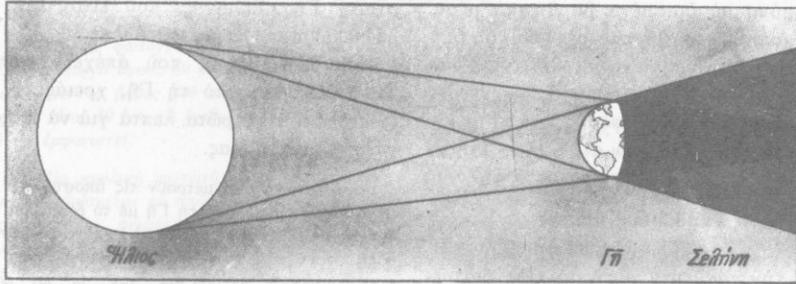
Η μισὴ σεληνιακὴ σφαίρα, ποὺ είναι πάντοτε στραμμένη πρὸς τὸν Ήλιο, φωτίζεται συνεχῶς, ἐνὸς ἡ ἀλλὰ μισὴ μένει πάντοτε σκοτεινή.

Ἐξαιτίας τῆς κυκλικῆς κινήσεως τῆς Σελήνης γύρῳ ἀπὸ τὴ Γῆ βλέπομε, ἀνάλογα μὲ τὴν τοποθετηση τοῦ Ήλιού, τὴς Γῆς καὶ τῆς Σελήνης, δόλκηληρο τὸ φωτισμένο τμῆμα τοῦ δορυφόρου μας (πανσέληνος) καὶ κατόπιν δλο καὶ μικρότερο τμῆμα τοῦ σεληνιακοῦ δίσκου (σχ. 219), ὁστὸ τὴ Σελήνη πάψει νά φαίνεται στὸν οὐρανὸ (νέα Σελήνη).

β) Η Γῆ καὶ η Σελήνη είναι σκιερὰ σώματα καὶ σχηματίζουν μιὰ κονκικὴ σκιά. Η σκιά αὐτὴ είναι η αἵτια τῶν ἐκλείψεων τοῦ Ήλιού καὶ τῆς Σελήνης. Πραγματικά, ὅταν η Σελήνη, δπως δεῖχνει



Σχ. 219. Οι φάσεις τῆς Σελήνης.



Σχ. 220. "Όταν ή Σελήνη μπει στό σκιερό κάνω της Γης, γίνεται όλικη έκλειψη Σελήνης.

τὸ σχῆμα 220, μπεῖ στὸν κάνω τῆς σκιᾶς τῆς Γῆς, πάνει νὰ φωτίζεται ἀπὸ τὸν Ἡλιον καὶ ἔτσι δὲν εἶναι πλὴ δρατή.

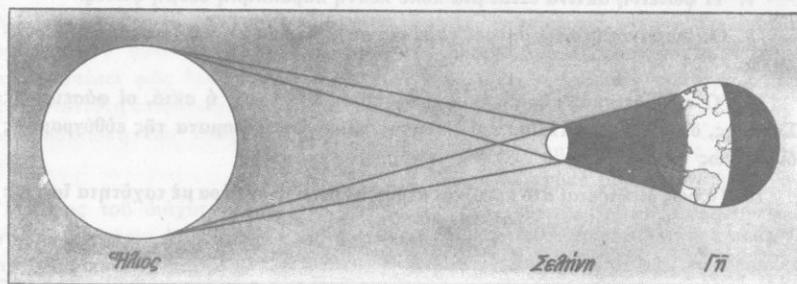
Τὸ φαινόμενο αὐτὸ δονούμεται ἔκλειψη Σελήνης.  
Ἡ ἔκλειψη μπορεῖ νὰ εἶναι όλικη, ὅταν ὀλόκληρη ή Σελήνη μπαίνει στὸ σκιερό κάνω τῆς Γῆς, ή μερική, ὅταν μπαίνει ἔνα μέρος τῆς μόνο καὶ φωτίζεται τὸ ἄλλο. Οἱ ἔκλειψεις τῆς Σελήνης γίνονται κατὰ τὴν πανσέληνο· ή Γῆ βρίσκεται τότε ἀνάμεσα στὸν Ἡλιον καὶ στὴ Σελήνην.

"Οταν ή Σελήνη, δπως δείχνει τὸ σχῆμα 221, μπεῖ ἀνάμεσα στὸν Ἡλιον καὶ στὴ Γῆ, μπορεῖ νὰ σκεπάσει τὸν Ἡλιον τότε λέμε διτὶ ἔχομε ἔκλειψην Ἡλίου. Ἡ ἔκλειψη Ἡλίου συμβαίνει κατὰ τὴν νέα Σελήνην καὶ μπορεῖ νὰ εἶναι όλικη ή μερική ή δικτυλιοεδής, δταν ή Σελήνη σκεπάζει τὸν ἡλιακὸ δίσκο ἀφήνοντας νὰ φαίνεται μόνο ἔνας φωτεινὸς δακτύλιος.

**§ 219. Ταχύτητα τοῦ φωτός.** "Όταν ἔχουμε καταιγίδα, ἀκούμε τὴν βροντή, ἀφοῦ

περάσουν μερικὰ δευτερόλεπτα ἀπὸ τὴ στιγμὴν ποὺ εἶδαμε τὴν ἀστραπή. Ἀπὸ αὐτὸ συμπεραίνομε διτὶ τὸ φῶς διαδίδεται γρηγορότερα ἀπὸ τὸν ἥχο.

Τὸ διτὶ ή διάδοση τοῦ φωτός γίνεται μὲ δέξαιρετικὰ μεγάλη ταχύτητα, μπορεῖ νὰ τὸ παρατηρήσει κανείς, ἃν βρεθεῖ σὲ ἔνα μακρὺ δρόμο τὴ στιγμὴ ποὺ ἀνάβουν οἱ ἡλεκτρικοὶ λαμπτήρες. Πραγματικά, ἐπειδὴ ἡ ἀπέχουν ἀρκετὴ ἀπόσταση μεταξύ τους οἱ φανοστάτες, θὰ ἔπρεπε νὰ ἀντιληφθεῖ κανείς μὲ κάποια καθυστέρηση διτὶ ἀναψε καὶ ὁ τελευταῖος λαμπτήρας. Παρακολούθωντας δημοσίᾳ τὸ ἀναμμα τῶν λαμπτήρων, ἔχομε τὴν ἐντύπωση διτὶ δλοι ἀνάβουν σύγχρονα. Αὐτὸ διαδίδεται μὲ τόσο μεγάλη ταχύτητα, ποὺ δὲν μποροῦμε νὰ τὴν παρατηρήσουμε



Σχ. 221. Μέσα στὴν κυρίως σκιὰ τῆς Σελήνης συμβαίνει όλικη έκλειψη τοῦ Ἡλίου, ἐνῶ μέσα στὴν παρασκιὰ μερική έκλειψη.

παρά μόνο μὲ δρισμένα βιηθητικά μέσα.

Μὲ ἀκριβεῖς μετρήσεις οἱ Φυσικοὶ ἔξακριβωσαν διτι:

Ἡ ταχύτητα ε τοῦ φωτὸς στὸ κενὸ καὶ τὸ ἴδιο περίπου καὶ στὸν ἄέρα, εἶναι ἵση μὲ 300 000 χιλιόμετρα τὸ δευτερόλεπτο. Δηλαδὴ:

$$c = 300\,000 \text{ km/sec}$$

Μὲ τὴν ταχύτητα αὐτῇ τὸ φῶς διατρέχει σὲ 1 δευτερόλεπτο διάστημα ἵσο μὲ 7,5 φορές τὴν περίμετρο τῆς Γῆς, ἐνῷ τὴν ἀπό-

σταση Γῆς - Σελήνης, ποὺ εἶναι ἵση μὲ 384 000 km περίπου, σὲ 1,2 sec.

Ἄπὸ τὸν Ἡλίο, ποὺ ἀπέχει περίπου 150 000 000 km ἀπὸ τὴ Γῆ, χρειάζεται τὸ φῶς 8 καὶ 1/3 πρᾶτα λεπτὰ γιὰ νὰ φτάσει στὸν πλανήτη μας.

Στὴν Ἀστρονομία μετροῦν τὶς ἀποστάσεις τῶν ἀπλανῶν ἀστέρων ἀπὸ τὴ Γῆ μὲ τὸ διάστημα ποὺ διατρέχει μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα σὲ 1 χρόνο. Ἡ μονάδα αὐτὴ ὀνομάζεται ἔτος φωτός. Δηλαδὴ εἶναι:  
1 ἔτος φωτός = 300 000 km · 365 · 24 · 60 · 60 =  
9,46 · 10<sup>12</sup> km ἢ 10 δισεκατομμύρια χιλιόμετρα περίπου.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Τὸ αἴτιο ποὺ διεγείρει τὸ μάτι καὶ μᾶς κάνει νὰ βλέπουμε ὀνομάζεται φῶς.

2. Τὰ σώματα ποὺ ἐκπέμπουν δικό τους φῶς ὀνομάζονται αὐτόφωτα σώματα ἡ φωτεινὲς πηγές. Τὰ σώματα ποὺ γίνονται δρατά, δταν φωτίζονται ἀπὸ ἄλλα σώματα, ὀνομάζονται ἑτερόφωτα.

3. Τὰ σώματα, ποὺ ἀφήνουν τὸ φῶς νὰ περάσει ἀπὸ τὴ μάζα τους, ὀνομάζονται διαφανή. Τὰ ἡμιδιαφανὴ σώματα δὲν ἀφήνουν νὰ δοῦμε καθαρὰ τὰ ἀντικείμενα ποὺ βρίσκονται πίσω τους, ἀφήνουν ὅμως τὸ φῶς νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα τους.

4. Τὰ ἀδιαφανὴ σώματα δὲν ἀφήνουν τὸ φῶς νὰ περάσει μέσα ἀπὸ τὴ μάζα τους. Πίσω ἀπὸ τὰ ἀδιαφανὴ σώματα σχηματίζεται σκιά.

5. Ὁταν οἱ φωτεινὲς πηγὲς δὲν εἶναι φωτεινὰ σημεῖα, ἔχομε σκιὰ καὶ παρασκιά.

6. Τὸ φῶς δὲν χρειάζεται ὑλικὸ μέσο γιὰ νὰ διαδοθεῖ· διαδίδεται ἰσότροπα, δηλαδὴ κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο πρὸς ὅλες τὶς διευθύνσεις, καὶ εὐθύγραμμα.

7. Ἡ φωτεινὴ ἀκτίνα εἶναι μία πολὺ λεπτὴ παραλληλὴ δέσμη φωτός.

8. Οἱ φωτεινὲς δέσμες μπορεῖ νὰ είνας συγκλίνουσες, ἀποκλίνουσες ἡ παραλληλεσ.

9. Ὁ σχηματισμὸς τῆς εἰκόνας στὸ σκοτεινὸ θάλαμο, ἡ σκιά, οἱ φάσεις τῆς Σελήνης, οἱ ἐκλείψεις Ἡλίου καὶ Σελήνης, εἶναι ἀποτελέσματα τῆς εὐθύγραμμῆς διαδόσεως τοῦ φωτός.

10. Τὸ φῶς διαδίδεται στὸ κενὸ καὶ περίπου ὅμοια στὸν ἄέρα μὲ ταχύτητα ἵση μὲ:

$$c = 300\,000 \text{ km/sec}$$

**158.** Μὲ μιὰ φωτογραφικὴ μηχανὴ φωτογραφίζομε ἔναν πύργο ύψους 40 m, ποὺ βρίσκεται 300 m μακρῷ. "Αν τὸ βάθος τοῦ σκοτεινοῦ θαλάμου τῆς μηχανῆς εἶναι 30 cm, νὰ βρεθεῖ τὸ ύψος τῆς εἰκόνας ποὺ θὰ ἐμφανιστεῖ. (Απ. 4 cm.)

**159.** Μία κυκλικὴ φωτεινὴ πηγὴ ἔχει διáμετρο 4 cm καὶ βρίσκεται σὲ ἀπόσταση 50 cm ἀπὸ ἔναν ἀδιαφανῆ δίσκο, διαμέτρου 20 cm. Νὰ βρεθοῦν οἱ διáμετροι τῆς σκιᾶς καὶ τῆς παρασκιᾶς, ποὺ θὰ ἐμφανιστοῦν σὲ μιὰ θύρων, ποὺ ἀπέχει 1 m ἀπὸ τὸ ἀδιαφανὲς σῶμα. (Απ. 52 cm, 8 cm.)

**160.** Ἡ ἀπόσταση τῆς τρύπας ἐνδὲ σκοτεινοῦ θαλάμου ἀπὸ τὴν ἀπέναντι ἔδρα του εἶναι 30 cm.

Πόσο είναι τὸ ύψος τοῦ εἰδώλου ἐνδὲ ἀντικειμένου ύψους 20 cm, ποὺ ἀπέχει 75 cm ἀπὸ τὴν τρύπα; (Νὰ γίνει γραφικὴ λόση τοῦ προβλήματος). (Απ. 8 cm.)

**161.** Τὸ μῆκος ἐνδὲ σκοτεινοῦ θαλάμου εἶναι 24 cm. Σὲ πόση ἀπόσταση ἀπὸ τὸ ἄνοιγμα πρέπει νὰ τοποθετήσουμε ἔνα ἀντικείμενο, γιὰ νὰ σχηματιστεῖ εἰκόνα τοῦ ἀντικειμένου διπλάσιον ύψους; (Νὰ γίνει γραφικὴ λόση). (Απ. 12 cm.)

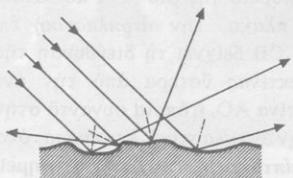
**162.** Οἱ ἡλιακὲς ἀκτίνες προστίπτουν (πέρφτουν) μὲ γνωρία 60° στὸ ἔδαφος καὶ σχηματίζουν τὴ σκιὰ ἐνδὲ δέντρου. "Αν τὸ μῆκος τῆς σκιᾶς εἶναι 7 m, πόσο είναι τὸ ύψος τοῦ δέντρου; (Νὰ γίνει γραφικὴ λόση). (Απ. 12 m.)

### ΜΓ' — ΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ. ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΤΟΠΤΡΑ

**§ 220.** Διάχυτη καὶ κανονικὴ ἀνάκλαση τοῦ φωτός. Ἀπὸ τὴν πείρα γνωρίζομε διτὶ, γιὰ νὰ βλέπουμε τὰ διάφορα ἀντικείμενα, πρέπει νὰ μπαίνουν στὰ μάτια μας φωτεινὲς ἀκτίνες ποὺ προέρχονται ἀπὸ τὰ ἀντικείμενα αὐτά. Οἱ ἐπιφάνειες δμως τῶν περιστότερων ἀντικειμένων εἶναι συνήθως τραχιὲς καὶ τὸ φῶς ποὺ πέφτει ἐπάνω τους διευθύνεται κατόπιν ἀκανόνιστα πρὸς δλες τὶς διευθύνσεις (σχ. 222). Τὸ φαινόμενο αὐτὸ δνομάζεται διάγνητη ἀνάκλαση ἢ ἀπλῶς διάχυση τοῦ φωτός. "Ωστε:

Διάχυτη ἀνάκλαση ἢ διάχυση τοῦ φωτός δνομάζεται τὸ φαινόμενο, κατὰ τὸ δοιο, δταν προσπέσει φῶς ἐπάνω σὲ μιὰ τραχιὰ καὶ ἀκανόνιστη ἐπιφάνεια, διευθύνεται μετὰ τὴν πρόσπτωσή του πρὸς δλες τὶς διευθύνσεις.

'Εξαιτίας τοῦ διάχυτου ἡλιακοῦ φωτός, φωτιζόμαστε πρὶν ἀνατείλει ὁ "Ἡλιος (λυκανγές ἢ χαρανγή) καὶ δταν ἔχει δύσει (λυκόφως ἢ σούρουπο), δπως ἐπίσης καὶ δταν εἶναι συννεφιά. Στὶς περιπτώσεις αὐτὲς

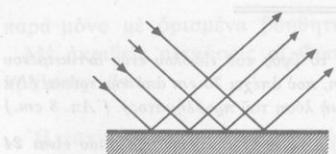


Σχ. 222. Διάχυση τοῦ φωτός.

τὸ φῶς φτάνει στὰ μάτια μας, ἀφοῦ προσπέσει διαδοχικὰ σὲ αἰώρούμενα μόρια σκόνης καὶ ἄλλα σωματίδια, ποὺ βρίσκονται στὴν ἀτμόσφαιρα, καὶ ἀφοῦ πάθει ἀλλεπάλληλες διαχύσεις.

'Εφαρμογὴ τῆς διαχύσεως ἔχομε στοὺς λεγόμενους κρυφοὺς φωτισμοὺς τῶν αἰθουσῶν κλπ.

"Αν ἀπὸ μιὰ τρύπα ἐνδὲ σκοτεινοῦ θάλαμου δεχτοῦμε μιὰ δέσμη ἡλιακῶν ἀκτίνων καὶ τὴν ἀφήσουμε νὰ προσπέσει ἐπάνω σὲ μιὰ στιλπνὴ μεταλλικὴ πλάκα, θὰ παρατηρήσουμε δτὶ τὸ φῶς θὰ ἀλλάξει διευθύνση διαδόσεως, χωρὶς νὰ πάθει διάχυση (σχ. 223). Τὸ φαινόμενο αὐτὸ δνομάζεται

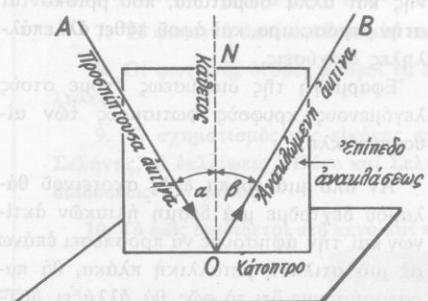


Σχ. 223. Άνακλαση τού φωτός.

κανονική άνακλαση τού φωτός ή άπλως άνακλαση τού φωτός. Ωστε:

Κανονική άνακλαση ή άνακλαση τού φωτός δυναμάζεται τό φαινόμενο κατά τό δύοτο τό φῶς ἀλλάζει πορεία διαδόσεως, διαν συναντήσει στὸν δρόμο του μιὰ λεία καὶ στιλπνὴ ἐπιφάνεια.

**§ 221. Νόμοι τῆς άνακλάσεως τοῦ φωτός.** Στὸ σχῆμα 224 ή AO δείχνει τή διεύθυνση μιᾶς φωτεινῆς ἀκτίνας, ποὺ συναντᾶ στὴν πορεία της μιὰ λεία καὶ στιλπνὴ ἐπιπέδη πλάκα, τὴν άνακλαστικὴ ἐπιφάνεια, ἐνδὴ ή OB δείχνει τή διεύθυνση τῆς φωτεινῆς ἀκτίνας ὅστερα ἀπὸ τὴν άνακλαση. Η ἀκτίνα AO, ή δόποια συναντᾶ στὴν πορεία της τὴν άνακλαστικὴ ἐπιφάνεια, δυναμάζεται προσπίπτοντα ἀκτίνα, ἐνδὴ τὸ σημεῖο O, διαν συναντᾶ τὴν άνακλαστικὴ ἐπιφάνεια, δυναμάζεται σημεῖο προσπτώσεως. Η OB, ποὺ ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν άνακλαστικὴ ἐπιφάνεια, δυναμάζεται άνακλώμενη ἀκτίνα.



Σχ. 224. Γιὰ τὴν ἐξήγηση τῶν νόμων τῆς άνακλάσεως τοῦ φωτός.

Αν φέρουμε τὴν εὐθεία ON κάθετη στὴν ἀνακλαστικὴ ἐπιφάνεια, θὰ σχηματιστοῦν δύο γωνίες. Η γωνία AON, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα ἀκτίνα καὶ τὴν κάθετο στὸ σημεῖο προσπτώσεως, δυναμάζεται γωνία προσπτώσεως. Η γωνία NOB, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν κάθετο στὸ σημεῖο προσπτώσεως καὶ τὴν ἀνακλώμενη ἀκτίνα, δυναμάζεται γωνία ἀνακλάσεως. Τὸ ἐπίπεδο ποὺ δρίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα καὶ τὴν ἀνακλώμενη ἀκτίνα δυναμάζεται ἐπίπεδο προσπτώσεως.

Η άνακλαση τοῦ φωτός ἀκολουθεῖ τοὺς ἔξι δύο νόμους:

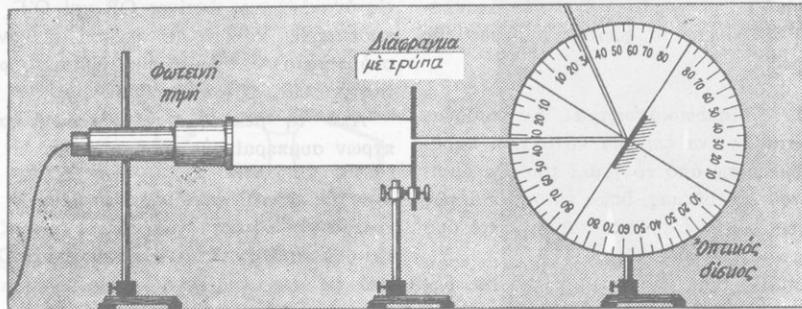
**Ιος Νόμος.** Τὸ ἐπίπεδο προσπτώσεως, ποὺ δρίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα καὶ τὴν ἀνακλώμενη ἀκτίνα, είναι κάθετο στὴν άνακλαστικὴ ἐπιφάνεια.

**Σος Νόμος.** Η γωνία προσπτώσεως είναι ἵση μὲ τὴ γωνία άνακλάσεως.

**§ 222. Πειραματικὴ ἀπόδειξη τῶν νόμων τῆς άνακλάσεως.** Τὸ σχῆμα 225 δείχνει μιὰν ἀπλὴν συσκευὴ, μὲ τὴν δόποια μποροῦμε νὰ ἀποδεῖξουμε ίκανοτοιητικὰ τοὺς νόμους τῆς άνακλάσεως. Απὸ μιὰ τρύπα ἀφήνομε νὰ περάσει μιὰ λεπτή παράλληλη φωτεινὴ δέσμη. Η τροχιὰ της φαίνεται ἀπὸ τὸ φωτεινὸν ίχνος ποὺ σχηματίζεται ἐπάνω σ' ἕναν λευκὸ καὶ λεπτὸ κατακόρυφο δίσκο, ποὺ φέρει ὑποδιαιρέσεις σὲ μοῖρες καὶ είναι τοποθετημένος ἔτσι, ὡστε ἡ ἐπιφάνεια του νὰ συμπίπτει μὲ τὴ διεύθυνση διαδόσεως τῆς φωτεινῆς δέσμης.

Στὸ κέντρο τοῦ δίσκου ὑπάρχει ἕνα μικρὸ ἐπίπεδο κάτοπτρο. Ετσι η προσπίπτουσα ἀκτίνα ἀνακλᾶται καὶ η άνακλώμενη ἀκτίνα δίνει τὸ φωτεινὸν της ίχνος ἐπίσης ἐπάνω στὸ δίσκο.

Απὸ τὴν μέτρηση τῶν γωνιῶν προσπτώσεως καὶ άνακλάσεως βλέπομε δτὶ αὐτὲς οἱ δύο γωνίες είναι ἶσες. Εξάλλου, ἀφοῦ τὰ ίχνη τῶν δύο ἀκτίνων σχηματίζονται ἐπάνω



Σχ. 225. Πειραματική διάταξη για τὴν ἐπάλθευση τῶν νόμων τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός.

στὸν κατακόρυφο δίσκο, συμπεραίνομε ὅτι οἱ ἀκτίνες βρίσκονται σὲ ἐπίπεδο κάθετο στὴν ἀνακλαστικὴ ἐπιφάνεια (γιατὶ ὁ κατακόρυφος δίσκος εἶναι κάθετος στὸ κάτοπτρο).

§ 223. Ἀρχὴ τῆς ἀντίστροφης πορείας τοῦ φωτός. Πειραματικὰ ἀποδεικνύεται ὅτι, ἂν τὸ φῶς ἀκολουθεῖ στὴ διάδοσή του μιὰ ὁρισμένη πορεία, εἶναι δυνατὸ νὰ διαδοθεῖ ἀκολουθῶντας καὶ τὴν ἀντίστροφη ἀκριβῶς πορεία. Ἔτσι, δταν μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα ἀνακλᾶται καὶ ἀκολουθεῖ τὴ διεύθυνση ΑΟΒ (σχ. 224), εἶναι δυνατὸ νὰ διαδοθεῖ καὶ κατὰ τὴ διεύθυνση ΒΟΑ.

Ἡ ἴδιοτηταὶ αὐτὴ τοῦ φωτός εἶναι γνωστὴ μὲ τὴν ὀνομασία ἀρχὴ τῆς ἀντίστροφης πορείας τοῦ φωτός.

§ 224. Κάτοπτρα. Στὴ Φυσικὴ ὀνομάζομε κάτοπτρο κάθε λεία καὶ στιλπνὴ ἐπιφάνεια, ἡ ὁποία ἀνακλᾶ τὸ φῶς ποὺ προσπίπτει ἐπάνω τῆς σύμφωνα μὲ τοὺς γνωστοὺς νόμους τῆς ἀνακλάσεως.

Ἀνάλογα μὲ τὴ μορφὴ τῆς ἀνακλαστικῆς ἐπιφάνειας διακρίνονται τὰ κάτοπτρα σὲ διάφορους τύπους. Ἔτσι, ἂν ἡ ἀνακλαστικὴ ἐπιφάνεια εἶναι ἐπίπεδη, τὸ κάτοπτρο ὀνομάζεται ἐπίπεδο (σχ. 226).

Ἄν τὴ ἀνακλαστικὴ ἐπιφάνεια εἶναι σφαι-



Σχ. 226. Ἡ ἡρεμη ἐπιφάνεια μιᾶς λίμνης ἀποτελεῖ ἐπίπεδο κάτοπτρο.

ρική, τὸ κάτοπτρο ὀνομάζεται σφαιρικό. Στὴν περίπτωση δημοσ τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων διακρίνομε κοῖλα καὶ κυρτὰ σφαιρικὰ κάτοπτρα.

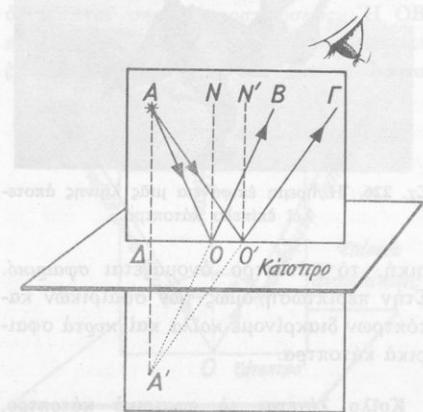
Κοῦλο λέγεται τὸ σφαιρικό κάτοπτρο, ὅταν ἔχει σὰν ἀνακλαστικὴ ἐπιφάνεια τὸ ἐσωτερικὸ τῆς σφαίρας. Κυρτὸ λέγεται τὸ

σφαιρικό κάτοπτρο, όταν έχει σάν άνακλαστική έπιφάνεια το ξεωτερικό μέρος της σφαίρας.

**§ 225. Ἐπίπεδα κάτοπτρα.** Ἀν σταθοῦμε μπροστά σὲ ἔνα ἐπίπεδο κάτοπτρο, παρατηροῦμε πίσω ἀπὸ τὸ γυαλὶ του ἔνα δομούμα τοῦ ἑαυτοῦ μας, ὅπως ἐπίσης καὶ τῶν ἀντικειμένων ποὺ βρίσκονται μπροστά ἀπὸ τὸ κάτοπτρο.

Οἱ τι βλέπομε μέσα στὸ κάτοπτρο, δὲν ἴππρει βέβαια στὴν πραγματικότητα, ἀλλὰ σχηματίζεται ἀπὸ τὶς ἀκτίνες, οἱ ὁποῖες, ἀφοῦ προσπέσουν στὸ κάτοπτρο, ἀνακλῶνται σύμφωνα μὲ τοὺς νόμους τῆς ἀνακλάσεως καὶ συναντοῦν κατὰ τὴν ἀνάκλασή τους τὰ μάτια μας. Ἔτσι μᾶς δημιουργοῦν τὴν ἐντύπωση ὅτι προέρχονται ἀπὸ σημεῖα ποὺ βρίσκονται πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο καὶ σχηματίζουν μὲ αὐτὸ τὸν τρόπο δομούματα τῶν ἀντικειμένων, ποὺ τὰ δονομάζομε φανταστικά εἶδωλα.

Τὸ σχῆμα 227 δείχνει τὸ σχηματισμὸ τοῦ φανταστικοῦ εἶδώλου Α' ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου Α, ποὺ βρίσκεται μπροστά ἀπὸ ἔνα ἐπίπεδο κάτοπτρο. Τὸ μάτι δέχεται



Σχ. 227. Τὸ φανταστικό εἶδωλο Α' τοῦ φωτεινοῦ σημείου Α ἐίναι συμμετρικό ως πρὸς τὸ κάτοπτρο.

τὶς ἀνακλώμενες ἀκτίνες ΟΒ καὶ ΟΓ, τὶς προεκτείνει καὶ τὶς βλέπει νὰ τέμονται στὸ σημεῖο Α', ὅπου σχηματίζεται τὸ φανταστικὸ εἶδωλο τοῦ σημείου Α.

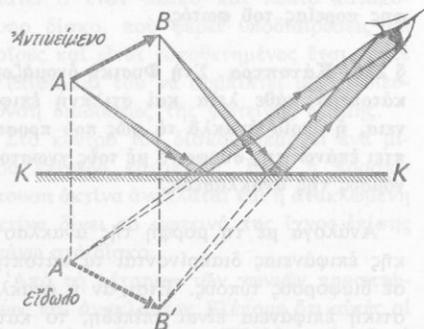
Ἄπὸ τὴ μελέτη τῶν ἐπίπεδων κατόπτρων συμπεραίνομε τὰ ἀκόλουθα.

a) Τὰ εἶδωλα ποὺ δίνουν τὰ ἐπίπεδα κάτοπτρα είναι φανταστικά, δὲν σχηματίζονται δηλαδὴ ἀπὸ τὶς φωτεινὲς ἀκτίνες, ἀλλὰ ἀπὸ τὶς προεκτάσεις τους, καὶ βρίσκονται πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο.

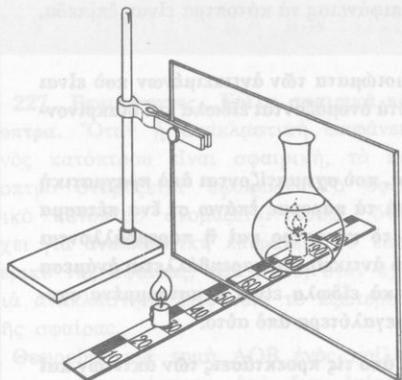
b) Τὰ εἶδωλα είναι συμμετρικὰ μὲ τὰ ἀντικείμενα ως πρὸς τὸ ἐπίπεδο τοῦ κατόπτρου καὶ δὲν είναι ἐφαρμόσιμα μὲ τὰ ἀντικείμενα. Εἶδωλα καὶ ἀντικείμενα ἔχουν μεταξὺ τοὺς τὴ σχέση δεξιᾶς καὶ ἀριστερῆς παλάμης.

Στὴ σχέση συμμετρίας εἰδώλου καὶ ἀντικείμενου διφείλεται τὸ ὅτι δὲν μποροῦμε νὰ διαβάσουμε τὴ σελίδα ἐνὸς βιβλίου, ποὺ καθρεφτίζεται μέσα σ' ἔνα ἐπίπεδο κάτοπτρο.

**§ 226. Ἀπεικόνιση ἀντικειμένου ἀπὸ ἐπίπεδο κάτοπτρο.** Τὸ εἶδωλο Α'Β' ἐνὸς ἀντικειμένου ΑΒ (σχ. 228) σχηματίζεται μὲ εὐκολία, ἂν κατασκευάσουμε τὰ συμμετρικὰ Α' καὶ Β' τῶν ἄκρων τοῦ ἀντικειμένου.



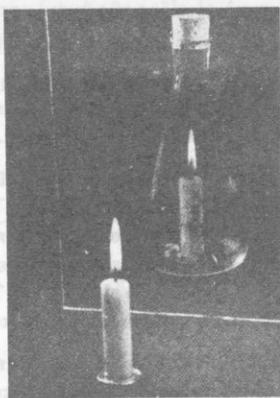
Σχ. 228. Γεωμετρικὸ διάγραμμα σχηματισμοῦ τοῦ φανταστικοῦ εἶδώλου ἐνὸς ἀντικειμένου.



Σχ. 229. Τὸ εἰδῶλο καὶ τὸ ἀντικείμενο εἰναι συμ-  
μετρικά ως πρὸς τὸ κάτοπτρο.

vou A καὶ B, ως πρὸς τὸ κάτοπτρο. Ἀπὸ τὸ σχῆμα φαίνεται ὅτι τὸ εἰδῶλο ἔχει ἀνα-  
στραφεῖ πλευρικά. Δὲν εἶναι δηλαδὴ ἐφαρ-  
μόσιμο μὲ τὸ ἀντικείμενο, ἐπειδὴ τὸ ἀρι-  
στερὸ τοῦ ἀντικειμένου ἀπεικονίζεται σὰν  
δεξιὸ τοῦ εἰδώλου καὶ ἀντίστροφα.

Τὸ ὅτι ἡ ἀπόσταση τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ  
κάτοπτρο εἶναι ἵση μὲ τὴν ἀπόσταση τοῦ  
ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ κάτοπτρο, μποροῦμε



Σχ. 229, a. Φωτογραφία τοῦ ἀντικειμένου καὶ τοῦ  
εἰδώλου τοῦ, μᾶς διατάξεως δπως τοῦ σχ. 229.

νὰ τὸ δεῖξουμε μὲ τὴ διάταξη τοῦ σχήματος  
229, καὶ 229 a, δπου ἀντὶ γιὰ κάτοπτρο το-  
ποθετοῦμε ἔνα διαφανὲς καὶ στιλπνὸ γυαλὶ  
καὶ πίσω ἀπὸ αὐτὸ μιὰ γυάλινῃ φιάλῃ. Ἡ  
φλόγα τοῦ εἰδώλου τοῦ κεριοῦ φαίνεται νὰ  
καίει μέσα στὸ νερὸ τῆς φιάλης, ἐνῶ ἡ ἴσο-  
τητα τῶν ἀποστάσεων εἰδώλου καὶ ἀντικει-  
μένου μετριέται μὲ τὴ βοήθεια τοῦ ἀριθμη-  
μένου κανόνα.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Οταν τὸ φῶς πέφτει ἐπάνω σὲ μιὰ λεία καὶ στιλπνὴ ἐπιφάνεια, παθαίνει ἀνάκλαση. "Αν ἡ ἐπιφάνεια εἶναι τραχιὰ καὶ ἀκανόνιστη, τὸ φῶς παθαίνει διάχυ-  
ση. Ἐξαιτίας τῆς διαχύσεως ἔχουμε φῶς καὶ ὅταν δὲν φωτιζόμαστε ἀπ' εὐθείας ἀπὸ  
μία φωτεινὴ πηγὴ.

2. "Η ἀνάκλαση ἀκολουθεῖ τοὺς ἔξῆς δύο νόμους: α) Η προστίπτουσα καὶ ἡ  
ἀνακλώμενη ἀκτίνα ὁρίζουν ἔνα ἐπίπεδο, ποὺ εἶναι κάθετο στὴν ἀνακλαστικὴ ἐπι-  
φάνεια. β) Η γωνία προσπτώσεως εἶναι ἵση μὲ τὴ γωνία ἀνακλάσεως.

3. "Οταν τὸ φῶς ἀκολουθεῖ ἔναν ὄρισμένο δρόμο κατὰ τὴ διάδοσή του, εἶναι  
δυνατὸ νὰ διαδοθεῖ ἀκολουθώντας καὶ τὴν ἀντίστροφὴ ἀκριβῶς πορεία.

4. Κάθε λεία καὶ στιλπνὴ ἐπιφάνεια, ἡ ὁποία ἀνακλᾶ κανονικὰ τὸ φῶς ποὺ πέ-  
φτει σ' αὐτὴ σύμφωνα μὲ τοὺς νόμους τῆς ἀνακλάσεως, δυνομάζεται κάτοπτρο. 'Α-

νάλογα μὲ τὸ εἶδος τῆς ἀνακλαστικῆς τους ἐπιφάνειας τὰ κάτοπτρα εἶναι ἐπίπεδα, σφαιρικά (κυρτά ἢ κοῖλα), κυλινδρικά κλπ.

5. Τὰ διάφορα κάτοπτρα σχηματίζονται δομοιώματα τῶν ἀντικειμένων ποὺ εἶναι τοποθετημένα μπροστά τους. Τὰ δομοιώματα αὐτὰ ὀνομάζονται εἶδωλα καὶ διακρίνονται σὲ πραγματικά ἢ φανταστικά.

6. Πραγματικά λέγονται τὰ εἶδωλα ἑκείνα, ποὺ σχηματίζονται ἀπὸ πραγματικὴ σύμπτωση τῶν ἀκτίνων καὶ ποὺ μποροῦμε νὰ τὰ πάρουμε ἐπάνω σὲ ἔνα πέτασμα (μικρὴ δόθοντη). Σχηματίζονται μπροστά ἀπὸ τὸ κάτοπτρο καὶ ἡ παρεμβάλλονται ἀνάμεσα στὸ ἀντικείμενο καὶ στὸ κάτοπτρο ἢ τὸ ἀντικείμενο παρεμβάλλεται ἀνάμεσα στὸ κάτοπτρο καὶ στὸ εἶδωλό του. Τὰ πραγματικά εἶδωλα εἶναι ἀναστραμμένα σχετικά μὲ τὸ ἀντικείμενο καὶ μικρότερα, ἵστα ἡ μεγαλύτερα ἀπὸ αὐτό.

7. Τὰ φανταστικά εἶδωλα σχηματίζονται ἀπὸ τὶς προεκτάσεις τῶν ἀκτίνων καὶ βρίσκονται πάντα πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο. Εἶναι δρθια καὶ μποροῦν νὰ εἶναι ἵστα, μεγαλύτερα ἢ μικρότερα ἀπὸ τὰ ἀντικείμενα.

8. Τὰ ἐπίπεδα κάτοπτρα δίνουν εἶδωλα φανταστικά, συμμετρικὰ μὲ τὰ ἀντικείμενα ὡς πρὸς τὴν ἐπιφάνεια τοῦ κατόπτρου καὶ μὴ ἐφαρμόσιμα μὲ τὰ ἀντικείμενα.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

163. Ἡ γωνία ἀνάμεσα σὲ μιὰ διπτική ἀκτίνα καὶ στὴν ἐπιφάνεια, ὅπου προσπίπτει ἡ ἀκτίνα, εἶναι 42°. Πόση είναι ἡ γωνία ἀνακλάσεως;

('Απ. 48.).

164. Ἡ γωνία προσπτώσεως μᾶς διπτικῆς ἀκτίνας μεγαλώνει κατὰ 15°. Κατὰ πότες μοῖρες μεγαλώνει ἡ γωνία, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν προσπτώσεως καὶ τὴν ἀνακλώμενη ἀκτίνα;

('Απ. 30 μοῖρες.)

165. Ἡ ἀπόσταση ἐνὸς ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ εἶδωλό του, ποὺ σχηματίζεται μέσα σὲ ἔνα ἐπίπεδο κάτοπτρο, εἶναι 70 cm. Πόσο ἀπέχει τὸ ἀντικείμενο ἀπὸ τὸ κάτοπτρο;

('Απ. 35 cm.)

166. Ἐνας ἀνθρώπος, ποὺ βρίσκεται μπροστὰ ἀπὸ ἕνα ἐπίπεδο κάτοπτρο, ἀπομαρτύνεται 1,5 m ἀπὸ τὸ κάτοπτρο. Πόσο αδεξάνεται ἡ ἀπόσταση τοῦ ἀνθρώπου ἀπὸ τὸ εἶδωλό του;

('Απ. 3 m.).

167. Ἡ ανακλαστικὴ ἐπιφάνεια ἐνὸς ἐπίπεδον κατόπτρου συμπίπτει μὲ τὸ ὄγκοντο ἐπίπεδο. Ἐνας παραπληρής, ποὺ τὰ μάτια του ἀπέχουν 1,50 m ἀπὸ τὸ ἔδαφος, τοποθετεῖται δρθιος σὲ ἀπόσταση 2 m ἀπὸ τὸ κέντρο τοῦ κατόπτρου καὶ βλέπει μὲ διάκλαση τὴν κορυφὴν ἐνὸς κοντινοῦ δέντρου στὴ διεύθυνση τοῦ κέντρου τοῦ κατόπτρου. Πέρσο είναι τὸ ὄφος αὐτοῦ τοῦ δέντρου, ἀν ἡ βάση τοῦ κορμοῦ του ἀπέχει 20 m ἀπὸ τὸ κέντρο τοῦ κατόπτρου;

('Απ. 15 m.)

**§ 227. Γενικότητες.** Κοίλα σφαιρικά κάτοπτρα. "Όταν ή άνακλαστική έπιφάνεια ένδος κατόπτρου είναι σφαιρική, τό κάτοπτρο δύναμέται σφαιρικό. Τό σφαιρικό κάτοπτρο δύναμέται κοῦλο, όταν έχει για άνακλαστική έπιφάνεια τό έσωτερικό της σφαίρας, και κυρτό, όταν έχει για άνακλαστική έπιφάνεια τό έξωτερικό της σφαίρας.

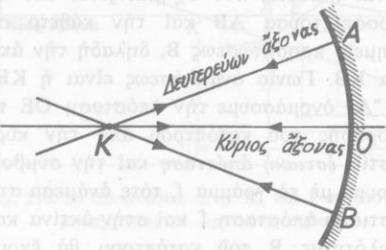
Θεωρούμε μιά τομή  $AOB$  ένδος κοίλου σφαιρικού κατόπτρου άπό τό κέντρο της σφαίρας, στην δοιά άνήκει τό κάτοπτρο, και άπό τό μέσο του κατόπτρου (σχ. 230).



**Σχ. 230. Χαρακτηριστικά στοιχείων κοίλου σφαιρικού κατόπτρου.**

Τό σημείο  $O$ , που είναι και τό γεωμετρικό μέσο του κατόπτρου, δύναμέται κούρφη του κατόπτρου, και ή γωνία  $AKB$  άνοιγμα του κατόπτρου. Ή  $KO$ , που ισοῦται με τήν άκτινα της σφαίρας, στην δοιά άνήκει τό κάτοπτρο, δύναμέται άκτινα καμπυλότητας του κατόπτρου και παριστάνεται με τό γράμμα  $R$ . Τό σημείο  $K$ , που είναι τό κέντρο της σφαίρας, στην δοιά άνήκει τό κάτοπτρο, δύναμέται κέντρο καμπυλότητας του κατόπτρου.

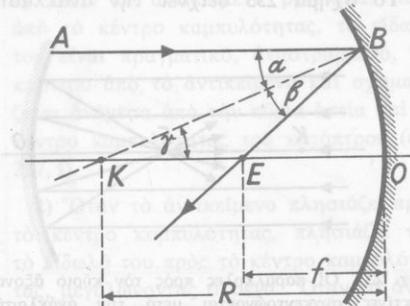
"Η εύθεια  $OK$ , που περνά άπό τήν κο-



**Σχ. 231. Κύριος και δευτερεύων αξονας ένδος κοίλου σφαιρικού κατόπτρου.**

ρυφή ο τού κατόπτρου και τό κέντρο καμπυλότητάς του, δύναμέται κύριος αξονας του κατόπτρου. Κάθε άλλη εύθεια, που περνά άπό τό κέντρο καμπυλότητας και άπό ένα τυχαίο σημείο του κατόπτρου, δύναμέται δευτερεύων αξονας (σχ. 231).

**§ 228. Εστιακή άπόσταση.** Κύρια έστια. "Αν μιά λεπτή φωτεινή δέσμη άπό παράλληλες άκτινες  $AB$  προσπέσει παράλληλα πρός τόν κύριο αξονα ένδος κοίλου σφαιρικού κατόπτρου, θά περάσει, υστερα άπό τήν άνακλασή της, άπό ένα σημείο  $E$  τού κύριου αξονα, που βρίσκεται στή μέση της  $OK$  και τό διποίο δύναμέται κύρια έστια του κατόπτρου (σχ. 232).



**Σχ. 232. Η έστιακή άπόσταση είναι ίση με τό μισό τής άκτινας καμπυλότητας  $R$  του κατόπτρου.**

Ἡ ἀνάκλαση ἀκολουθεῖ καὶ ἐδῶ τοὺς γνωστοὺς νόμους τῆς. Γωνία προσπτώσεως εἶναι ἡ ABK, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπουσα AB καὶ τὴν κάθετο στὸ σημεῖο προσπτώσεως B, δηλαδὴ τὴν ἀκτίνα KB. Γωνία ἀνακλάσεως εἶναι ἡ KBE.

Ἄν δον μάσομε τὴν ἀπόσταση ΟΕ τῆς κορυφῆς τοῦ κατόπτρου ἀπὸ τὴν κύρια ἔστια ἑστιακή ἀπόσταση καὶ τὴν συμβολίσουμε μὲ τὸ γράμμα f, τότε ἀνάμεσα στὴν ἑστιακή ἀπόσταση f καὶ στὴν ἀκτίνα καμπυλότητας R τοῦ κατόπτρου θὰ ἔχουμε ὡς πρώτη ἔξισωση τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων τὴν σχέση:

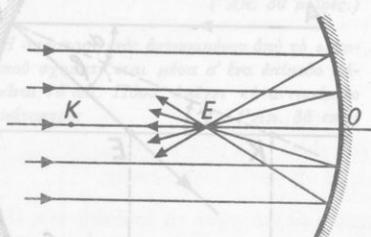
$$\text{μῆκος ορθού } \theta = \frac{R}{f}$$

**Ἐστιακή ἀπόσταση =**  $\frac{\text{ἀκτίνα καμπυλότητας}}{2}$

“Ωστε:

Ἄν σε ἔνα κοῖλο σφαιρικό κάτοπτρο προσέσει μία φωτεινὴ δέσμη παράλληλων ἀκτίνων, παράλληλα πρὸς τὸν κύριο ἄξονα τοῦ κατόπτρου, οἱ ἀκτίνες τῆς δέσμης θὰ περάσουν, ἀφοῦ ἀνακλαστοῦν, ἀπὸ τὴν κύρια ἔστια τοῦ κατόπτρου, ποὺ βρίσκεται στὴ μέση τῆς ἀποτάσεως κορυφῆς κατόπτρου καὶ κέντρου καμπυλότητας.

Τὸ σχῆμα 233 δείχνει τὴν ἀνάκλαση



Σχ. 233. Οἱ παράλληλες πρὸς τὸν κύριο ἄξονα ἀκτίνες συγκεντρώνονται μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους στὴν κύρια ἔστια.

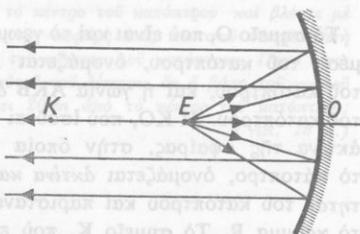
δέσμης ἀπὸ παράλληλες φωτεινὲς ἀκτίνες, ἡ ὁποίᾳ προσπίπτει παράλληλα πρὸς τὸν κύριο ἄξονα τοῦ κατόπτρου.

**Πείραμα.** Ἀφήνομε νὰ προσπέσει ἐπάνω σὲ ἓνα κοῖλο σφαιρικὸ κάτοπτρο, παράλληλα πρὸς τὸν κύριο ἄξονα, μιὰ δέσμη ἥλιακῶν ἀκτίνων, οἱ δόποις, ἐπειδὴ ἡ ἀπόσταση τοῦ Ἡλίου εἶναι πολὺ μεγάλη, μπορεῖ νὰ θεωρηθοῦν σὰν παράλληλες. Οἱ ἀκτίνες αὐτὲς θὰ συγκεντρωθοῦν μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους στὴν κύρια ἔστια τοῦ κατόπτρου, τὴν δοποίᾳ ἀναγνωρίζομε ἀπὸ τὴ μεγάλη θερμότητα ποὺ ἀναπτύσσεται ἐκεῖ, φαινόμενο ποὺ διφείλεται στὴ συγκέντρωση τῶν ἀκτίνων. Ἡ θερμότητα αὐτὴ μπορεῖ νὰ κάψει διάφορα ἀντικείμενα.

Σύμφωνα, ἀλλωστε, μὲ τὴν ἀρχὴν τῆς ἀντίστροφης πορείας τοῦ φωτός, μιὰ ἀποκλίνουσα φωτεινὴ δέσμη, ποὺ περνᾷ ἀπὸ τὴν κύρια ἔστια καὶ πέφτει ἐπάνω στὸ κάτοπτρο, γίνεται δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες μετὰ τὴν ἀνάκλαση. (σχ. 234).

**§ 229. Εἰδωλα κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου.** Ἀνάλογα μὲ τὴ θέση τοῦ ἀντικείμενου, σχετικὰ μὲ τὸ κάτοπτρο καὶ τὴν κύρια ἔστια τοῦ κατόπτρου, μποροῦμε νὰ ἔχουμε εἰδωλα φανταστικὰ ἢ πραγματικά.

Τὸ φανταστικὸ εἰδωλο ἐίναι δρθιο καὶ μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο. Τὸ πραγματικὸ ἐίναι ἀναστραμμένο σχετικὰ μὲ τὸ



Σχ. 234. “Οταν τὸ φωτεινὸ σημεῖο τοποθετηθεῖ στὴν κύρια ἔστια, τότε οἱ φωτεινὲς ἀκτίνες του, μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους, γίνονται παράλληλες εἰδωλά τοῦ διπλόρεατος τὸν κύριο ἄξονα,

άντικειμένο και μικρότερο, μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό.

**§ 230. Πορεία τῶν ἀκτίνων ποὺ προσπίπτουν σὲ ἔνα κοῖλο σφαιρικὸ κάτοπτρο.** Ἀφοῦ τὰ εἶδωλα τῶν διαφόρων ἀντικειμένων σχηματίζονται ἀπὸ τίς ἀνακλώμενες ἀκτίνες, γιὰ νὰ κατασκευάσουμε τὸ εἶδωλο ἐνὸς ἀντικειμένου πρέπει νὰ ξέρουμε νὰ χράζουμε τὴν πορεία δρισμένων φωτεινῶν ἀκτίνων (σχ. 235).

ⓐ) Ἀκτίνα παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα, δπως ἡ AB, περνᾶ ὑστερα ἀπὸ τὴν ἀνάκλασή της ἀπὸ τὴν κύρια ἐστία E τοῦ κατόπτρου.

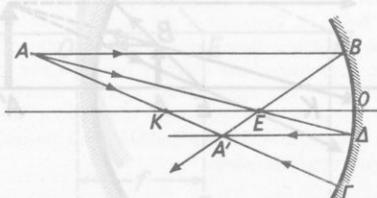
ⓑ) Ἀκτίνα ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὸ κέντρο καμπυλότητας, δπως ἡ AKG, προσπίπτει κάθετα στὸ κάτοπτρο και ἀνακλᾶται ἀκολουθῶντας τὴν ἀντίστροφη πορεία GKA.

γ) Ἀκτίνα ποὺ περνᾶ ἀπὸ τὴν κύρια ἐστία, δπως ἡ AEΔ, ἀκολουθεῖ μετὰ τὴν ἀνάκλασή της διεύθυνση παράλληλη μὲ τὸν κύριο ἄξονα.

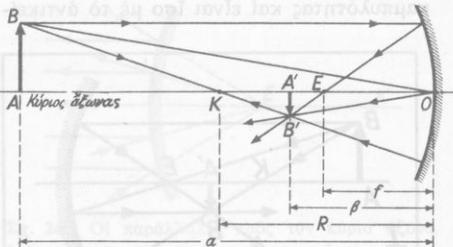
δ) Κάθε ἄλλη ἀκτίνα (δπως βέβαια καὶ οἱ προηγούμενες) σχηματίζει γωνία ἀνακλάσεως ἵση μὲ τὴ γωνία προσπτώσεως.

Γιὰ νὰ σχηματίσουμε τὸ εἶδωλο ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου, χρειαζόμαστε δύο τουλάχιστο φωτεινὲς ἀκτίνες τοῦ σημείου, ποὺ ἡ τομή τους θὰ σχηματίσει τὸ εἶδωλο.

Τὸ εἶδωλο ἐνὸς ἀντικειμένου σχηματίζεται ἀπὸ τὰ εἶδωλα τῶν σημείων ποὺ συναποτελοῦν τὸ ἀντικείμενο.



Σχ. 235. Πορεία τῶν ἀκτίνων γιὰ τὸ σχηματισμὸ τοῦ εἰδῶλου ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου.



Σχ. 236. Οἱ ἀποστάσεις  $\alpha$ ,  $\beta$ , R, καὶ f συνδέονται μεταξὺ τοὺς μὲ δρισμένη σχέση.

**§ 231. Τύπος τῶν κοίλων σφαιρικῶν κατόπτρων.** "Εστω AB (σχ. 236) ἔνα ἀντικείμενο, ποὺ βρίσκεται κάθετα τοποθετημένο στὸν κύριο ἄξονα ἐνὸς κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου, καὶ A'B' τὸ εἶδωλο τοῦ ἀντικειμένου αὐτοῦ. "Αν δονομάσουμε α τὴν ἀπόσταση ΟΑ τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου, β τὴν ἀπόσταση ΟA' τοῦ εἰδῶλου ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου, f τὴν ἐστιακὴ ἀπόσταση τοῦ κατόπτρου καὶ R τὴν ἀκτίνα καμπυλότητάς του, τότε, δπως ἀποδεικνύεται, ισχύει ὁ ἀκόλουθος τύπος τῶν κατόπτρων:

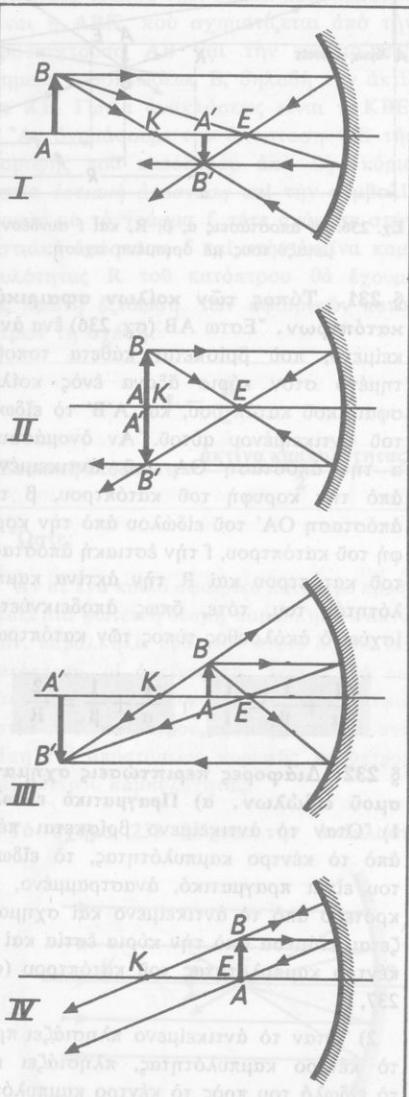
$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f} \quad \text{ἢ} \quad \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{2}{R}$$

**§ 232. Διάφορες περιπτώσεις σχηματισμοῦ εἰδῶλων.** α) Πραγματικὸ εἰδῶλο.

1) "Οταν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται πέρα ἀπὸ τὸ κέντρο καμπυλότητας, τὸ εἶδωλό του εἶναι πραγματικό, ἀναστραμμένο, μικρότερο ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο καὶ σχηματίζεται ἀνάμεσα ἀπὸ τὴν κύρια ἐστία καὶ τὸ κέντρο καμπυλότητας τοῦ κατόπτρου (σχ. 237, I.).

2) "Οταν τὸ ἀντικείμενο πλησιάζει πρὸς τὸ κέντρο καμπυλότητας, πλησιάζει καὶ τὸ εἶδωλό του πρὸς τὸ κέντρο καμπυλότητας, μεγαλώνοντας δλοένα. "Οταν τὸ ἀντικείμενο πέσει ἐπάνω στὸ κέντρο καμπυλότητας, καὶ τὸ εἶδωλό του πέφτει στὸ κέντρο

καμπυλότητας και είναι ίσο με τὸ ἀντικεί-



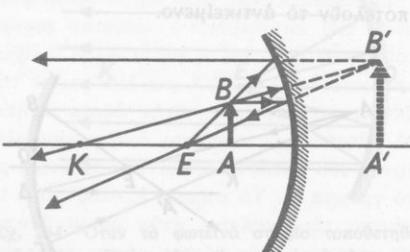
Σχ. 237. Διάφορες θέσεις σχηματισμού ειδώλουν ἐνός ἀντικειμένου πού βρίσκεται ἡμπρός σὲ ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο.

3) Ἀν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται ἀνάμεσα στὸ κέντρο καμπυλότητας και στὴν κύρια ἐστία τοῦ κατόπτρου, τὸ εἰδώλο τοῦ ἀντικειμένου σχηματίζεται πέρα ἀπὸ τὸ κέντρο καμπυλότητας, ἀναστραμμένο και μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο (σχ. 237, III).

4) Ὅσο προχωρεῖ τὸ ἀντικείμενο πρὸς τὴν κύρια ἐστία τοῦ κατόπτρου, τόσο μεγαλώνει τὸ εἰδώλο του και ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὸ κέντρο καμπυλότητας. Ἀν τὸ ἀντικείμενο πέσει ἐπάνω στὴν κύρια ἐστία, τὸ εἰδώλο του σχηματίζεται, δύως λέμε, στὸ ἄπειρο. Στὴν περίπτωση αὐτὴ δηλαδὴ δὲν ἔχομε εἰδώλο τοῦ ἀντικειμένου. Αὐτὸ διφείλεται στὸ δι τοι ἀκτίνες, μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους, σχηματίζουν παράλληλη δέσμη, δὲν τέμνονται και ἔτσι δὲν σχηματίζεται εἰδώλο (σχ. 237, IV).

Ἀντίστροφα, διαν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται στὸ ἄπειρο, σὲ πλῶμα μεγάλη δηλαδὴ ἀπόσταση ἀπὸ τὸ κάτοπτρο, τὸ εἰδώλο του σχηματίζεται ἐπάνω στὴν κύρια ἐστία και είναι σημειακό.

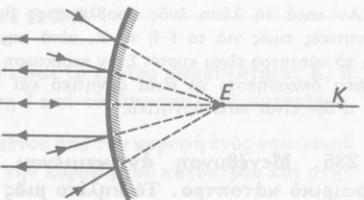
β) Φανταστικὸ εἰδώλο. Ὄταν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται ἀνάμεσα στὴν κύρια ἐστία και στὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου, δὲν ἔχομε σχηματισμὸ πραγματικὸν εἰδώλου. Στὴν περίπτωση αὐτὴ (σχ. 238) οἱ ἀκτίνες μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους ἀποκλίνουν και δὲν τέμνονται. Ἀν δημοσιεύσουν στὸ μάτι, συναντιοῦνται στὴν προέκτασή τους πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο, σχηματίζοντας ἔτσι ἔνα



Σχ. 238. Γεωμετρικὴ κατασκευὴ φανταστικοῦ εἰδώλου κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου.

φανταστικό δρθιο είδωλο, μεγαλύτερο από τὸ ἀντικείμενο. Γιὰ νὰ δοῦμε λοιπὸν τὸ εἰδωλὸ τοῦ προσώπου μας σὲ κοῖλο σφαιρικὸ κάτοπτρο, πρέπει νὰ τοποθετηθοῦμε ἀνάμεσα στὴν κορυφὴ καὶ τὴν κύρια ἑστία του.

Ο τύπος τῶν κοίλων σφαιρικῶν κατόπτρων ἵσχει καὶ στὶς δύο περιπτώσεις τῶν εἰδώλων, φανταστικοῦ καὶ πραγματικοῦ, μὲ τὴ διαφορὰ δτι, δταν πρόκειται γιὰ φανταστικὸ εἰδωλό, θεωροῦμε τὴν ἀπόστασή του β ἀρνητική, ἐνώ ἂν κατὰ τὴν ὥστη ἔνος προβλήματος βροῦμε ἀρνητικὸ β, αὐτὸ σημανεῖ δτι τὸ εἰδωλὸ εἶναι φανταστικό.

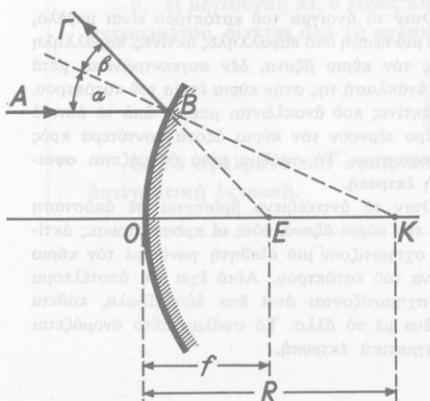


Σχ. 240. Οι παράλληλες πρὸς τὸν κύριο ἄξονα ἐνὸς κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου ἀκτίνες σχηματίζουν μετὰ τὴν ἀνάκλασή τους δέσμην ἀπὸ ποκλίνουσες ἀκτίνες, τῆς ὁποίας ἡ κορυφὴ βρίσκεται στὴ φανταστικὴ κύρια ἑστία.

**§ 233. Κυρτὰ σφαιρικὰ κάτοπτρα.** Στὰ κυρτὰ σφαιρικὰ κάτοπτρα ἡ ἀνάκλαστικὴ ἐπιφάνεια εἶναι τὸ ἔξοπλικὸ μέρος τῆς σφαίρας.

Ἄν ἔχουμε μία φωτεινὴ ἀκτίνα AB (σχ. 239) παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα τοῦ κατόπτρου, γιὰ νὰ σχηματίσουμε τὴν ἀνάκλωμενὴ τῆς BG, φέρνομε στὸ B τὴν ἀκτίνα καμπυλότητας KB καὶ προεκτίνοντας τὴν σχηματίζουμε γονία  $\beta = a$ .

Ἡ ἀνάκλωμενὴ ἀκτίνα BG δὲν συναντᾶ τὸν κύριον ἄξονα στὸ σημεῖο E, ποὺ βρίσκεται στὸ μέσο τῆς ἀκτίνας OK, τὸ συναντᾶ δμως ἡ προέκταση τῆς. Τὸ ίδιο θὰ συμβεῖ καὶ μὲ κάθε ἀλλή ἀκτίνᾳ παράλληλῃ μὲ τὸν κύριο ἄξονα. "Ἄν λοιπὸν ἐπάνω σ' ἔνα κυρτὸ σφαιρικὸ κάτοπτρο προσέπεσται μία δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες, παράλληλα μὲ τὸν κύριο ἄξονα τοῦ κατόπτρου, θὰ μεταβληθεῖ μετὰ τὴν ἀνάκλασή τῆς σὲ ἀποκλίνουσα δέσμη, οἱ προεκτίσεις δμως τῶν ἀκτίνων τῆς δέσμης αὐτῆς θὰ περνοῦν ἀπὸ τὸ μέσο E τῆς ἀκτίνας OK. Τὸ σημεῖο E ὁν-



Σχ. 239. Ἀνάκλαση σὲ κυρτὸ σφαιρικὸ κάτοπτρο.

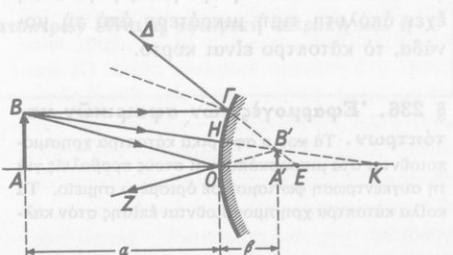
μάζεται καὶ πάλι κόρια ἑστία τοῦ κατόπτρου. Ἐπειδὴ δμως ἡ κύρια ἑστία τοῦ κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου σχηματίζεται ἀπὸ τὶς προεκτίσεις τῶν ἀκτίνων καὶ βρίσκεται πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο, δηνομάζεται φανταστικὴ κύρια ἑστία (σχ. 240).

**§ 234. Εἰδῶλα κυρτῶν σφαιρικῶν κατόπτρων.** Τὰ κυρτὰ σφαιρικὰ κάτοπτρα δίνουν πάντοτε φανταστικὰ εἰδῶλα, δρθια, μικρότερα ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο καὶ παραμορφωμένα.

Τὸ σχῆμα 241 δείχνει τὴν κατασκευὴ τοῦ εἰδώλου A'B' ἐνὸς ἀντικειμένου AB, ποὺ βρίσκεται ἐμπόρες σὲ ἔνα κυρτὸ σφαιρικὸ κάτοπτρο. "Οπως στὰ κοίλα σφαιρικὰ κάτοπτρα, ἔτσι καὶ στὰ κυρτὰ ἡ ἀπόσταση α τοῦ ἀντικειμένου, ἡ ἀπόσταση β τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου, ἡ ἑστιακὴ ἀπόσταση f καὶ ἡ ἀκτίνα καμπυλότητας R τοῦ κατόπτρου συνδέονται μὲ τὶς σχέσεις:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f} \quad \text{καὶ} \quad \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{R} = \frac{2}{f}$$

μὲ τὴ διαφορὰ δμως δτι τὰ  $\beta$ ,  $f$  καὶ  $R$  εἶναι ἀρνητικά.



Σχ. 241. Γεωμετρικὴ κατασκευὴ τοῦ φανταστικοῦ εἰδώλου ἐνὸς κυρτοῦ σφαιρικοῦ κατόπτρου.

"Αν κατά τη λύση ένδος προβλήματος βρούμε άρνητικές τιμές γιά τό f ή τό R, αυτό σημαίνει ότι τό κάτοπτρο είναι κυρτό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει όπωσδήποτε νά είναι άρνητικό και τό β. Τό α δὲν είναι ποτέ άρνητικό.

**§ 235. Μεγέθυνση άντικειμένου άπό σφαιρικό κάτοπτρο.** Τό πηλίκο μιᾶς διαστάσεως τοῦ ειδώλου, π.χ. τοῦ ψυχούς του, πρὸς τὴν ἀντίστοιχη διάσταση τοῦ ἀντικειμένου ονομάζεται γραμμική μεγέθυνση M.

'Επομένως ἂν AB είναι τὸ ψυχός τοῦ ἀντικειμένου καὶ A'B' τὸ ψυχός τοῦ ειδώλου, θὰ ἔχουμε τὴ σχέση:

$$M = \frac{A'B'}{AB}$$

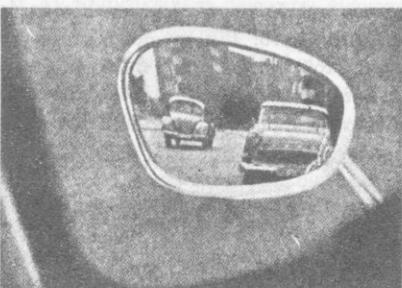
'Απὸ τὴν παραπάνω σχέση φαίνεται ότι ἡ μεγέθυνση μπορεῖ νά είναι μεγαλύτερη, ἵστη ή μικρότερη ἀπὸ τὴ μονάδα, ἀνάλογα μὲ τὸ μέγεθος τοῦ ειδώλου σὲ σχέση πρὸς τὸ μέγεθος τοῦ ἀντικειμένου.

"Οπως ἀποδεικνύεται, ἡ μεγέθυνση καὶ οἱ ἀποστάσεις α καὶ β τοῦ ἀντικειμένου καὶ τοῦ ειδώλου ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου συνδέονται μὲ τὴ σχέση:

$$M = \frac{\beta}{\alpha} \quad (1)$$

'Η παραπάνω σχέση (1) ισχύει γιά τὰ κοῖλα καὶ τὰ κυρτὰ κάτοπτρα. "Οταν ἡ μεγέθυνση είναι άρνητική, τὸ εἰδώλο είναι φανταστικό. "Οταν ἡ άρνητική μεγέθυνση ἔχει ἀπόλυτη τιμὴ μικρότερη ἀπὸ τὴ μονάδα, τὸ κάτοπτρο είναι κυρτό.

**§ 236. Εφαρμογές τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων.** Τὰ κοῖλα σφαιρικά κάτοπτρα χρησιμοποιοῦνται στὰ μικροσκόπια καὶ στοὺς προβολεῖς γιά τὴ συγκέντρωση φωτισμοῦ σὲ διοισμένο σημείο. Τὰ κοῖλα κάτοπτρα χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης στὸν καλ-



Σχ. 242. Οἱ δῆμοι τῶν ἀντοκινήτων χρησιμοποιοῦν κυρτὰ σφαιρικά κάτοπτρα.

λωπισμό, γιατὶ σχηματίζουν φανταστικά εἰδῶλα μεγαλύτερα ἀπὸ τὰ ἀντικείμενα.

Τὰ κυρτὰ κάτοπτρα χρησιμοποιοῦνται στὰ διάφορα μεταφορικά μέσα, ἐπειδὴ ἐπιτρέπουν στὸν δῆμον ἔνδος δύχηματος νὰ βλέπει σὲ μικρὴ εἰκόνα μιὰ μεγάλη περιοχή, ποὺ βρίσκεται πίσω ἀπὸ τὸ δρῆμα (σχ. 242).

**§ 237. Σφάλματα τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων.** "Οσα ἀναφέραιμε γιά τὰ σφαιρικά κάτοπτρα στὶς προηγούμενες παραγράφους, ισχύουν δὴ τὸ ἀνοιγμα τοῦ κατόπτρου είναι μικρό, σχετικά μὲ τὴν ἄκτινα καμπυλότητας τοῦ κατόπτρου, καὶ τὰ ἀντικείμενα βρίσκονται ἐπάνω στὸν κύριο ἄξονα ή ποιὲν κοντά σ' αὐτὸν. "Οταν αὐτοὶ οἱ δύο δροὶ δὲν ισχύουν, τὰ εἰδῶλα ποὺ σχηματίζονται είναι ἀσαρή.

"Οταν τὸ ἀνοιγμα τοῦ κατόπτρου είναι μεγάλο, τότε μιὰ δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες, παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα, δὲν συγκεντρώνεται μετὰ τὴν ἀνακλαστὴ τῆς στὴν κύρια ἐστία τοῦ κατόπτρου. Οἱ ἀκτίνες ποὺ ἀνακλῶνται μακριὰ ἀπὸ τὸ δόπικό κέντρο τέμνουν τὸν κύριο ἄξονα κοντύτερα πρὸς τὸ κάτοπτρο. Τὸ σφάλμα αὐτὸν δυνομάζεται σφαιρικὴ ἐκτροπή.

"Οταν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται σὲ ἀπόσταση ἀπὸ τὸν κύριο ἄξονα, τότε οἱ προσπίπτουσες ἀκτίνες σχηματίζουν μιὰ αἰσθητὴ γωνία μὲ τὸν κύριο ἄξονα τοῦ κατόπτρου. Αὐτὸ δὲχει ὡς ἀποτέλεσμα νὰ σχηματίζονται ἀντὶ ἔνα δύο εἰδῶλα, κάθετα τὸ ἔνα μὲ τὸ ἄλλο. Τὸ σφάλμα αὐτὸν δυνομάζεται ἀστιγματικὴ ἐκτροπή.

1. Τὰ στοιχεῖα ἑνὸς σφαιρικοῦ κατόπτρου εἰναι τὸ κέντρο καμπυλότητος  $K$ , ἡ ἀκτίνα καμπυλότητος  $R$ , ἡ ἐστιακὴ ἀπόσταση  $f$  καὶ τὸ ἄνοιγμα τοῦ κατόπτρου.

2. 'Ανάμεσα στὴν ἀπόσταση α τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὴν κορυφὴ ἑνὸς σφαιρικοῦ κατόπτρου, στὴν ἀπόσταση β τοῦ εἰδῶλου ἀπὸ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου καὶ στὴν ἐστιακὴ ἀπόσταση  $f$  λιχνεῖ ἡ σχέση:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$

Τὸ α εἶναι πάντοτε θετικό, τὰ β καὶ  $f$  μπορεῖ νὰ εἶναι θετικὰ ἢ ἀρνητικά. "Οταν τὸ β εἶναι ἀρνητικό, τὸ εἰδωλο εἶναι φανταστικό. "Οταν τὸ  $f$  εἶναι ἀρνητικό, τὸ κάτοπτρο εἶναι κυρτό. 'Ανάμεσα στὸ  $f$  καὶ στὸ  $R$  ὑπάρχει ἡ σχέση:

$$f = \frac{R}{2}$$

3. Τὰ κοῦλα κάτοπτρα ἔχουν πραγματικὴ κύρια ἐστία. Μία δέσμη δηλαδὴ ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες, παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα, (τὴν εὐθεία ποὺ περνᾷ ἀπὸ τὸ κέντρο καμπυλότητας καὶ τὴν κορυφὴ τοῦ κατόπτρου) μεταβάλλεται μετὰ τὴν ἀνάκλασή της σὲ συγκλίνουσα δέσμη. Οἱ ἀκτίνες τῆς δέσμης αὐτῆς συναντιοῦνται ἐπάνω στὸν κύριο ἄξονα καὶ καθορίζουν τὴν κύρια ἐστία τοῦ κατόπτρου.

4. Τὰ κυρτὰ κάτοπτρα ἔχουν ἀρνητικὴ κύρια ἐστία. Μιὰ δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες, παράλληλη μὲ τὸν κύριο ἄξονα, μεταβάλλεται μετὰ τὴν ἀνάκλασή της σὲ ἀποκλίνουσα δέσμη. Οἱ προεκτάσεις τῶν ἀκτίνων τῆς δέσμης αὐτῆς τέμνονται στὴν προέκταση τοῦ κύριου ἄξονα, σὲ ἔνα σημεῖο πίσω ἀπὸ τὸ κάτοπτρο.

5. 'Η μεγέθυνση  $M$ , δ ὁδός δηλαδὴ δύο ἀντίστοιχων διαστάσεων εἰδῶλου καὶ ἀντικειμένου, δίνεται ἀπὸ τῇ σχέση:

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

6. Τὰ σφάλματα τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων εἶναι ἡ σφαιρικὴ ἐκτροπὴ καὶ ἡ ἀστιγματικὴ ἐκτροπή.

Δευτεροπλάνη της γης το ίδιο σημείο στην απόσταση

**168.** Μηροπάτα άπό ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο και σε άπόσταση 140 cm άπό την κορυφή των βάζουμε ένα αντικείμενο. Η άπόσταση του ειδώλου είναι ίση με 70/3 cm. Νὰ βρεθεί ή έστιακή άπόσταση του κατόπτρου.

('Απ.  $f = 20$  cm.)

**169.** Όταν ένα φωτεινό αντικείμενο τοποθετεῖται σε άπόσταση 40 cm άπό ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο, σχηματίζεται πραγματικό ειδώλο σε άπόσταση 20 cm άπό την κορυφή του κατόπτρου. Νὰ βρεθοῦν α) ή έστιακή άπόσταση και β) ή άκτινα καμπυλότητας του κατόπτρου.

('Απ. α' 13,33 cm. β' 26,6 cm.)

**170.** Ένα κυρτό κάτοπτρο, έστιακής άποστάσεως 50 cm, δίνει ειδώλο πού έχει ύψος ίσο με τὸ 1/4 τοῦ ύψους τοῦ αντικειμένου. Σὲ ποιές άποστάσεις άπό τὸ κάτοπτρο βρίσκονται τὸ αντικείμενο και τὸ ειδώλο του;

('Απ. 150 cm, -37,5 cm.)

**171.** Ή άκτινα καμπυλότητας ένδος κοίλου σφαιρικού κατόπτρου είναι 30 cm. Σὲ πόση άπόσταση άπό την κορυφή του κατόπτρου συγκεντρώνεται μιά

δέσμη άπό παράλληλες άκτινες, παράλληλη μὲ τὸν κύριο ίξονα τοῦ κατόπτρου, ώστε να άπλυνε τὴν άνάκλαση τῆς;

('Απ. 15 cm.)

**172.** Η άπόσταση ένδος φωτεινοῦ σημείου άπό την κορυφή ένδος κοίλου σφαιρικοῦ κατόπτρου είναι ίση μὲ τὰ 2/3 τῆς άκτινας καμπυλότητας. Τὸ σημεῖο βρίσκεται ἐπάνω στὸν κύριο ίξονα τοῦ κατόπτρου. Πόσο άπλεχε τὸ ειδώλο τοῦ φωτεινοῦ σημείου άπό τὸ κάτοπτρο καὶ τί εἰδοντς ειδώλο είναι;

('Απ. 2 R, πραγματικό.)

**173.** Ένα αντικείμενο βρίσκεται σὲ άπόσταση 3 f άπό ένα κοίλο σφαιρικό κάτοπτρο. Σὲ πόση άπόσταση άπό τὸ κάτοπτρο σχηματίζεται τὸ ειδώλο τοῦ αντικειμένου καὶ τί εἰδοντς ειδώλο είναι;

('Απ. 3/2 f, πραγματικό.)

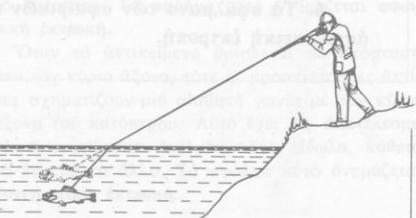
**174.** Αντικείμενο ύψους 4 cm βρίσκεται σὲ άπόσταση 15 cm άπό ένα κυρτό σφαιρικό κάτοπτρο, έστιακής άποστάσεως 5 cm. Σὲ ποιάν άπόσταση άπό τὸ κάτοπτρο θὰ σχηματιστεῖ τὸ ειδώλο καὶ ποιοῦ θὰ είναι τὸ μέγεθός του;;

('Απ. -3,75 cm, 1 cm.)

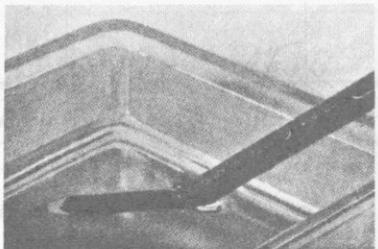
## ΜΕ — ΔΙΑΘΛΑΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

**§ 238. Γενικότητες.** Όταν μιὰ δέσμη μονόχρωμων φωτεινῶν άκτινων προσπέσει πλάγια στὴν ἐπίπεδη ἐπιφάνεια διαχωρισμοῦ δύο διαφορετικῶν διαφανῶν σωμάτων, δῆπος π.χ. στὴ διαχωριστικὴ ἐπιφάνεια ἀέρα καὶ νεροῦ, ένα μέρος άπό τὸ φῶς ἀνακλάται, ἐνδὲ ένα ἄλλο μέρος εἰσχωρεῖ στὸ δεύτερο διαφανὲς σῶμα. Οἱ φωτεινὲς δύμως άκτινες ποὺ δὲν ἀνακλάστηκαν, ἀλλὰ εἰσχώρησαν στὸ δεύτερο διαφανὲς σῶμα, δὲν ἀκολουθοῦν τὴν εὐθύγραμμὴ διάδοσή τους, ἀλλὰ λυγίζουν καὶ πλησιάζουν τὴν κάθετο στὸ σημεῖο προσπτώσεως τῆς διαχωριστικῆς ἐπιφάνειας. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ ονομάζεται διάθλαση τοῦ φωτός. Ωστε:

Διάθλαση λέγεται ἡ ὅλλαγη διευθύνσεως ποὺ παθαίνει τὸ φῶς, ὅταν περνᾶ ἀπὸ ένα διαφανὲς μέσο σὲ ἄλλο διαφανὲς μέσο, διαφορετικὸ άπό τὸ πρῶτο.



**Σχ. 243.** Εξαιτίας τῆς διαθλάσεως τὸ ψάρι φαίνεται ψηλότερα μέσα στὸ νερό.

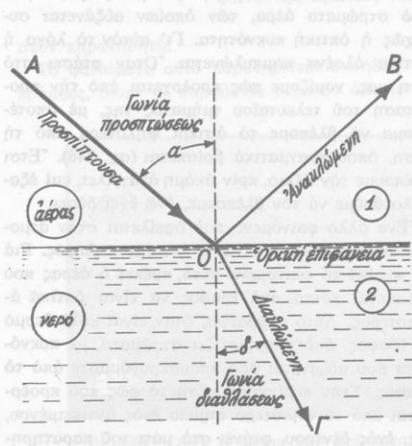


Σχ. 244. Έξαιτιας της διαθλάσεως τὸ μολύβι φαίνεται σπασμένο.

Έξαιτιας της διαθλάσεως τοῦ φωτός τὰ ψάρια φαίνονται πιὸ ψηλά στὸ νερὸ ἀπὸ τὴν πραγματική τους θέση (σχ. 243) καὶ τὸ βυθισμένο στὸ νερὸ μολύβι φαίνεται σπασμένο (σχ. 244).

**§ 239. Νόμοι τῆς διαθλάσεως.** Εστω μιὰ λεπτὴ μονόχρωμη φωτεινὴ δέσμη AO, ποὺ πέφτει πλάγια στὴν ἐπίπεδη διαχωριστική ἐπιφάνεια, στὸ νερό (σχ. 245).

Σύμφωνα μὲ δσα εἴπαμε παραπάνω, ἔνα μέρος τοῦ φωτός ἀνακλᾶται ἀκολουθώντας τὴ διεύθυνση τῆς ἀκτίνας OB καὶ ἔνα μέρος εἰσχωρεῖ στὸ δεύτερο διαφανὲς μέσο, τὸ νερό, μὲ τὴ διεύθυνση τῆς ἀκτίνας



Σχ. 245. Γιὰ τὴ σπουδὴ τῆς διαθλάσεως.

ΟΓ καὶ διαθλᾶται. Ή ἀκτίνα ΟΓ ἐκτρέπεται (ἀλλάζει διεύθυνση) ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ διεύθυνση διαδόσεως τοῦ φωτός καὶ, στὴν περίπτωσή μας, πλησιάζει πρὸς τὴν κάθετο στὸ σημεῖο προσπτώσεως Ο τῆς διαχωριστικῆς ἐπιφάνειας νεροῦ - ἀέρα.

Η ἀκτίνα AO δονομάζεται προσπίπτουσα καὶ ἡ ΟΓ διαθλώμενη. Ή γωνία ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα ἀκτίνα καὶ τὴν κάθετο στὴ διαχωριστική ἐπιφάνεια, στὸ σημεῖο προσπτώσεως, δονομάζεται γωνία προσπτώσεως. Ή γωνία ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν κάθετο καὶ τὴ διαθλώμενη ἀκτίνα δονομάζεται γωνία διαθλάσεως.

Οταν ἡ διαθλώμενη ἀκτίνα πλησιάζει στὴν κάθετο, δπως στὴν περίπτωση τῆς διαδόσεως τοῦ φωτός ἀπὸ τὸν ἀέρα στὸ νερό, τὸ δεύτερο διαφανὲς μέσο, τὸ νερὸ στὴν περίπτωσή μας, λέγεται διαθλαστικότερο ἢ ὀπτικὰ συκνότερο ἀπὸ τὸ πρῶτο. "Ἄν διως ἡ διαθλώμενη ἀκτίνα ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν κάθετο, τότε τὸ δεύτερο διαφανὲς μέσο λέγεται ὀπτικὰ ἀραιότερο ἀπὸ τὸ πρῶτο.

Τὸ ἐπίπεδο ποὺ δρίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα καὶ τὴ διαθλώμενη ἀκτίνα δονομάζεται ἐπίπεδο διαθλάσεως.

Η διάθλαση τοῦ φωτός ἀκολουθεῖ τοὺς ἔξις δύο νόμους:

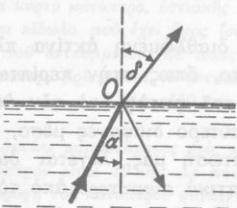
1ος Νόμος. Τὸ ἐπίπεδο διαθλάσεως, ποὺ δρίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα καὶ τὴ διαθλώμενη ἀκτίνα, εἶναι κάθετο στὴ διαχωριστική ἐπιφάνεια τῶν δύο διαφανῶν μέσων.

2ος Νόμος. Όταν φωτεινὲς ἀκτίνες μονόχρωμου φωτός διαδίδονται πλάγια ἀπὸ ἔνα διαφανὲς μέσο A σ' ἑνα ἄλλο B, διαθλῶνται καὶ πλησιάζουν πρὸς τὴν κάθετο, δταν τὸ δεύτερο διαφανὲς μέσο B εἶναι ὀπτικὰ συκνότερο ἀπὸ τὸ πρῶτο A. Τὸ ἀντίθετο συμβαίνει, δταν τὸ φῶς διαδίδεται ἀπὸ ὀπτικὰ συκνότερο σὲ ὀπτικὰ ἀραιότερο μέσο.

"Οταν τὸ φῶς προσπίπτει κάθετα στὴν ἐπιφάνεια διαχωρισμὸν δύο διπτικῶν μέσων, δὲν παθαίνει διάθλαση καὶ συνεχίζει τὴν εὐθύγραμμη διάδοσή του στὸ δεύτερο μέσο.

### § 240. Ὁρικὴ γωνία. Ὁλικὴ ἀνάκλαση.

"Οταν τὸ φῶς προσπίπτει πλάγια στὴν ἐπιφάνεια διαχωρισμὸν δύο διαφορετικῶν διπτικῶν μέσων καὶ διαδίδεται ἀπὸ διπτικὰ πυκνότερο σὲ διπτικὰ ἀραιότερο διαφανὲς σᾶμα, δῆπος π.χ. ἀπὸ τὸ νερὸ στὸν ἄέρα, ή διαθλώμενη ἀκτίνα ἀπομακρύνεται, δῆπος γωνιῶσμε, ἀπὸ τὴν κάθετο (σχ. 246).

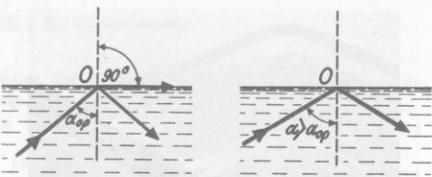


Σχ. 246. "Οταν τὸ φῶς μεταδίδεται ἀπὸ διπτικὰ πυκνότερο σὲ διπτικὰ ἀραιότερο διαφανὲς μέσο, ή διαθλώμενη ἀκτίνα ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν κάθετο.

"Οταν μεγαλώνει ἡ γωνία προσπτώσεως  $\alpha$ , μεγαλώνει καὶ ἡ γωνία διαθλάσεως  $\delta$ , ή δοία, στὴν περίπτωση ποὺ ἔχεταί ομε, εἰναι πάντα μεγαλύτερη ἀπὸ τὴ γωνία προσπτώσεως. "Οταν ἡ γωνία προσπτώσεως πάρει μιὰ δρισμένη τιμή, ποὺ τὴν δινομάζομε δρικὴ γωνία ( $\alpha_{op}$ ), ἡ γωνία διαθλάσεως γίνεται ἵση·μὲ 90° καὶ ἡ διαθλώμενη ἀκτίνα διαδίδεται ἐπάνω στὴν ἐπιφάνεια διαχωρισμοῦ τῶν δύο διπτικῶν μέσων (σχ. 247, I).

"Οταν ἡ γωνία προσπτώσεως ξεπεράσει τὴν δρικὴ γωνία ( $\alpha > \alpha_{op}$ ), δὲν δπάρχει πιὰ διαθλώμενη ἀκτίνα, γιατὶ ἡ προσπίπτουσα παθαίνει μόνο ἀνάκλαση (σχ. 247, II).

Τὸ φαινόμενο αὐτὸν δινομάζεται ὀλικὴ ἀνάκλαση τὸ φωτός καὶ παρατηρεῖται μόνον ὅταν τὸ φῶς διαδίδεται πλάγια ἀπὸ ἕνα πυκνότερο σὲ ἕνα ἀραιότερο μέσο.



Σχ. 247. "Οταν ἡ γωνία προσπτώσεως ξεπεράσει τὴν δρικὴ, συμβαίνει δλικὴ ἀνάκλαση.

"Οτε:

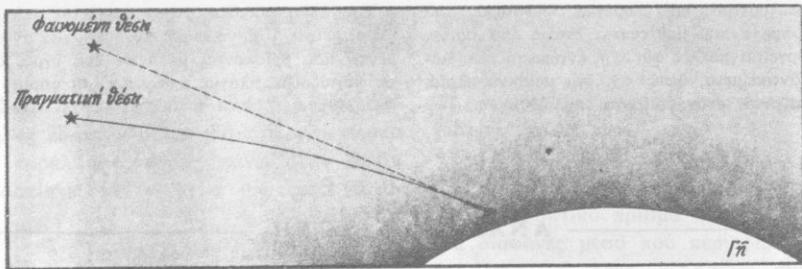
"Ολικὴ ἀνάκλαση δινομάζεται τὸ φαινόμενο κατὰ τὸ δρικὸ τὸ φῶς, δταν διαδίδεται πλάγια ἀπὸ διπτικὰ πυκνότερο σὲ διπτικὰ ἀραιότερο διαφανὲς μέσο, παθαίνει μόνον ἀνάκλαση. Αὐτὸ συμβαίνει, δταν ἡ γωνία προσπτώσεως ξεπεράσει μιὰ δρισμένη τιμή, χαρακτηριστικὴ γιὰ τὰ δύο διπτικὰ μέσα, ποὺ τὴν δινομάζομε δρικὴ γωνία.

Μεγάλη χρήση τοῦ φαινομένου αὐτοῦ γίνεται στοὺς φωτιζόμενους πίδακες (συντριβάνια), δπου παρατηροῦμε χρωματιστὲς καμπύλες φλέβες νεροῦ.

### § 241. Ἀποτελέσματα τῆς διαθλάσεως.

"Οταν μία φωτεινὴ ἀκτίνη ποὺ πρόερχεται ἀπὸ κάποιο ἀστέρι μπεὶ στὴ γηνὴ ἀτμόσφαιρα, περνᾶ ἀπὸ στρώματα δέρα, τῶν δοιών αἰξάνεται συνεχῶς ἡ διπτικὴ πυκνότητα. Γι' αὐτὸν τὸ λόγο ἡ ἀκτίνη ὀλοένα καμπολώνεται. "Οταν φτάσει στὸ μάτι μας, νομίζομε πῶς πρόερχεται ἀπὸ τὴν πρόκειστο τὸ τελευταίου τημάτος τῆς, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ βλέπομε τὸ ἀστέρι πηλότερα ἀπὸ τὴ θέση, δπου πραγματικὰ βρίσκεται (σχ. 248). "Ετοι βλέπουμε τὸν "Ηλιο, πρὶν ἀκόμη ἀνατέλει, καὶ ἔξακολουθομε νὰ τὸν βλέπουμε, ἐνῶ ἔχει δύσει.

"Ἐνα ἄλλο φαινόμενο, ποὺ ὀφείλεται στὴν ἀτμοσφαιρικὴ διαθλαση, εἶναι ὁ ἀντικατοπτρισμός. Γιὰ νὰ συμβεῖ τὸ φαινόμενο αὐτὸν, πρέπει ὁ δέρας ποὺ βρίσκεται κοντά στὸ ἔδαφος νὰ είναι διπτικὰ ἀραιότερος. Αὐτὸ συμβαίνει, δταν είναι πολὺ θερμὸ τὸ ἔδαφος, ὅποτε σηματίζει στρώματα, μὲ πυκνότητα ποὺ αἰξάνεται δσο ἀπομακρύνομαστε ἀπὸ τὸ ἔδαφος. Στὴν περίπτωση αὐτὴ τὸ φῶς ποὺ πρόερχεται ἀπὸ τὸ πηλότερο σημεῖο ἐνὸς ἀντικειμένου, π.χ. ἐνὸς δέντρου, φτάνει στὸ μάτι τὸν παρατηρητῆ, δπως δείχνεται στὸ σχῆμα 249. "Ετοι αὐτὸς



Σχ. 248. Εξαιτίας της άτμοσφαιρικής διαθλάσεως συμβαίνει φαινομενική άνύψωση τῶν ἀστρων.

βλέπει τὸ ἄντικείμενο, δῶς εἶναι στὴν πραγματικὴ του θέση καὶ ἀναστραμμένο, σὰν νὰ ὑπῆρχε ἀντικατοπτρισμὸς καὶ ξεγελιοῦνται. Τὸ ίδιο συμβαίνει καὶ στοὺς μαύρους ἀσφαλοστρωμένους αὐτοκινητόδρομους, δπου δημιουργεῖται η ἐντε-

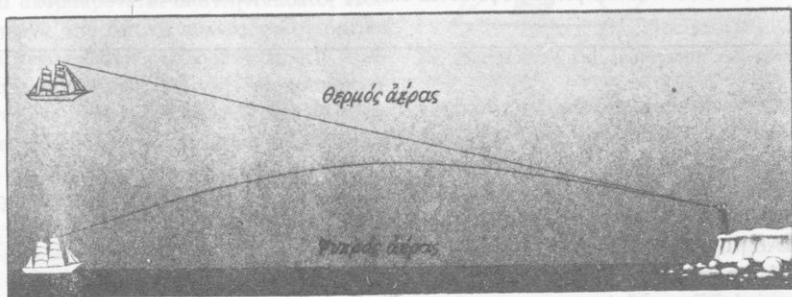


Σχ. 249. Οταν δὲ ἀέρας εἴναι πολὺ θερμός κοντά στὸ ἔδαφος, ἀπομακρυσμένα ἄντικείμενα φαίνονται, ἐξαιτίας τοῦ ἀντικατοπτρισμοῦ, ἀναστραμμένα.

στὸν παρατηρητή.

Τὸ φαινόμενο αὐτὸ παρατηρεῖται συνήθως στὶς ρητὴ ἔχει καταβρεχτεῖ τὸ δδόστρωμα.  
ἐρήμους, δπου τὰ καραβάνια βλέπουν δάσεις ἀπὸ παση δι τε μεγάλη ἀπόσταση ἀπὸ τὸν παρατηρητή.

"Οταν δὲ ἀέρας ποὺ βρίσκεται κοντά στὸ ἔδαφος



Σχ. 250. Οταν δὲ ἀέρας ποὺ βρίσκεται κοντά στὸ ἔδαφος εἴναι ψυχρός, ἀπομακρυσμένα ἄντικείμενα φαίνονται πιὸ ψηλὰ ἀπὸ τὴν πραγματικὴ τους θέση.

Είναι ψυχρότερος και έπομένως πυκνότερος άπο τά στρόματα πού βρίσκονται έπάνω από αὐτόν, δημιουργεῖται πολλές φορές ή έντυπωση πώς διάφορα άντικείμενα, δημος π.χ. ένα μακρινό πλοϊο, μετεωρίζονται στὸν δρίζοντα (σχ. 250).

"Ενα άλλο φαινόμενο, ποὺ δφείλεται στὴ διάθλαση, είναι ή φαινομενική άνύψωση τῶν άντικειμένων πού βρίσκονται μέσα σὲ ένα ύγρο, δταν τὰ κοιτάζουμε πλάγια, δημος π.χ. τὰ ψάρια (βλ. σχ. 243).

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Οταν τὸ φῶς διαδίδεται πλάγια ἀπὸ ένα διαφανὲς μέσο σὲ ἄλλο, παθαίνει διάθλαση. Τὸ φαινόμενο αὐτὸν ἀκολουθεῖ τοὺς ἔξῆς δύο νόμους: α) Τὸ ἐπίπεδο διάθλασεως, ποὺ δρίζεται ἀπὸ τὴν προσπίπτουσα και τῇ διαθλάμενῃ ἀκτίνᾳ, είναι κάθετο στὴ διαχωριστική ἐπιφάνεια τῶν δύο διπτικῶν μέσων. β) "Οταν μία φωτεινὴ ἀκτίνα μονόχρωμου φωτὸς παθαίνει διάθλαση, πλησιάζει πρὸς τὴν κάθετο, δταν τὸ δεύτερο διπτικό μέσο είναι πυκνότερο ἀπὸ τὸ πρῶτο. 'Αντίθετα ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν κάθετο, δταν είναι ἀραιότερο. Στὴν περίπτωση δύμως κατὰ τὴν δύοια τὸ φῶς προσπίπτει κάθετα στὴ διαχωριστική ἐπιφάνεια τῶν δύο διπτικῶν μέσων, δὲν παθαίνει διάθλαση.

2. Γιὰ νὰ συμβεῖ δίλικὴ ἀνάκλαση πρέπει νὰ διαδίδεται τὸ φῶς πλάγια πρὸς τὴ διαχωριστικὴ ἐπιφάνεια τῶν δύο διπτικῶν μέσων και ἀπὸ τὸ πυκνότερο πρὸς τὸ ἀραιότερο.

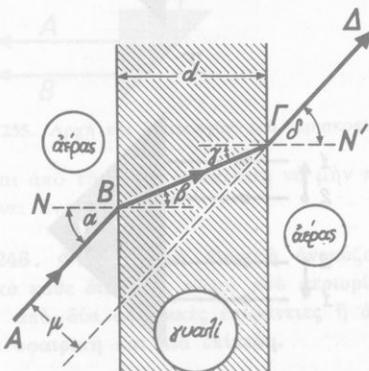
3. "Οταν ἡ γωνία προσπτώσεως ξεπεράσει τὴν δρικὴ γωνία, τὴ γωνία δηλαδὴ στὴν δύοια ἀντιστοιχεῖ διαθλαστικὴ γωνία  $90^{\circ}$ , έχομε δίλικὴ ἀνάκλαση, καμιὰ δηλαδὴ ἀπὸ τὶς προσπίπτουσες ἀκτίνες δὲν παθαίνει διάθλαση, ἀλλὰ ἀνακλῶνται δλες.

4. Στὴν ἀτμοσφαιρικὴ διάθλαση δφείλεται τὸ ὅτι δ "Ηλιος φαίνεται έπάνω ἀπὸ τὸν δρίζοντα, πρὶν ὀκόμη ἀνατείλει, και παραμένει έπάνω ἀπὸ αὐτόν, ἂν και ἔχει δόσει.

5. 'Ο ἀντικατοπτρισμὸς δφείλεται ἐπίσης στὴν ἀτμοσφαιρικὴ διάθλαση.

§ 242. Διάθλαση ἀπὸ πλάκα μὲ παράλληλες ἔδρες. Ἔστω μιὰ γυάλινη πλάκα μὲ παράλληλες ἔδρες, πάνω στὴν δοπία προσπίπτει μὲ γωνία  $\alpha$  μιὰ φωτεινὴ ἀ-

Ἡ μετατόπιση ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ πάχος τῆς γυάλινης πλάκας.



Σχ. 251. Διάθλαση μέσα ἀπὸ πλακίδιο μὲ παράλληλες ἔδρες.

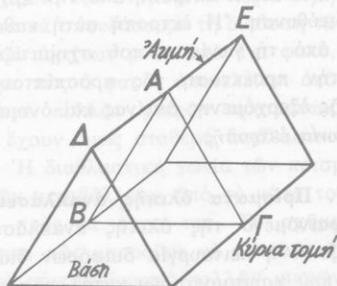
κτίνα  $AB$  (σχ. 251). Ἡ ἀκτίνα παθαίνει διάθλαση στὸ σημεῖο  $B$  καὶ πλησιάζει πρὸς τὴν κάθετο, ἀφοῦ διαδίδεται ἀπὸ τὸν ἄέρα στὸ γυαλί, δηλαδὴ ἀπὸ διπτικὰ ἀραιότερο σὲ διπτικὰ πυκνότερο σῶμα, ἀκολουθώντας τὴ διεύθυνση τῆς ἀκτίνας  $BG$ . Στὸ σημεῖο  $G$  παθαίνει καὶ πάλι διάθλαση, ἀλλὰ τώρα ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν κάθετο, ἐπειδὴ περνᾷ ἀπὸ διπτικὰ πυκνότερο σὲ διπτικὰ ἀραιότερο μέσο, ἀκολουθώντας τὴ διεύθυνση τῆς ἀκτίνας  $\Gamma\Delta$ . Οἱ δύο διπτικὲς ἀκτίνες, ἡ προσπίπτουσα  $AB$  καὶ ἡ ἐξερχόμενη  $\Gamma\Delta$  εἰναι παράλληλες, ἡ  $\Gamma\Delta$  δῆμος ἔχει μετατόπιστει ὡς πρὸς τὴν  $AB$ .

“Ωστε:

“Οταν μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα διαθλᾶται μέσα ἀπὸ μιὰ γυάλινη πλάκα μὲ παράλληλες ἔδρες, δὲν παθαίνει ἑκτροπὴ ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ τῆς διεύθυνση, ἀλλὰ παράλληλη μετατόπιση.

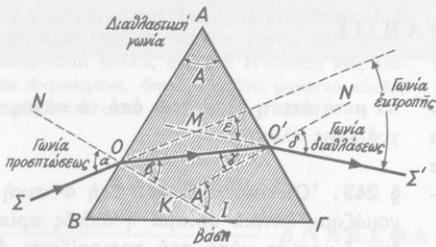
§ 243. Ὁπτικὸ πρίσμα. Στὴ Φυσικὴ δονομάζομε διπτικὸ πρίσμα ἢ ἀπλῶς πρίσμα ἐνα διαφανὲς μέσο ποὺ περιορίζεται ἀπὸ δύο ἐπίπεδων ἔδρες, οἱ δοπίες σχηματίζουν διεδρη γωνία (σχ. 252).

Ἡ τομὴ τῶν δύο ἐπίπεδων ἔδρῶν, ποὺ περιορίζουν τὸ πρίσμα, δονομάζεται ἀκμὴ τοῦ πρίσματος καὶ ἡ ἀντίστοιχη ἐπίπεδη γωνία τῆς διεδρης, ποὺ σχηματίζουν οἱ δύο ἔδρες, δονομάζεται διαβλαστικὴ γωνία τοῦ πρίσματος. Κάθε τομὴ τοῦ πρίσματος, κάθετη στὴν ἀκμή του, δονομάζεται κύρια τομὴ τοῦ πρίσματος. Συνήθως δίνεται τέτοια μορφὴ στὸ πρίσμα, ώστε ἡ κύρια τομὴ τοῦ νὰ είναι τρίγωνο. Ἡ ἔδρα τοῦ τρι-



Σχ. 252. Πρίσμα καὶ κύρια τομὴ τοῦ πρίσματος γωνικοῦ πρίσματος, ποὺ είναι ἀπέναντι ἀπὸ τὴν ἀκμή του, δονομάζεται βάση τοῦ πρίσματος.

§ 244. Διάθλαση μέσα ἀπὸ πρίσμα. Ἀς θεωρήσουμε δι τὴν κύρια τομὴ  $BA\Gamma$  ἐνὸς πρίσματος (σχ. 253) προσπίπτει μιὰ λεπτὴ μονόχρωμη φωτεινὴ δέσμη  $\Sigma O$  ἐπάνω στὴν ἔδρα  $BA$ , μὲ γωνία προσπτώσεως  $\alpha$ . Ἡ



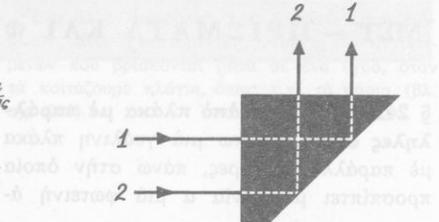
Σχ. 253. Πορεία μιᾶς φωτεινῆς ἀκτίνας μέσα ἀπό ἕνα πρίσμα.

λεπτὴ αὐτὴ δέσμη, ποὺ θεωρεῖται περίπου ἀκτίνα, διαθλᾶται στὸ Ο καὶ εἰσχωρεῖ στὸ πρίσμα πλησιάζοντας πρὸς τὴν κάθετο κατὰ τὴ διεύθυνση ΟΟ'. Στὸ σημεῖο Ο' τῆς ἔδρας ΑΓ διαθλᾶται καὶ πάλι καὶ βγαίνει στὸν ἄερα, ἐνῶ ἀπομακρύνεται ἀπὸ τὴν κάθετο, ἀκολουθῶντας τὴ διεύθυνση τῆς Ὀ'.

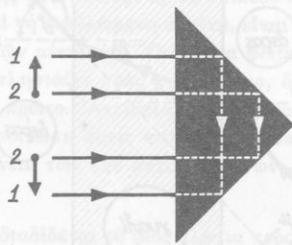
"Οπως παρατηροῦμε, ἡ ἔξερχόμενη ἀκτίνα πλησιάζει πρὸς τὴ βάση τοῦ πρίσματος καὶ παθαίνει ἐκτροπὴ ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ τῆς διεύθυνση. Ἡ ἐκτροπὴ αὐτὴ καθορίζεται ἀπὸ τὴ γωνία ε, ποὺ σχηματίζεται ἀπὸ τὴν προέκτωση τῆς προσπίπτουσας καὶ τῆς ἔξερχόμενης ἀκτίνας καὶ δονομάζεται γωνία ἐκτροπῆς.

**§ 245. Πρίσματα δλικῆς ἀνακλάσεως.** Στὸ φαινόμενο τῆς δλικῆς ἀνακλάσεως στηρίζεται ἡ λειτουργία διαφόρων διατάξεων, ποὺ χρησιμοποιοῦν κατάλληλα πρίσματα. Ἡ κύρια τομὴ τῶν πρισμάτων αὐτῶν εἶναι δρθογώνιο ἴσοσκελὲς τρίγωνο. Οἱ διατάξεις αὐτὲς χρησιμοποιοῦνται στὴν κατασκευὴ δρισμένων ὅπτικῶν δργάνων, δπως εἶναι τὰ περισκόπια τῶν ὑποβρυχίων κλπ.

Τὸ σχῆμα 254 δείχνει δύο πρίσματα δλικῆς ἀνακλάσεως. Στὴν περίπτωση Ι οἱ ὅπτικὲς ἀκτίνες προσπίπτουν κάθετα σὲ μιὰ κάθετη ἔδρα τοῦ πρίσματος καὶ δὲν παθαίνουν διάθλαση, συνεχίζοντας ἔτσι εὐ-



I



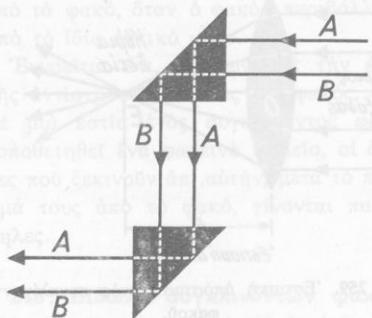
II

Σχ. 254. Πρίσματα δλικῆς ἀνακλάσεως.

θύγραμμα τὴ διάδοσή τους μέσα στὸ πρίσμα. "Οταν συναντήσουν τὴν ὑποτείνουσα ἔδρα τοῦ πρίσματος, δὲν διαθλῶνται ἐπειδὴ προσπίπτουν μὲ γωνία μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν δρική. Ἀνακλῶνται λοιπὸν καὶ προσπίπτουν κάθετα στὴν ἀλλὴ κάθετη ἔδρα τοῦ πρίσματος, δόποτε ἔξερχονται χωρὶς νὰ πάθουν διάθλαση.

"Αν τὸ μάτι συλλάβει τὶς ἔξερχόμενες ἀκτίνες, θὰ νομίσει δι τὸ ἀντικείμενο, ἀπὸ τὸ δόποιο προέρχονται, βρίσκεται στὴν προέκτασή τους. Ἔτσι συμβαίνει ἐκτροπὴ τῶν ἀκτίνων κατὰ 90°. Στὴν περίπτωση ΙΙ ἔχουμε δύο δλικές ἀνακλάσεις, οἱ δόποιες προκαλοῦν ἀναστροφὴ τοῦ εἰδώλου.

Τὸ σχῆμα 255 δείχνει τὴν ἀρχὴ πάνω στὴν δόποια στηρίζεται ἡ κατασκευὴ τοῦ περισκοπίου. Χρησιμοποιοῦνται δύο πρίσματα δλικῆς ἀνακλάσεως, ποὺ τοποθετοῦνται ἔτσι, ὥστε τὸ εῖδωλο ποὺ προέρ-



Σχ. 255. Αρχή της λειτουργίας τού περισκοπίου.

χειται άπο τή διπλή ανάκλαση να μήν παθαίνει αναστροφή.

**§ 246. Φακοί.** Στή Φυσική δονομάζομε φακό κάθε διαφανές σώμα πού περιορίζεται άπο δύο σφαιρικές έπιφανειες ή άπο μιά σφαιρική και μιά έπιπεδη.

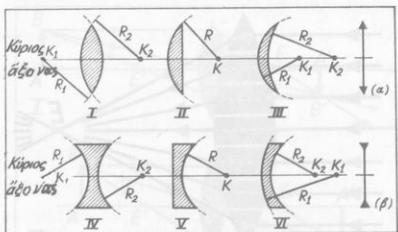
Οι φακοί κατασκευάζονται συνήθως άπο γυαλί ή άπο άλλο διαφανές όλικό και καταάσσονται σὲ δύο μεγάλες κατηγορίες, στοὺς συγκλίνοντες και στοὺς άποκλίνοντες φακούς.

Ο φακός δονομάζεται συγκλίνων, δταν μεταβάλλει σὲ συγκλίνουσα μιὰ παράλληλη φωτεινή δέσμη πού προσπίπτει ἐπάνω του, και άποκλίνων, δταν τή μεταβάλλει σὲ άποκλίνουσα, ἀφού περάσει άπο τή μάζα του.

Οι συγκλίνοντες φακοί είναι παχιοί στὸ μέσο και λεπτοί στὰ ἄκρα, ἐνῶ οι άποκλίνοντες είναι παχιοί στὰ ἄκρα και λεπτοί στὸ μέσο.

Οι άκτινες  $R_1$  και  $R_2$  τῶν δύο σφαιρῶν, στὶς ὁποῖες ἀνήκουν οἱ έπιφανειες τοῦ φακοῦ, δονομάζονται άκτινες καμπυλότητας τοῦ φακοῦ. "Οταν ο φακός άποτελεῖται άπο μιὰ σφαιρική και μιὰ έπιπεδη έπιφανεια, ἔχει μιὰν άκτινα καμπυλότητας.

Στὸ σχῆμα 256 είναι σχεδιασμένα τὰ διάφορα εἰδη τῶν συγκλινόντων και άποκλινόντων φακῶν.



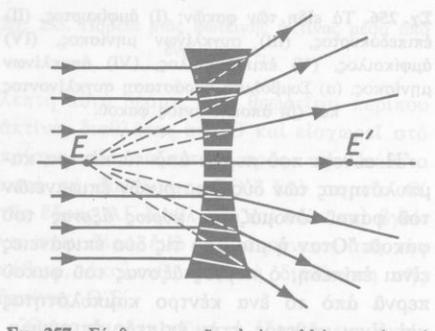
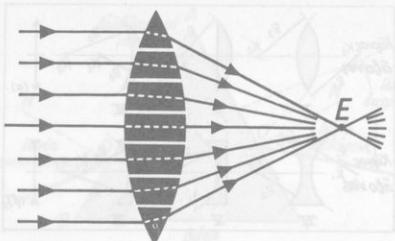
Σχ. 256. Τὰ εἰδη τῶν φακῶν: (I) ἀμφίκυρτος, (II) ἐπιπεδόκυρτος, (III) συγκλίνων μηνίσκος, (IV) ἀμφίκοιλος, (V) ἐπιπεδόκοιλος, (VI) άποκλίνων μηνίσκος. (α) Συμβολικὴ παράσταση συγκλινόντος και (β) άποκλινόντος φακοῦ.

Ἡ εὐθεία ποὺ περνᾶ άπο τὰ κέντρα καμπυλότητας τῶν δύο σφαιρικῶν έπιφανειῶν τοῦ φακοῦ δονομάζεται κύριος ἄξονας τοῦ φακοῦ. "Οταν η μία άπο τίς δύο έπιφανειες είναι έπιπεδη, ο κύριος ἄξονας τοῦ φακοῦ περνᾶ άπο τὸ ἕνα κέντρο καμπυλότητας και είναι κάθετος στὴν έπιπεδη έπιφάνεια. Κάθε τομῇ τοῦ φακοῦ ποὺ περιέχει τὸν κύριο ἄξονά του δονομάζεται κύρια τομῆ.

Γιά νὰ σπουδάσουμε τὴ διάδοση τῶν φωτεινῶν άκτινῶν μέσα άπο ἕνα φακό, θεωροῦμε πῶς ο φακὸς άποτελεῖται άπο συνδυασμὸ πολλῶν μικρῶν πρισμάτων, ποὺ δὲν ἔχουν δόμως σταθερὴ διαθλαστικὴ γωνία. Ή διαθλαστικὴ γωνία τῶν πρισμάτων αὐτῶν μεταβάλλεται άπο τὸ μέσο τοῦ φακοῦ πρὸς τὰ ἄκρα του. Τὸ σχῆμα 257 δείχνει πᾶς μποροῦμε νὰ φανταστοῦμε τὸ φακό σὰν συνδυασμὸ πολλῶν μικρῶν πρισμάτων.

Οι φακοὶ ποὺ θὰ μελετήσουμε ὑποθέτομε δτι είναι πολὺ λεπτοί. "Οτι δηλαδὴ τὸ πάχος τους είναι πολὺ μικρό, δταν συγκριθεῖ μὲ τὶς άκτινες καμπυλότητας τῶν έπιφανειῶν τους.

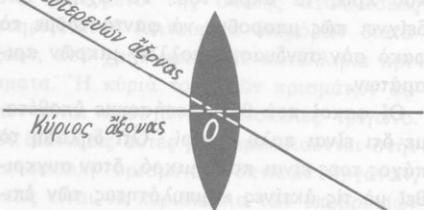
"Οταν οι φακοί ἔχουν μικρὸ πάχος, θεωροῦμε δτι ο κύριος ἄξονας τέμνει τὸ φακὸ σὲ ἕνα σημεῖο, ποὺ τὸ δονομάζομε διπτικὸ κέντρο τοῦ φακοῦ. Όποιαδήποτε εὐθεία περνᾶ άπο τὸ διπτικὸ κέντρο και δὲν



Σχ. 257. Σύνθεση φακών από πολλά μικρά πρίσματα διαφορετικής διαθλαστικής γωνίας.

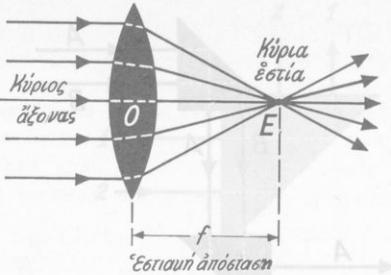
συμπίπτει μὲ τὸν κύριο ἄξονα, δονομάζεται δευτερεύων ἄξονας τοῦ φακοῦ (σχ. 258).

“Οταν μιὰ ἀκτίνα περνᾷ ἀπὸ τὸ δοτικό κέντρο τοῦ φακοῦ, συνεχίζει τὴ διάδοσή της χωρὶς νὰ διαθλαστεῖ.



Σχ. 258. Κύριος καὶ δευτερεύων ἄξονας ἐνὸς φακοῦ.

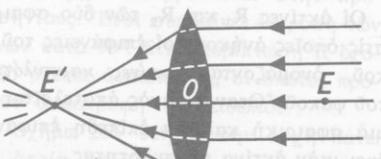
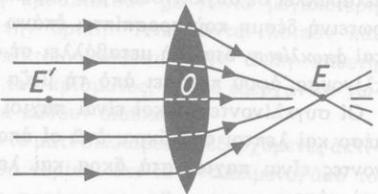
**§ 247. Συγκλίνοντες φακοί. Κύρια ἑστία.** Αν μιὰ δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες προσπέσει παράλληλα πρὸς τὸν κύριο ἄ-



Σχ. 259. Εστιακή ἀπόσταση ἐνὸς συγκλίνοντος φακοῦ.

ξονα ἐνὸς συγκλίνοντος φακοῦ, μετὰ τὴν ἔξodo τῆς ἀπὸ τὸ φακό, θὰ μεταβληθεῖ σὲ συγκλίνουσα δέσμη, οἱ ἀκτίνες τῆς ὁποίας θὰ περάσουν ἀπὸ ἔνα σημεῖο  $E$ , τὸ δόποιο βρίσκεται ἐπάνω στὸν κύριο ἄξονα τοῦ φακοῦ καὶ δονομάζεται κύρια ἑστία. Ἡ ἀπόσταση  $OE$  τῆς κύριας ἑστίας ἀπὸ τὸ δοτικὸ κέντρο τοῦ φακοῦ, δονομάζεται ἐστιακή ἀπόσταση τοῦ φακοῦ (σχ. 259).

Ἐνδὲ τὰ κάτοπτρα εἰναι μονόπλευρα, οἱ φακοὶ εἰναι δίπλευροι. Γι' αὐτὸ σὲ κάθε φακὸ ἔχομε δύο ἑστίες, μιὰ πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ μιὰ πρὸς τὰ ἀριστερὰ (σχ. 260). Οἱ δύο ἑστίες βρίσκονται σὲ ἵση ἀπόσταση



Σχ. 260. Οἱ παράλληλες ἀκτίνες συγκεντρώνονται στὶς δύο κύριες ἑστίες τοῦ φακοῦ.

ἀπὸ τὸ φακό, δταν ὁ φακὸς περιβάλλεται ἀπὸ τὸ ἔδιο δηπτικὸ μέσο.

Ἐννοεῖται δτι, σύμφωνα μὲ τὴν ἀρχὴν τῆς ἀντίστροφης πορείας τοῦ φωτός, δταν σὲ μιὰ ἑστίᾳ ἐνὸς συγκλίνοντος φακοῦ τοποθετηθεῖ ἔνα φωτεινὸ σημεῖο, οἱ ἀκτίνες ποὺ ἔκεινον ἀπ'. αὐτήν, μετὰ τὸ πέρασμά τους ἀπὸ τὸ φακό, γίνονται παράλληλες.

**§ 248. Εἰδώλα συγκλινόντων φακῶν.** Γιὰ νὰ σχηματίσουμε τὸ εἰδώλο ἐνὸς ἀντικειμένου, τὸ ὅποιο βρίσκεται μπροστά ἀπὸ ἔνα συγκλίνοντα φακό, ἀρκεῖ νὰ σχηματίσουμε τὰ εἰδώλα τῶν διαφόρων σημείων τοῦ ἀντικειμένου.

"Οπως στὴν περίπτωση τῶν κατόπτρων δ σχηματισμὸς τοῦ εἰδώλου ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου γίνεται ἀπὸ τὴν τομὴ δύο ἀκτίνων, ἔτσι καὶ στὴν περίπτωση τῶν φακῶν τὸ εἰδώλο ἐνὸς φωτεινοῦ σημείου σχηματίζεται στὴν τομὴ δύο ἀκτίνων, μετὰ τὸ πέρασμά τους ἀπὸ τὸ φακό.

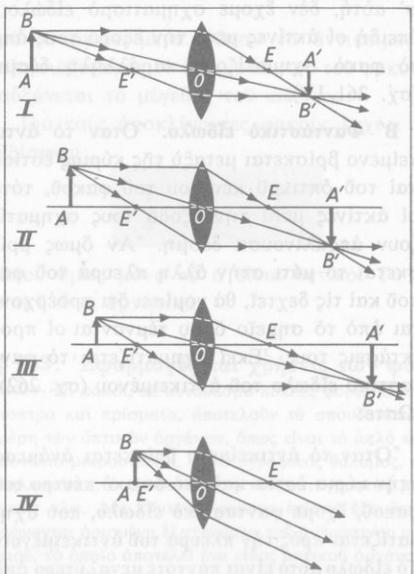
Γιὰ τὴν κατασκευὴ τῶν εἰδώλων ἀρκεῖ νὰ ἔχουμε δν' ὅψη μας τὰ ἔξης:

α) Μιὰ παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα ἀκτίνα περνᾷ μετὰ τὴν ἔξοδο τῆς ἀπὸ τὴν κύρια ἑστίᾳ.

β) Μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα μὲ διεύθυνση δευτερεύοντα ἄξονα δὲν παθαίνει διάλλαση.

γ) Μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα ποὺ περνᾷ ἀπὸ τὴν κύρια ἑστίᾳ ἀκολουθεῖ μετὰ τὴν ἔξοδό της διεύθυνση παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα.

**Α' Πραγματικὸ εἰδώλο.** α) "Οταν τὸ ἀντικείμενο  $AB$  βρίσκεται στὸ ἔνα μέρος τοῦ φακοῦ καὶ σὲ ἀπόσταση ( $AO$ ) =  $a$ , μεγαλύτερη ἀπὸ τὸ διπλάσιο τῆς ἑστιακῆς ἀπόστασεως, τὸ εἰδώλο τοῦ σχηματίζεται στὸ ἄλλο μέρος τοῦ φακοῦ, εἶναι πραγματικό, ἀναστραμμένο καὶ σὲ ἀπόσταση ( $OA'$ ) =  $b$ , μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἑστιακὴ ἀπόσταση καὶ μικρότερη ἀπὸ τὸ διπλάσιο τῆς ἑστια-



Σχ. 261. Διάφορες θέσεις τοῦ εἰδώλου ἐνὸς ἀντικειμένου, τοποθετημένου μπροστά σὲ συγκλίνοντα φακό.

κῆς ἀποστάσεως. Δηλαδὴ, δταν  $a > 2f$ , θὰ είναι  $f < b < 2f$  (σχ. 261, I).

β) "Οταν τὸ ἀντικείμενο πλησιάζει πρὸς τὸ διπλάσιο τῆς ἑστιακῆς ἀπόστασεως, καὶ τὸ εἰδώλο τοῦ πλησιάζει πρὸς τὸ διπλάσιο τῆς ἑστιακῆς ἀπόστασεως καὶ γίνεται δλούνεα μεγαλύτερο. "Οταν ἡ ἀπόσταση α τοῦ ἀντικειμένου γίνει ἵση μὲ 2f, τότε καὶ ἡ ἀπόσταση β τοῦ εἰδώλου γίνεται ἵση μὲ 2f καὶ τὸ εἰδώλο εἶναι ἵσο μὲ τὸ ἀντικείμενο (σχ. 261, II).

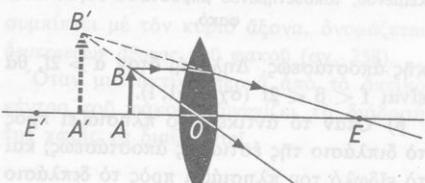
γ) "Οταν ἡ ἀπόσταση α τοῦ ἀντικειμένου εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἑστιακὴ ἀπόσταση καὶ μικρότερη ἀπὸ τὸ διπλάσιο τῆς, τὸ εἰδώλο σχηματίζεται σὲ ἀπόσταση β μεγαλύτερη ἀπὸ τὸ διπλάσιο τῆς ἑστιακῆς ἀπόστασεως καὶ εἶναι μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο (σχ. 261, III).

δ) "Οταν, τέλος, τὸ ἀντικείμενο, προχωρώντας πρὸς τὴν κύρια ἑστίᾳ, πέσει ἐπάνω

σ' αυτή, δὲν ἔχομε σχηματισμὸν εἰδώλου, ἐπειδὴ οἱ ἀκτίνες μετὰ τὴν ἔξοδὸν τοὺς ἀπὸ τὸ φακὸν σχηματίζουν παράλληλη δέσμη (σχ. 261, IV).

**Β' Φανταστικὸν εἰδώλον.** "Οταν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται μεταξὺ τῆς κύριας ἑστίας καὶ τοῦ ὀπτικοῦ κέντρου τοῦ φακοῦ, τότε οἱ ἀκτίνες μετὰ τὴν ἔξοδὸν τοὺς σχηματίζουν ἀποκλίνουσα δέσμην. "Αν δῶς βρίσκεται τὸ μάτι στὴν ἄλλη πλευρὰ τοῦ φακοῦ καὶ τὶς δεχτεῖ, θὰ νομίσει ὅτι προέρχονται ἀπὸ τὸ σημεῖον ὃπου τέμνονται οἱ προεκτάσεις τοὺς. Ἐκεὶ σχηματίζεται τὸ φανταστικὸν εἰδώλο τοῦ ἀντικειμένου (σχ. 262). "Ωστε:

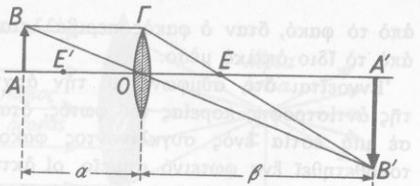
"Οταν τὸ ἀντικείμενο βρίσκεται ἀνάμεσα στὴν κύρια ἑστία καὶ στὸ ὀπτικὸν κέντρο τοῦ φακοῦ, ἔχομε φανταστικὸν εἰδώλο, ποὺ σχηματίζεται πρὸς τὴν πλευρὰ τοῦ ἀντικειμένου. Τὸ εἰδώλο αὐτὸν εἶναι πάντοτε μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ἀντικείμενο καὶ ὅρθιο.



Σχ. 262. Σχηματισμὸς φανταστικοῦ εἰδώλου ἀπὸ συγκλινόντων φακοῦ.

**§ 249. Τύπος τῶν συγκλινόντων φακῶν.** "Οπως ἀποδεικνύεται, μεταξὺ τῆς ἀποστάσεως αὶ τοῦ ἀντικειμένου, ποὺ βρίσκεται μπροστὰ σὲ ἓνα συγκλινόντα φακό, ἀπὸ τὸ ὀπτικὸν κέντρο Ο τοῦ φακοῦ, τῆς ἀποστάσεως β ἡ εἰδώλου τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ ὀπτικὸν κέντρο Ο τοῦ φακοῦ καὶ τῆς ἑστιακῆς ἀποστάσεως f τοῦ φακοῦ (σχ. 263), ισχύει ἡ σχέση:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$



Σχ. 263. Γιὰ τὸν τύπο τῶν συγκλινόντων φακῶν.

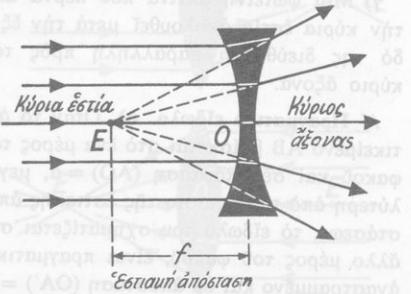
Στὴν ἔξισωση αὐτῇ τὰ a καὶ f εἶναι πάντοτε θετικοὶ ἀριθμοί. Τὸ β μπορεῖ νὰ εἶναι θετικὸς ἢ ἀρνητικὸς ὀριθμός. Θετικὸ β σημαίνει πραγματικὸ εἰδώλο, ἀρνητικὸ β ὑποδηλώνει δὲ τὸ εἰδώλο εἶναι φανταστικό.

**§ 250. Μεγέθυνση τοῦ φακοῦ.** Η μεγέθυνση M ἐνὸς φακοῦ ὁρίζεται μὲ τὸν ἴδιο τρόπο ποὺ ὁρίζεται ἡ μεγέθυνση ἐνὸς σφαιρικοῦ κατόπτρου. "Οπως στὴν περίπτωση τῶν σφαιρικῶν κατόπτρων, ἔτσι καὶ στὴν περίπτωση τῶν φακῶν ισχύει ἡ σχέση:

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

**§ 251. Ἀποκλίνοντες φακοί.** Οἱ φακοὶ αὐτοὶ μεταβάλλουν μιὰ παράλληλη δέσμη σὲ ἀποκλίνουσα, ἀφοῦ περάσει ἀπὸ τὴν μάζα τοὺς καὶ πάθει δυὸ φορὲς διάθλαση.

Στὸ σχῆμα 264 παριστάνεται ἔνας ἀποκλίνων φακός. Μιὰ δέσμη ἀπὸ παράλληλες ἀκτίνες προσπίπτει παράλληλα πρὸς τὸν



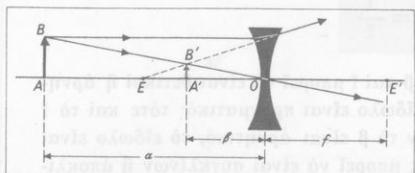
Σχ. 264. Ἑστιακὴ ἀπόσταση ἐνὸς ἀποκλίνοντος φακοῦ.

κύριο ἄξονα τοῦ φακοῦ. Οἱ γεωμετρικὲς πρὶ εἰκάσεις τῶν ἀκτίνων τῆς δέσμης συναντοῦνται μετὰ τὴν ἔξοδό τους στὸ σημεῖο E, ποὺ εἶναι ἡ κύρια ἑστία τοῦ φακοῦ, ἡ δόπια στὴν περίπτωση αὐτῇ εἶναι φανταστική.

**§ 252. Εἰδώλα ἀποκλινόντων φακῶν.** Ἐς φανταστοῦμε ἔνα ἀντικείμενο AB μπροστά ἀπὸ τὸν ἀποκλίνοντα φακὸ τοῦ σχῆματος 265. Γιὰ νὰ σχηματίσουμε τὸ εἰδώλο του, κατασκευάζομε τὸ εἰδώλο τῆς κορυφῆς του B. Γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ χρειαζόμαστε δύο ἀκτίνες. Μιὰ παράλληλη πρὸς τὸν κύριο ἄξονα, δόποτε ἡ γεωμετρικὴ πρόκταση τῆς ἐξερχόμενῆς της θὰ περνᾷ ἀπὸ τὴν φανταστικὴ κύρια ἑστία, καὶ μὰ ποὺ νὰ ἔχει διεύθυνση δευτερεύοντος ἄξονα, ἡ δόπια δὲν θὰ ὑποστεῖ διάλθαση.

Οἱ δύο αὐτὲς διαβλασμένες ἀκτίνες εἶναι πάντοτε ἀποκλίνουσες, γ' αὐτὸ δὲν συναντοῦνται, κι' ἔτσι δὲν μποροῦν νὰ δώσουν πραγματικὸ εἰδώλο. Ἀν δημοσίευσον καὶ οἱ δύο στὸ μάτι μας, θὰ μᾶς δημιουργηθεῖ ἡ ἐντύπωση ὅτι προέρχονται ἀπὸ ἔνα σημεῖο ποὺ βρίσκεται στὴν ἴδια πλευρά, ὡς πρὸς τὸ φακό, μὲ τὸ ἀντικείμενο. Ἐκεὶ θὰ σχηματιστεῖ τὸ φανταστικὸ εἰδώλο B' τοῦ B. Φέρνοντας μιὰ κάθετη εὐθεία B'A' στὸν διπτικὸ ἄξονα τοῦ φακοῦ, σχηματίζομε τὸ εἰδώλο τοῦ ἀντικείμενου.

Οἱ ἀποκλίνοντες φακοὶ δίνουν πάντοτε φανταστικὰ εἰδώλα, δρθια καὶ μικρότερα ἀπὸ τὰ ἀντικείμενα. Τὰ εἰδώλα βρίσκονται στὴν ἴδια πλευρά, ὡς πρὸς τὸ φακό,



**Σχ. 265.** Γεωμετρικὴ κατασκευὴ τοῦ φανταστικοῦ εἰδώλου ἐνὸς ἀποκλίνοντος φακοῦ.

μὲ τὰ ἀντικείμενα. "Οταν τὸ ἀντικείμενο πλησιάζει πρὸς τὸ ὅπτικό κέντρο τοῦ φακοῦ, αἰξάνεται τὸ μέγεθος τοῦ εἰδώλου.

Γιὰ τοὺς ἀποκλίνοντες φακοὺς ισχύει ἡ ἐξίσωση:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$

ὅπου δημοσίευσον τὸ a εἶναι θετικό. Τὰ β καὶ f εἶναι ἀρνητικά.

**§ 253. Ἐφαρμογὲς καὶ χρήσεις τῶν φακῶν.** Οἱ φακοὶ, σὲ συνδυασμὸ πολλές φορὲς μὲ κάτοπτρα καὶ πρίσματα, ἀποτελοῦν τὰ σπουδαιότερα μέρη τῶν ὅπτικῶν ὁργάνων, δημοσίευσον τὸ ἀπλὸ καὶ σύνθετο μικροσκόπιο, ὁ φωτογραφικὸς θάλαμος, τὸ τηλεσκόπιο, ὁ προβολέας, ἡ κινηματογραφικὴ μηχανὴ κλπ. Μὲ εἰδικοὺς φακοὺς ἐπίσης ἔχουν δερμάνονται ὄρισμένα ἀλατόπατα τοῦ ἀνθρώπινου ματιοῦ, τὸ ὅποιο ἀποτελεῖ ἔνα εἰδός ὅπτικο ὁργάνου.

**§ 154. Ισχὺς φακοῦ.** "Ἐνας φακὸς εἶναι τόσο περισσότερο συγκλίνων, ὅσο οἱ κύριες ἑστίες του βρίσκονται κοντύτερα στὸ ὅπτικό του κέντρο, ὅσο δηλαδὴ ἡ ἑστιακὴ ἀπόσταση τοῦ φακοῦ εἶναι μικρότερη. Αὐτὸ ἀκριβῶς τὸ χαρακτηριστικὸ γνώρισμα ἐνὸς φακοῦ ἐκφράζει ἡ ίσχὺς τοῦ φακοῦ.

"Η ίσχὺς P ἐνὸς φακοῦ δημοσίευσον τὸ ἀντίστροφο τῆς ἑστιακῆς ἀποστάσεως f τοῦ φακοῦ:

"Επομένως θὰ ἔχουμε ὅτι:

$$P = \frac{1}{f}$$

"Οταν ἡ f ἐκφράζεται σὲ μέτρα, ἡ P βρίσκεται σὲ διοπτρίες.

**'Αριθμητικὸ παράδειγμα.** Νὰ βρεθεῖ ἡ ίσχὺς ἐνὸς φακοῦ ἀκτίνας καμπυλότητας 20 cm.

**Αύστη.** 'Επειδὴ 20 cm = 0,20 m, θὰ ἔχουμε ὅτι:

$$P = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ διοπτρίες}$$

1. Οι φωτεινές άκτινες, πού διαθλῶνται ἀπό γυάλινες πλάκες μὲ παράλληλες ἔδρες, δὲν παθαίνουν ἐκτροπὴ ἀπό τὴν ἀρχικὴ τους διεύθυνση, ἀλλὰ μετατοπίζονται μόνο παράλληλα.

2. Τὰ ὅπτικὰ πρίσματα εἰναι διαφανὴ μέσα, πού περιορίζονται ἀπό τὶς δυὸς ἔδρες μιᾶς διεδρης γωνίας.

3. "Ἄν μιὰ φωτεινὴ ἀκτίνα προσπέσει πλόγια σὲ μιὰ ἔδρα τοῦ πρίσματος, μπαίνει στὸ πρίσμα καὶ διαθλᾶται." Οταν συναντήσει τὴν ἄλλη ἔδρα, βγαίνει ἀπό τὸ πρίσμα καὶ διαθλᾶται πάλι. Ἡ ἔξερχόμενη ἀκτίνα ἔχει πάθει ἐκτροπὴ ἀπὸ τὴν ἀρχικὴ τῆς διεύθυνση, ἡ δοπία καθορίζεται ἀπὸ τὴ γωνία πού σχηματίζει ἡ προσπίπτουσα μὲ τὴν ἔξερχόμενη ἀκτίνα.

4. Τὰ πρίσματα ὄλικῆς ἀνακλάσεως ἔχουν ώς κύρια τομὴ ὁρθογώνιο ἰσοσκελὲς τρίγωνο. "Οταν μία φωτεινὴ ἀκτίνα πέσει κάθετα σὲ μιὰ ἔδρα τῆς ὁρθῆς διεδρης διαθλαστικῆς γωνίας τοῦ πρίσματος, συνεχίζει τὴ διάδοση τῆς χωρὶς διάθλαση καὶ συναντώντας τὴν ὑποτείνουσα παθαίνει ὄλικὴ ἀνάκλαση." Ἡ ἀνακλώμενη ἀκτίνα πέφτει κάθετα στὴν ἄλλη ἔδρα καὶ βγαίνει χωρὶς νὰ πάθει διάθλαση.

5. Οἱ φακοὶ εἰναι διαφανὴ σώματα, πού περιορίζονται ἀπὸ δύο σφαιρικὲς ἐπιφάνειες ἡ μιὰ σφαιρικὴ καὶ μιὰ ἐπίπεδη καὶ ὑποδιαιροῦνται σὲ δυὸς μεγάλες κατηγορίες, στοὺς συγκλίνοντες καὶ στοὺς ἀποκλίνοντες φακοὺς. Οἱ πρῶτοι μεταβάλλονται μιὰ δέσμη ἀπὸ παράλληλες φωτεινές ἀκτίνες σὲ συγκλίνουσα καὶ οἱ δεύτεροι σὲ ἀποκλίνουσα.

6. Οἱ φακοὶ ἔχουν δύο συμμετρικὲς κύριες ἑστίες καὶ δύο ἡ μιὰν ἀκτίνες καμπυλότητας. Στοὺς συγκλίνοντες φακοὺς ἡ κύρια ἑστία εἰναι πραγματικὴ καὶ σχηματίζεται ἀπὸ τὴ δέσμη τῶν παράλληλων ἀκτίνων, πού μεταβάλλεται σὲ συγκλίνουσα ὑστερά ἀπὸ τὴν ἔξοδό τῆς ἀπὸ τὸ φακό. Στοὺς ἀποκλίνοντες φακοὺς ἡ κύρια ἑστία εἰναι φανταστικὴ καὶ σχηματίζεται ἀπὸ τὶς προεκτάσεις τῶν ἀκτίνων πού βγαίνουν ἀπὸ τὸ φακό.

7. Ἡ ἀπόσταση α τοῦ ἀντικειμένου ἀπὸ τὸ ὅπτικό κέντρο τοῦ φακοῦ, ἡ ἀπόσταση β τοῦ εἰδώλου ἀπὸ τὸ ὅπτικό κέντρο καὶ ἡ ἑστιακὴ ἀπόσταση f τοῦ φακοῦ συνδέονται μὲ τὴ σχέση:

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} = \frac{1}{f}$$

Τὸ α εἰναι πάντοτε θετικὸς ἀριθμός, τὰ β καὶ f μπορεῖ νὰ εἰναι θετικοὶ ἡ ἀρνητικοὶ ἀριθμοὶ. "Οταν τὸ β εἰναι θετικό, τὸ εἰδώλο εἰναι πραγματικό· τότε καὶ τὸ f εἰναι θετικό καὶ ὁ φακὸς συγκλίνων." "Οταν τὸ β εἰναι ἀρνητικό, τὸ εἰδώλο εἰναι φανταστικό. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ὁ φακὸς μπορεῖ νὰ εἰναι συγκλίνων ἡ ἀποκλίνων." "Οταν τὸ f εἰναι ἀρνητικό, ὁ φακὸς εἰναι ἀποκλίνων, ὅποτε καὶ τὸ β εἰναι ἀρνητικό, ἐπειδὴ οἱ ἀποκλίνοντες φακοὶ δίνουν πάντοτε φανταστικὰ εἰδώλα.

8. "Οπως καὶ στὴν περίπτωση τῶν κατόπτρων, ἡ μεγέθυνση  $M$  ἐνὸς φακοῦ δίνεται ἀπὸ τὴν ἔξισωση:

$$M = \frac{\beta}{a}$$

9. Οἱ φακοί, τὰ κάτοπτρα καὶ τὰ πρίσματα εἰναι τὰ σπουδαιότερα μέρη τῶν διπτικῶν ὁργάνων.

### ΑΣΚΗΣΕΙΣ

175. "Ἐνα ἀντικείμενο ἀπέχει 60 cm ἀπὸ ἑνὸς συγκλίνοντα φακὸς καὶ δίνει εἰδόλο σὲ ἀπόσταση 20 cm ἀπὸ τὸ δόπτικὸ κέντρο τοῦ φακοῦ. Νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ ἔστιακὴ ἀπόσταση τοῦ φακοῦ.

('Απ.  $f = 15$  cm.)

176. "Ἐνα ἀντικείμενο βρίσκεται σὲ ἀπόσταση 30 cm ἀπὸ τὸ δόπτικὸ κέντρο ἐνὸς συγκλίνοντος φακοῦ καὶ δίνει πραγματικὸ εἰδόλο σὲ ἀπόσταση 120 cm ἀπὸ αὐτοῦ. Νὰ βρεθεῖ ἡ ἔστιακὴ ἀπόσταση καὶ ἡ μεγέθυνση τοῦ φακοῦ. ('Απ.  $f = 24$  cm,  $M = 4$ .)

177. Ἐμπόδιος ἀπὸ ἑνὸς συγκλίνοντα φακοῦ, μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση 15 cm, τοποθετεῖται σὲ ἀπόσταση 120 cm ἀπὸ τὸ δόπτικὸ κέντρο τοῦ φακοῦ. Ἀν τὸ ὑψος τοῦ ἀντικειμένου εἰναι 3,5 cm, νὰ ὑπολογιστεῖ ἡ θέση τοῦ εἰδώλου καθὼς καὶ τὸ μέγεθός του. ('Απ.  $\beta = 17,1$  cm,  $E = 0,5$  cm.)

178. "Ἐνα ἀντικείμενο ὕψος 4 mm τοποθετεῖται σὲ ἀπόσταση 10 cm ἀπὸ ἑνὸς συγκλίνοντα φακοῦ, μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση 12,5 cm. Νὰ βρεθεῖ ἡ θέση τοῦ εἰδώλου καθὼς καὶ τὸ μέγεθός του. ('Απ.  $\beta = 50$  cm,  $E = 20$  mm.)

179. "Ἐνα ἀντικείμενο τοποθετεῖται σὲ ἀπόσταση

8 cm ἀπὸ ἑνὸς ἀποκλίνοντα φακοῦ μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση 24 cm. Νὰ ὑπολογίσετε τὴ θέση τοῦ εἰδώλου καὶ τὴ μεγέθυνση.

('Απ. —6 cm μηροστά ἀπὸ τὸ φακό,  $M = 0,75$ .)

180. Σὲ πόσῃ ἀπόσταση ἀπὸ ἑνὸς συγκεντρωτικοῦ φακοῦ, μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση 8 cm, πρέπει νὰ τοποθετήσουμε ἑνὸς ἀντικείμενο, ὥστε τὸ πραγματικὸ εἰδόλο του νὰ ἔχει τὸ ίδιο ὑψος μὲ τὸ ἀντικείμενο; Νὰ κατασκευάσετε γραφικὰ τὸ εἰδώλο.

('Απ. 16 cm.)

181. Ἡ φλόγα ἐνὸς κεριοῦ ἔχει ὑψος 1,5 cm. Τὸ ξερὸ τοποθετεῖται στὴν κύρια ἔστια ἐνὸς ἀποκλίνοντος φακοῦ, μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση 15 cm. Νὰ βρεθεῖ ἡ θέση καθὼς καὶ τὸ ὑψος τοῦ εἰδώλου ποὺ σχηματίζεται. ('Απ.  $\beta = -7,5$  cm,  $E = -0,75$  cm.)

182. "Ἐνας συγκλίνων φακὸς ἔχει ἔστιακὴ ἀπόσταση 60 cm. Νὰ βρεθεῖ ἡ ισχὺς αὐτοῦ τοῦ φακοῦ. ('Απ.  $P = 1,66$  διοπτρίες.)

183. Νὰ βρεθεῖ ἡ ισχὺς ἐνὸς ἀποκλίνοντος φακοῦ μὲ ἔστιακὴ ἀπόσταση —25 cm.

('Απ. —4 διοπτρίες.)

Εἰ. 268. Αποκλίνοντα φακοῦ

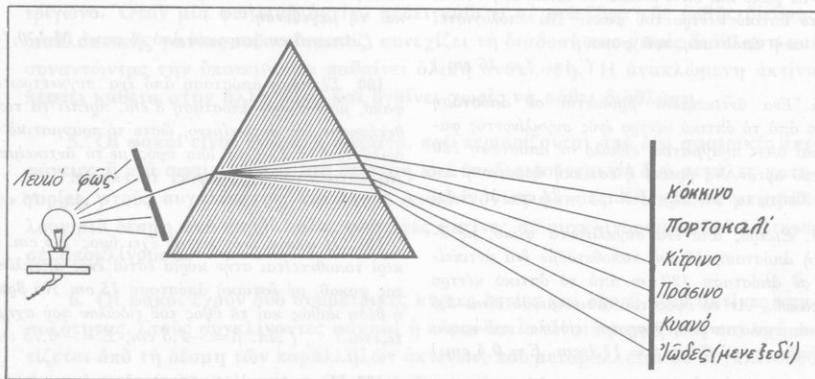
μετανούλανδον νέῳ ρατσιόδοφ θοτ πτωμάρχ αλπά δΤ τος χι

**§ 255. Φάσμα. Πείραμα.** Έπάνω σὲ ένα πρίσμα ἀφήνομε νὰ πέσει μιὰ δέσμη ἀπὸ παραλλήλες ἀκτίνες λευκοῦ φωτός, ή ὅποια νὰ προέρχεται, π.χ., ἀπὸ έναν ἡλεκτρικὸν λαμπτήρα φωτισμοῦ, μπροστά ἀπὸ τὸν δοιοῖο ἔχομε τοποθετήσει ένα διάφραγμα μὲ μιὰ στενὴ σχισμή (σχ. 266). Παρατηροῦμε τότε ὅτι οἱ ἔξερχόμενες ἀκτίνες, ἐκτὸς ἀπὸ τὴν ἐκτροπή, ἔχουν πάθει καὶ ἀνάλυση. "Αν δηλαδὴ τὶς δεχτοῦμε πάνω σ' ἔνα διάφραγμα, παίρνομε μία ἔγχρωμη συνεχὴ

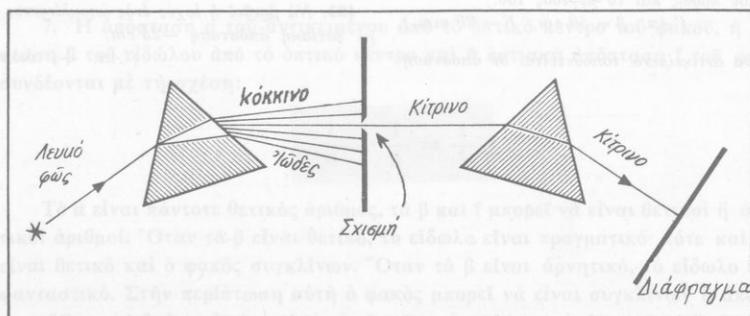
ταινία, ποὺ ἀποτελεῖται κατὰ σειρὰ ἀπὸ τὰ ἀκόλουθα χρώματα: κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, κυανό καὶ ἵδες (μενεζεδί).

Τὸ φαινόμενο αὐτὸν δονομάζεται ἀνάλυση τοῦ φωτὸς καὶ ἡ ἔγχρωμη ταινία φάσμα.

"Οταν ἔνα φῶς περιέχει ἀκτίνες ἐνὸς μόνον χρώματος, δονομάζεται μονόχρωμο ἢ ἀπλό. Τὸ φῶς αὐτὸν δὲν ἀναλύεται ἀλλὰ μένει τὸ ἴδιο, ὅταν περάσει μέσα ἀπὸ πρίσμα (σχ. 267).



Σχ. 266. Ἀνάλυση τοῦ λευκοῦ φωτὸς μέσα ἀπὸ πρίσμα.



Σχ. 267. Τὰ ἀπλά χρώματα τοῦ φάσματος δὲν ἀναλύονται.

**§ 256. Φασματικές περιοχές.** "Αν μπροστά ἀπὸ τὸ φάσμα, ποὺ προέρχεται ἀπὸ λευκὸ φῶς καὶ τὸ ὅποιο σχῆματίζεται ἐπάνω σ' ἔνα διάφραγμα, μετακινήσουμε μιὰν ἔντυπη σελίδα, παρατηροῦμε διτὶ μποροῦμε νὰ διαβάσουμε ἄνετα τὸ ἔντυπο, ὅταν αὐτὸ βρίσκεται στὴν περιοχὴ τοῦ κιτρινοπράσινου φωτός, ἐπειδὴ στὴν περιοχὴ αὐτὴ παρατηρεῖται ἡ μεγαλύτερη φωτεινότητα τοῦ φάσματος. 'Αντίθετα οἱ δύο ἀκραίες περιοχές τοῦ κόκκινου καὶ τοῦ ἰώδους εἶναι σκοτεινές καὶ μὲ μεγάλη δυσκολία μποροῦμε νὰ διαβάσουμε τὸ ἔντυπο.

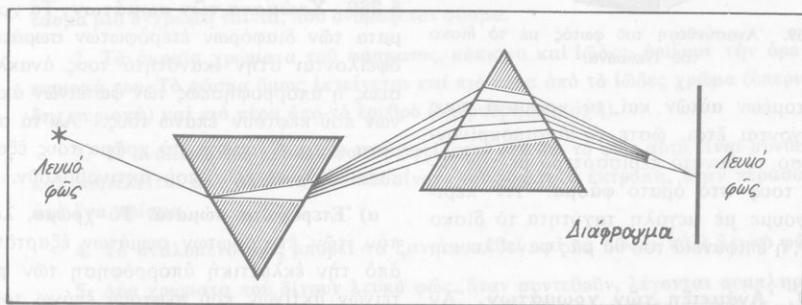
"Αν μετακινήσουμε κατὰ μῆκος τοῦ φάσματος ἔνα ενδιάσθητο θερμόμετρο, τὸ ὅργανο δείχνει τὴν ύψηλότερη θερμοκρασία στὴν κόκκινη περιοχή. "Αν ἀφήσουμε τὸ φάσμα νὰ προσβάλει μιὰ συνηθισμένη φωτογραφικὴ πλάκα καὶ ὑστερο τὴν ἐμφανίσουμε, θὰ παρατηρήσουμε διτὶ ἡ πλάκα προσβάλλεται ἐντονότερα στὴν ἰώδη περιοχή. "Η προσβολὴ τῆς φωτογραφικῆς πλάκας ἀλλατώνεται δοσ προχωροῦμε πρὸς τὴν κόκκινη περιοχή, δησοὺ ἡ πλάκα δὲν προσβάλλεται καθόλου. Γι' αὐτὸ στὰ φωτογραφικὰ ἔργαστηρια χρησιμοποιοῦν, ὅταν ἐργάζονται, κόκκινο φωτισμό.

"Η ἔγχρωμη ταινία, ποὺ σχημάτισε τὸ λευκὸ φῶς ἐπάνω στὸ διάφραγμα μετά τὴν ἔξοδό του ἀπὸ τὸ πρίσμα, δονομάζεται ιδιαίτερα ὁρατὸ φάσμα, ἐπειδὴ ἐρεθίζει τὸ μάτι,

ποὺ εἶναι τὸ αἰσθητήριο τῆς ὁράσεως. Τὸ φάσμα ὡστόσο ἀπλώνεται καὶ πιὸ πέρα ἀπὸ τὴν ὄρατὴ περιοχή. "Η περιοχὴ ποὺ βρίσκεται πέρα ἀπὸ τὸ κόκκινο (ἐρυθρὸ) ὀνομάζεται ὑπέρυθρη περιοχή, ἐνῶ ἔκεινη ποὺ εἶναι πέρα ἀπὸ τὸ ἰῶδες ὑπεριώδης περιοχή.

**§ 157. Ἐξήγηση τῆς ἀναλύσεως τοῦ φωτός.** "Η ἀνάλυση τοῦ λευκοῦ φωτὸς ὑστερα ἀπὸ τὸ πέρασμά του μέσα ἀπὸ ἔνα πρίσμα, ἀποδεικνύει διτὶ τὸ φῶς αὐτὸ δὲν εἶναι ἀπλὸ ἀλλὰ σύνθετο. Πραγματικὰ τὸ λευκὸ φῶς ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀκτίνες ἀπειράριθμων χρωμάτων, ποὺ παθαίνουν διαφορετικὴ ἐκτροπὴ καὶ χωρίζονται, δταν βγοῦν ἀπὸ τὸ πρίσμα. Τὴ μικρότερη ἐκτροπὴ παθαίνουν οἱ κόκκινες ἀκτίνες καὶ τὴ μεγαλύτερη οἱ ἰώδεις. Ωστόσο ἡ διάκριση τῶν χρωμάτων τοῦ φάσματος μὲ διάφορες δονομασίες εἶναι αὐθαίρετη, ἐπειδὴ ἀνάμεσα στὰ χρώματα αὐτὰ ὑπάρχουν πολλὲς ἀποχρώσεις καὶ τὸ πέρασμα ἀπὸ τὸ ἔνα χρώμα στὸ ἄλλο εἶναι βαθμιαῖο.

**§ 258. Ἀνασύνθεση τοῦ λευκοῦ φωτός.** "Αν ἀναμείξουμε κατάλληλα τὰ χρώματα τοῦ φάσματος, μποροῦμε νὰ ἔσανασχηματίσουμε τὸ λευκὸ φῶς. "Ο Νεύτωνας χρησιμοποίησε γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ δύο ὅμοια πρίσματα, δησοὺ δείχνει τὸ σχῆμα 268.

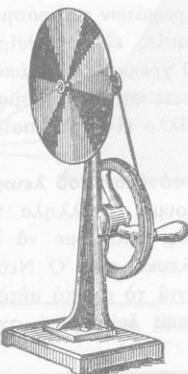


Σχ. 268. Ἀνασύνθεση τοῦ φωτός.

Χρώμα πού λείπει	κόκκινο	πορτοκαλί	κίτρινο	πράσινο	κυανό	Ιώδες
Υπόλοιπο χρώμα άναμειξεως	πράσινο	Ιώδες	κυανό	κόκκινο	κίτρινο	πορτοκαλί

Τὸ ἴδιο μποροῦμε νὰ πετύχουμε, ἂν στηριχτοῦμε στὸ φαινόμενο τῆς διάρκειας τῆς δπτικῆς ἐντυπώσεως. Στὸ φαινόμενο δηλαδὴ σύμφωνα μὲ τὸ δόποιο ὁ ἐρεθισμὸς τοῦ ματιοῦ δὲν εἶναι ἀκαριαῖος, ἀλλὰ διαρκεῖ περίπου 0,1 sec, ἀφοῦ πάγει ἡ αἰτία ποὺ τὸν προκάλεσε (μεταίσθημα).

Ἐτσι μποροῦμε νὰ προκαλέσουμε ἀνάμειξη τῶν χρωμάτων μέσα στὸ μάτι μας μὲ τὴν ἔξης μέθοδο. Παίρνομε ἔνα δίσκο ἀπὸ χαρτόνι, ἐπάνω στὸν δόποιο ἔχουν κολληθεῖ κυκλικοὶ τομεῖς τῶν κυριότερων χρωμάτων τοῦ φάσματος (σχ. 269). Τὸ μέγεθος



Σχ. 269. Ἀνασύνθεση τοῦ φωτὸς μὲ τὸ δίσκο τοῦ Νεύτωνα.

τῶν τομέων αὐτῶν καὶ τὰ χρώματά τους διαλέγονται ἔτσι, ὥστε νὰ ἀνταποκρίνονται δσο τὸ δυνατὸ περισσότερο μὲ τὴν ἔκτασή τους στὸ ὄρατὸ φάσμα. Ἐν περιστρέψουμε μὲ μεγάλη ταχύτητα τὸ δίσκο αὐτόν, ἡ ἐπιφάνειά του θὰ μᾶς φανεῖ λευκή.

§ 259. Ἀνάμειξη τῶν χρωμάτων. Ἀν στὸ πείραμα τῆς ἀνασυνθέσεως τοῦ λευκοῦ

φωτὸς μὲ τὰ δύο πρίσματα ἐμποδίσουμε ἔνα ἀπὸ τὰ ἀπλὰ χρώματα νὰ μπεῖ μαζὶ μὲ τὰ ἄλλα στὸ δεύτερο πρίσμα, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι τὰ ὑπόλοιπα χρώματα, στὴ σύνθεση, δὲν θὰ μᾶς δώσουν λευκὸ φῶς. Οὔτε θὰ εἶναι ὅμως ὅμοιο τὸ σύνθετο αὐτὸ φῶς, ἀντὶ νὰ ἀφαιρέσουμε τὸ ἔνα, ἀφαιρέσουμε ἄλλο χρώμα. Πάντως, δι, καὶ νὰ εἶναι, θὰ ἔνανδρσει λευκό, ἄμα τὸ συνδυάσουμε πάλι μὲ τὸ χρώμα ποὺ τοῦ εἰχαμε ἀφαιρέσει.

Οταν δύο χρώματα δίνουν, ἀφοῦ συντεθοῦν, λευκὸ φῶς, δνομάζονται **συμπληρωματικὰ χρώματα**. Ἐτσι τὸ ἀπλὸ κίτρινο εἶναι συμπληρωματικὸ τοῦ κυανοῦ. Στὸν παραπάνω πίνακα δίνονται ζεύγη συμπληρωματικῶν χρωμάτων.

Λευκὸ ἢ καὶ γκρίζο χρώμα εἶναι δυνατὸ νὰ παραχθεῖ μὲ συνδυασμὸ κόκκινου, πράσινου καὶ κυανοῦ φωτὸς. Ἐπίσης τὰ διάφορα ἄλλα χρώματα τοῦ φάσματος, μποροῦν νὰ παραχθοῦν μὲ σύνθεση φωτὸς ἀπὸ τὰ τρία αὐτὰ χρώματα, σὲ κατάλληλες ἀναλογίες. Ἐπειδὴ τὰ παραπάνω συμβαίνουν μόνο μὲ αὐτὰ τὰ τρία χρώματα, γι' αὐτὸ καὶ δνομάζονται **πρωτεύοντα χρώματα**.

§ 260. **Χρώματα τῶν σωμάτων.** Τὰ χρώματα τῶν διαφόρων ἑτερόφωτων σωμάτων δφείλονται στὴν ἰκανότητά τους ἀνακλάσεως ἢ ἀπορροφήσεως τῶν φωτεινῶν ἀκτίνων ποὺ πέφτουν ἐπάνω τους. "Αν τὰ σώματα εἶναι αὐτόφωτα, τὸ χρώμα τους ἔξαρταται ἀπὸ τὸ φῶς ποὺ ἀκτινοβολοῦν.

α) **Ἐτερόφωτα σώματα.** Τὸ χρώμα, λοιπόν, τῶν ἑτερόφωτων σωμάτων ἔξαρταται ἀπὸ τὴν ἐκλεκτικὴ ἀπορρόφηση τῶν φωτεινῶν ἀκτίνων ποὺ πέφτουν ἐπάνω τους.

"Αν ἔνα σῶμα φωτίζεται μὲ λευκὸ φῶς

καὶ τὸ βλέπουμε κι ἐμεῖς λευκό, θὰ πεῖ ὅτι ἡ ἐπιφάνειά του διαχέει ἢ ἀντανακλᾶ ἀκτίνες δμοίες μ' αὐτὲς ποὺ δέχεται, γι' αὐτὸ καὶ πάρει τὸ χρῶμα τοῦ φωτὸς μὲ τὸ ὄποιο φωτίζεται.

**Διαφανὴ σώματα.** "Οταν τὸ λευκὸ φῶς περνᾶ ἀπὸ διάφορα διαφανὴ σώματα, δηπως εἶναι π.χ. οἱ διάφορες ἔγχρωμες γυάλινες πλάκες, παθαίνει ἀπορρόφηση ὁρισμένων ἀκτίνων του, ἐνῶ οἱ ὑπόλοιπες ποὺ τὸ διαπερνοῦν δίνουν στὸ σῶμα τὸ χαρακτηριστικό του χρῶμα. "Ετσι ἔνα γυαλὶ φαίνεται πράσινο, ἐπειδὴ ἀπὸ τὸ λευκὸ φῶς ποὺ πέφτει ἐπάνω του ἀφήνει νὰ περνοῦν μόνον οἱ πράσινες ἀκτίνες. Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ μὲ τὰ ἔγχρωμα διαλύματα· παρουσιάζουν τὸ χρῶμα τῶν ἀκτίνων ποὺ τὰ διαπερνοῦν.

'Αδιαφανὴ σώματα. Γιὰ νὰ δοῦμε ἔνα ἀδιαφανές σῶμα, πρέπει νὰ πέσει στὴν ἐπιφάνειά του φῶς, πού, ἀφοῦ πάθει ἀνάκλαση ἢ διάθλαση, θὰ φτάσει στὸ μάτι μας. "Αν ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια ἐνὸς σώματος ἀπορροφηθοῦν ἐκλεκτικὰ οἱ ἀκτίνες ὁρισμένων χρωμάτων, θὰ φτάσουν στὸ μάτι μας μόνο οἱ ὑπόλοιπες. Αὐτὲς λοιπὸν καὶ θὰ καθο-

ρίσουν τὸ χρῶμα τοῦ σώματος. "Ωστε τὸ χρῶμα ποὺ παρουσιάζει ἔνα σῶμα ἔξαρταται ἀπὸ τὴν φύση τῆς ἐπιφάνειάς του.

"Ετσι ἔνα ἔγχρωμο ὑφασμα φαίνεται κανόν, δταν φωτίζεται μὲ λευκὸ φῶς, ἐπειδὴ μόνο οἱ κυανὲς ἀκτίνες διαχέονται, ἐνῶ οἱ ὑπόλοιπες ἀπορροφᾶνται. Τὸ ὑφασμα αὐτό, ἢν φωτιστεῖ μὲ μονόχρωμο φῶς, διαφορετικὸ ἀπὸ τὸ κυανό, θὰ φαίνεται βέβαια μαῦρο.

"Αν ἔνα σῶμα ἀπορροφᾶ δλα τὰ χρώματα χωρὶς νὰ ἀνακλᾶ ἢ νὰ διαχέει κανένα, δνομάζεται μελανὸ σῶμα (μαῦρο). Τέτοιο σῶμα π.χ. εἶναι ή αιθάλη. 'Αντίθετα, ἢν τὸ σῶμα δὲν ἀπορροφᾶ κανένα χρῶμα, ἀλλὰ ἀνακλᾶ δλα τὰ χρώματα, δνομάζεται λευκὸ σῶμα. Τὰ σώματα ποὺ ἀπορροφῶν δλα τὰ χρώματα, δχι ὅμως κατὰ τὸ ἴδιο ποσοστό, δνομάζονται φαιὰ σώματα (γκρίζα).

**Β) Αὐτόφωτα σώματα.** Τὸ φῶς τῶν αὐτόφωτων σωμάτων ἔξαρταιται ἀπὸ διάφορους παράγοντες, π.χ. ἀπὸ τὴν θερμοκρασία τους, δηπως συμβαίνει μὲ τὰ πυρακτωμένα σώματα, ἀπὸ τὶς χημικὲς ἀντιδράσεις ποὺ συμβαίνουν σ' αὐτά, δηπως στὶς φλόγες, κλπ.

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. "Οταν μιὰ δέσμη ἀκτίνων λευκοῦ φωτὸς προσπέσει σ' ἔνα γυάλινο πρίσμα, ἀναλύεται μετὰ τὴν ἔξοδο τῆς ἀπὸ τὸ πρίσμα καὶ σχηματίζει ἐπάνω σ' ἔνα παραπέτασμα μιὰ ἔγχρωμη ταινία, ποὺ δνομάζεται φάσμα.

2. Τὰ ἀκραία χρώματα τοῦ φάσματος, κόκκινο καὶ ἰώδες, δρίζουν τὴν δρατὴ περιοχὴ του. Τὸ φάσμα ὅμως ἐκτείνεται καὶ πιὸ πέρα ἀπὸ τὸ ἰώδες χρῶμα (ὑπεριώδης περιοχὴ) καὶ πιὸ πέρα ἀπὸ τὸ ἐρυθρὸ (ὑπέρυθρη περιοχὴ).

3. "Η ἀνάλυση τοῦ λευκοῦ φωτὸς ὄφειλεται στὸ ὅτι τὸ φῶς αὐτὸ εἶναι σύνθετο καὶ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀκτίνες ποὺ παθαίνουν διαφορετικὴ ἐκτροπή, δταν περάσουν ἀπὸ ἔνα πρίσμα.

4. Τὸ ἀναλυμένο φῶς μπορεῖ νὰ ξανασυντεθεῖ καὶ νὰ δώσει πάλι λευκὸ φῶς.

5. Δύο χρώματα ποὺ δίνουν λευκὸ φῶς, δταν συντεθοῦν, λέγονται συμπληρωματικὰ χρώματα. Τὸ ἐρυθρό, τὸ πράσινο καὶ τὸ κυανὸ χρῶμα εἶναι δυνατὸ νὰ δώσουν,

ὅταν τὰ συνθέσομε σὲ κατάλληλες ἀναλογίες, λευκό ἢ γκρίζο χρῶμα, δπως ἐπίσης καὶ ὅποιοδήποτε χρῶμα τοῦ φάσματος καὶ ὀνομάζονται πρωτεύοντα χρώματα.

6. Τὰ χρώματα τῶν σωμάτων ὑφείλονται στὴν ἰκανότητα ἀνακλάσεως ἢ ἀπορροφήσεως τοῦ φωτός, τὸ ὅποιο πέφτει ἐπάνω τους, ἂν εἴναι ἐτερόφωτα, ἢ στὸ φῶς ποὺ ἐκπέμπουν αὐτὰ τὰ ἴδια, ἂν εἴναι αὐτόφωτα.

## ΜΗ—ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ

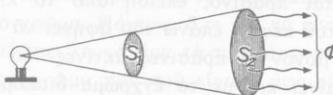
§ 261. **Γενικότητες.** Γνωρίζομε ἀπὸ πεῖρα πώς, ὅταν παρατηροῦμε μὲ γυμνὸ μάτι καὶ μὲ τὶς ἴδιες συνθῆκες δύο γειτονικὲς ἐπιφάνειες δμοιας φύσης, μποροῦμε νὰ ἐκτιμήσουμε ἂν δέχονται τὸν ἴδιο φωτισμό, ἐπειδὴ τότε θὰ παρουσιάζουν τὴν ἴδια φωτεινότητα.

Οἱ διάφορες φωτεινὲς πηγὲς ἐκπέμπουν στὸ χώρο φῶς, ποὺ συναντᾶ στὸ δρόμο του τὰ διάφορα ἀντικείμενα, τὰ φωτίζει καὶ ἔτσι γίνονται δρατά.

"Αν πρόκειται γιὰ φωτεινὲς πηγές, μᾶς ἐνδιαφέρει νὰ γνωρίζουμε τὴ φωτεινὴ ἵσχυ (ἢ φωτεινὴ ἔντασή τους): δταν δμως πρόκειται γιὰ ἐπιφάνειες τῶν φωτιζόμενων σωμάτων, μᾶς ἐνδιαφέρει νὰ γνωρίζουμε τὸν φωτισμό τους.

"Ολοι θὰ ἔχουμε παρατηρήσει πῶς οἱ φωτεινὲς πηγές εἰναι σώματα ποὺ ἔχουν ὑψηλὴ θερμοκρασία, γεγονὸς ποὺ ἀποδεικνύει πῶς ὑπάρχει σχέση ἀνάμεσα στὸ φῶς καὶ στὴ θερμότητα. "Έχομε ἐπίσης παρατηρήσει πῶς ἔνα σῶμα ποὺ φωτίζεται, θερμαίνεται. Αὐτὸ ἀποδεικνύει δτι τὸ φῶς εἶναι μιὰ μορφὴ ἐνέργειας, ἢ ὅποια ὀνομάζεται φωτεινὴ ἐνέργεια.

§ 262. **Φωτεινὴ ροή.** Μιὰ φωτεινὴ πηγὴ ἐκπέμπει φωτεινὴ ἐνέργεια πρὸς δλες τὶς διευθύνσεις. "Αν θεωρήσουμε ἔναν κῶνο, ποὺ ἔχει κορυφὴ του τὴν πηγή, τὸ ἐσωτερι-



Σχ. 270. Απὸ τὶς διατομές  $S_1$  καὶ  $S_2$  διέρχεται ἡ ἴδια φωτεινὴ ροή Φ.

κὸ τοῦ κώνου θὰ δέχεται ἀδιάκοπα φωτεινὴ ἐνέργεια (σχ. 270). Σὲ χρονικὸ διάστημα  $t$  ἡ ἐνέργεια αὐτὴ ἔχει τιμὴ  $E$ . Ονομάζομε φωτεινὴ ροή τὸ πηλίκο:

$$\Phi = \frac{E}{t}$$

καὶ δρίζομε δτι:

Φωτεινὴ ροή  $\Phi$  ὀνομάζεται ἡ φωτεινὴ ἐνέργεια, ἢ δποία περνᾷ στὴ μονάδα τοῦ χρόνου ἀπὸ ἔναν δρισμένο κῶνο, ποὺ ἔχει κορυφὴ τὴ φωτεινὴ πηγή.

Δηλαδή:

$$\text{φωτεινὴ ροή} = \frac{\text{φωτ. ἐνέργεια}}{\text{χρόνος}}$$

§ 263. **Φωτεινὴ ἵσχυς** ἢ ἔνταση μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς. "Η φωτεινὴ ἵσχυς εἶναι ἔνα φυσικὸ μέγεθος, ποὺ χαρακτηρίζει τὶς φωτεινὲς πηγές (ποὺ φανερώνει δηλαδὴ πόσο ἔντονα ἀκτινοβολοῦν οἱ πηγές).

"Ας θεωρήσουμε μιὰ φωτεινὴ πηγὴ καὶ

μιὰ στερεὴ γωνία, ποὺ ἔχει τὴν κορυφή της ἐπάνω στὴ φωτεινὴ πηγὴ. Μέσα στὴ στερεὴ γωνία  $\Omega$  ἐκπέμπεται ἀπὸ τὴ φωτεινὴ πηγὴ φωτεινὴ ροὴ  $\Phi$ . Τὸ πηλίκο I τῆς φωτεινῆς ροῆς  $\Phi$  πρὸς τὴ στερεὴ γωνία  $\Omega$ , μέσα στὴν δύοια ἐκπέμπεται, δύομάζεται φωτεινὴ ίσχυς ή ἔνταση τῆς πηγῆς. Ὁστε:

Φωτεινὴ ίσχυς ή ἔνταση μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς δύομάζεται τὸ πηλίκο τῆς φωτεινῆς ροῆς  $\Phi$ , η δύοια ἐκπέμπεται μέσα σὲ μιὰ στερεὴ γωνία  $\Omega$ , ποὺ ἔχει τὴν κορυφή της ἐπάνω στὴν πηγὴ, πρὸς τὴ στερεὴ γωνία  $\Omega$ .

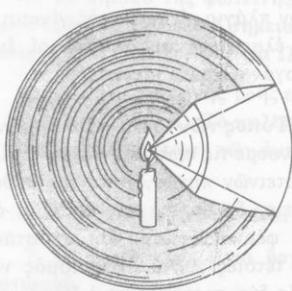
Δηλαδή:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Μονάδες φωτεινῆς ροῆς καὶ φωτεινῆς ίσχυός. Ὡς μονάδα φωτεινῆς ροῆς χρησιμοποιοῦμε τὸ Λούνεν (1 Lumen) (σχ. 271).

Μονάδα φωτεινῆς ίσχυός είναι τὸ νέο ή διεθνές κηρίο (1 NK).

Τὸ νέο κηρίο ἔχει φωτεινὴ ίσχυν ἵση μὲ τὸ 1/60 τῆς φωτεινῆς ίσχύος ή δύοια ἐκπέμπεται ἀπὸ ἐπιφάνεια ἑνὸς τετραγωνικοῦ ἐκατοστομέτρου (τελείως μελανοῦ σώματος), ποὺ βρίσκεται στὴ θερμοκρασία τῆς τοῦ λευκόχρυσου ( $1\ 770^{\circ}\text{C}$ ).



Σχ. 271. Γιὰ τὴν κατανόηση τῆς μονάδας τῆς φωτεινῆς ροῆς 1 Lumen.

**§ 264. Φωτισμὸς ἐπιφάνειας.** "Οταν ἐπάνω σὲ μιὰ ἐπιφάνεια πέφτει φῶς, λέμε ὅτι ἡ ἐπιφάνεια φωτίζεται." Αν θεωρήσουμε μιὰ ἐπιφάνεια μὲ ἐμβαδὸ S, ποὺ φωτίζεται ὀμοιόμορφα ἀπὸ τὴ φωτεινὴ ροὴ  $\Phi$  μιᾶς πηγῆς, τότε:

Όνομάζομε φωτισμὸ B μιᾶς ἐπιφάνειας μὲ ἐμβαδὸ S τὸ πηλίκο τῆς φωτεινῆς ροῆς  $\Phi$ , η δύοια πέφτει στὴν ἐπιφάνεια ὀμοιόμορφα, πρὸς τὸ ἐμβαδὸ S τῆς ἐπιφάνειας αὐτῆς.

Δηλαδή:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

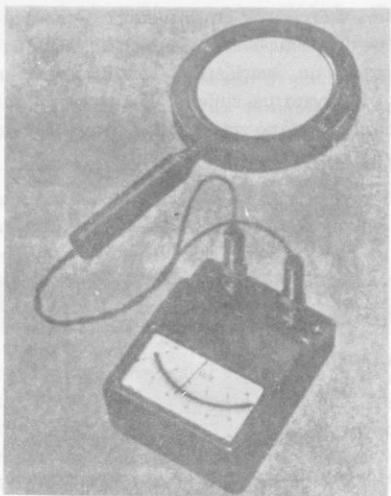
**Μονάδα φωτισμοῦ.** "Αν στὸν παραπάνω τύπο ἡ  $\Phi$  είναι ἵση μὲ 1 Lumen καὶ ἡ S μὲ  $1\text{ m}^2$ , τὸ B είναι ἵσο μὲ τὴ μονάδα τοῦ φωτισμοῦ, ποὺ τὴν δύομάζομε Λούνεν (1 Lux)." Ὁστε:

$$1\text{ Lux} = \frac{1\text{ Lumen}}{1\text{ m}^2}$$

Ο φωτισμὸς μιᾶς ἐπιφάνειας μὲ ἐμβαδὸ  $1\text{ m}^2$  είναι ἵσος μὲ 1 Lux, ὅταν ἡ ἐπιφάνεια φωτίζεται ὀμοιόμορφα μὲ φωτεινὴ ροὴ 1 Lumen.

Ο φωτισμὸς ἑνὸς χώρου, διόπου πρόκειται νὰ γίνει μία ἐργασία, ἔξαρτάται ἀπὸ τὸ εἰδὸς τῆς ἐργασίας. Γιὰ ἀνάγνωση χρειαζόμαστε σχετικὰ μεγαλύτερο φωτισμὸ παρὰ γιὰ ἄλλες ἐργασίες. Ο φωτισμὸς τὴν ήμέρα στὸ ὑπαίθρῳ είναι περίπου 20 000 Lux, ἐνῶ μέσα σὲ ἔνα δωμάτιο 1 000 Lux.

**§ 265. Φωτόμετρα.** Τὰ φωτόμετρα είναι δργανα ποὺ χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴ μέτρηση τοῦ φωτισμοῦ. Ἀποτελοῦνται συνήθως ἀπὸ ἓνα φωτοστοιχεῖο καὶ ἀπὸ ἓνα εὐαίσθητο γαλβανόμετρο, συνδεμένα σὲ σειρὰ (σχ. 272). "Οταν φωτίζεται τὸ φωτοστοιχεῖο, παράγεται ηλεκτρικὸ ρεῦμα. Η ἔνταση τοῦ ρεύματος αὐτὸν είναι ἀνάλογη μὲ τὴν ἔνταση τοῦ φωτισμοῦ γιὰ εὐκολία μας λοιπὸν τὸ δργανό είναι βαθμολογήμένο σὲ ἐντάσεις φωτισμοῦ καὶ δχὶ στὶς ἀντίστοιχες ἐντάσεις τοῦ ρεύματος ποὺ διαρρέει τὸ γαλβανόμετρο.



Σχ. 272. Φωτόμετρο με φωτοστοιχεῖο.

**§ 266. Νόμοι τοῦ φωτισμοῦ.** Ὁ φωτισμὸς  $B$ , ποὺ δέχεται μὰ ἐπιφάνεια  $S$ , ἔξαρτᾶται ἀπὸ τοὺς ἀκόλουθους παράγοντες: α) ἀπὸ τὴ φωτεινὴ ἰσχὺ τῆς πηγῆς, β) ἀπὸ τὴν ἀπόσταση τῆς ἐπιφάνειας ἀπὸ τὴ φωτεινὴ πηγὴ καὶ γ) ἀπὸ τὴ γωνία προσπτώσεως τῶν ἀκτίνων.

**Ιος Νόμος.** Ὁ φωτισμὸς  $B$ , ποὺ δέχεται μὰ ἐπιφάνεια  $S$ , τοποθετημένη σὲ δρισμένῃ ἀπόστασῃ ἀπὸ μὰ φωτεινὴ πηγὴ καὶ σὲ τέτοια θέση, ὅπερ νὰ δέχεται κάθετα τὶς ἀκτίνες, εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴ φωτεινὴ ἰσχὺ I τῆς πηγῆς.

Σύμφωνα μὲ τὸ νόμο αὐτό, ἂν τοποθετήσουμε μπροστὰ σὲ ἔνα φωτόμετρο δύο δμοιοὺς λαμπτήρες, τὸ δργανο θὰ δώσει διπλάσια ἔνδειξη ἀπὸ αὐτὴ ποὺ ἀντιστοιχεῖ σὲ ἔνα λαμπτήρα.

**Ζος Νόμος.** Ὁ φωτισμὸς  $B$ , ποὺ προκαλεῖ μὰ σημειακὴ φωτεινὴ πηγὴ μὲ δρισμένη φωτεινὴ ἔνταση I σὲ μὰ ἐπιφάνεια  $S$ , ἐπάνω στὴν ὁποίᾳ πέφτουν κάθετα οἱ ἀκτί-

νες τῆς, εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογος πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς ἀποστάσεως γ τῆς ἐπιφάνειας ἀπὸ τὴ φωτεινὴ πηγὴ.

Γιὰ νὰ ἀποδείξουμε αὐτὸν τὸ νόμο, τοποθετοῦμε ἔνα φωτόμετρο μπροστὰ ἀπὸ μὰ φωτεινὴ πηγὴ καὶ σὲ δρισμένη ἀπόσταση ἀπ' ἀντίν: τὸ δργανο θὰ δώσει τότε μὰ ἔνδειξη, ἡ ὁποίᾳ θὰ δέχεται τὸ φωτισμὸ ποὺ δέχεται τὸ φωτόμετρο. Ἐν κατόπι διπλασιάσουμε, τριπλασιάσουμε, τετραπλασιάσουμε κ.λπ. τὴν ἀπόσταση τοῦ φωτομέτρου ἀπὸ τὴ φωτεινὴ πηγὴ, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι ὁ φωτισμὸς γίνεται 4, 9, 16 κλπ. φορὲς μικρότερος.

Ο πρῶτος καὶ ὁ δεύτερος νόμος τοῦ φωτισμοῦ περιέχονται στὴν ἔξισωση:

$$B = \frac{I}{r^2}$$

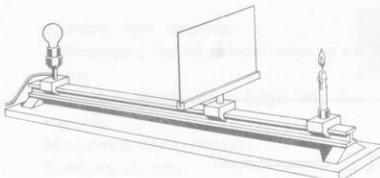
**Ζος Νόμος.** Ὁ φωτισμὸς μιᾶς ἐπιφάνειας ἔξαρτᾶται ἀπὸ τὸν προσανατολισμὸ τῆς σχετικὰ μὲ τὴ διεύθυνση τῶν ἀκτίνων.

Πραγματικά, ἂν κρατᾶμε τὸ φωτόμετρο σὲ ἀπόσταση ἀπὸ τὴ φωτεινὴ πηγὴ καὶ στρέφουμε τὸ δργανο, ὥστε νὰ μεταβάλλουμε τὴν κλίση τῆς ἐπιφάνειας ποὺ φωτίζεται, παρατηροῦμε ὅτι ὁ φωτισμὸς γίνεται μέγιστος, ὅταν πέφτουν κάθετα οἱ φωτεινὲς ἀκτίνες. "Οταν δύως οἱ φωτεινὲς ἀκτίνες πέφτουν πλάγια, ὁ φωτισμὸς γίνεται μικρότερος, ἐλαττώνονται δηλαδὴ οἱ ἐνδείξεις τοῦ δργάνου μετρήσεως.

**§ 267. Τύπος τῶν ἵσων φωτισμῶν.** Γιὰ νὰ συγκρίνουμε τὶς φωτεινὲς ἐντάσεις  $I_1$  καὶ  $I_2$  δύο φωτεινῶν πηγῶν, φωτίζομε κάθετα μὰ ἐπιφάνεια, διαδοχικὰ μὲ κάθε μία ἀπὸ τὶς πηγές, φέρνοντάς την σὲ ἀπόστασεις  $r_1$  καὶ  $r_2$  τέτοιες, ὥστε ὁ φωτισμὸς νὰ εἶναι καὶ στὶς δύο περιπτώσεις ὁ ἴδιος.

Μποροῦμε δύως καὶ μὲ ἄλλον πολὺ ἀπλὸ τρόπο νὰ κάνουμε τὸ πείραμα: τοποθετοῦ-

με τις δύο φωτεινές πηγές σε όρισμένη άπόσταση τή μία άπό τήν άλλη και μετακινούμε άνάμεσά τους ένα κατάλληλα στηριγμένο φύλλο χαρτί, ποὺ έχει μιὰ κηλίδα άπό λάδι (σχ. 273). "Όταν, άφοῦ μετακινήσουμε κατάλληλα τὸ λαδωμένο χαρτί, πάψουμε νά διακρίνουμε τήν κηλίδα, έχομε πετύχει ίσοφωτισμό τῶν δύο ὄψεων τοῦ χαρτιοῦ.



Σχ. 273. Φωτόμετρο τοῦ Bunsen. "Όταν τὸ πέτασμα ίσοφωτίζεται, έξαφανίζεται ή κηλίδα.

Σύμφωνα μὲ τὸν όρισμὸν τοῦ φωτισμοῦ θὰ ξέχουμε τότε:

$$B = \frac{I_1}{r_1^2} \quad \text{καὶ} \quad B = \frac{I_2}{r_2^2}$$

καὶ:

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2} \quad \text{ἢ} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

Ἐπομένως:

"Όταν δύο φωτεινές πηγές φωτίζουν ἔξισον μία ἐπιφάνεια μὲ κάθετη πρόσπτωση τῶν ἀκτίνων, τότε οἱ φωτεινές ἐντάσεις τῶν πηγῶν εἰναι ἀνάλογες μὲ τὰ τετράγωνα τῶν ἀποστάσεών τους άπό τὴ φωτιζόμενη ἐπιφάνεια.

### ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

1. Ἡ λαμπρότητα μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς ἐκφράζεται ἀπὸ τὴ φωτεινὴ ίσχυν ἢ φωτεινὴ ἐνταση τῆς πηγῆς. Παρουσιάζει ἐνδιαφέρον ἡ γνώση τοῦ φωτισμοῦ μιᾶς φωτιζόμενης ἐπιφάνειας.
2. Τὸ φῶς εἶναι μία μορφὴ ἐνέργειας, ποὺ ὀνομάζεται φωτεινὴ ἐνέργεια.
3. Ἡ φωτεινὴ ἐνέργεια E, ἡ ὁποία περνᾷ στὴ μονάδα τοῦ χρόνου μέσα ἀπὸ ἔναν κῶνο, ποὺ έχει τὴν κορυφὴ τοῦ στὴ φωτεινὴ πηγή, ὀνομάζεται φωτεινὴ ροή Φ.
4. Τὸ πηλίκο τῆς φωτεινῆς ροῆς Φ, ἡ ὁποία ἐκπέμπεται μέσα σὲ μιὰ στερεὴ γωνία  $\Omega$  ἀπὸ μιὰ φωτεινὴ σημειακὴ πηγή, ποὺ βρίσκεται στὴν κορυφὴ τῆς στερεῆς γωνίας, πρὸς τὴ στερεὴ γωνία  $\Omega$  ὀνομάζεται φωτεινὴ ίσχυν I ἢ ἐνταση τῆς πηγῆς.
5. Μονάδα φωτεινῆς ροῆς εἶναι τὸ 1 Lumen καὶ φωτεινῆς ἐντάσεως τὸ 1 Néo ἢ Διεθνές κηρίο (NK). Τὸ πηλίκο τῆς φωτεινῆς ροῆς Φ, ποὺ δέχεται μιὰ ἐπιφάνεια S μὲ κάθετη πρόσπτωση τῶν ἀκτίνων, πρὸς τὴν ἐπιφάνεια S ὀνομάζεται φωτισμὸς Β τῆς ἐπιφάνειας.
6. Μονάδα φωτισμοῦ εἶναι τὸ 1 Lux.
7. Τὰ φωτόμετρα εἶναι ὅργανα ποὺ χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴ μέτρηση τοῦ φωτισμοῦ.
8. Ὁ φωτισμὸς Β ποὺ δέχεται μιὰ ἐπιφάνεια S εἶναι ἀνάλογος μὲ τὴν ἐνταση τῆς φωτεινῆς πηγῆς, ἀντιστρόφως ἀνάλογος μὲ τὸ τετράγωνο τῆς ἀποστάσεως r

της ἐπιφάνειας ἀπὸ τὴν πηγὴ καὶ ἔσπειρται ἀπὸ τὸν προσανατολισμὸν τῆς ἐπιφάνειας σχετικὰ μὲ τῇ διεύθυνση τῶν ἀκτίνων. Γιὰ κάθετη πρόσπτωση τῶν ἀκτίνων ισχύει ἡ σχέση:

$$B = \frac{I}{r^2}$$

9. "Οταν δύο φωτεινές πηγές μὲν έντάσεις  $I_1$  καὶ  $I_2$  βρίσκονται σὲ ἀποστάσεις  $r_1$  καὶ  $r_2$  ἀπὸ μιὰ ἐπιφάνεια καὶ τὴν φωτίζουν ἵστα μὲ κάθετη πρόσπτωση τῶν ἀκτίνων, ἴσχυει ὁ ἀκόλουθος τύπος τοῦ ἴσωφωτισμοῦ:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

**184.** Πόσα Lumen πέφτουν κάθετα ἐπάνω σὲ μιὰ ἐπιφάνεια μὲ ἐμβαδὸν 5<sup>2</sup>, δια τὸ φωτισμὸς τῆς ἐπιφάνειας αὐτῆς είναι 12 Lux;

(*Aπ 60 Lumen*)

**185.** Στὸ κέντρο μᾶς σφαίρας, ἀκτίνας 2 m, βολ-  
σκεται ἔνας μικρὸς ἡλεκτρικὸς λαμπτήρας. Νὰ βρε-  
θεὶ ἡ φωτεινὴ ἴσχυς του, ἀν ἡ σφαίρα δέξεται φω-  
τισμὸ 2 Lux. (Αγ. 8 ΝΚ.)

(*An. 8 NK.*)

**186.** Πόση είναι ή ένταση μιᾶς φωτεινής πηγής, που προκαλεῖ, μὲ κάθετη πρόσπτωση τῶν ἀκτίνων της ἀπάνω σὲ μιὰ ἐπιφάνεια, φωτισμὸς  $20\text{ Lux}$ , ὅταν η ἐπιφάνεια ἀπέχει 6 m ἀπὸ τὴν φωτεινὴν πηγή;

(*An. 720 NK*)

(Ал. 120 №. 1)

**187.** Δύο φωτεινές πηγές συγκρίνονται μὲν ἔνα φωτόμετρο. "Οταν πεντάνομες ίσοφωτισμό τού φωτομέτρου, οἱ ἀποτάσεις τῶν φωτεινῶν πηγῶν ἀπὸ τὴν ίσοφωτιζόμενην ἐπιφάνεια τοῦ φωτομέτρου είναι 30 cm καὶ 60 cm ἀντίστοιχα. "Αν ἡ φωτεινὴ ἔνταση τῆς μακρότερης φωτεινῆς πηγῆς είναι 10 NK, νὰ βρεθεῖ ἡ φωτεινὴ ἔνταση τῆς ἄλλης πηγῆς.

('An. 40 NK.)

**188.** Σὲ πόσο ὑψος ἐπάνω ἀπὸ ἔνα τραπέζι πρέπει νὰ βρίσκεται ἕνας λαμπτήρας 100 NK, γιὰ νὰ προκαλεῖ φωτισμὸ 50 Lux:

( $A\pi - 141 m$ )

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### I. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

	Σελ.	
A'.	Κίνηση τῶν σωμάτων .....	5
B'.	Εύθυγραμμη όμαλά μεταβαλλόμενη κίνηση .....	11
G'.	'Αδράνεια. Θεμελιώδης ἀρχὴ τῆς Δυναμικῆς .....	18
D'.	Μηχανικές ταλαντόσεις .....	22
E'.	Κυκλική κίνηση .....	29
ΣΤ'.	Παγκόσμια ἔλξη .....	37
Z'.	"Εργο δυνάμεως .....	43
H'.	'Ισχὺς .....	49
Θ'.	'Ενέργεια .....	53

### II. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

I'.	Μετατροπὴ τῆς μηχανικῆς ἐνέργειας σὲ θερμικὴ .....	59
IA'.	Τρίβη. Μηχανικὸ ισοδύναμο τῆς θερμίδας .....	60
IB'.	Διατήρηση τῆς ἐνέργειας στὶς ἀπλές μηχανές .....	66
II'.	Μετατροπὴ τῆς θερμικῆς ἐνέργειας σὲ μηχανικὴ ἐνέργεια. 'Ατμομηχανὴ .....	69
ID'.	Μηχανές ἐσωτερικῆς κάυσης .....	72
IE'.	Πόρουλοι .....	77

### III. ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

IΣΤ'.	'Ο ἥχος .....	81
IΖ'.	'Ηχητικὲς πηγὲς .....	88

### IV. ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ-ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

IIH'.	Σύσταση τῆς ὅλης. Μόρια καὶ ἄτομα .....	92
IO'.	Κατασκευὴ τοῦ ἀτόμου. Πυρῆνες καὶ ἡλεκτρόνια .....	96
K'.	Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα. Φορὰ καὶ ἀποτέλεσματα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος .....	100
KA'.	'Αγωγὴ καὶ μονοτικά σώματα. Τὸ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα στοὺς μεταλλικοὺς ἀγωγοὺς .....	105

	Σελ.	
KB'.	'Ηλεκτρόλυση. Ποιοτικὴ σπουδὴ. Ἰόντα .....	108
KG'.	'Ηλεκτρόλυση. Δευτερέουσες χημικὲς ἀντιδράσεις .....	113
KD'.	'Ηλεκτρόλυση. Νόμοι τοῦ Φάρανται. 'Εφαρμογὲς .....	117
KE'.	Ποσότητα ἡλεκτρισμοῦ. Μονάδα Κουλόμπ. "Ἐνταση ἡλεκτρικοῦ ρεύματος. Μονάδα 'Αμπέρ .....	121
KΣΤ'.	Θερμικὰ ἀποτελέσματα τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος .....	127
KZ'.	'Ηλεκτρικὴ ἐνέργεια. 'Ηλεκτρικὴ ἰσχὺς .....	132
KH'.	Διαφορὰ δυναμικοῦ. Μονάδα Βόλτα .....	135
KΘ'.	Πρακτικὴ μέτρηση διαφορᾶς δυναμικοῦ .....	140
Α'.	'Εφαρμογὲς τοῦ νόμου τοῦ Τζάουλ. Φωτισμὸς - Θέρμανση .....	143
ΑΑ'.	Πειραματικὴ σπουδὴ τῆς ἀντιστάσεως ἐνὸς ἀγωγοῦ .....	147
ΑΒ'.	Σύνδεση ἀντιστάσεως .....	153
ΑΓ'.	'Ηλεκτρικὲς πηγὲς .....	159
ΑΛ'.	'Ηλεκτρικὴ ἰσχὺς μιᾶς γεννήτριας .....	164
ΑΕ'.	Συστορευτὲς .....	169
ΑΣΤ'.	Μαγνητικὴ πυξίδα .....	173
ΑΖ'.	'Αλληλεπιδραση τῶν μαγνητικῶν πόλων .....	177
ΑΗ'.	Μαγνητικὸ πεδίο εὐθύγραμμο ἀγωγοῦ καὶ σωληνοειδοῦς .....	182
ΑΘ'.	'Ηλεκτρομαγνήτες .....	187
Μ'.	'Αλληλεπιδραση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος καὶ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου .....	191
ΜΑ'.	'Ηλεκτρικοὶ κινητῆρες .....	194

### V. ΟΠΤΙΚΗ

ΜΒ'.	Εὐθύγραμμη διάδοση τοῦ φωτός .....	196
ΜΓ'.	'Ανάκλαση τοῦ φωτός. 'Επίπεδα κάτοπτρα .....	201
ΜΔ'.	Σφαιρικὰ κάτοπτρα .....	207
ΜΕ'.	Διάλαση τοῦ φωτός .....	214
ΜΣΤ'.	Πρίσματα καὶ φακοί .....	219
ΜΖ'.	'Ανάλυση τοῦ φωτός .....	228
ΜΗ'.	Φωτομετρία .....	232



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ — ΕΠΙΧΑΙΡΕΣ Η ΕΠΟΧΗ Η ΕΠΟΧΗ  
— η πολιτική — τα κόμματα — τα συνδυασμούς — τα συνδέσμους

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

15.21 Δεκτικό Τελούντος



024000019645

ΕΚΔΟΣΙΣ Η', 1976 (VIII) — ΑΝΤΙΤΥΠΑ 135.000 — ΣΥΜΒΑΣΙΣ 2751/18-5-76  
Εκτύπωσης — Βιβλιοθεσία : ΑΦΟΙ Γ. ΡΟΔΗ — 'Αμαρονσίου 59 — 'Αμαρονσίου

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής





Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής