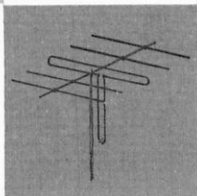
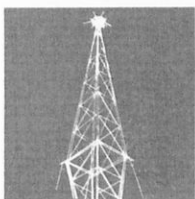


Α. ΖΕΝΑΚΟΣ
Ν. ΛΕΚΑΤΗΣ
Α. ΣΧΟΙΝΑΣ

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
ΕΚΔΟΣΕΩΣ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ
ΒΙΒΛΙΩΝ
ΑΘΗΝΑ
1981

ΦΥΣΙΚΗ Γ/Γ

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Μέ απόφαση της Ἑλληνικῆς Κυβερνήσεως τὰ διδακτικά βιβλία τοῦ Δημοτικοῦ, Γυμνασίου καὶ Λυκείου τυπώνονται ἀπὸ τὸν Ὀργανισμό Ἐκδόσεως Διδακτικῶν Βιβλίων καὶ μοιράζονται ΔΩΡΕΑΝ.



ΦΥΣΙΚΗ

Γ. ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Εκδόσεις 1997
Εκδόσεις 1997
Εκδόσεις 1997

Α. ΖΕΝΑΚΟΣ

Ν. ΛΕΚΑΤΗΣ

Α. ΣΧΟΙΝΑΣ

Ζενάκος, Α.

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ
ΕΚΔΟΣΕΩΣ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ
ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ 1981



002
WNE
ET2B
1944

ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΗΚΙΖΥΦ
ΥΟΙΖΑΙΜΥΤ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΗΣ ΒΟΥΛΗΣ
ΕΛΛΗΝΙΣΤΑΤΟ

Οργ. Σω. Σ. Δ. Β. Β. Β. Β.
Αύξ. Αριθ. Είσεγ. 24/12 Έτος 1901

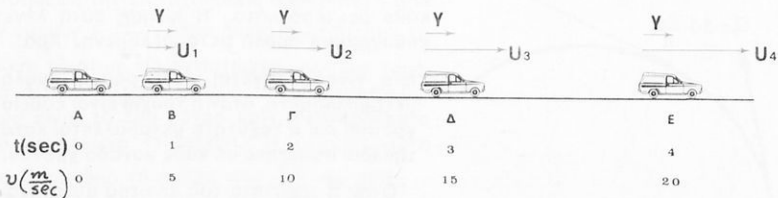
1η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ – ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ – ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

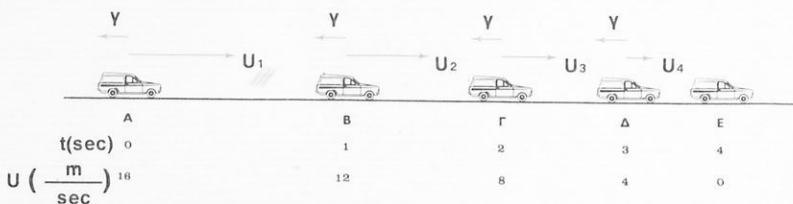
Όλα τὰ σώματα τῆς φύσεως, ἀπὸ τὰ πρῶτα μικρά (μόρια, ἄτομα, ἠλεκτρόνια) ὡς τὰ πρῶτα μεγάλα (πλανῆτες, κτλ.) κινούνται καὶ κανένα σῶμα δὲν ἡρεμεῖ. Ἀνάλογα μὲ τὴν τροχιά πού διαγράφει τὸ κινητὸ, διακρίνουμε τὶς κινήσεις σὲ εὐθύγραμμες, κυκλικές καὶ καμπυλόγραμμες. Ἀνάλογα μὲ τὴν ταχύτητα τοῦ κινήτου, διακρίνουμε τὶς κινήσεις σὲ ὁμαλές καὶ μεταβαλλόμενες. Στὴν εὐθύγραμμη ὁμαλὴ κίνηση, ὅπως γνωρίζουμε, τὸ κινητὸ σὲ ἴσους χρόνους διανύει ἴσα διαστήματα καὶ τὸ διάνυσμα τῆς ταχύτητας παραμένει σταθερό.

II. ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ

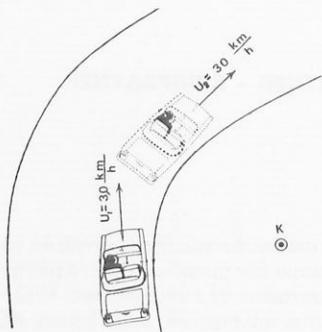


Σχ. 1. Εὐθύγραμμη ὁμαλὰ ἐπιταχυνόμενη κίνηση.

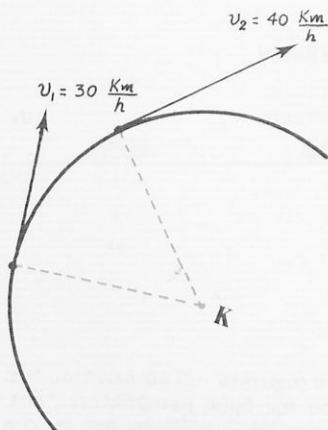
Στὶς κινήσεις πού δείχνονται στὰ Σχ. 1 καὶ 2 ἡ ταχύτητα τοῦ αὐτοκινήτου ἔχει πάντοτε τὴν ἴδια διεύθυνση καὶ φορά, τὸ μέτρο τῆς ὁμως μεταβάλλεται, δηλ. αὐξάνεται (Σχ. 1) ἢ ἐλαττώνεται (Σχ. 2). Στὴν κίνηση πού εἰκονίζεται στὸ Σχ. 3 ἡ ταχύτητα τοῦ αὐτοκινήτου ἔχει τὸ ἴδιο μέτρο σὲ κάθε σημεῖο τῆς στροφῆς, ἡ διεύθυνσή τῆς ὁμως μεταβάλλεται συνεχῶς.



Σχ. 2. Ευθύγραμμη όμαλά επιβραδυνόμενη κίνηση.



Σχ. 3. Κίνηση αυτοκινήτου σέ στροφή του δρόμου.



Σχ. 4. Η ταχύτητα αλλάζει μέτρο και διεύθυνση.

Στήν κίνηση πού φαίνεται στό Σχ. 4 μεταβάλλονται τό μέτρο καί ή διεύθυνση τής ταχύτητας. Οί κινήσεις πού δείχνονται στό Σχ. 1,2,3, καί 4 λέγονται **μεταβαλλόμενες**. Έπομένως:

Μία κίνηση λέγεται **μεταβαλλόμενη**, όταν μεταβάλλεται τό μέτρο τής ταχύτητας ή αλλάζει ή διεύθυνσή της ή μεταβάλλονται συγχρόνως καί τό μέτρο καί ή διεύθυνσή της, δηλ. όταν μεταβάλλεται τό διάνυσμα τής ταχύτητας.

Συνήθως οί κινήσεις τών σωμάτων (αυτοκινήτων, αεροπλάνων κτλ.) είναι μεταβαλλόμενες καί πολύ σπάνια είναι ευθύγραμμες όμαλές.

III. ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ

Στήν κίνηση πού παριστάνει τό Σχ. 1 ή ταχύτητα του αυτοκινήτου έχει πάντοτε τήν ίδια διεύθυνση καί φορά, τό μέτρο της όμως μεταβάλλεται κατά τήν ίδια ποσότητα (5m/sec) σέ κάθε δευτερόλεπτο. Η κίνηση αυτή λέγεται **ευθύγραμμη όμαλά μεταβαλλόμενη**. Άρα:

Μία κίνηση λέγεται **ευθύγραμμη όμαλά μεταβαλλόμενη**, όταν ή τροχιά είναι ευθεία γραμμή καί ή ταχύτητα μεταβάλλεται κατά τήν ίδια ποσότητα σέ κάθε μονάδα χρόνου.

Όταν ή ταχύτητα του κινητού αύξάνεται, ή κίνηση είναι **επιταχυνόμενη** (Σχ. 1), ενώ, όταν ή ταχύτητα του κινητού ελαττώνεται, ή κίνηση είναι **επιβραδυνόμενη** (Σχ.2).

IV. ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ

α. **Έννοια τής επιταχύνσεως.** Η ταχύτητα του αυτοκινήτου πού εικονίζεται στό Σχ. 1 αυ-

ξάνεται κατά 5m/sec σέ κάθε δευτερόλεπτο. 'Η ταχύτητα ὅμως ἑνός ἄλλου αὐτοκινήτου μπορεῖ νά αὐξάνεται μέ διαφορετικό ρυθμό π.χ. κατά 6m/sec σέ κάθε δευτερόλεπτο. Γιά νά προσδιορίζουμε τόν ρυθμό μέ τόν ὁποῖο μεταβάλλεται ἡ ταχύτητα ἑνός κινήτου, εἰσάγουμε ἕνα νέο φυσικό μέγεθος, τήν ἐπιτάχυνση γ, πού ὀρίζεται ὡς ἑξῆς:

Ἐπιτάχυνση στήν εὐθύγραμμη ὁμαλά ἐπιταχυνόμενη κίνηση λέγεται τό φυσικό μέγεθος πού ἐκφράζεται μέ τό πηλίκο τῆς αὐξήσεως τῆς ταχύτητας πρὸς τόν χρόνο πού χρειάστηκε γιά τήν αὐξηση αὐτή.

$\text{ἐπιτάχυνση} = \frac{\text{αὐξηση τῆς ταχύτητας}}{\text{χρόνος πού χρειάστηκε}}$
$\gamma = \frac{u_2 - u_1}{t_2 - t_1} \quad \text{ἢ} \quad \gamma = \frac{\Delta u}{\Delta t}$

ὅπου $\Delta u = u_2 - u_1$ = διαφορά δύο ταχυτήτων καί $\Delta t = t_2 - t_1$ = διαφορά ἀντίστοιχων χρόνων.

Ἡ ἐπιτάχυνση εἶναι διανυσματικό μέγεθος καί στήν περίπτωση πού ἐξετάζουμε ἔχει τήν ἴδια διεύθυνση καί φορά μέ τήν ταχύτητα (Σχ.1).

β. Μονάδες τῆς ἐπιταχύνσεως. Οἱ μονάδες μετρήσεως τῆς ἐπιταχύνσεως προκύπτουν ἀπό τόν τύπο $\gamma = \frac{\Delta u}{\Delta t}$, ὅταν ἀντικαταστήσουμε τό Δu καί τό Δt μέ τίς ἀντίστοιχες μονάδες τους. Στό Διεθνές Σύστημα (S.I) μονάδα ἐπιταχύνσεως εἶναι τό **ἕνα μέτρο κατά δευτερόλεπτο στό τετράγωνο** (1m/sec²). Ἡ μονάδα αὕτη προκύπτει ἀπό τή σχέση $\gamma = \frac{\Delta u}{\Delta t}$ ὡς ἑξῆς:

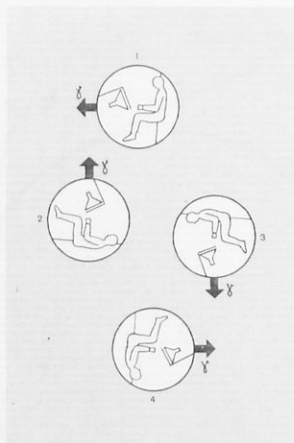
$$\gamma = \frac{1\text{m/sec}}{1 \text{ sec}} \Rightarrow \gamma = 1 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

1m/sec² εἶναι ἡ ἐπιτάχυνση ἑνός κινήτου πού ἡ ταχύτητά του αὐξάνεται κατά 1m/sec σέ κάθε δευτερόλεπτο.

Στό CGS μονάδα ἐπιταχύνσεως εἶναι τό **ἕνα ἑκατοστόμετρο κατά δευτερόλεπτο στό τετράγωνο** (1cm/sec²).



Σχ. 5. Ο πιλότος ενός αεριωθούμενου αεροπλάνου χάνει σιγά - σιγά τις αισθήσεις του, όταν η επιτάχυνση του αεροπλάνου παίρνει μεγάλες τιμές.



Σχ. 6. Το κάθισμα του πιλότου των αεροπλάνων στρέφεται, έτσι ώστε το σώμα του να δέχεται πάντοτε επιτάχυνση με φορά «ράχη - στήθος».

V. ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ

Όταν η ταχύτητα του κινητού ελαττώνεται (Σχ. 2) το πηλίκιο $\gamma = \frac{u_2 - u_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta u}{\Delta t}$ είναι αρνητικό ($u_2 < u_1$) και εκφράζει την **αρνητική επιτάχυνση ή επιβράδυνση**. Το διάνυσμα της επιβραδύνσεως έχει φορά αντίθετη προς την ταχύτητα του κινητού.

VI. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ

Οι μεγάλες επιταχύνσεις επηρεάζουν τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και ιδίως την κυκλοφορία του αίματος. Τα αποτελέσματα της επιδράσεως αυτής διαφέρουν από άνθρωπο σέ άνθρωπο και γενικά εξαρτώνται από τό μέτρο, τή διεύθυνση, τή φορά και τή χρονική διάρκεια των επιταχύνσεων.

Όταν η επιτάχυνση έχει τή φορά «**κεφάλι - έδρα**», είναι πολύ επικίνδυνη γιατί φθάνει στό κεφάλι περισσότερο αίμα από τό κανονικό. Ό άνθρωπος αισθάνεται τότε δυσφορία, διαταραχές στήν όρασή του, πόνους στό κεφάλι και τελικά χάνει όλες τις αισθήσεις του (Σχ.5).

Τό ίδιο σχεδόν επικίνδυνη είναι και ή επιτάχυνση πού έχει τή φορά «**έδρα - κεφάλι**», γιατί φθάνει τότε στό κεφάλι λιγότερο αίμα από τό κανονικό, όποτε ό άνθρωπος στήν αρχή δέ βλέπει καλά και τελικά χάνει τις αισθήσεις του.

Η επιτάχυνση πού έχει τή φορά «**ράχη - στήθος**» ή **αντίστροφα**, επηρεάζει κυρίως τήν άναπνοή και είναι λιγότερο επικίνδυνη και περισσότερο άνεκτή από τόν όργανισμό μας.

Μεγάλες επιταχύνσεις δέχονται οι πιλότοι των πολεμικών αεροπλάνων και οι άστροναύτες. Από τις επιταχύνσεις αυτές όμως προστατεύονται μέ ειδικά καθίσματα (Σχ.6). Επομένως:

Οι φυσιολογικές λειτουργίες του ανθρώπου επηρεάζονται από τις μεγάλες επιταχύνσεις.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Μία κίνηση λέγεται μεταβαλλόμενη, όταν μεταβάλλεται το διάνυσμα της ταχύτητας.
2. "Όταν η ταχύτητα του κινητού αυξάνεται, η κίνηση είναι επιταχυνόμενη. "Όταν η ταχύτητα ελαττώνεται η κίνηση είναι επιβραδυνόμενη.
3. Στην ευθύγραμμη όμαλά μεταβαλλόμενη κίνηση η ταχύτητα μεταβάλλεται κατά την ίδια ποσότητα σε κάθε χρονική μονάδα.
4. "Η επιτάχυνση (ή η επιβράδυνση) στην ευθύγραμμη όμαλά μεταβαλλόμενη κίνηση ορίζεται από τη σχέση $\gamma = \Delta u / \Delta t$ και είναι διανυσματικό μέγεθος.
5. Οι μονάδες μετρήσεως της επιταχύνσεως και της επιβραδύνσεως είναι οι εξής: 1m/sec^2 και 1cm/sec^2 .
6. Οι μεγάλες επιταχύνσεις επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

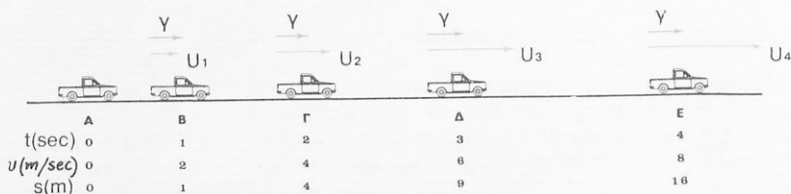
1. "Η τροχιά ενός κινητού είναι ευθεία γραμμή. Πότε η κίνησή του είναι όμαλή και πότε μεταβαλλόμενη;
2. "Η τροχιά ενός κινητού είναι καμπύλη γραμμή. Είναι η κίνησή του μεταβαλλόμενη; Νά δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
3. "Ένα κινητό πού εκτελεί ευθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση έχει επιτάχυνση 4m/sec^2 . Τί συμπεραίνετε από αυτό για την ταχύτητά του;
4. Πότε λέμε ότι αλλάζει το διάνυσμα της ταχύτητας;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. "Ένα κινητό κάνει ευθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση και στις χρονικές στιγμές 5sec και 8sec έχει ταχύτητα 10 m/sec και 28m/sec αντίστοιχα. Πόση είναι η επιτάχυνσή του;
- *2. "Ένα σώμα κινείται ευθύγραμμα με σταθερή επιτάχυνση 10m/sec^2 και σε κάποια χρονική στιγμή έχει ταχύτητα 3m/sec . Πόση ταχύτητα θά έχει ύστερα από 2sec;
3. "Ένα κινητό εκτελεί ευθύγραμμη όμαλά επιβραδυνόμενη κίνηση και σε κάποια χρονική στιγμή έχει ταχύτητα 30m/sec . Πόση είναι η επιβράδυνσή του, όταν 4sec αργότερα έχει ταχύτητα 18m/sec ;

ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΗ ΟΜΑΛΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗ ΚΙΝΗΣΗ (ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ)

Ι. Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΤΑΘΕΡΗ



Σχ. 1. Ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.

Στό Σχ. 1 εικονίζεται ένα αυτοκίνητο που ξεκινάει από την ήρεμία και κινείται ευθύγραμμη. Στο ίδιο σχήμα αναγράφονται η ταχύτητα που έχει το αυτοκίνητο σε διάφορες χρονικές στιγμές και το αντίστοιχο διάστημα που διανύει αυτό.

Η κίνηση αυτού του αυτοκινήτου είναι ομαλά επιταχυνόμενη, γιατί η ταχύτητά του αυξάνεται κατά την ίδια ποσότητα (2m/sec) σε κάθε χρονική μονάδα (1sec).

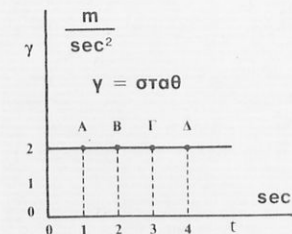
Η επιτάχυνση του αυτοκινήτου βρίσκεται ως εξής:

$$a = \frac{u_2 - u_1}{t_2 - t_1} = \frac{4\text{m/sec} - 2\text{m/sec}}{2\text{sec} - 1\text{sec}} = \frac{2\text{m/sec}}{1\text{sec}} = 2\text{m/sec}^2$$

Μπορούμε όμως να βρούμε την επιτάχυνση χρησιμοποιώντας και οποιοδήποτε άλλο ζευγάρι ταχυτήτων, π.χ. τις ταχύτητες u_4 και u_2 ή τις u_3 και u_2 . Στις περιπτώσεις αυτές προκύπτουν τα ακόλουθα:

$$a = \frac{u_4 - u_2}{t_4 - t_2} = \frac{8\text{m/sec} - 4\text{m/sec}}{4\text{sec} - 2\text{sec}} = 2\text{m/sec}^2$$

$$a = \frac{u_3 - u_2}{t_3 - t_2} = \frac{6\text{m/sec} - 4\text{m/sec}}{3\text{sec} - 2\text{sec}} = 2\text{m/sec}^2$$



Σχ. 2. Διάγραμμα επιταχύνσεως - χρόνου.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι τό μέτρο τής επιταχύνσεως είναι σταθερό (2m/sec^2).

Έπειδή ή κίνηση είναι εύθύγραμμη, τό διάνυσμα τής επιταχύνσεως έχει πάντοτε τήν ίδια διεύθυνση καί φορά. Από τά παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

Στήν εύθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση τό διάνυσμα τής επιταχύνσεως παραμένει σταθερό.

$$\gamma = \text{σταθερή}$$

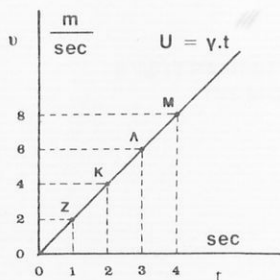
Τό συμπέρασμα αυτό μπορούμε νά τό παραστήσουμε γραφικά μέ τό διάγραμμα ΑΔ του Σχ. 2. Τό διάγραμμα αυτό προκύπτει ως εξής: Σέ έναν πίνακα μετρήσεων, όπως είναι ό πίνακας πού ακολουθεί, γράφουμε τίς αντίστοιχες τιμές τής επιταχύνσεως καί του χρόνου:

t σέ sec	1	2	3	4
γ σέ m/sec^2	2	2	2	2

Παίρνουμε δύο όρθογώνιους άξονες (Σχ. 2). Στόν όριζόντιο άξονα παριστάνουμε τίς τιμές του χρόνου μέ κάποια κλίμακα άντιστοιχίας, άντιστοιχώντας π.χ. τό 1sec στό 1cm του άξονα αυτού. Στόν κατακόρυφο άξονα παριστάνουμε τίς τιμές τής επιταχύνσεως άντιστοιχώντας π.χ. τό 1m/sec^2 στό 1cm του άξονα αυτού. Μέ τό γνωστό τρόπο βρίσκουμε τά σημεία Α,Β,Γ, καί Δ πού παριστάνουν άντίστοιχα τά ζεύγη τιμών του πίνακα (1sec, 2m/sec^2), (2sec, 2m/sec^2), (3sec, 2m/sec^2), καί (4sec, 2m/sec^2). Ένώνουμε μέ συνεχή γραμμή τά σημεία Α,Β,Γ, καί Δ καί βλέπουμε ότι προκύπτει ή εύθεία γραμμή ΑΔ. Τό διάγραμμα ΑΔ παριστάνει γραφικά τή σχέση $\gamma = 2\text{m/sec}^2$ (σταθερή).

II. ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Στό παράδειγμα τής κινήσεως πού αναφέραμε προηγουμένως (Σχ.1) παρατηρούμε ότι ή ταχύτητα του αυτοκινήτου διπλασιάζεται, τριπλασιάζεται κτλ, (από 2m/sec γίνεται 4m/sec , 6m/sec κτλ.), όταν ό χρόνος άντίστοιχα διπλασιάζεται, τριπλασιάζεται κτλ. (από 1sec γίνεται 2sec, 3sec κτλ). Από αυτό συμπεραίνουμε τόν παρακάτω νόμο τής ταχύτητας:



Σχ. 3. Διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου.

Στήν εύθύγραμμη όμαλά έπιταχυνόμενη κίνηση ή ταχύτητα του κινητού είναι ανάλογη προς τό χρόνο πού κινήθηκε αυτό.

Ό νόμος αυτός εκφράζεται μέ τή σχέση:

ταχύτητα = έπιτάχυνση × χρόνο	
$u = \gamma t$	Νόμος τής ταχύτητας

Γιά νά παραστήσουμε γραφικά τό νόμο τής ταχύτητας, κατασκευάζουμε πρώτα τόν παρακάτω πίνακα μετρήσεων μέ τίς τιμές πού αναγράφονται στό Σχ. 1

t σε sec	0	1	2	3	4
u σε m/sec	0	2	4	6	8

Ύστερα μέ τό γνωστό τρόπο κατασκευάζουμε τό διάγραμμα OM (Σχ.3), πού παριστάνει γραφικά τό νόμο $u = \gamma t$, όταν τό κινητό ξεκινάει από τήν ήρεμία.

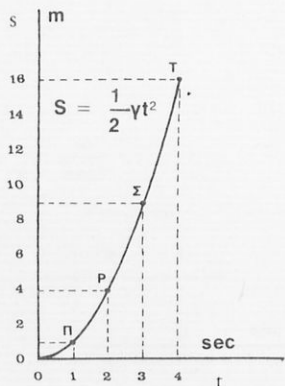
III. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στήν κίνηση πού φαίνεται στό Σχ. 1 παρατηρούμε ότι τό διάστημα πού διανύει τό αυτοκίνητο τετραπλασιάζεται, έννιαπλασιάζεται κτλ., (από 1m γίνεται 4m, 9m κτλ.), όταν ό χρόνος αντίστοιχα διπλασιάζεται, τριπλασιάζεται κτλ., (από 1sec γίνεται 2sec, 3sec κτλ.). Από αυτό συμπεραίνουμε τόν έπόμενο νόμο του διαστήματος:

Στήν εύθύγραμμη όμαλά έπιταχυνόμενη κίνηση τό διάστημα πού διανύει τό κινητό είναι ανάλογο προς τό τετράγωνο του χρόνου πού κινήθηκε αυτό.

$s = \frac{1}{2} \gamma t^2$	Νόμος του διαστήματος
------------------------------	-----------------------

Γιά νά παραστήσουμε γραφικά τό νόμο του διαστήματος κατασκευάζουμε πρώτα τόν έπόμενο πίνακα μετρήσεων μέ τίς τιμές πού αναγράφονται στό Σχ.1.



Σχ. 4. Διάγραμμα διαστήματος - χρόνου.

t σε sec	0	1	2	3	4
s σε m	0	1	4	9	16

"Ύστερα κατασκευάζουμε το διάγραμμα ΟΤ (Σχ.4), πού παριστάνει γραφικά το νόμο

$s = \frac{1}{2} \gamma t^2$, όταν το κινητό ξεκινάει από την ηρεμία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στήν εϋθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση:

1. Το διάνυσμα της επιταχύνσεως παραμένει σταθερό.
2. Ο νόμος της ταχύτητας εκφράζεται με τη σχέση

$$u = \gamma \cdot t$$

3. Ο νόμος του διαστήματος εκφράζεται με τη σχέση

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

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Νά διατυπώσετε το νόμο της ταχύτητας στήν εϋθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση.
2. Νά διατυπώσετε το νόμο του διαστήματος στήν εϋθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση.
3. Ένα σώμα εκτελεί εϋθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση. Τί γνωρίζετε γιά την επιτάχυνσή του;
4. α) Γιατί ή εϋθεία γραμμή ΟΜ του Σχ.3 περνάει από την άρχή των άξόνων;
β) Από την καμπύλη του Σχ.4 νά βρείτε πόσο διάστημα άντιστοιχεί σε χρόνο 3,5sec. Νά επαληθεύσετε τό αποτέλεσμα αυτό με τόν τύπο $s = \frac{1}{2} \gamma t^2$.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- *1. Ένα αυτοκίνητο ξεκινάει από την άφετηρία του καί κινείται σε εϋθεία λεωφόρο με σταθερή επιτάχυνση $\gamma = 5\text{m/sec}^2$. Πόση ταχύτητα θά έχει καί πόσο θά απέχει από την άφετηρία του, 4sec μετά την εκκίνησή του;
2. Ένα κινητό κινείται εϋθύγραμμη με σταθερή επιτάχυνση καί σε 5sec από την εκκίνησή του διανύει 50m. Πόση είναι ή επιτάχυνσή του;
3. Ένα κινητό κινείται εϋθύγραμμη με σταθερή επιτάχυνση 2m/sec^2 . Σε πόσο χρόνο, μετά την εκκίνησή του, θά απέχει από την άφετηρία του 25m;
4. Γιά την κίνηση πού περιγράφεται στο Σχ.1 της προηγούμενης ένότητας, νά κατασκευάσετε τά διαγράμματα: α) επιταχύνσεως - χρόνου, β) ταχύτητας - χρόνου, γ) διαστήματος - χρόνου.

ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γνωρίζουμε από την εμπειρία μας ότι τα σώματα πέφτουν εξαιτίας του βάρους τους, όταν τὰ αφήσουμε ελεύθερα (χωρίς νὰ τὰ ώθήσουμε) σὲ κάποια ἀπόσταση ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς. Ὡς τὴν ἐποχὴ τοῦ Γαλιλαίου οἱ ἄνθρωποι πίστευαν ὅτι τὰ βαρύτερα σώματα πέφτουν γρηγορότερα. Ὁ Γαλιλαῖος ὁμως καὶ ὕστερα ὁ Νεύτων ἀπέδειξαν ὅτι αὐτὴ ἡ ἀντίληψη δὲν εἶναι σωστή.

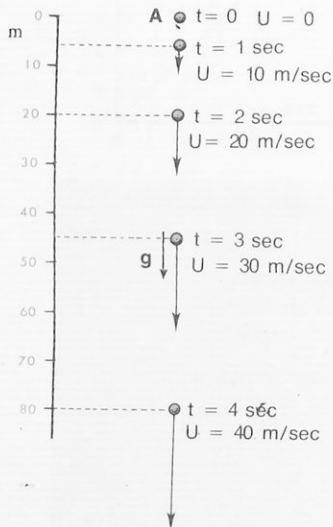
II. ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΠΤΩΣΕΩΣ

Ἀφήνουμε ελεύθερη μία μικρὴ σφαῖρα μέσα στὸν ἀέρα, π.χ. στὸ σημείο Α (Σχ.1) καὶ παρατηροῦμε ὅτι αὐτὴ πέφτει στὸ ἔδαφος. Στὴ σφαῖρα αὐτὴ ἐνεργοῦν δύο δυνάμεις, τὸ βάρος τῆς καὶ ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα. Ἡ ἀντίσταση τοῦ ἀέρα ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ σχῆμα καὶ τὴν ταχύτητα τοῦ σώματος καί, ἐπειδὴ εἶναι πολὺ μικρὴ γιὰ τὴ σφαῖρα πού ἐξετάζουμε, μπορούμε νὰ τὴν ἀγνοήσουμε. Σ' αὐτὴ τὴν περίπτωση στὴ σφαῖρα ἐπιδρᾷ μόνο τὸ βάρος τῆς καὶ ἡ κίνηση πού κάνει λέγεται ἐλεύθερη πτώση. Ἀρα:

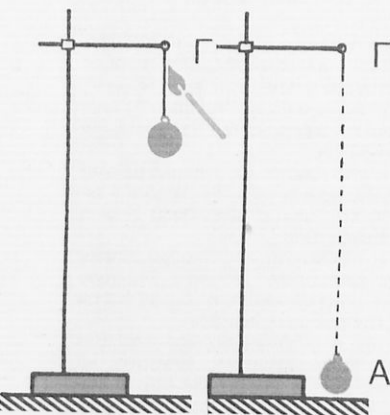
Ἐλεύθερη πτώση λέγεται ἡ κίνηση πού κάνει ἓνα σῶμα, ὅταν ἐνεργεῖ σ' αὐτό μόνο τὸ βάρος του.

III. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΠΤΩΣΕΩΣ

α. Τροχιά. Ἀπὸ ἓνα σημεῖο Γ κρεμάμε μία μικρὴ σφαῖρα (Σχ.2α). Πάνω στὸ τραπέζι καὶ κάτω ἀπὸ τὴ σφαῖρα βάζουμε λευκὸ χαρτί καὶ πάνω ἀπὸ αὐτὸ βάζουμε ἓνα φύλλο καρμπόν. Ὅταν κάψουμε τὸ νῆμα πού συγκρατεῖ τὴ σφαῖρα, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι αὐτὴ πέφτει καὶ σχηματίζει ἓνα σημάδι στὸ σημεῖο Α τοῦ λευκοῦ χαρτιοῦ. Ὅταν ὕστερα κρεμάσουμε ἀπὸ τὸ ἴδιο σημεῖο Γ τὸ νῆμα τῆς στάθμης (Σχ.2β) θὰ παρατηρήσουμε ὅτι ἡ κορυφὴ τοῦ κώνου συμπίπτει μὲ τὸ σημεῖο Α. Ἀπὸ αὐτὸ καταλαβαίνουμε ὅτι ἡ τροχιά τῆς σφαῖρας ἦταν κατακόρυφη. Ἐπειδὴ ἡ κίνηση τῆς σφαῖρας ἦταν ἐλεύθερη πτώση, μπορούμε νὰ συμπεράνουμε ὅτι:



Σχ. 1. Ἐλεύθερη πτώση.



Σχ. 2 α. Τὰ σώματα πέφτουν κατακόρυφα

Η τροχιά ενός σώματος που εκτελεί ελεύθερη πτώση είναι κατακόρυφη.

β. **Επιτάχυνση.** Όπως αναφέραμε προηγουμένως η σφαίρα που φαίνεται στο Σχ.1 εκτελεί ελεύθερη πτώση. Στο ίδιο σχήμα αναγράφονται η ταχύτητα της σφαίρας σε διάφορες χρονικές στιγμές και το αντίστοιχο διάστημα που έχει διανύσει αυτή. Παρατηρούμε ότι η ταχύτητα της σφαίρας αυξάνεται κατά την ίδια ποσότητα (10m/sec) σε κάθε χρονική μονάδα (1sec). Από αυτό συμπεραίνουμε ότι:

Η ελεύθερη πτώση ενός σώματος είναι ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση.

Η επιτάχυνση που έχουν τα σώματα κατά την ελεύθερη πτώση τους ονομάζεται **επιτάχυνση της βαρύτητας**, έχει διεύθυνση κατακόρυφη με φορά προς το κέντρο της Γης και συμβολίζεται με g (Σχ.1).

γ. **Τύποι.** Γνωρίζουμε ότι οι τύποι της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης κινήσεως είναι:

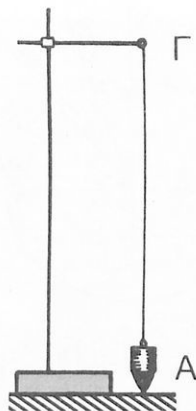
$g = \text{σταθερή}$, $u = g \cdot t$ και $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$. Έπομένως οι τύποι της ελεύθερης πτώσεως προκύπτουν από τις παραπάνω εξισώσεις, αν αντικαταστήσουμε το g με το g και είναι οι εξής:

$g = \text{σταθερή}$	$u = g \cdot t$	$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$
----------------------	-----------------	-------------------------------

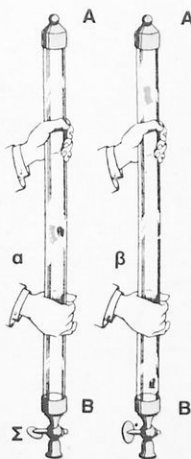
Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να παρασταθούν γραφικά, όπως και οι αντίστοιχες εξισώσεις της ομαλά επιταχυνόμενης κινήσεως (βλ. 2η ενότητα), οπότε θα προκύψουν ανάλογα διαγράμματα.

IV. Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΤΟΠΟ

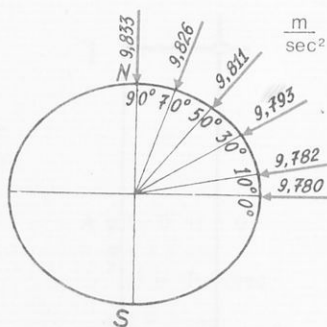
Μέσα σε ένα μακρύ γυάλινο σωλήνα, που λέγεται σωλήνας του Νεύτωνα (Σχ.3α), βάζουμε δύο σώματα διαφορετικού βάρους π.χ. ένα κομμάτι χαρτί και ένα μεταλλικό κέρμα. Με αεραντλία αφαιρούμε τον αέρα από το σωλήνα και κλείνουμε τη στρόφιγγα Σ. Όταν αναστρέψουμε το σωλήνα, ώστε και τα δύο σώματα να αρχίσουν να πέφτουν συγχρόνως από το άκρο Α, θα παρατηρήσουμε ότι θα φθάσουν συγχρόνως στο κάτω άκρο Β. Η κίνηση των σωμάτων



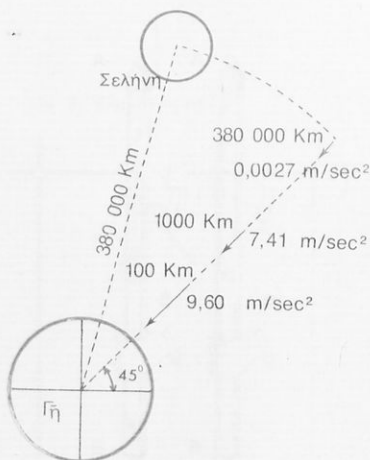
Σχ. 2 β



Σχ. 3. Σωλήνας του Νεύτωνα.



Σχ. 4. Μεταβολή του g με το γεωγραφικό πλάτος στο επίπεδο της θάλασσας.



Σχ. 5. Μεταβολή του g με το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας σε γεωγραφικό πλάτος 45° .

αυτών οφείλεται αποκλειστικά στο βάρος τους, δηλ. είναι ελεύθερη πτώση και όπως αναφέραμε, είναι ομαλά επιταχυνόμενη. Έπειδή και τα δύο σώματα χρειάζονται τον ίδιο χρόνο για να διατρέξουν την ίδια απόσταση (AB), συμπε-

ραίνουμε από τη σχέση $s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ ότι και τα δύο κινούνται με την ίδια επιτάχυνση g . Άρα:

Η επιτάχυνση της βαρύτητας σε έναν ορισμένο τόπο είναι η ίδια για όλα τα σώματα, ανεξάρτητα από το βάρος τους.

Παρατήρηση. Αν επαναλάβουμε το παραπάνω πείραμα χωρίς να αφαιρέσουμε τον αέρα από το σωλήνα του Νεύτωνα, θα παρατηρήσουμε ότι θα φθάσει στο Β πρώτα το κέρμα και ύστερα το χαρτί (Σχ.3β). Στην περίπτωση αυτή η πτώση των σωμάτων δεν είναι ελεύθερη γιατί εμποδίζεται από την αντίσταση του αέρα που είναι διαφορετική για κάθε σώμα. Έξαιτίας λοιπόν της αντίστασής του αέρα, τα δύο σώματα διανύουν την ίδια απόσταση (AB) σε διαφορετικούς χρόνους.

V. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΣ ΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Από ακριβείς μετρήσεις της επιταχύνσεως της βαρύτητας g , που έγιναν σε διάφορους τόπους, αποδεικνύονται τα εξής:

1. Η τιμή του g στην επιφάνεια της θάλασσας εξαρτάται από το **γεωγραφικό πλάτος** του τόπου και μάλιστα αυξάνεται όταν μετακινούμαστε από τον Ίσημερινό (γεωγρ. πλάτος 0° , $g = 9,78 \text{ m/sec}^2$) προς τους πόλους της Γης (γεωγρ. πλάτος 90° , $g = 9,83 \text{ m/sec}^2$) (Σχ.4).
2. Η τιμή του g σ' ένα ορισμένο γεωγραφικό πλάτος εξαρτάται από το **ύψος**. Όταν αυξάνεται το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας το g ελαττώνεται (Σχ.5).

Στο γεωγραφικό πλάτος των 45° και στην επιφάνεια της θάλασσας είναι $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$. Σε πολύ μεγάλα ύψη το g πρακτικά μηδενίζεται. (Ειδικά για τα σχολικά προβλήματα και για να απλουστεύονται οι αριθμητικές πράξεις συχνά θεωρούμε ότι είναι $g = 10 \text{ m/sec}^2$ στην επιφάνεια της Γης).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ἐλεύθερη πτώση λέγεται ἡ κίνηση πού κάνει ἓνα σῶμα, ὅταν ἐπιδρᾷ σ' αὐτό μόνο τὸ βάρος του.
2. Ἡ ἐλεύθερη πτώση εἶναι κατακόρυφη ὁμαλὰ ἐπιταχυνόμενη κίνηση.
3. Οἱ νόμοι τῆς ἐλεύθερης πτώσεως ἐκφράζονται μέ τις ἐξισώσεις:

$$g = \text{σταθερή}, \quad u = g \cdot t \quad \text{καί} \quad s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

4. Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας g σέ ἓναν τόπο εἶναι ἡ ἴδια γιά ὅλα τὰ σῶματα.
5. Ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας g ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ γεωγραφικὸ πλάτος τοῦ τόπου καί τὸ ὕψος τοῦ ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια τῆς θάλασσας.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

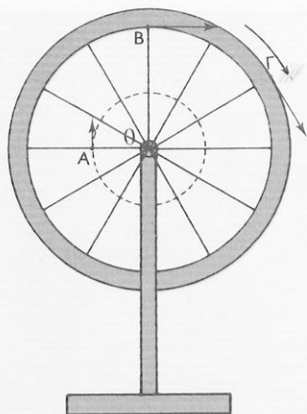
1. Πότε ἡ μικρὴ σφαῖρα τοῦ πειράματος τοῦ Σχ.2 φθάνει πιο γρήγορα στὸ σημεῖο Α, ὅταν γίνει τὸ πείραμα στὸν Ἰσημερινό (κοντὰ στὴν ἐπιφάνεια τῆς θάλασσας) ἢ ὅταν γίνει στὸ νότιο πόλο τῆς Γῆς (κοντὰ στὴν ἐπιφάνεια τῆς θάλασσας);
2. Μία μικρὴ σφαῖρα πέφτει ἐλεύθερα κατὰ 50m. Πότε ἡ διάρκεια τῆς ἐλεύθερης πτώσεώς της εἶναι πιο μεγάλη; Ὅταν γίνεταί τὸ πείραμα κοντὰ στὴν ἐπιφάνεια τῆς θάλασσας ἢ ὅταν γίνεται σέ ὕψος 100 Km ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια τῆς θάλασσας; (γεωγραφικὸ πλάτος σταθερό).
3. α) Ἀφήνουμε ἐλεύθερο σέ κάποιο ὕψος ἓνα φύλλο τοῦ τετραδίου καί ἓνα μολύβι. Γιατί τὸ μολύβι φθάνει στὸ ἔδαφος γρηγορότερα ἀπὸ τὸ χαρτί; β) Τοποθετοῦμε τὸ μολύβι πάνω στὸ φύλλο τοῦ τετραδίου καί ἐπαναλαμβάνουμε τὸ πείραμα. Γιατί τώρα φθάνουν συγχρόνως καί τὰ δύο σῶματα στὸ ἔδαφος;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Στὴν κίνηση πού φαίνεται στὸ Σχ.1 νά βρεῖτε τὴν τιμὴ τοῦ g καί νά κατασκευάσετε τὰ διαγράμματα α) ἐπιταχύνσεως - χρόνου β) ταχύτητας - χρόνου, γ) διαστήματος - χρόνου.
2. Μία πέτρα ἀφήνεται ἐλεύθερη ἀπὸ τὴ στέγη ἑνὸς οὐρανοξύστη καί φθάνει στὸ ἔδαφος ὕστερα ἀπὸ 4sec. Πόσο εἶναι τὸ ὕψος τοῦ οὐρανοξύστη, ὅταν $g = 10 \text{ m/sec}^2$;
3. Πόσο χρόνο χρειάζεται ἓνα σῶμα γιά νά πᾶσει ἐλεύθερα κατὰ 125m, ὅταν $g = 10 \text{ m/sec}^2$;

ΟΜΑΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχ. 1. Κυκλική κίνηση.

Έκτός από ευθύγραμμες κινήσεις συναντούμε πολύ συχνά στη ζωή μας και κυκλικές κινήσεις. Τα διάφορα σημεία Α, Β, Γ κτλ. ενός τροχού που στρέφεται (Σχ.1) κινούνται κυκλικά. Τα κέντρα των κυκλικών τροχιών τους βρίσκονται στον άξονα περιστροφής Ο του τροχού. Τα σημεία της περιφέρειας του στρεφόμενου μύλου του Λούνα Πάρκ (Σχ.2) και ο μοτοσικλετιστής που κάνει τό γύρο του θανάτου (Σχ.3) εκτελούν επίσης κυκλική κίνηση. Ή απλούστερη από τις κυκλικές κινήσεις είναι η όμαλη κυκλική κίνηση.

II. ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΜΑΛΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

Ο δείκτης ΟΑ του ρολογιού που δείχνει τα πρώτα λεπτά της ώρας (Σχ.4) στρέφεται γύρω από τον άξονα Ο. Τό άκρο Α του δείκτη κινείται κυκλικά και σε κάθε 5 πρώτα λεπτά διατρέχει ένα από τα ίσα τόξα $\widehat{AB}$, $\widehat{BG}$, $\widehat{ΓΔ}$ κτλ. Η κίνηση αυτή του σημείου Α λέγεται **όμαλη κυκλική κίνηση**. Άρα:

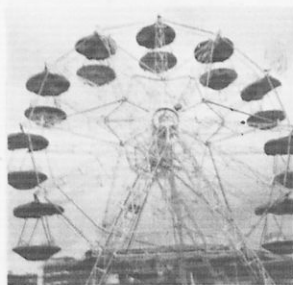
Ένα σώμα εκτελεί όμαλη κυκλική κίνηση, όταν κινείται σε κυκλική τροχιά και σε ίσους χρόνους διατρέχει ίσα τόξα.

III. ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

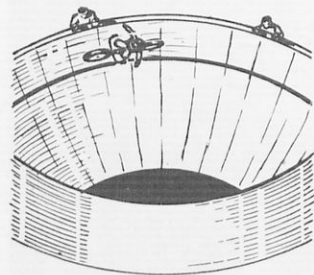
α. Περίοδος. Τό άκρο Α του λεπτοδείκτη (Σχ.4) χρειάζεται μία ώρα για να διατρέξει όλη την περιφέρεια. Ο χρόνος αυτός λέγεται **περίοδος Τ**. Επομένως:

Περίοδος μις όμαλης κυκλικής κινήσεως λέγεται ο χρόνος που χρειάζεται τό κινητό για να κάνει μία πλήρη στροφή.

β. Συχνότητα. Θεωρούμε ένα σώμα που εκτελεί όμαλη κυκλική κίνηση και σε χρόνο t διαγράφει N στροφές. Τό πηλίκο $\frac{N}{t}$ φανερώνει τον αριθμό των στροφών που διαγράφει τό κινητό σε μία χρονική μονάδα, και λέγεται **συχνότητα ν**. Άρα: Συχνότητα ενός κινητού λέγεται ο αριθμός των στροφών που διαγράφει τό κινητό στη μονάδα του χρόνου.



Σμ. 2.



Σχ. 3.

$\text{συχνότητα} = \frac{\text{\acute{\alpha}\rho\iota\theta\mu\acute{o}\varsigma \sigma\tau\rho\omicron\varphi\omega\acute{\nu}}{\text{\acute{\alpha}\nu\tau\iota\sigma\tau\omicron\iota\chi\omicron\varsigma \chi\rho\acute{o}\nu\omicron\varsigma}}$
$v = \frac{N}{t}$

Μονάδα συχνότητας είναι τό 1 Χέρτζ (1 Hz) πού λέγεται καί 1 κύκλος κατά δευτερόλεπτο (1c/sec ή 1sec⁻¹). Τό 1 Hz είναι ή συχνότητα ένός κινητού πού έκτελεϊ όμαλή κυκλική κίνηση καί διαγράφει μία στροφή σέ ένα δευτερόλεπτο. Πολλαπλάσια του Hz είναι τό 1 κιλοχέρτζ (1KHz) ή ένας χιλιοκύκλος κατά δευτερόλεπτο (1Kc/sec) καί τό 1 μεγαχέρτζ (1MHz) ή ένας μεγάλκύκλος κατά δευτερόλεπτο (1Mc/sec).

1KHz = 10³ Hz καί 1 MHz = 10⁶ Hz.

γ. Σχέση περιόδου καί συχνότητας. Θεωρούμε ένα κινητό πού έκτελεϊ όμαλή κυκλική κίνηση καί έχει περίοδο T. "Αν στόν τύπο $v = \frac{N}{t}$ βά- λουμε N = 1 (μία στροφή), τότε ό χρόνος t θά είναι ίσος μέ τήν περίοδο T. "Αρα:

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

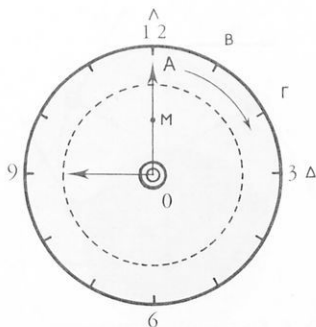
IV. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΟΜΑΛΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

α. Γραμμική ταχύτητα. Ή μικρή σφαίρα πού φαίνεται στό Σχ. 5 έκτελεϊ όμαλή κυκλική κίνηση κατά τή φορά του βέλους β καί σέ χρόνο t διαγράφει τό τόξο ΑΓ πού έχει μήκος s. Τό πη- λικό $\frac{s}{t}$ έκφράζει τή γραμμική ταχύτητα u του κινητού. Έπομένως:

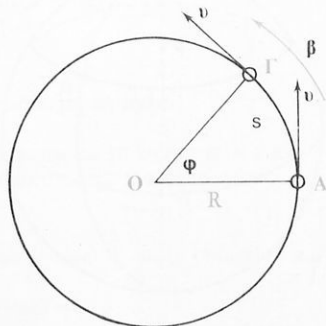
$\text{γραμμική ταχύτητα} = \frac{\text{μ\eta\kappa. τό\varsigma. πού διανύθηκε}}{\text{\acute{\alpha}\nu\tau\iota\sigma\tau\omicron\iota\chi\omicron\varsigma \chi\rho\acute{o}\nu\omicron\varsigma}}$
$u = \frac{s}{t}$

Ή γραμμική ταχύτητα είναι διανυσματικό μέγε- θος, έχει τή διεύθυνση τής έφαπτομένης του κύκλου στό σημείο πού βρίσκεται κάθε στιγμή τό κινητό καί τή φορά τής κίνησης. Παρατη- ρούμε λοιπόν ότι ή διεύθυνση τής γραμμικής ταχύτητας αλλάζει συνεχώς, ένw τό μέτρο της ($u = \frac{s}{t}$) παραμένει σταθερό, γιατί τό κινητό σέ ίσους χρόνους διανύει ίσα τόξα.

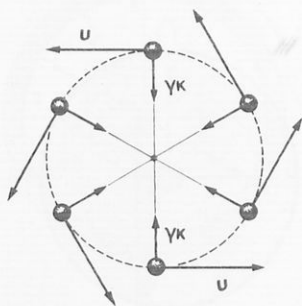
β. Γωνιακή ταχύτητα. Θεωρούμε ότι ή άκτίνα OA (Σχ.5) στρέφεται γύρω από τό O μαζί μέ τή σφαίρα. Στήν περίπτωση αύτή ή άκτίνα λέγεται



Σχ. 4. Όμαλή κυκλική κίνηση.



Σχ. 5. Ή ταχύτητα έχει τή διεύθυνση τής έφαπτομένης τής τροχιάς.



Σχ. 6. Κεντρομόλος επιτάχυνση.

έπιβατική και διαγράφει τη γωνία ϕ στον ίδιο χρόνο t που η σφαίρα διατρέχει τό τόξο $\widehat{ΑΓ}$. Το πηλίκο $\frac{\phi}{t}$ εκφράζει ένα νέο φυσικό μέγεθος που λέγεται γωνιακή ταχύτητα ω του κινητού. Άρα:

γωνιακή ταχύτητα = $\frac{\text{γωνία που διαγράφει ή έπιβ. άκτ.}}{\text{αντίστοιχος χρόνος}}$
--

$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

Μονάδα της γωνιακής ταχύτητας είναι τό 1 ακίνιο κατά δευτερόλεπτο (1 rad/sec).

γ. Σχέση γραμμικής και γωνιακής ταχύτητας. Σέ χρόνο $t = T$ ή σφαίρα διατρέχει όλη τήν περιφέρεια ($s = 2\pi R$) και ή έπιβατική άκτίνα διαγράφει γωνία $\phi = 2\pi$ rad. Έξαιτίας αύτών οι σχέσεις $v = \frac{s}{t}$ και $\omega = \frac{\phi}{t}$ γράφονται:

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

και

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Άπό τίς δύο τελευταίες εξισώσεις προκύπτει:

$$v = \omega R$$

δ. Σχέση γωνιακής ταχύτητας και συχνότητας.

Η εξίσωση $\omega = \frac{2\pi}{T}$ γράφεται και ως εξής:

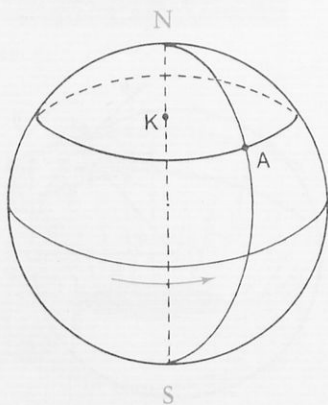
$$\omega = 2\pi \frac{1}{T}$$

Άπό τήν τελευταία σχέση, έπειδή $\nu = \frac{1}{T}$, προκύπτει:

$$\omega = 2\pi \nu$$

V. ΚΕΝΤΡΟΜΟΛΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

Κάθε σώμα που έκτελεί όμαλή κυκλική κίνηση έχει έπιτάχυνση, γιατί μεταβάλλεται συνεχώς ή διεύθυνση τής γραμμικής ταχύτητας, τής οποίας όμως τό μέτρο παραμένει σταθερό. Η έπιτάχυνση αύτή λέγεται κεντρομόλος γ_k . Η κεντρομόλος έπιτάχυνση έχει τή διεύθυνση τής άκτίνας R και φορά πός τό κέντρο O τής κυκλικής τροχιάς (Σχ.6). Τό μέτρο τής δίνεται από τή σχέση:



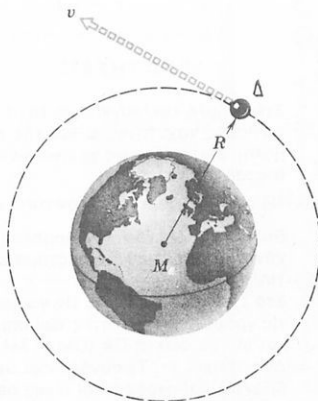
Σχ. 7. Κάθε σημείο τής γής κάνει όμαλή κυκλική κίνηση.

$$\gamma_k = \frac{v^2}{R}$$

Η κεντρομόλος επιτάχυνση μετρείται σε m/sec^2 και σε cm/sec^2 .

VI. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΜΑΛΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ

Ομαλή κυκλική κίνηση εκτελούν **τά σημεία** κάθε σώματος που στρέφεται γύρω από έναν άξονά του με **σταθερή** συχνότητα, όπως τα **σημεία** των δεικτών του ρολογιού (Σχ.4) και τα σώματα που είναι στην επιφάνεια της Γης (Σχ.7). Την ίδια κίνηση εκτελούν και οι τεχνητοί δορυφόροι της Γης (Σχ.8). (Δεχόμαστε κυκλική τροχιά).



Σχ. 8. Δορυφόρος σε κυκλική τροχιά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ένα σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση, όταν κινείται σε κυκλική τροχιά και σε ίσους χρόνους διανύει ίσα τόξα.
2. Περίοδος είναι ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό για να κάνει μία πλήρη στροφή.
Συχνότητα είναι ο αριθμός των στροφών που κάνει το κινητό σε μία χρονική μονάδα. Η συχνότητα και η περίοδος συνδέονται με τη σχέση $\nu = 1/T$.
3. Η γραμμική ταχύτητα ορίζεται από τη σχέση: $v = s/t$
Η γωνιακή ταχύτητα ορίζεται από τη σχέση:

$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

Η γωνιακή και η γραμμική ταχύτητα συνδέονται με τη σχέση

$$v = \omega R$$

Η γωνιακή ταχύτητα και η συχνότητα συνδέονται με τη σχέση $\omega = 2\pi \nu$

4. Το μέτρο της κεντρομόλου επιταχύνσεως δίνεται από τον τύπο

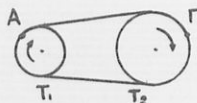
$$\gamma_k = \frac{v^2}{R}$$

5. Μονάδες της συχνότητας είναι: 1Hz (1c/sec ή 1sec⁻¹), 1KHz (1Kc/sec) και 1MHz (1Mc/sec).

Μονάδα της γωνιακής ταχύτητας είναι το 1rad/sec.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Στην ομαλή κυκλική κίνηση τά μέτρα της γωνιακής ταχύτητας ω και της κεντρομόλου επιταχύνσεως γ_k είναι μεταβλητά ή σταθερά και γιατί;
2. Νά επιβεβαιώσετε από τον τύπο $\gamma_k = \frac{v^2}{R}$ ότι η μονάδα της κεντρομόλου επιταχύνσεως στο Διεθνές Σύστημα είναι τό 1m/sec^2 .
3. Στο Σχ.4 νά συγκρίνετε τις γωνιακές και τις γραμμικές ταχύτητες των σημείων Α και Μ του δείκτη ΟΑ ($OM = MA$).
4. Δύο τροχοί T_1 , T_2 συνδέονται με λουρί (ιμάντα) και στρέφονται όπως δείχνουν τά βέλη του σχήματος. Νά συγκρίνετε τις γραμμικές και τις γωνιακές ταχύτητες των σημείων Α και Γ των περιφερειών τους.



ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Τό άκρο του δείκτη του ρολογιού πού δείχνει τά δεύτερα λεπτά της ώρας κάνει ομαλή κυκλική κίνηση. Νά βρείτε την περίοδο και τή συχνότητα της κινήσεως αυτής.
2. Ό δείκτης του ρολογιού πού αναφέρεται στο προηγούμενο πρόβλημα έχει μήκος 1cm. Νά βρείτε τή γωνιακή και τή γραμμική ταχύτητα του άκρου του.
3. Πόση είναι ή γραμμική ταχύτητα ενός σώματος πού βρίσκεται στον Ήσημερινό της Γης, αν ή άκτίνα της είναι 6400 Km; Νά βρείτε πρώτα τήν περίοδο ή τή συχνότητα της κινήσεως της Γης γύρω από τον άξονά της.

ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Στίς προηγούμενες ενότητες μελετήσαμε διάφορες κινήσεις. Τώρα θα εξετάσουμε την αιτία που αναγκάζει τα σώματα να αλλάζουν την ταχύτητά τους καθώς και τη σχέση που έχει ή αιτία αυτή με τα αποτελέσματά της.

I. Η ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

Κάθε σώμα (Σχ. 1) κατά την ελεύθερη πτώση του έχει επιτάχυνση g , που είναι κατακόρυφη με φορά προς το κέντρο της Γης. 'Η ελεύθερη πτώση των σωμάτων οφείλεται αποκλειστικά στο βάρος τους B , που είναι μία δύναμη επίσης κατακόρυφη με φορά προς το κέντρο της Γης.

"Αν αφήσουμε ελεύθερο ένα σώμα σε πολύ μεγάλο ύψος (τό g είναι πρακτικά ίσο με μηδέν) το σώμα δεν πέφτει (Σχ. 2), δηλ. δεν αποκτά την επιτάχυνση της βαρύτητας g . Στο ίδιο αυτό ύψος και το βάρος του σώματος είναι πρακτικά ίσο με μηδέν. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το βάρος (δύναμη) προκαλεί στα σώματα την επιτάχυνση της βαρύτητας g , που έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με το βάρος. Γενικεύοντας το συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε στο εξής:

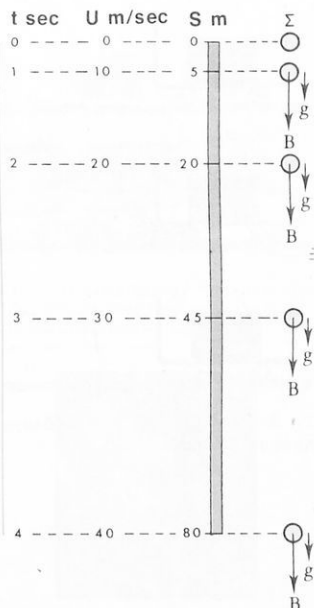
"Όταν σέ ένα σώμα ενεργήσει μία δύναμη, τότε το σώμα αποκτά επιτάχυνση που έχει τη διεύθυνση και τη φορά της δυνάμεως.

II. ΣΤΑΘΕΡΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΣΤΑΘΕΡΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ

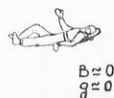
Τό σώμα που φαίνεται στο Σχ. 1 κατά την ελεύθερη πτώση του έχει σταθερή επιτάχυνση g . Τό βάρος B του σώματος, για μικρά ύψη από την επιφάνεια της γης, είναι επίσης σταθερό. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι τό σταθερό βάρος (δύναμη) προκαλεί στο σώμα σταθερή επιτάχυνση. Γενικεύοντας τό συμπέρασμα αυτό καταλήγουμε στο εξής:

"Όταν σέ ένα σώμα επιδρά μία σταθερή δύναμη, τότε τό σώμα αποκτά σταθερή επιτάχυνση.

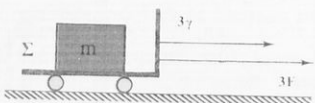
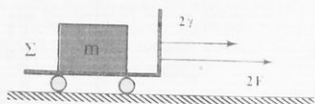
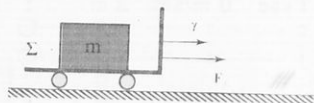
"Αν ή δύναμη είναι σταθερή κατά διεύθυνση, φορά και μέτρο και επιδρά συνεχώς σέ ένα



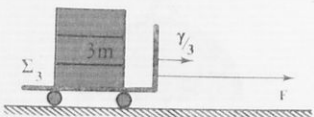
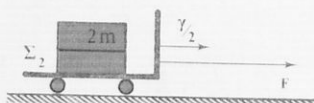
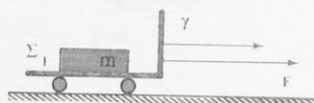
Σχ. 1. Σταθερή δύναμη προκαλεί σταθερή επιτάχυνση.



Σχ. 2. "Όταν δεν υπάρχει δύναμη, ή επιτάχυνση είναι μηδενική.



Σχ. 3. 'Η επιτάχυνση είναι ανάλογη προς τη δύναμη.



Σχ. 4. 'Η επιτάχυνση είναι αντίστροφως ανάλογη προς τη μάζα

σώμα, τότε το σώμα αποκτά επιτάχυνση σταθερή κατά διεύθυνση, φορά και μέτρο, δηλ. εκτελεί ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση (Σχ.1).

III. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

α. Σχέση δυνάμεως και επιταχύνσεως

"Ένα σώμα Σ, που έχει μάζα m και αρχικά ήρεμο, αποκτά σταθερή επιτάχυνση γ με την επίδραση σταθερής δυνάμεως F (Σχ.3). "Αν στο ίδιο σώμα επιδράσει δύναμη διπλάσια, τριπλάσια κτλ. ($2F$, $3F$ κτλ.), τότε βρίσκουμε ότι η επιτάχυνση που αποκτά το σώμα γίνεται αντίστοιχα διπλάσια, τριπλάσια κτλ. (2γ , 3γ κτλ.). Έπομένως:

'Η επιτάχυνση, που αποκτά ένα σώμα με την επίδραση δυνάμεως, είναι ανάλογη προς τη δύναμη αυτή.

β. Σχέση μάζας και επιταχύνσεως

"Ένα σώμα Σ₁, που έχει μάζα m και αρχικά ήρεμο, αποκτά σταθερή επιτάχυνση γ με την επίδραση σταθερής δυνάμεως F (Σχ.4). "Αν η ίδια δύναμη F επιδράσει σε σώμα που έχει μάζα διπλάσια, τριπλάσια κτλ. ($2m$, $3m$ κτλ.), τότε βρίσκουμε ότι το σώμα αυτό αποκτά αντίστοιχα επιτάχυνση δύο, τρείς κτλ. φορές μικρότερη ($\gamma/2$, $\gamma/3$ κτλ.). Έπομένως:

'Η επιτάχυνση, που αποκτά ένα σώμα με την επίδραση δυνάμεως, είναι αντίστροφως ανάλογη προς τη μάζα του.

γ. Τύπος. Τα δύο προηγούμενα συμπεράσματα εκφράζονται με την παρακάτω εξίσωση που λέγεται θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής ή νόμος του Νεύτωνα:

δύναμη = μάζα × επιτάχυνση
$F = m \cdot \gamma$ Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής

Παρατήρηση. "Όταν η επιτάχυνση που αποκτά ένα σώμα προκαλείται από δύο ή περισσότερες δυνάμεις, η δύναμη F του τύπου $F = m \cdot \gamma$ είναι η συνισταμένη των δυνάμεων αυτών (Σχ.5).

IV. ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΥΝΑΜΕΩΣ

"Όπως γνωρίζουμε, στο Διεθνές Σύστημα (S.I) μονάδα δυνάμεως είναι το 1 Newton (1

Νιούτον, 1N). Η μονάδα αυτή προκύπτει από την εξίσωση $F = m \cdot \gamma$, αν αντικαταστήσουμε τη μάζα και την επιτάχυνση με τις αντίστοιχες μονάδες τους. Άρα, $1N = 1Kgr \cdot \frac{m}{sec^2}$

1N είναι η δύναμη ή όποια, όταν επιδρά σε σώμα που έχει μάζα 1Kgr, προσδίνει σ' αυτό επιτάχυνση $1m/sec^2$.

Στο σύστημα CGS μονάδα δυνάμεως είναι η **δύνη (1dyn)**, που προκύπτει επίσης από την εξίσωση $F = m \cdot \gamma$

$$1dyn = 1gr \cdot \frac{cm}{sec^2}$$

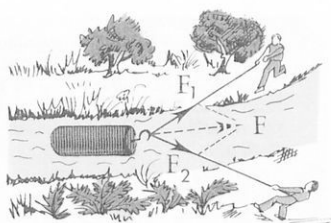
1dyn είναι η δύναμη ή όποια, όταν επιδρά σε ένα σώμα που έχει μάζα 1gr, προσδίνει σ' αυτό επιτάχυνση $1cm/sec^2$.

Άλλες μονάδες δυνάμεως είναι τό 1 κιλοπόντ (1Kp), τό 1 πόντ (1p) και ό ένας τόνος δυνάμεως ή 1 μεγαπόντ (1Mp).

$$1Kp = 9,81 N = 981000 dyn$$

$$1Mp = 1000 Kp = 10^3 Kp$$

$$1Kp = 1000 p = 10^3 p$$



Σχ. 5. Η συνισταμένη F προκαλεί την ίδια επιτάχυνση που προκαλούν οι συνιστώσες της F_1 και F_2



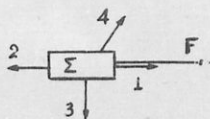
Σχ. 6. 'Ισαάκ Νεύτων (1642 - 1727).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

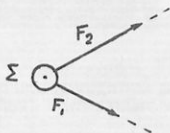
1. Η δύναμη προκαλεί στα σώματα επιτάχυνση, που έχει τη διεύθυνση και τη φορά της δυνάμεως.
2. Ένα σώμα αποκτά σταθερή επιτάχυνση, όταν η δύναμη που ενεργεί σ' αυτό είναι σταθερή.
3. Ένα σώμα εκτελεί ευθύγραμμη όμαλά επιταχυνόμενη κίνηση, όταν ενεργεί συνεχώς σ' αυτό δύναμη σταθερή κατά διεύθυνση, φορά και μέτρο.
4. Ο θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής εκφράζεται με τόν τύπο:
$$F = m \cdot \gamma$$
5. Μονάδες δυνάμεως είναι οι έξης: 1N, 1Kp, 1Mp, 1p και 1dyn.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Η δύναμη F προσδίνει στο σώμα Σ μία επιτάχυνση γ . Ποιό από τά διανύσματα (1), (2), (3), και (4) έχει τη διεύθυνση και τη φορά της επιταχύνσεως αυτής;



2. Δύο παιδιά έλκουν τή σφαίρα Σ άσκώντας σ' αυτή, μέ τή βοήθεια δύο σχοινιών, τίσ δυνάμεις F_1 καί F_2 . Νά σχεδιάσετε τό διάνυσμα τής επιταχύνσεως πού προσδίνουν οί δυνάμεις αυτές στή σφαίρα.

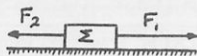


3. Σέ ένα σώμα επιδρά συνεχώς σταθερή δύναμη F πού τού προσδίνει επιτάχυνση γ . Όταν τριπλασιάσουμε τή μάζα τού σώματος, ή επιτάχυνσή του θά μείνει ή ίδια, θά αύξηθει, θά ελαττωθει καί πόσο;
4. Όταν ή συνισταμένη δύναμη πού άσκείται σέ ένα σώμα είναι σταθερή, ή κίνηση τού σώματος είναι α. εϋθύγραμμη καί όμαλή; β. εϋθύγραμμη καί μεταβαλλόμενη; γ. εϋθύγραμμη καί όμαλά μεταβαλλόμενη; δ. τίποτε από όλα αυτά;

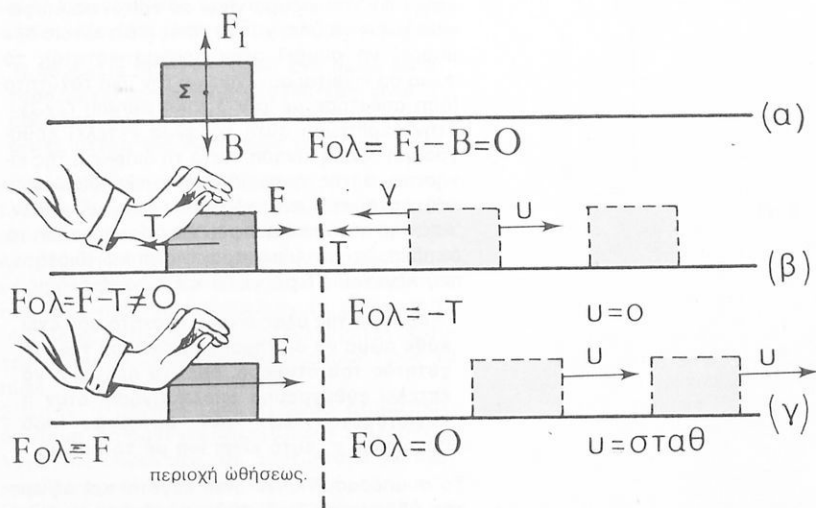
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πόση επιτάχυνση θά άποκτήσει ένα σώμα μάζας 10Kgr, όταν επιδράσει σ' αυτό μία δύναμη 65N;
2. Η μηχανή ενός αυτοκινήτου άσκει σ' αυτό δύναμη 1600 N πού τού προσδίνει επιτάχυνση 2m/sec². Πόση είναι ή μάζα τού αυτοκινήτου;

3. Στο σώμα Σ , πού έχει μάζα 5Kgr, άσκούνται οί δυνάμεις $F_1 = 15\text{N}$ καί $F_2 = 10\text{N}$. Πόση επιτάχυνση θά άποκτήσει τό σώμα;



6η ΕΝΟΤΗΤΑ
ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ
ΔΡΑΣΗ - ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



I. ΑΔΡΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

α. Έννοια της αδράνειας. Ένα μικρό σώμα Σ ισορροπεί στο οριζόντιο πάτωμα του σπιτιού μας (Σχ. 1α). Στο σώμα ενεργούν δύο δυνάμεις, το βάρος του B και η δύναμη F_1 που ασκείται από το πάτωμα. Έπειδή το σώμα ισορροπεί, η συνισταμένη των δυνάμεων αυτών είναι ίση με μηδέν ($F_{ολ} = F_1 - B = 0$ ή $F_1 = B$). Το σώμα αυτό θά ισορροπεί συνεχώς, αν δεν ενεργήσει σ' αυτό μία άλλη δύναμη, δηλ. αν η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα είναι συνεχώς ίση με μηδέν ($F_{ολ} = 0$).

Με τό χέρι μας ώθοιμε για μία μόνο στιγμή το σώμα (Σχ. 1β). Παρατηρούμε τότε ότι αυτό αρχίζει νά κινείται με την επίδραση της στιγμιαίας δυνάμεως F του χεριού μας. Ύστερα όμως από λίγο χρόνο το σώμα σταματά, γιατί επιβραδύνεται από τη δύναμη της τριβής T .

Αν επαναλάβουμε τό ίδιο πείραμα σέ οριζόντια επιφάνεια πάγου (ή τριβή είναι πολύ μικρότερη), τό σώμα μέ την ίδια αρχική ώθηση θά

Σχ. 1. Όταν $F_{ολ} = 0$, ή ταχύτητα του σώματος δέ μεταβάλλεται.

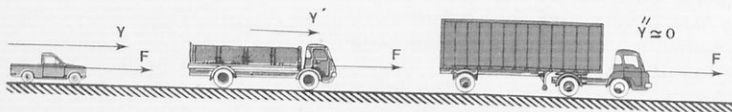
κινείται περισσότερο χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι η **άρχική του ταχύτητα ελαττώνεται με αργότερο ρυθμό** (τό σώμα έχει μικρότερη επιβράδυνση).

Φαίνεται λοιπόν λογικό να συμπεράνουμε το εξής: "Αν τό πείραμα γίνει σέ όριζόντια επιφάνεια χωρίς νά υπάρχουν τριβές (κάτι τέτοιο δέν μπορεί νά συμβεί στην πραγματικότητα), τό σώμα θά κινείται συνεχώς μέ τήν ίδια ταχύτητα (όση απέκτησε μέ τήν άρχική ώθηση) (Σχ.1γ). Στην περίπτωση αυτή τό σώμα εκτελεί ευθύγραμμη όμαλή κίνηση. Κατά τή διάρκεια τής κινήσεως αυτής ή συνισταμένη τών δυνάμεων πού ασκούνται στό σώμα είναι ίση μέ μηδέν. Από όλα αυτά πού αναφέραμε προκύπτει ότι τά σώματα έχουν μία χαρακτηριστική ιδιότητα, πού λέγεται **άδράνεια** καί είναι ή εξής:

Άδράνεια τής ύλης είναι ή ιδιότητα πού έχει κάθε σώμα νά διατηρεί τό διάνυσμα τής ταχύτητάς του σταθερό, δηλ. νά ήρεμεί ή νά εκτελεί ευθύγραμμη όμαλή κίνηση, όταν ή συνισταμένη όλων τών δυνάμεων πού ασκούνται σ' αυτό είναι ίση μέ τό μηδέν.

Τό συμπέρασμα αυτό, πού λέγεται καί **άξίωμα τής άδράνειας**, διατυπώθηκε γιά πρώτη φορά από τόν άρχαίο Έλληνα φιλόσοφο Άριστοτέλη καί πήρε τήν όριστική του μορφή από τό Γαλιλαίο καί τό Νεύτωνα.

β. Ή μάζα είναι μέτρο τής άδράνειας. Ή άδράνεια εκδηλώνεται όταν επιχειρήσουμε νά αλλάξουμε τήν κινητική κατάσταση τών σωμάτων, όποτε αυτά αντιδρούν, προσπαθώντας νά διατηρήσουν τήν ταχύτητά τους σταθερή.



Σχ. 2.

Θεωρούμε ένα καρτσάκι, ένα μικρό αυτοκίνητο καί ένα φορτηγό πού άρχικά ήρεμούν (Σχ.2). "Αν ώθήσουμε τό καθένα από αυτά μέ τήν ίδια δύναμη F , θά παρατηρήσουμε ότι τό καρτσάκι άρχίζει νά κινείται γρήγορα (άποκτά μεγάλη επιτάχυνση), ένών τό μικρό αυτοκίνητο άρχίζει νά κινείται πιό άργά (άποκτά μικρότερη

επιτάχυνση) και τό φορτηγό παραμένει σχεδόν ακίνητο*. Από αυτά καταλαβαίνουμε ότι τό καρτσάκι πού έχει τή μικρότερη μάζα παρουσιάζει και τή μικρότερη αδράνεια, ενώ τό μικρό αὐτοκίνητο παρουσιάζει μεγαλύτερη αδράνεια και τό φορτηγό πού έχει τήν πιό μεγάλη μάζα παρουσιάζει ακόμη μεγαλύτερη αδράνεια. Άρα:

Ἡ αδράνεια πού ἐκδηλώνει ἓνα σῶμα εἶναι τόσο μεγαλύτερη, ὅσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ μάζα του, δηλ. ἡ μάζα ἑνός σώματος ἐκφράζει τό μέτρο τῆς αδράνειας του.

γ. Ἀποτελέσματα τῆς αδράνειας

1. Ὄταν ἓνα αὐτοκίνητο πού κινεῖται σταματήσει ἀπτόμα, οἱ ἐπιβάτες του πέφτουν πρὸς τὰ ἔμπρῳ γιατί τό σῶμα τους, λόγω τῆς αδράνειας, προσπαθεῖ νά διατηρήσει τήν ταχύτητα πού εἶχε πρὶν νά σταματήσει τό αὐτοκίνητο. Ἀντίθετα, κατά τήν ἀπτόμη ἐκκίνηση ἑνός αὐτοκινήτου, οἱ ἐπιβάτες του πέφτουν πρὸς τὰ πίσω, ἐξαιτίας τῆς αδράνειας.

2. Ὄταν ἡ μηχανή ἑνός τραίνου σταματήσει ἀπτόμα, τὰ βαγόνια συνεχίζουν νά κινεῖνται, λόγω τῆς αδράνειας, μέ ἀποτέλεσμα νά συγκρούονται και νά ἐκτροχιάζονται.

3. Γιά νά ἀπομακρύνουμε τίς σταγόνες τοῦ νεροῦ ἀπό τὰ βρεγμένα χέρια μας, τὰ τινάζουμε. Ὄταν σταματήσει ἡ κίνηση τῶν χειρῶν μας, οἱ σταγόνες τοῦ νεροῦ συνεχίζουν νά κινεῖνται λόγω αδράνειας, και ἐπομακρύνονται ἀπό τὰ χέρια μας. Μέ ἀνάλογο τρόπο «κατεβάζουμε» τόν ὑδράργυρο τῶν ἱατρικῶν θερμομέτρων.

4. Ἄν μέ τό δάχτυλό μας χτυπήσουμε δυνατά τό χαρτόνι, πάνω στό ὁποῖο στηρίζεται ἓνα κέρμα, τό χαρτόνι ἐκτινάσσεται ἀπό τή θέση του, ἐνῶ τό κέρμα μένει ἀκίνητο και πέφτει κάτω (Σχ.3). Αὐτό συμβαίνει γιατί ἡ μικρή δύναμη τριβῆς πού ἀναπτύσσεται ἀνάμεσα στό κέρμα και τό χαρτόνι, δέν μπορεί νά δώσει μεγάλη ἐπιτάχυνση στό κέρμα. Ἄν τό χαρτόνι ξεκινήσει ἀργά (μικρή ἐπιτάχυνση), τότε τό κέρμα παρασύρεται μαζί μέ τό χαρτόνι.

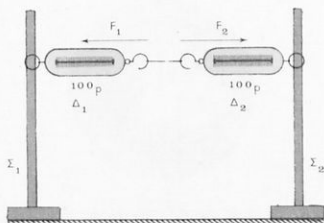
II. ΑΞΙΩΜΑ ΔΡΑΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

Συνδέουμε δύο δυναμόμετρα Δ₁ και Δ₂, ὅπως φαίνεται στό Σχ.4, και ἀπομακρύνουμε τὰ

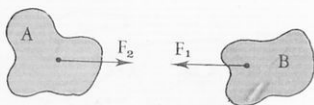
* Ἄν λάβουμε ὑπόψη τήν τριβή, τό φορτηγό μένει ἀκίνητο.



Σχ. 3.



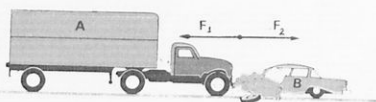
Σχ. 4. ($F_1 = F_2$)



Σχ. 5. Τό Α άσκει στο Β την F_1 . Τό Β άσκει στο Α την F_2 . ($F_1 = F_2$).

κατακόρυφα στηρίγματα Σ_1 και Σ_2 , ώστε να τε-
ντωθούν τα ελατήρια. Παρατηρούμε τότε ότι τα
δυναμόμετρα δείχνουν την ίδια ένδειξη, π.χ.
100p. Αυτό σημαίνει ότι τό Δ_1 άσκει στο Δ_2 τη
δύναμη $F_1 = 100p$ και τό Δ_2 άσκει στο Δ_1 τη
δύναμη $F_2 = 100p$. Οι δυνάμεις F_1 και F_2 όπως
φαίνεται στο Σχ.4, είναι αντίθετες. Από τό πεί-
ραμα αυτό, αλλά και από διάφορες παρατηρή-
σεις, καταλήγουμε στο παρακάτω **άξiωμα δρά-
σεως και αντίδρασης**.

**"Όταν ένα σώμα Α άσκει σέ ένα άλλο σώμα Β
μία δύναμη, τότε και τό Β άσκει στο Α μία
άλλη δύναμη πού είναι αντίθετη τής πρώτης
(Σχ.5).**



Σχ. 6. Τό Α άσκει στο Β την F_2 .
Τό Β άσκει στο Α την F_1 ($F_1 = F_2$).

Σύμφωνα λοιπόν μέ τό άξiωμα αυτό δέν υπάρχει
στή φύση μία απομονωμένη δύναμη, αλλά πάν-
τοτε οί δυνάμεις παρουσιάζονται κατά ζεύγη.
Οί δύο δυνάμεις κάθε τέτοιου ζεύγους είναι
αντίθετες και άσκούνται σέ δύο διαφορετικά
σώματα. Ή μία από τίς δυνάμεις αυτές (όποια
θέλουμε) λέγεται **δράση** και ή άλλη **αντίδραση**.
Τά δύο σώματα πού αλληλεπιδρούν μπορεί νά
βρίσκονται σέ έπαφή (Σχ.4 και 6) ή σέ άπόσταση
τό ένα από τό άλλο (Σχ.5 και 7). Μέ τη βοήθεια
του άξiωματος δράσεως και αντίδρασης μπο-
ρούμε νά έξηγήσουμε τό βάδισμά μας, την κί-
νηση των τροχοφόρων (αυτοκινήτων κτλ.), την
προώθηση των πλοίων όταν στρέφεται ό έλικάς
τους, την προώθηση των πυραύλων όταν εκτο-
ξεύονται πρós τά πίσω τά καυσαέρια και πολλά
άλλα φαινόμενα.

Παρατήρηση. "Όταν εξετάζουμε χωριστά τό κα-
θένα από τά δύο σώματα Α ή Β (Σχ.5) πού αλλη-
λεπιδρούν, ή δράση και ή αντίδραση δέν αλλη-
λοεξουδετερώνονται, γιατί άσκούνται σέ δια-
φορετικά σώματα.



Σχ. 7. Ή γή άσκει στο σώμα Σ τό βά-
ρος του Β. Τό σώμα άσκει στη γή τη
δύναμη Β' ($B = B'$).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ἀδράνεια λέγεται ἡ ιδιότητα πού ἔχουν τά σώματα νά διατηροῦν τό διάνυσμα τῆς ταχύτητάς τους σταθερό, ὅταν ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων πού ἀσκοῦνται σ' αὐτά εἶναι ἴση μέ μηδέν.
2. Ἡ μάζα ἐνός σώματος ἐκφράζει τό μέτρο τῆς ἀδράνειάς του.
3. Ὄταν ἓνα σώμα Α ἀσκεῖ σέ ἓνα σώμα Β μία δύναμη (δράση), τότε καί τό Β ἀσκεῖ στό Α μία ἄλλη δύναμη (ἀντίδραση), ἀντίθετη τῆς πρώτης.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Τί λέγεται ἀδράνεια; β) Πότε ἓνα σώμα ἐκδηλώνει μεγάλη ἀδράνεια;
2. Ἐνα σώμα κινεῖται εὐθύγραμμα. Πότε ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων πού ἀσκοῦνται σ' αὐτό εἶναι: α) μηδέν; β) διάφορη ἀπό τό μηδέν;
3. Νά ἀναφέρετε δύο παραδείγματα δράσεως - ἀντιδράσεως.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ἐπάνω σέ ἓνα ἀκίνητο τραπέζι ἰσορροπεῖ ἓνα σώμα. Νά ἀποδείξετε ὅτι ἡ δύναμη πού ἀσκεῖ τό σώμα στό τραπέζι εἶναι ἴση μέ τό βάρος τοῦ σώματος.
- *2. Τό σώμα Σ ἔχει βάρος 5Κρ. Πόση δύναμη F πρέπει νά ἐπιδρά σ' αὐτό ὅταν ἀνεβαίνει ἢ κατεβαίνει μέ σταθερή ταχύτητα;



3. Τό σώμα Σ ἔχει μάζα 5 Κgr. Πόση δύναμη F πρέπει νά ἐπιδρά σ' αὐτό ὅταν ἀνεβαίνει μέ σταθερή ἐπιτάχυνση $\gamma = 2 \text{ m/sec}^2$; ($B = 5\text{Κρ} = 50 \text{ N}$).



ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ - ΝΟΜΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΛΞΕΩΣ

Ι. ΒΑΡΟΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

α. **Έννοια του βάρους.** Από την έμπειρία μας γνωρίζουμε ότι όλα τα σώματα έχουν βάρος. Για να σηκώσουμε ψηλά ένα σώμα (Σχ.1) πρέπει να ασκήσουμε σ' αυτό μία μυϊκή δύναμη, γιατί η Γη το έλκει προς τα κάτω με μία δύναμη που λέγεται **βάρος**. Άρα:

Βάρος ενός σώματος λέγεται η έλκτική δύναμη που ασκεί η μάζα της Γης στη μάζα του σώματος αυτού.

Τό βάρος έχει διεύθυνση κατακόρυφη και φορά προς τό κέντρο της Γης (Σχ.2).

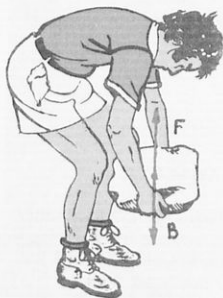
β. **Σχέση βάρους και μάζας.** Θεωρούμε ένα σώμα που έχει μάζα m και βάρος B . Όταν τό σώμα αυτό εκτελεί ελεύθερη πτώση, αποκτά επιτάχυνση g , λόγω του βάρους του B . Εφαρμόζουμε στην περίπτωση αυτή τό θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής $F = m \cdot \gamma$, παίρνοντας υπόψη μας ότι $F = B$ και $\gamma = g$, και βρίσκουμε ότι:

$$B = mg \quad (1)$$

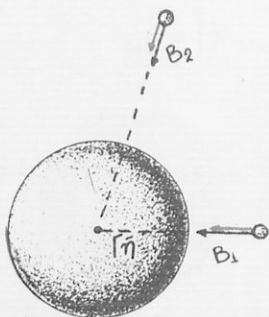
Παρατήρηση. Όταν χρησιμοποιούμε τή σχέση $B = mg$ σε διάφορα προβλήματα, πρέπει να εκφράζουμε τό βάρος B σε N , τή μάζα m σε kg και τήν επιτάχυνση της βαρύτητας g σε m/sec^2 (Διεθνές Σύστημα).

γ. **Μέτρηση του βάρους.** Τό βάρος ενός σώματος μετριέται μέ τό δυναμόμετρο (ζυγός μέ ελατήριο ή κανταράκι), όπως δείχνει τό Σχ.3. Η ένδειξη του δυναμομέτρου αντιστοιχεί στό πραγματικό βάρος του σώματος, μόνο όταν τό σύστημα δυναμόμετρο - σώμα ισορροπεί (ήρεμει ή κινείται μέ σταθερή ταχύτητα).

δ. **Μεταβολές του βάρους.** Η μάζα ενός σώματος, ως ποσότητα ύλης, παραμένει σταθερή. Αντίθετα, τό βάρος ενός σώματος μεταβάλλεται, όπως ακριβώς και η επιτάχυνση της βαρύτητας g , γιατί $B = mg$ και $m = \text{σταθερή}$. Άρα τό βάρος B ενός σώματος θά εξαρτάται από τό γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τό ύψος πάνω από τήν επιφάνεια της Γης, στό οποίο βρίσκεται τό σώμα (βλ. 3η ένότητα).



Σχ. 1.



Σχ. 2. Τό g και τό B έχουν κατακόρυφη διεύθυνση που περνάει από τό κέντρο της γης.

II. ΝΟΜΟΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΛΞΕΩΣ

Ο Νεύτων διατύπωσε τόν νόμο τής παγκόσμιας έλξεως πού επαληθεύτηκε αργότερα πειραματικά. Κατά τόν νόμο αυτό ισχύουν τά ακόλουθα:

Δύο όποιαδήποτε ύλικά σωματίδια μέ μάζες m_1 καί m_2 έλκονται άμοιβαία μέ μία δύναμη F πού έχει διεύθυνση τήν ευθεία πού ένώνει τά δύο σωματίδια. Τό μέτρο τής δυνάμεως αύτης είναι άνάλογο πρós τόν γινόμενο τών μαζών m_1 καί m_2 τών σωματιδίων καί άντιστρόφως άνάλογο πρós τόν τετράγωνο τής άποστάσεώς τους r (Σχ.4). Ο νόμος αυτός εκφράζεται μέ τή σχέση:

$$F = K \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2)$$

Τό K λέγεται σταθερά τής παγκόσμιας έλξεως καί έχει τιμή $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{Kgr^2}$.

Ο νόμος τής παγκόσμιας έλξεως ισχύει βέβαια καί γιά **μεγάλα σώματα**, εφαρμόζεται όμως εύκολα όταν τά σώματα αυτά είναι **όμογενείς σφαίρες**. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε νά φανταστούμε όλη τή μάζα τής σφαίρας συγκεντρωμένη **στό κέντρο της**, όποτε ή σφαίρα συμπεριφέρεται σάν ύλικό σωματίδιο.

III. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΛΞΕΩΣ ΣΤΟ ΖΕΥΓΟΣ ΓΗ - ΣΩΜΑ

Τό βάρος B ενός σώματος αποτελεί μία δύναμη παγκόσμιας έλξεως. "Αν θεωρήσουμε τή Γή κατά προσέγγιση σάν όμογενή σφαίρα μέ ακτίνα R καί μάζα M , μπορούμε νά εφαρμόσουμε άμέσως τόν τύπο (2), όποτε προκύπτει:

$$B = K \frac{mM}{R^2} \quad (3)$$

(m = μάζα του σώματος Σχ.5)

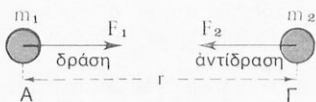
Άπό τούς τύπους (1) καί (3) προκύπτει ότι

$$mg = K \frac{mM}{R^2} \Leftrightarrow g = \frac{KM}{R^2} \quad (4)$$

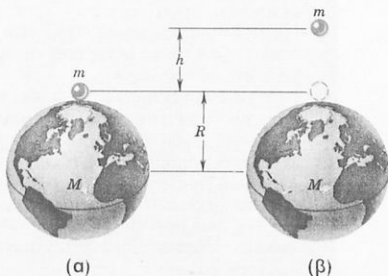
"Αν τό σώμα βρίσκεται σέ ύψος h από τήν επιφάνεια τής Γής (Σχ.5), οι τύποι (3) καί (4) γράφονται αντίστοιχα μέ τόν ακόλουθο τρόπο:



Σχ. 3. Δυναμόμετρο βαθμολογημένο σέ Newton. "Όταν τό σώμα ισορροπεί (ήρεμεί ή κινείται μέ σταθερή ταχύτητα) τό δυναμόμετρο μετράει τό βάρος του.



$$F_1 = F_2 = k \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{Σχ. 4.}$$



Σχ. 5.

$$B = K \frac{mM}{(R+h)^2} \quad \text{καί} \quad g = K \frac{M}{(R+h)^2}$$

Από τούς τύπους αυτούς φαίνεται ότι τό βάρος B καί τό g μεταβάλλονται μέ τό ύψος h.

IV. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ «ΒΑΡΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ»

Συνήθως όταν λέμε «βάρος σώματος» εννοούμε τή δύναμη έλξεως πού άσκει ή μάζα τής Γης στή μάζα του σώματος αυτού. Τό ίδιο όμως σώμα, όταν μεταφερθεί στην περιοχή ενός άλλου πλανήτη, π.χ. του Άρη, θά έλκεται πάλι μέ μία δύναμη από τόν Άρη, ενώ δε θά έλκεται πιά από τή Γη. Αύτή τή νέα έλκτική δύναμη μπορούμε νά τή λέμε «βάρος του σώματος στην περιοχή του Άρη». Τό βάρος ενός σώματος στην περιοχή τής Γης έχει διαφορετική τιμή από τό βάρος του ίδιου σώματος στην περιοχή των άλλων πλανητών, γιατί ή μάζα καί ή άκτίνα τής Γης είναι διαφορετικές από τά αντίστοιχα μεγέθη των άλλων πλανητών (τύπος (3)).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Βάρος ενός σώματος είναι ή κατακόρυφη έλκτική δύναμη πού άσκει ή μάζα τής γης στή μάζα του σώματος.

2. Τό βάρος καί ή μάζα ενός σώματος συνδέονται μέ τή σχέση:

$$B = mg$$

3. Τό βάρος ενός σώματος μεταβάλλεται από τόπο σέ τόπο.

4. Ο νόμος τής παγκόσμιας έλξεως εκφράζεται μέ τή σχέση:

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

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί γνωρίζετε γιά τίς μεταβολές του βάρους ενός σώματος;
2. Γιατί μεταβάλλονται τό βάρος καί τό g, όταν αύξάνεται τό ύψος από τήν επιφάνεια τής θάλασσας;
3. Γιατί σέ έναν όρισμένο τόπο όλα τά σώματα-πού πέφτουν ελεύθερα έχουν τήν ίδια επιτάχυνση τής βαρύτητας g;
4. Μέ ένα δυναμόμετρο μετράμε τό βάρος ενός σώματος πρώτα στην επιφάνεια τής Γης καί μετά στην επιφάνεια τής Σελήνης. Σέ ποιά από τίς δύο περιπτώσεις ή ένδειξη του δυναμομέτρου θά είναι μικρότερη καί γιατί;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένα σώμα έχει μάζα 5 Kgr. Πόσο είναι τό βάρος του σέ N; (Δίνεται $g = 10 \text{ m/sec}^2$).
2. Άν τό προηγούμενο σώμα μεταφερθεί στην επιφάνεια τής Σελήνης, όπου υπάρχει ή επιτάχυνση τής βαρύτητας τής Σελήνης $g_2 = 1,6 \text{ m/sec}^2$, πόσο θά είναι τό βάρος του σέ N;
3. Δύο μεταλλικές σφαίρες μέ μάζες $m_1 = 1000 \text{ Kgr}$ καί $m_2 = 500 \text{ Kgr}$ βρίσκονται σέ απόσταση μεταξύ των κέντρων τους $r = 1 \text{ m}$. Μέ πόση δύναμη έλκονται οι σφαίρες αυτές; ($K = 6,6 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Kgr}^2}$).

ΚΕΝΤΡΟΜΟΛΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Έχουμε αναφέρει προηγουμένως (βλ. 6η ενότητα) ότι η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που ασκούνται σ' ένα σώμα είναι ίση με μηδέν, όταν αυτό εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση ή ηρεμεί. Τώρα θα εξετάσουμε τη συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν σ' ένα σώμα, όταν αυτό εκτελεί κυκλική ομαλή κίνηση.

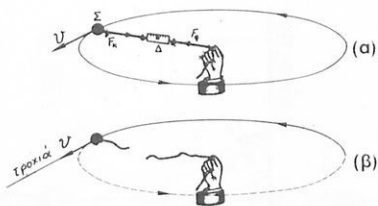
I. ΣΩΜΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΙ ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΜΑΛΗ ΚΙΝΗΣΗ

α. Πειραματική μελέτη. Στο ένα άκρο ενός νήματος δένουμε μία μικρή σφαίρα Σ. Παρεμβάλουμε στο νήμα ένα μικρό δυναμόμετρο Δ και με το χέρι μας, κρατώντας το άλλο άκρο του νήματος, περιστρέφουμε το σύστημα αυτό με σταθερή γωνιακή ταχύτητα σε οριζόντιο επίπεδο (Σχ.1α). Τότε η σφαίρα εκτελεί κυκλική ομαλή κίνηση. Παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια της κινήσεως το νήμα είναι τεντωμένο και το δυναμόμετρο δείχνει κάποια ένδειξη, δηλ. μετράει κάποια δύναμη. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι το τεντωμένο νήμα ασκεί στη σφαίρα μία δύναμη F_k .

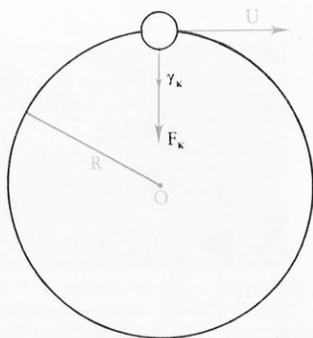
Αν θεωρήσουμε το βάρος της σφαίρας αμελητέο, τότε η F_k συμπίπτει με τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στη σφαίρα. Η συνισταμένη αυτή F_k , όπως φαίνεται στο Σχ. 1α, έχει διεύθυνση τη διεύθυνση της ακτίνας, έχει φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς και λέγεται κεντρομόλος δύναμη. Επομένως:

“Όταν ένα σώμα εκτελεί κυκλική ομαλή κίνηση, η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που ενεργούν σ' αυτό είναι η κεντρομόλος δύναμη. Η δύναμη αυτή έχει διεύθυνση τη διεύθυνση της ακτίνας και φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.

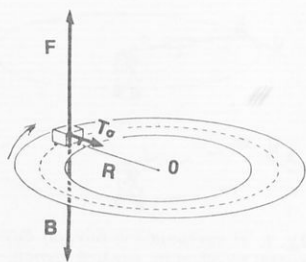
β. Θεωρητική μελέτη. Όταν ένα σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση, τότε έχει κεντρομόλο επιτάχυνση $\gamma_k = \frac{v^2}{R}$ (Σχ.2). Σύμφωνα όμως με το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής $F=mg$, κάθε επιτάχυνση οφείλεται σε κάποια δύναμη που έχει τη διεύθυνση και τη φορά της επιταχύνσεως. Επομένως, η συνισταμένη των δυνάμεων



Σχ. 1. Η κεντρομόλος δύναμη συγκρατεί το σώμα σε κυκλική κίνηση.



Σχ. 2.



Σχ. 3. Η στατική τριβή δημιουργεί την αναγκαία κεντρομόλο δύναμη.

πού ασκούνται στο σώμα αυτό έχει τη διεύθυνση της ακτίνας και φορά προς τό κέντρο Ο (όπως και η γ_k), δηλ. είναι η **κεντρομόλος δύναμη**.

Τό μέτρο της κεντρομόλου δυνάμεως βρίσκεται από την εξίσωση $F = m\gamma$, αν αντικαταστήσουμε τό γ μέ τό γ_k , όποτε προκύπτει:

$$F_k = m\gamma_k \Leftrightarrow F_k = m \frac{v^2}{R} \quad \eta$$

$$F_k = \frac{mv^2}{R}$$

γ. Δυναμική συνθήκη της κυκλικής όμαλης κινήσεως. Άν κατά την περιστροφή της σφαίρας Σ (Σχ. 1) κόψουμε τό νήμα, θά παρατηρήσουμε ότι ή σφαίρα δέ συνεχίζει την κυκλική όμαλή κίνηση, αλλά κινείται ευθύγραμμα κατά τη διεύθυνση της έφαπτομένης του κύκλου (Σχ.1β). Είναι φανερό ότι μόλις κοπεί τό νήμα, καταργείται και ή δύναμη πού ασκείται στη σφαίρα, δηλ. ή κεντρομόλος δύναμη: Άρα:

Γιά νά μπορεϊ ένα σώμα νά εκτελει κυκλική όμαλή κίνηση σε περιφέρεια ακτίνας R μέ ταχύτητα v , πρέπει νά ασκείται σ' αυτό κεντρομόλος δύναμη μέ μέτρο $F_k = \frac{mv^2}{R}$.

II. ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗ ΔΥΝΑΜΗ

Στό πείραμα του Σχ. 1α, τό τεντωμένο νήμα ασκεί στη σφαίρα την κεντρομόλο δύναμη $F_k = \frac{mv^2}{R}$. Σύμφωνα μέ τό αξίωμα δράσεως και αντίδράσεως, και ή σφαίρα ασκεί στο νήμα, έπομένως και στο χέρι μας, μία αντίθετη δύναμη F_ϕ .

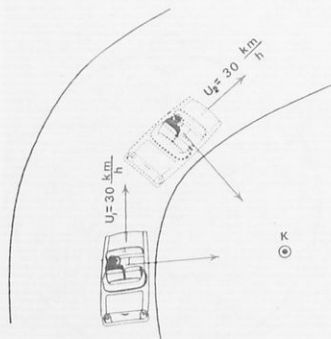
Ή δύναμη αυτή λέγεται **φυγόκεντρη** και έχει μέτρο:

$$F_\phi = \frac{mv^2}{R}$$

Άρα:

Ή φυγόκεντρη δύναμη είναι ή αντίδραση της κεντρομόλου δυνάμεως και ασκείται από τό σώμα πού κινείται κυκλικά στο σώμα (ή στα σώματα) πού ασκούν την κεντρομόλο δύναμη.

Παρατήρηση. Ή φυγόκεντρη δύναμη δέν ασκείται στο κυκλικά κινούμενο σώμα και γι' αυτό δέν επηρεάζει την κίνησή του.



Σχ. 4.

III. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΟΜΟΛΟΥ ΔΥΝΑΜΕΩΣ

α. Για νά κινηθεί ένα αυτοκίνητο σέ μία στροφή ακτίνας R μέ ταχύτητα u , πρέπει νά άσκειται σ' αυτό μία κεντρομόλος δύναμη μέ μέτρο $F_k = \frac{mu^2}{R}$. "Όταν ή στροφή είναι **οριζόντια** (Σχ. 3) ή κεντρομόλος δύναμη είναι ή στατική τριβή T_o . "Άρα,

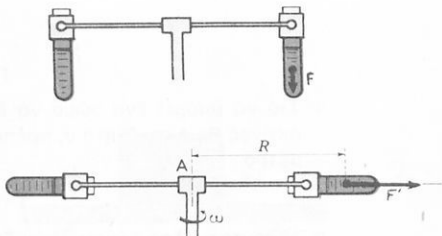
$$T_o = F_k = \frac{mu^2}{R} \quad (1)$$

"Επειδή ή T_o είναι συνήθως μικρή στους λείους δρόμους, (ένω είναι μεγαλύτερη στους τραχείς) γιά νά ισχύει ή (1) πρέπει καί ή ταχύτητα u νά είναι μικρή, όποτε τό αυτοκίνητο κινείται στή στροφή χωρίς νά έκτρέπεται από τήν κυκλική πορεία του. "Όταν όμως ή ταχύτητα u είναι μεγάλη ή ό δρόμος είναι βρεγμένος, δέν ικανοποιείται ή σχέση (1) ($T_o < \frac{mu^2}{R}$), όποτε τό αυτοκίνητο δέν μπορεί νά διαγράψει τή συγκεκριμένη στροφή καί έκτρέπεται από τήν πορεία του (πέφτει έξω).

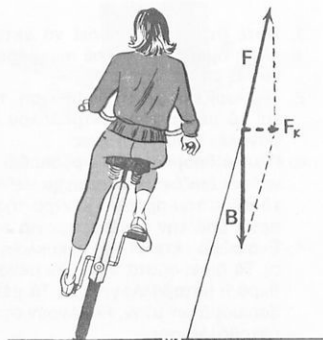
Δίνοντας μία μικρή κλίση στό κατάστρωμα του δρόμου πρός τό κέντρο τής τροχιάς, διευκολύνουμε τά αυτοκίνητα νά κινούνται στή στροφή μέ περισσότερη ασφάλεια.

β. "Ο έπιβάτης του αυτοκινήτου πού κινείται σέ μία στροφή χρειάζεται κατάλληλη κεντρομόλο δύναμη, γιά νά διαγράψει τή στροφή (Σχ.4). "Η κεντρομόλος αυτή δύναμη προέρχεται από τό κάθισμα καί τό πλευρικό τοίχωμα του αυτοκινήτου. "Αν όμως ξαφνικά ανοίξει ή πόρτα του αυτοκινήτου, ή δύναμη του τοιχώματος καταργείται. Τότε ή δύναμη από τό κάθισμα δέν έπαρκει νά διατηρήσει τόν έπιβάτη στήν κυκλική του τροχιά ($F < \frac{mu^2}{R}$), μέ αποτέλεσμα αυτός νά πέφτει έξω από τό αυτοκίνητο.

γ. **Άρχή του φυγοκεντρικού διαχωριστήρα.** (Σχ.5). Οί δοκιμαστικοί σωλήνες περιέχουν αιώρημα κιμωλίας σέ νερό. "Όταν τό σύστημα περιστραφεί γύρω από τόν κεντρικό του άξονα, ή σκόνη τής κιμωλίας μαζεύεται στόν πυθμένα των σωλήνων, δηλ. διαχωρίζεται από τό νερό. Μέ ανάλογο τρόπο χωρίζεται τό βούτυρο από τό γάλα καί τό νερό από τά πλυμένα ρούχα μέσα στό πλυντήριο (σύψιμο ρούχων).



Σχ. 5.Μέ τήν περιστροφή αύξάνεται φαινομενικά τό βάρος των κόκκων του αιώρηματος



Σχ. 6. "Ο ποδηλάτης γιά νά διαγράψει οριζόντια στροφή, κλίνει τό ποδήλατο καί τό σώμα του πρός τό κέντρο τής. "Ετσι οί δυνάμεις B καί F δίνουν ώς συνισταμένη τήν κεντρομόλο F_k .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Για να μπορεί ένα σώμα να εκτελεί κυκλική όμαλή κίνηση σε περιφέρεια ακτίνας R με ταχύτητα u , πρέπει να ασκείται σ' αυτό κεντρομόλος δύναμη μέτρο

$$F_k = \frac{mu^2}{R}$$

2. Η κεντρομόλος δύναμη έχει διεύθυνση τη διεύθυνση της ακτίνας και φορά προς το κέντρο της κυκλικής τροχιάς.
3. Η φυγόκεντρη δύναμη είναι η αντίδραση στην κεντρομόλο δύναμη.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πότε ένα σώμα μπορεί να εκτελεί κυκλική όμαλή κίνηση σε περιφέρεια ακτίνας R με ταχύτητα u ;
2. Τι γνωρίζετε για τη διεύθυνση, τη φορά και το μέτρο της κεντρομόλου και της φυγόκεντρου δυνάμεως;
3. Γιατί ο δρομέας που προσπαθεί να διαγράψει οριζόντια στροφή χωρίς να κλίνει το σώμα του προς το κέντρο της έκτρέπεται από την κυκλική τροχιά του;
4. Ένα σώμα εκτελεί όμαλή κυκλική κίνηση.
α) Τα διανύσματα u , γ_k , F_k μένουν σταθερά ή μεταβάλλονται; β) Τα μέτρα των διανυσμάτων u , γ_k , F_k μένουν σταθερά ή μεταβάλλονται;
5. α) Ποιά δύναμη διατηρεί το αυτοκίνητό μας σε κυκλική τροχιά όταν το κατάστρωμα του δρόμου είναι οριζόντιο; β) Γιατί δεν μπορούμε να παίρνουμε στροφές με ταχύτητες μεγαλύτερες από κάποιο όριο;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- *1. Ένα σώμα μάζας 2kg κάνει όμαλή κυκλική κίνηση σε περιφέρεια ακτίνας $0,5\text{m}$ με ταχύτητα 3m/sec . Πόση είναι η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται σ' αυτό;
2. Ένα σώμα μάζας 5kg κάνει όμαλή κυκλική κίνηση σε περιφέρεια ακτίνας 1m με γωνιακή ταχύτητα 2rad/sec . Πόση είναι η γραμμική ταχύτητα u του σώματος και πόση είναι η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται σ' αυτό;

ΟΡΜΗ – ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

I. ΟΡΜΗ

α. "Εννοια της όρμης. Τοποθετούμε ένα βαρύ σώμα Σ πάνω σε μία λεπτή σανίδα, όπως φαίνεται στο Σχ. 1α, και παρατηρούμε ότι η σανίδα κάμπτεται λίγο, αλλά δε σπάζει. "Υστερα παίρνουμε το ίδιο σώμα Σ και το **άφήνουμε να πέσει** πάνω στη σανίδα από κατάλληλο ύψος. Παρατηρούμε τώρα ότι η σανίδα σπάζει (Σχ. 1β).

Από το πείραμα αυτό διαπιστώνουμε ότι κάθε σώμα έχει άλλη συμπεριφορά, όταν κινείται και άλλη συμπεριφορά, όταν είναι ακίνητο. Η διαπίστωση αυτή μας αναγκάζει να εισάγουμε ένα νέο μέγεθος, την **όρμη**, που χαρακτηρίζει τα κινούμενα σώματα και ορίζεται ως εξής:

Όρμη J ενός σώματος, που έχει μάζα m και κινείται με ταχύτητα u, λέγεται το φυσικό μέγεθος που εκφράζεται με το γινόμενο της μάζας του σώματος επί την ταχύτητά του.

$$\text{όρμη} = \text{μάζα} \times \text{ταχύτητα}$$

$$J = m \cdot u$$

Η όρμη είναι διανυσματικό μέγεθος και έχει την ίδια διεύθυνση και την ίδια φορά με την ταχύτητα (Σχ. 2).

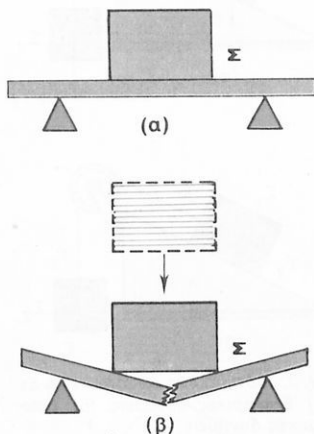
β. **Μονάδες της όρμης.** Στο Διεθνές Σύστημα μονάδα όρμης είναι το $1\text{Kgr} \cdot \text{m}/\text{sec}$, που προκύπτει από τη σχέση $J = m \cdot u$, αν $m = 1\text{Kgr}$ και $u = 1\text{m}/\text{sec}$.

Στο CGS μονάδα όρμης είναι το $1\text{gr} \cdot \text{cm}/\text{sec}$.

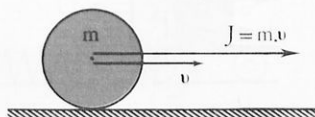
II. ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

α. **Σύστημα σωμάτων.** Πολλά σώματα μαζί που έχουν την ίδια κινητική κατάσταση και τα ξεετάζουμε σαν ένα σώμα, αποτελούν ένα **σύστημα σωμάτων**.

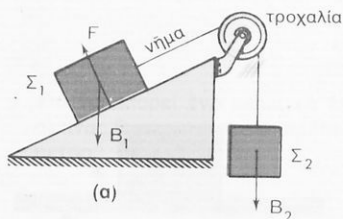
Τά σώματα Σ₁, Σ₂ και τό νήμα που τά συνδέει (Σχ. 3α ή 3β) αποτελούν ένα σύστημα σωμάτων, όταν τά ξεετάζουμε όλα μαζί σαν ένα σώμα. Στο παράδειγμα αυτό, τό κεκλιμένο επίπεδο ή τροχαλία και ή Γη δέν ανήκουν στο σύστημα που ξεετάζουμε.



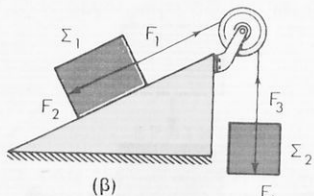
Σχ. 1. Τό σώμα Σ άσκει μεγαλύτερη δύναμη στη δεύτερη περίπτωση.



Σχ. 2.



(α)



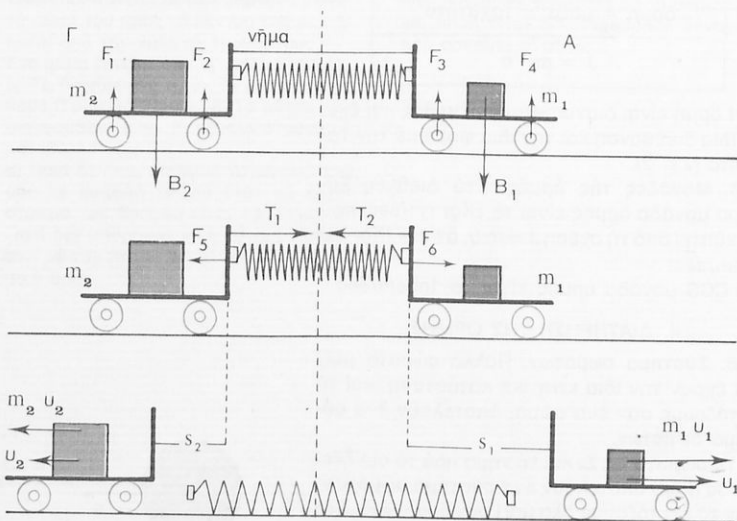
(β)

Σχ. 3. Σύστημα δύο σωμάτων Σ_1 & Σ_2
(α) Έξωτερικές δυνάμεις. (β) Έσω-
τερικές δυνάμεις.

Έξωτερικές δυνάμεις ενός συστήματος είναι οι δυνάμεις που ασκούνται στα σώματα του συστήματος από άλλα σώματα που **δεν ανήκουν** σ' αυτό. Τέτοιες δυνάμεις είναι τα βάρη B_1 , B_2 των Σ_1 , Σ_2 (ασκούνται από τη Γῆ) και ή F (άσκειται από το κεκλιμένο επίπεδο στο Σ_1) (Σχ. 3α).

Έσωτερικές δυνάμεις ενός συστήματος είναι οι δυνάμεις που ασκούνται σέ ένα σώμα του συστήματος από άλλο σώμα του ίδιου συστήματος. Τέτοιες δυνάμεις είναι (Σχ. 3β) ή F_1 (άσκειται στο Σ_1 από τό νήμα), ή F_2 (άσκειται στο νήμα από τό Σ_1), ή F_3 (άσκειται στο Σ_2 από τό νήμα) καί ή F_4 (άσκειται στο νήμα από τό Σ_2). Οι έσωτερικές δυνάμεις αποτελούν ζεύγη δράσεως-αντιδράσεως ($F_1 = F_2$, $F_3 = F_4$), όποτε έξουδετώνονται άμοιβαία καί **δέν επηρεάζουν** τήν **κινητική κατάσταση** του συστήματος.

β. Θεώρημα διατηρήσεως τής όρμης. Τά βαγόνια Α καί Γ που φαίνονται στο Σχ. 4 είναι δεμένα μέ ένα νήμα, έχουν ανάμεσά τους ένα συμπιεσμένο έλατήριο καί μπορούν νά κινούνται σέ σιδηροδελιούς (σιδηροτροχιές) μέ άμε-



Σχ. 4. Η όρμη του συστήματος παρα-
μένει μηδέν.

λητέα τριβή. Τό Γ έχει μάζα (m_2) διπλάσια από
τή μάζα (m_1) του Α ($m_2 = 2m_1$).

Αρχικά το σύστημα των σωμάτων αυτών ηρεμεί, οπότε η ολική όρμη του συστήματος είναι μηδέν ($J_{ολ} = 0$).

Αν κόψουμε το νήμα, οι δυνάμεις T_1 και T_2 καταργούνται και τα βαγόνια αρχίζουν να κινούνται κατά αντίθετη φορά με τη στιγμιαία επίδραση των δυνάμεων F_5 και F_6 που δέχονται από το ελατήριο. Παρατηρούμε ότι τα βαγόνια Α και Β σε όρισμένο χρόνο διανύουν αντιστοίχως τα διαστήματα s_1 και s_2 και ότι $s_1 = 2s_2$.

Επειδή η κίνησή τους είναι ευθύγραμμη ομαλή, οι ταχύτητές τους u_1 και u_2 βρίσκονται από τους τύπους:

$$u_1 = \frac{s_1}{t} \text{ και } u_2 = \frac{s_2}{t}.$$

Η όρμη του Α είναι $J_1 = m_1 u_1$ και η όρμη του Β είναι $J_2 = m_2 u_2$.

Η ολική όρμη του συστήματος των δύο βαγονιών είναι:

$$J'_{ολ} = J_1 - J_2 \Leftrightarrow J'_{ολ} = m_1 u_1 - m_2 u_2 \Leftrightarrow$$

$$J'_{ολ} = m_1 \frac{s_1}{t} - m_2 \frac{s_2}{t} \Leftrightarrow$$

$$J'_{ολ} = \frac{m_1 s_1}{t} - \frac{2m_1 \frac{s_1}{2}}{t} \text{ (γιατί } m_2 = 2m_1 \text{)}$$

$$\text{και } s_1 = 2s_2 \Leftrightarrow J'_{ολ} = 0$$

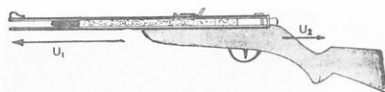
Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι η ολική όρμη του συστήματος είναι πάλι μηδέν, δηλ. **δέν άλλαξε**.

Η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων (B_1, B_2, F_1, F_2, F_3 και F_4) του συστήματος είναι ίση με μηδέν γιατί το σύστημα ισορροπεί κατά τον κατακόρυφο άξονα.

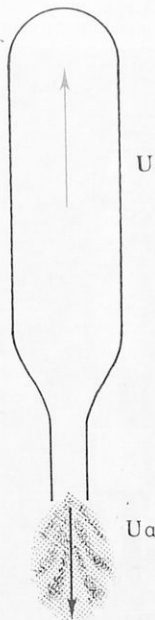
Από όλα αυτά προκύπτει το παρακάτω θεώρημα διατηρήσεως της όρμης:

Η ολική όρμη ενός συστήματος σωμάτων παραμένει σταθερή (κατά διεύθυνση, φορά και μέτρο), όταν η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων του συστήματος είναι ίση με μηδέν.

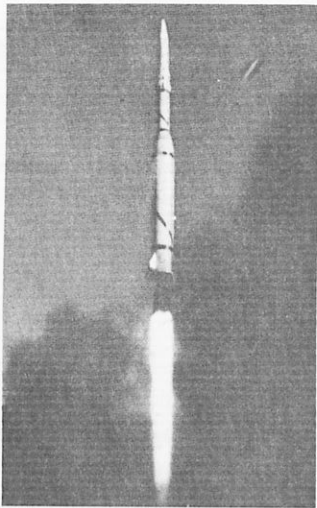
γ. Εφαρμογές. 1. **Ανάκρουση του όπλου.** Τη στιγμή που φεύγει το βλήμα από το όπλο (Σχ. 5) παρατηρούμε ότι το όπλο οπισθοδρομεί (κλωτσάει). Το φαινόμενο αυτό λέγεται ανάκρουση και εξηγείται ως εξής: Το σύστημα



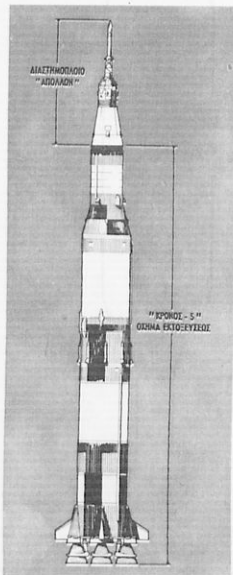
Σχ. 5. Ανάκρουση του όπλου.



Σχ. 6. Αρχή του πυραύλου.



Σχ. 7. Πύραυλος.



Σχ. 8. Ο πύραυλος που μετέφερε τους Άμερικανούς στη Σελήνη.

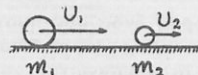
«βλήμα-όπλο» πρέπει να έχει πάντοτε την ίδια όρμη, αυτή που είχε και στην αρχή, δηλ. $J_{ολ}=0$. Κατά την έκπυρσοκρότηση το βλήμα αποκτά όρμη προς τα εμπρός. Για να συνεχίσει το σύστημα να έχει όρμη $J_{ολ}=0$, πρέπει το όπλο να αποκτήσει **αντίθετη** προς το βλήμα όρμη, δηλ. πρέπει να κινηθεί προς τα πίσω.

2. Αρχή του πυραύλου. Φουσκώνουμε ένα στενόμακρο μπαλόνι, αφού πρώτα τοποθετήσουμε στο στόμιό του ένα στενό σωληνάκι. Όταν το αφήσουμε ελεύθερο με το ανοικτό στόμιο προς τα κάτω (Σχ. 6), θα παρατηρήσουμε ότι ανεβαίνει ψηλά, ενώ σιγά-σιγά ξεφουσκώνει.

Έρμηνεία. Τό μπαλόνι και ο αέρας που περιέχεται σ' αυτό έχουν αρχικά, δηλ. πριν αρχίσει η έκροή του αέρα, όρμη $J_{ολ} = 0$. Όταν ο αέρας βγαίνει από το στενό στόμιο, αποκτά όρμη κατακόρυφη προς τα κάτω. Για να συνεχίσει το σύστημα να έχει όρμη $J_{ολ} = 0$, πρέπει το μπαλόνι να αποκτήσει **αντίθετη** με τον εξερχόμενο αέρα όρμη, δηλ. πρέπει να κινηθεί προς τα πάνω. Κατά τον ίδιο τρόπο εξηγούνται η κίνηση του **πυραύλου** (Σχ. 7) και η προώθηση των **αεριοθουμένων αεροπλάνων (Jet)**, όταν εκτοξεύονται προς τα πίσω με μεγάλη ταχύτητα τα καυσάερια.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- Οι σφαίρες του σχήματος έχουν μάζες $m_1 = 4\text{kg}$ και $m_2 = 2\text{kg}$ και κινούνται με ταχύτητες $u_1 = 2\text{m/sec}$ και $u_2 = 1\text{m/sec}$. Νά βρείτε την όρμη του συστήματός τους (τό μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά) κατά τη χρονική στιγμή που δείχνει το σχήμα.



- Η όρμη ενός σώματος που κινείται με ταχύτητα $u = 5\text{m/sec}$ είναι $30\text{kg}\cdot\text{m/sec}$. Πόση είναι η μάζα του σώματος;
- Τό όπλο του Σχ. 5 έχει μάζα 5kg και τό βλήμα που φεύγει απ' αυτό έχει μάζα $0,01\text{kg}$. Αν η ταχύτητα του βλήματος είναι 900m/sec , πόση θά είναι η ταχύτητα ανακρούσεως του όπλου;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ἡ ὁρμή ενός σώματος ὀρίζεται ἀπὸ τὴ σχέση $J = m \cdot u$. Ἡ ὁρμή ἔχει τὴν ἴδια διεύθυνση καὶ τὴν ἴδια φορά μὲ τὴν ταχύτητα.
2. Δύο ἢ περισσότερα σώματα, πού ἔχουν τὴν ἴδια κινητικὴ κατάσταση καὶ πού τὰ ἐξετάζουμε μαζί σάν ἓνα σῶμα, ἀποτελοῦν σύστημα σωμάτων.
Σὲ κάθε σύστημα σωμάτων διακρίνουμε ἐξωτερικὲς καὶ ἐσωτερικὲς δυνάμεις.
3. Ἡ ὁλική ὁρμή ενός συστήματος σωμάτων παραμένει σταθερή, ὅταν ἡ συνισταμένη τῶν ἐξωτερικῶν δυνάμεων τοῦ συστήματος εἶναι ἴση μὲ μηδέν.
4. Μὲ τὸ θεώρημα διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς μποροῦμε νὰ ἐρμηνεύσουμε τὴν ἀνάκρουση τῶν ὅπλων, τὴν προώθηση τῶν πυραύλων καὶ τῶν ἀεριοθουμένων ἀεροπλάνων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

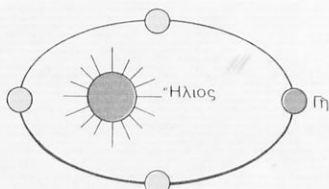
1. α. Πότε ἓνα σῶμα ἔχει ὁρμή;
β. Τί γνωρίζετε γιὰ τὸ μέτρο, τὴ διεύθυνση καὶ τὴ φορά τῆς ὁρμῆς ενός σώματος;
2. Νὰ διατυπώσετε τὸ θεώρημα διατηρήσεως τῆς ὁρμῆς.
3. Δύο σώματα ἔχουν τὴν ἴδια μάζα καὶ τὴν ἴδια κινητικὴ ἐνέργεια ($E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m \cdot u^2$). Οἱ ὁρμές τῶν σωμάτων αὐτῶν εἶναι ἴσες ἢ ἀνίσες;
4. Ὅταν ὁ ἄνθρωπος, πού φαίνεται στὸ διπλανό σχῆμα, πηδῇ πρὸς τὴν ἀποβάθρα, ἡ βάρκα ὀπισθοχωρεῖ. Νὰ ἐξηγήσετε τὸ φαινόμενο αὐτό.
5. Ὅταν ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων πού ἀσκοῦνται σὲ ἓνα σῶμα εἶναι ἴση μὲ τὸ μηδέν, ἡ ὁρμή τοῦ σώματος εἶναι:
α) μηδέν; β) διάφορη ἀπὸ τὸ μηδέν καὶ σταθερή; γ) διάφορη ἀπὸ τὸ μηδέν καὶ μεταβλητή;



10η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ – ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

I. ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ



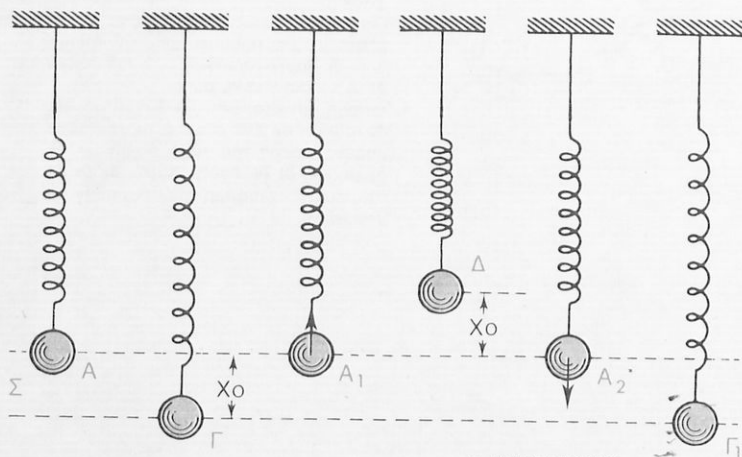
Σχ. 1. Περιοδική κίνηση

Ἡ κίνηση τῆς Γῆς γύρω ἀπὸ τὸν ἥλιο (Σχ. 1) ὁλοκληρώνεται περίπου σὲ 365 ἡμέρες καὶ ὕστερα ἐπαναλαμβάνεται συνεχῶς κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο καὶ στὸν ἴδιο ἀκριβῶς χρόνο. Μία τέτοια κίνηση λέγεται **περιοδική κίνηση** ἢ γενικότερα **περιοδικό φαινόμενο**.

Τὸ «φλάς» τοῦ αὐτοκινήτου ἀνάβει καὶ σβήνει σὲ ὀρισμένα χρονικά διαστήματα (μὲ κάποιο ρυθμό). Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ μὲ τὸ φῶς ἐνὸς φάρου. Ἡ ἐκπομπή αὐτὴ τοῦ φωτός, ποὺ διακόπτεται μὲ ὀρισμένο ρυθμό, εἶναι ἐπίσης ἓνα **περιοδικό φαινόμενο**. Ἄρα:

Ἐνα φαινόμενο λέγεται περιοδικό, ὅταν ἐπαναλαμβάνεται τὸ ἴδιο σὲ ἴσα χρονικά διαστήματα.

Στὰ περιοδικὰ φαινόμενα ἀνήκουν καὶ οἱ ταλαντώσεις.



II. ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

Σχ. 2. Τὸ σῶμα Σ ἰσορροπεῖ ἀρχικὰ στὴ θέση Α.

α. Ἐννοια τῆς ταλαντώσεως. Ἄν μὲ τὸ χέρι μας τραβήξουμε τὸ σῶμα Σ πρὸς τὰ κάτω (Σχ. 2),

τό ελατήριο επιμηκύνεται και το σώμα έρχεται στη θέση Γ. Όταν τώρα το αφήσουμε ελεύθερο, θα παρατηρήσουμε ότι κινείται προς τα πάνω, φθάνει στην αρχική θέση ισορροπίας του (θέση Α₁), κατόπιν έρχεται στη θέση Δ (συμμετρική της Γ ως προς την Α₁) και μετά κατεβαίνει, για να φθάσει τελικά στη θέση Γ₁ περνώντας από τη θέση Α₂. Στη συνέχεια, το σώμα επαναλαμβάνει την ίδια παλινδρομική κίνηση μεταξύ των άκραιων θέσεων Γ, Δ. Η κίνηση αυτή λέγεται **ταλάντωση**.

Στά Σχ. 3 και 4 βλέπουμε διάφορα σώματα που κάνουν ταλάντωση.

β. Χαρακτηριστικά μεγέθη μιάς ταλαντώσεως. Το σώμα που φαίνεται στο Σχ. 5 εκτελεί ταλάντωση περί τη θέση ισορροπίας του Ο και μεταξύ των άκραιων θέσεων Α και Γ.

Η απόσταση μιάς τυχαίας θέσεως Δ του σώματος από τη θέση ισορροπίας του Ο λέγεται **απομάκρυνση x**.

Η μέγιστη απομάκρυνση (ΟΓ) ή (ΟΑ) του σώματος από τη θέση ισορροπίας του Ο λέγεται **πλάτος x₀** της ταλαντώσεως.

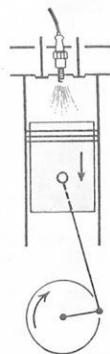
Η κίνηση του σώματος από το σημείο Α στο σημείο Γ και η επιστροφή του από το Γ στο Α λέγεται **μία ταλάντωση**. Μία ταλάντωση είναι και η κίνηση του σώματος από το σημείο Ο στο σημείο Γ, στη συνέχεια από το Γ στο Α και από το Α πάλι στο Ο.

Ο χρόνος που χρειάζεται το σώμα για να εκτελέσει **μία ταλάντωση** λέγεται **περίοδος Τ** της ταλαντώσεως.

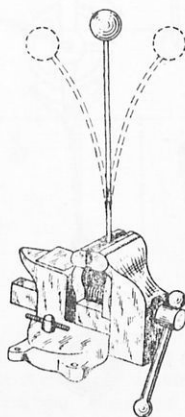
Αν το σώμα εκτελεί Ν ταλαντώσεις σε χρόνο t, το πηλίκο $\frac{N}{t}$, εκφράζει τη συχνότητα ν της ταλαντώσεως.

$v = \frac{N}{t}$	$v = \frac{1}{T}$
-------------------	-------------------

γ. Άμειωτη και φθίνουσα ταλάντωση. Μία ταλάντωση λέγεται **άμειωτη**, όταν το πλάτος της x₀ παραμένει σταθερό. Μία ταλάντωση λέγεται **φθίνουσα**, όταν το πλάτος της ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η ελάττωση του πλάτους οφείλεται σε διάφορες τριβές και αντιστάσεις, που καταναλώνουν τη μηχανική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε άχρηστη για την ταλάντωση θερμότητα. Κατά κανόνα, λοιπόν, οι ταλαντώσεις είναι φθίνουσες.

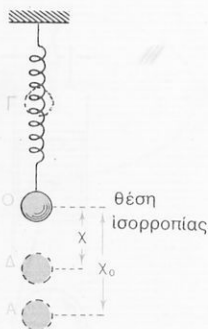


Σχ. 3. Το έμβολο της μηχανής εκτελεί ταλάντωση μέσα στον κύλινδρο.

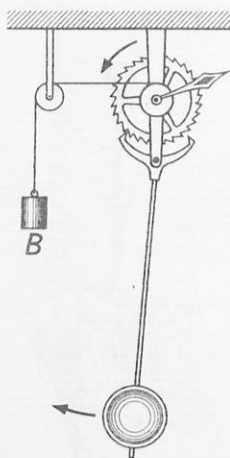


Σχ. 4. Ταλάντωση σφαίρας στο άκρο ελασματος.





Σχ. 5.



Σχ. 6. Τό έκκρεμές ενός ρολογιού του τοίχου εκτελεί άμείωτες ταλαντώσεις.

Γιά νά εκτελεῖ ἓνα σῶμα άμείωτη ταλάντωση πρέπει περιοδικά νά τοῦ δίνουμε τήν κατάλληλη ποσότητα ἐνέργειας, ὅση δηλ. χάνει ἀπό τίς τριβές καί τίς ἀντιστάσεις. Τό έκκρεμές ἑνός ρολογιοῦ τοῦ τοίχου (Σχ. 6) κάνει άμείωτη ταλάντωση, γιατί μέ τή βοήθεια εἰδικοῦ μηχανισμοῦ ἀναπληρώνει τήν ἐνέργεια πού χάνει παίρνοντας ἐνέργεια ἀπό ἓνα ἐλατήριο ἢ ἀπό ἓνα σῶμα πού κατεβαίνει.

III. ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΚΑΙ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

α. Ἐλεῦθερη ταλάντωση. Ὄταν ἀπομακρύνουμε τό σῶμα Σ ἀπό τή θέση ισορροπίας του (Σχ. 2), τό παλλόμενο σύστημα «σῶμα-ἐλατήριο» ἀποκτᾷ πρόσθετη δυναμική ἐνέργεια. Χάρη στήν ἐνέργεια αὐτή τό σύστημα εκτελεῖ ταλάντωση, ὅταν τό ἀφήσουμε ἐλεῦθερο. Ἡ ταλάντωση πού εκτελεῖ ἓνα σύστημα, ὅταν δώσουμε σ' αὐτό ἐνέργεια μία μόνο φορά καί ὕστερα τό ἀφήσουμε ἐλεῦθερο, λέγεται ἐλεῦθερη ταλάντωση.

Ἡ συχνότητα τῆς ἐλεῦθερης ταλαντώσεως ἑνός συστήματος ἐξαρτᾶται μόνο ἀπό τήν κατασκευή του* (π.χ. στό παράδειγμα τοῦ Σχ. 2 ἡ συχνότητα ἐξαρτᾶται ἀπό τή μάζα τοῦ σώματος καί τό ἐλατήριο) καί λέγεται ἰδιοσυχνότητα.

β. Ἐξαναγκασμένη ταλάντωση. Δένουμε μία σφαῖρα στό ἓνα ἄκρο ἑνός ἐλατηρίου καί κρατᾶμε τό ἄλλο ἄκρο του μέ τό χέρι μας, ὅπως φαίνεται στό Σχ. 7. Κινούμε τό χέρι μας περιοδικά (πάνω κάτω) σέ κατακόρυφη τροχιά μέ συχνότητα ν καί παρατηροῦμε ὅτι ἡ σφαῖρα εκτελεῖ ταλάντωση μέ τήν ἴδια συχνότητα ν. Ἡ ταλάντωση αὐτή τῆς σφαίρας ὀφείλεται στήν ἐξωτερική δύναμη πού ἀσκεῖται περιοδικά στή σφαῖρα ἀπό τό χέρι μας καί λέγεται ἐξαναγκασμένη ταλάντωση.

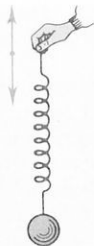
Στήν περίπτωση αὐτή τό χέρι μας λέγεται διεγέρτης. Ἀρα:

Ἐνα σύστημα εκτελεῖ ἐξαναγκασμένη ταλάντωση, ὅταν ἐπιδρᾷ σ' αὐτό περιοδικά μία

* καί εἶναι σταθερή, εἴτε εἶναι φθίνουσα εἴτε άμείωτη.

έξωτερική δύναμη (διεγέρτης) με συχνότητα ν .

Ένα σύστημα, όταν εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση, δεν κινείται με την ιδιοσυχνότητά του ν_0 , αλλά κινείται με τη συχνότητα ν του διεγέρτη.



Σχ. 7. Έξαναγκασμένη ταλάντωση.

IV. ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

α. **Έννοια συντονισμού.** Όταν στο προηγούμενο πείραμα (Σχ. 7) μεταβάλλουμε τη συχνότητα του χεριού μας (του διεγέρτη), παρατηρούμε ότι μεταβάλλεται και το πλάτος της ταλαντώσεως. Στην περίπτωση που η συχνότητα του χεριού μας γίνει ακριβώς ίση με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος, το πλάτος της ταλαντώσεως γίνεται μέγιστο. Θα λέμε τότε ότι το παλλόμενο σύστημα βρίσκεται σε **συντονισμό** με τις περιοδικές ώθήσεις του χεριού μας (μέ το διεγέρτη). Έπομένως:

1. Η συνθήκη του συντονισμού είναι:

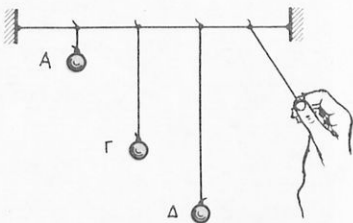
συχνότητα διεγέρτη = ιδιοσυχνότητα παλλόμενου συστήματος ή $\nu = \nu_0$

2. Κατά το συντονισμό το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλαντώσεως γίνεται μέγιστο.

Μπορούμε να πετύχουμε συντονισμό και με την πειραματική διάταξη που φαίνεται στο Σχ.8.

β. **Συνέπειες και εφαρμογές του συντονισμού.** 1. Πολλές φορές ένα μέρος του άμαξώματος του αυτοκινήτου (π.χ. τὰ τζάμια) συντονίζεται με τον κινητήρα του, όποτε το μέρος αυτό ταλαντώνεται με μεγάλο πλάτος και παράγεται ένας ισχυρός και ενοχλητικός ήχος (τρίζουν τὰ τζάμια). Άνάλογο φαινόμενο συμβαίνει όταν ένα άεροπλάνο πετάει πολύ χαμηλά, όποτε τρίζουν τὰ τζάμια των σπιτιών της περιοχής που συντονίζονται.

2. Όταν τὰ τμήματα του στρατού περνούν μία γέφυρα, οί στρατιώτες βαδίζουν ελεύθερα (χωρίς ρυθμό ή «βήμα»), γιατί όταν βαδίζουν ρυθμικά μπορεί νά συντονισθεί ή γέφυρα με κίνδυνο νά καταρρεύσει.



Σχ. 8. Με τό χέρι μας έλκουμε περιοδικά τό νήμα, όποτε τὰ έκκρεμή Α, Γ, και Δ έκτελουν εξαναγκασμένες ταλαντώσεις. Μπορούμε διαδοχικά νά πετύχουμε συντονισμό του χεριού μας με τὰ έκκρεμή Α, Γ ή Δ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Περιοδικό φαινόμενο είναι τό φαινόμενο πού επαναλαμβάνεται τό ίδιο σέ ίσα χρονικά διαστήματα.
2. Ταλάντωση είναι ή περιοδική κίνηση πού κάνει ένα σώμα, όταν κινείται μεταξύ δύο άκραιών θέσεων τής τροχιάς του.
3. Σέ κάθε ταλάντωση διακρίνουμε τήν απόμάκρυνση, τό πλάτος, τήν περίοδο καί τή συχνότητα.
4. Μία ταλάντωση είναι άμείωτη όταν τό πλάτος της παραμένει σταθερό, καί φθίνουσα όταν τό πλάτος της ελαττώνεται.
5. Έλεύθερη ταλάντωση λέγεται ή ταλάντωση πού έκτελεϊ ένα σύστημα, όταν τό διεγείρουμε μία μόνο φορά καί τό αφήσουμε έλεύθερο νά ταλαντωθεί μέ τήν ιδιοσυχνότητά του.
6. Έξαναγκασμένη ταλάντωση λέγεται ή ταλάντωση πού έκτελεϊ ένα σύστημα, όταν επιδρά σ' αυτό περιοδικά μία έξωτερική δύναμη (διεγέρτης).
7. Τό σύστημα καί ό διεγέρτης βρίσκονται σέ συντονισμό όταν ισχύει ή σχέση: συχνότητα διεγέρτη = ιδιοσυχνότητα παλλόμενου συστήματος. Κατά τό συντονισμό τό πλάτος τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως γίνεται μέγιστο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

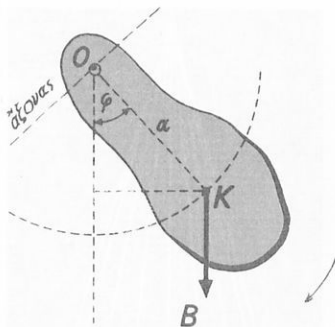
1. Πότε ένα παλλόμενο σύστημα έκτελεϊ έλεύθερη ταλάντωση καί πότε έξαναγκασμένη;
2. Σέ ποίο είδος ταλαντώσεως παρατηρείται τό φαινόμενο τοῦ συντονισμού; Πότε στήν ταλάντωση αυτή θά έχουμε συντονισμό καί ποίο είναι τό αποτέλεσμα του;
3. Τί είδους ενέργεια έχει τό σώμα πού ταλαντώνεται στό Σχ. 5 α) όταν περνάει από τίς άκραίες θέσεις Α καί Γ; β) όταν περνάει από τή θέση ισορροπίας του Ο; γ) όταν περνάει από τυχαία θέση Δ;
4. Σέ ποιές θέσεις τής τροχιάς του τό ταλαντούμενο σώμα τοῦ Σχ. 5 έχει τή μέγιστη δυναμική ενέργεια καί σέ ποιές θέσεις έχει τή μέγιστη κινητική ενέργεια;

ΕΚΚΡΕΜΕΣ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

I. ΦΥΣΙΚΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

Τό στερεό σώμα (μία μεταλλική πλάκα) που φαίνεται στο Σχ. 1, μπορεί να στρέφεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα O , που δεν περνάει από το κέντρο βάρους του K , και να ταλαντώνεται περί τη θέση ισορροπίας του. Ένα τέτοιο σώμα λέγεται **φυσικό εκκρεμές**. Τό κινητό στέλεχος του μετρονόμου (Σχ. 2) είναι επίσης ένα φυσικό εκκρεμές.

Η ταλάντωση του φυσικού εκκρεμούς οφείλεται στη **ροπή** του βάρους του B ως προς τον άξονα περιστροφής O (Σχ. 1).



Σχ. 1. Φυσικό εκκρεμές.

II. ΑΠΛΟ ή ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΕΚΚΡΕΜΕΣ

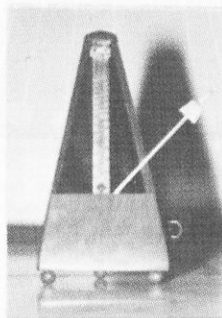
α. Περιγραφή και μελέτη της κινήσεως του απλού εκκρεμούς. Τό απλό εκκρεμές αποτελείται από μία μικρή **σφαίρα** που είναι κρεμασμένη από ένα σταθερό σημείο O (Σχ. 3) με ένα ελαφρό και μη έκτατο νήμα. Αν απομακρύνουμε τό απλό εκκρεμές από τη θέση ισορροπίας του OA κατά μικρή γωνία φ και μετά τό αφήσουμε ελεύθερο, θά παρατηρήσουμε ότι εκτελεί **ελεύθερη ταλάντωση** μεταξύ των άκραιων θέσεων OG , OD , που είναι περίπου συμμετρικές της θέσεως ισορροπίας του OA .

Η ταλάντωση του απλού εκκρεμούς εξηγείται ως εξής:

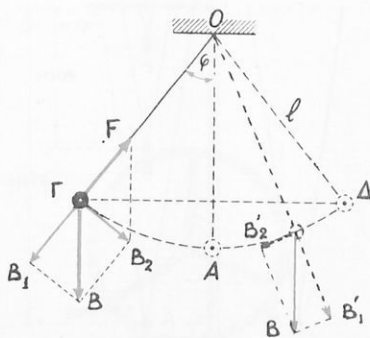
Επάνω στη σφαίρα, όταν την αφήσουμε ελεύθερη στη θέση Γ , ασκούνται δύο δυνάμεις, ή δύναμη F από τό νήμα και τό βάρος της B από τη $\Gamma\eta$. Η δύναμη B αναλύεται στίς **συνιστώσες** B_1 (κατά τη διεύθυνση του νήματος) και B_2 (κατά διεύθυνση κάθετη στό νήμα). Η σφαίρα αρχίζει νά κινείται πρός τό A μέ την επίδραση της συνιστώσας B_2 . Όταν τό εκκρεμές φθάσει στη θέση ισορροπίας του OA , ή B_2 μηδενίζεται, ή σφαίρα όμως συνεχίζει νά κινείται λόγω αδράνειας.

Όταν ή σφαίρα ανεβαίνει πρός τό Δ , ή συνιστώσα B_2 αλλάζει φορά (γίνεται B'_2), όποτε ή ταχύτητα u ελαττώνεται και μηδενίζεται γιά μία στιγμή στό Δ . Μετά τη θέση Δ επαναλαμβάνονται τά ίδια φαινόμενα.

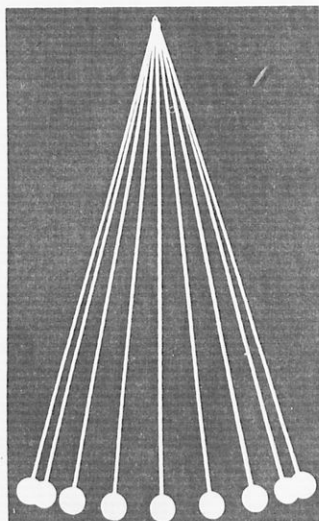
β. Χαρακτηριστικά μεγέθη του απλού εκ-



Σχ. 2. Μετρονόμος.



Σχ. 3. (α) Άπλό εκκρεμές.



Σχ. 3. β

Ἡ χρονοφωτογραφία δείχνει τίς διαδοχικές θέσεις τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς, ὅταν ταλαντώνεται ἐλεύθερα.

κρεμοῦς. Ἡ ἀπόσταση τοῦ σταθεροῦ σημείου Ο ἀπὸ τὸ κέντρο τῆς σφαίρας (δηλ. τὸ μῆκος περίπου τοῦ νήματος) λέγεται **μῆκος** l τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς (Σχ. 3).

Ἡ γωνία ϕ , κατὰ τὴν ὁποία ἀπομακρύνουμε τὸ ἐκκρεμές ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας τοῦ ΟΑ, λέγεται **πλάτος τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς**. Ἡ κίνηση τοῦ ἐκκρεμοῦς ἀπὸ τὸ σημείο Γ στο σημείο Δ καὶ ἡ ἐπιστροφή του ἀπὸ τὸ Δ στο Γ λέγεται **μία ταλάντωση**.

Γιὰ τὴν περίοδο καὶ τὴ συχνότητα τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς ἰσχύουν ὅσα ἀναφέραμε στίς ταλαντώσεις (10^η ἐνότητα).

γ. **Μέτρηση τῆς περιόδου τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς**. Γιὰ νὰ βροῦμε τὴν περίοδο T τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς, ἀρκεῖ μὲ ἓνα χρονόμετρο νὰ μετρήσουμε τὴ χρονικὴ διάρκεια πολλῶν ταλαντώσεων καὶ μετὰ νὰ κάνουμε μία διαίρεση. Ἄν π.χ. γιὰ 10 ταλαντώσεις μετρήσουμε χρόνο 20sec, ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς θὰ εἶναι

$$T = \frac{20 \text{ sec}}{10} \Leftrightarrow T = 2 \text{ sec.}$$

δ. **Νόμοι τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς**. 1. Ἀπομακρύνουμε τὸ ἐκκρεμές Δ (Σχ. 4) ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας του κατὰ μικρὴ γωνία (π.χ. 5°). Μετράμε τὴν περίοδό του καὶ βρίσκουμε ὅτι εἶναι περίπου ἴση μὲ 1.95sec. Ἐπαναλαμβάνουμε τὸ πείραμα μὲ διαφορετικὸ πλάτος καὶ βρίσκουμε πάλι τὴν ἴδια περίοδο 1.95sec.

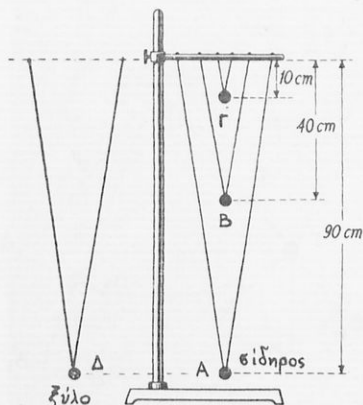
Ἐπομένως:

Ἡ περίοδος τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ πλάτος του, ὅταν αὐτὸ παίρνει μικρὲς τιμές (π.χ. μέχρι 5°).

2. Μετράμε τὴν περίοδο τοῦ ἐκκρεμοῦς Α (Σχ. 4) καὶ βρίσκουμε ὅτι εἶναι περίπου ἴση μὲ 1.95sec, ὅση δηλ. καὶ τοῦ Δ. Παρατηροῦμε ὅτι τὰ δύο ἐκκρεμῆ Α καὶ Δ ἔχουν τὸ ἴδιο μῆκος (90cm) καὶ οἱ σφαῖρες τους ἀποτελοῦνται ἀπὸ διαφορετικὸ ὑλικὸ καὶ ἔχουν διαφορετικὴ μάζα. Ἄρα:

Ἡ περίοδος τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπὸ τὸ ὑλικὸ καὶ τὴ μάζα τῆς σφαίρας του, ὅταν τὸ μῆκος του παραμένει σταθερό.

3. Μετράμε τὴν περίοδο τῶν ἐκκρεμῶν Α, Β καὶ Γ (Σχ. 4) καὶ βρίσκουμε περίπου τίς τιμές πού ἀναγράφονται στὸν πίνακα Ι.



Σχ. 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι		
	l cm	T sec
Γ	10	0,65
Β	40	1,30
Α	90	1,95

Στόν πίνακα αυτό τών τιμών παρατηρούμε τά εξής: "Όταν τό μήκος l τοῦ ἐκκρεμοῦς τετραπλασιάζεται ($40\text{cm} = 4 \cdot 10\text{cm}$), ἡ περίοδος τοῦ T διπλασιάζεται ($1,30\text{sec} = 2 \cdot 0,65\text{sec}$), $2 = \sqrt{4}$." Όταν τό μήκος l τοῦ ἐκκρεμοῦς ἐννεαπλασιάζεται ($90\text{cm} = 9 \cdot 10\text{cm}$), ἡ περίοδος τοῦ T τριπλασιάζεται ($1,95\text{sec} = 3 \cdot 0,65\text{sec}$), $3 = \sqrt{9}$. Ἐπομένως:

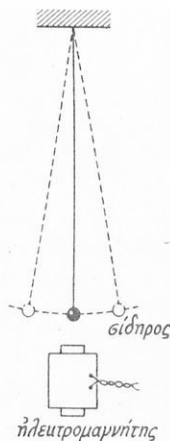
Ἡ περίοδος τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς, σέ ἕναν ὀρισμένο τόπο, εἶναι ἀνάλογη πρός τήν τετραγωνική ρίζα τοῦ μήκους του.

4. Ἄν μετρήσουμε τήν περίοδο ἑνός ἐκκρεμοῦς στόν ἰσημερινό τῆς Γῆς ($g=9,78 \text{ m/sec}^2$), θά βροῦμε ὅτι εἶναι π.χ. περίπου $T = 1,905\text{sec}$. Ἄν ξαναμετρήσουμε τήν περίοδο τοῦ ἰδιοῦ ἐκκρεμοῦς στήν Ἀθήνα ($g=9,80 \text{ m/sec}^2$), θά βροῦμε ὅτι εἶναι περίπου $T = 1,903\text{sec}$ καί ἂν ἐπαναλάβουμε τή μέτρηση στόν πόλο τῆς Γῆς ($g=9,83 \text{ m/sec}^2$), θά βροῦμε περίπου $T = 1,900\text{sec}$. Ἀπό τίς μετρήσεις αὐτές παρατηροῦμε ὅτι ἡ περίοδος ἑνός ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς μικραίνει, ὅταν αὐξάνεται ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας g . Μέ ἀκριβεῖς μετρήσεις ἀποδεικνύεται ὅτι:

Ἡ περίοδος τοῦ ἀπλοῦ ἐκκρεμοῦς εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη πρός τήν τετραγωνική ρίζα τῆς ἐπιταχύνσεως τῆς βαρύτητας g , ὅταν τό μήκος του παραμένει σταθερό.

Αὐτό σημαίνει ὅτι, ὅταν τετραπλασιάζεται τό g , ἡ περίοδος τοῦ ἐκκρεμοῦς γίνεται ἴση μέ τό μισό τῆς ἀρχικῆς (ὑποδιπλασιάζεται) κτλ.

Μποροῦμε νά ἐπαληθεύσουμε ποιοτικά τό νόμο αὐτό μέ τήν πειραματική διάταξη πού φαίνεται στό Σχ. 5. Ὅταν μετρήσουμε τήν περίοδο



Σχ. 5. Ὁ ἡλεκτρομαγνήτης ἔλκει τή σιδερένια σφαῖρα καί ἔτσι προκαλεῖ μία φαινομενική αὐξηση τοῦ βάρους τῆς, δηλ. μία φαινομενική αὐξηση τοῦ g .



Σχ. 6. Αἰωρητῆς συνηθισμένου ρολογιοῦ.

του έκκρεμοῦς, πρῶτα χωρίς τήν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη καί ὕστερα μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη ἀπό κάτω, θά διαπιστώσουμε ὅτι στή δεύτερη περίπτωση ἡ περίοδος εἶναι μικρότερη. Ἐπομένως, ἡ περίοδος τοῦ έκκρεμοῦς μικραίνει, ὅταν αὐξάνεται ἡ ἐπιτάχυνση τῆς βαρύτητας g .

Οἱ τέσσερις αὐτοί νόμοι τοῦ ἀπλοῦ έκκρεμοῦς (δηλ. τά τέσσερα συμπεράσματα πού βγάλαμε ἀπό τά πειράματα) ἀποδεικνύεται ὅτι έκφράζονται μέ τή σχέση:

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	Τύπος τοῦ ἀπλοῦ έκκρεμοῦς
-------------------------------	---------------------------

ὅπου $\pi = 3,14$

Παρατήρηση. Ὅλοι οἱ νόμοι τοῦ ἀπλοῦ έκκρεμοῦς ἰσχύουν τότε μόνο, ὅταν τό πλάτος τῶν αἰωρήσεων εἶναι πολύ μικρό.

III. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Γιά νά μετρήσουμε τό χρόνο χρησιμοποιοῦμε τά ρολόγια, πού περιέχουν ἕνα κατάλληλο σύστημα, ἱκανό νά ἐκτελεῖ ἀμείωτες ταλαντώσεις μέ σταθερή καί γνωστή περίοδο. Ἡ μέτρηση τοῦ χρόνου στηρίζεται στό γεγονός ὅτι οἱ αἰωρήσεις μικροῦ πλάτους εἶναι ἰσόχρονες.

Σέ πολλά ρολόγια τοίχου, τό ταλαντούμενο σύστημα εἶναι ἕνα φυσικό έκκρεμές, ἐνῶ στά ρολόγια χειροῦ ἡ τσέπης εἶναι ἕνας αἰωρητής (Σχ. 6).

Ἐκτός ἀπό αὐτά υπάρχουν σήμερα καί τά **ἡλεκτρονικά ρολόγια μέ χαλαζία** πού μετρούν τό χρόνο μέ μεγάλη ἀκρίβεια, γιατί ἔχουν πολύ μικρή καί σταθερή περίοδο, περίπου ἴση μέ $\frac{1}{60.000}$ sec.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Φυσικό έκκρεμές λέγεται κάθε στερεό σώμα που μπορεί να ταλαντώνεται γύρω από οριζόντιο άξονα που δεν περνάει από το κέντρο βάρους του.
2. Το απλό έκκρεμές αποτελείται από ένα νήμα και μία μικρή σφαίρα. Το σύστημα αυτό εκτελεί ελεύθερη ταλάντωση, όταν το διεγείρουμε και ύστερα το αφήσουμε ελεύθερο.
3. Η περίοδος του απλού έκκρεμους είναι ανεξάρτητη από το πλάτος του (όταν αυτό είναι μικρό), από το υλικό και τη μάζα της σφαίρας του.
4. Η περίοδος του απλού έκκρεμους δίνεται από τη σχέση:

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

5. Η κίνηση του έκκρεμους βρίσκει εφαρμογή στη μέτρηση του χρόνου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Να διατυπώσετε τούς νόμους του απλού έκκρεμους.
2. Η κίνηση του απλού έκκρεμους (Σχ. 3α) από το Γ στο Α είναι α) όμαλή; β) επιταχυνόμενη; γ) όμαλά επιταχυνόμενη; δ) επιβραδυνόμενη; ε) όμαλά επιβραδυνόμενη; Να απαντήσετε στα ίδια έρωτήματα και για την κίνηση από το Α στο Δ.
3. Πότε το απλό έκκρεμές του Σχ. 5 κινείται πιο γρήγορα: Όταν υπάρχει από κάτω ο μαγνήτης ή όταν αφαιρεθεί και γιατί;
4. Ποιό από τα έκκρεμα Α, Β και Γ του Σχ. 4 κινείται πιο άργα και γιατί;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πόση είναι η περίοδος απλού έκκρεμους, όταν το μήκος του είναι 1,6m και $g = 10\text{m/sec}^2$;
2. Η περίοδος ενός μαθηματικού έκκρεμους είναι 1,3sec και το μήκος του είναι 0,4m. Πόσο είναι το g στον τόπο που κινείται το έκκρεμές;
3. Άπλό έκκρεμές εκτελεί 10 ταλαντώσεις σε χρόνο 20sec. Πόσο είναι το μήκος του, όταν $g = 10\text{m/sec}^2$;

ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν φυσάει άνεμος, τό ύφασμα τής σημαίας αναδιπλώνεται καί ή αναδιπλώση αυτή διαδίδεται κατά μήκος του ύφασματος. Λέμε τότε ότι ή σημαία **κυματίζει** (Σχ.1).

Όταν ένα πλοίο κινείται, ταραζεται τό νερό τής θάλασσας. Η διαταραχή αυτή διαδίδεται στην επιφάνεια τής θάλασσας καί πολλές φορές φθάνει ως τήν ακτή. Λέμε τότε ότι στην επιφάνεια τής θάλασσας σχηματίζονται κύματα (Σχ.2).

Ο άσυρματιστής ενός πλοίου, πού κινδυνεύει από τά κύματα τής θάλασσας, εκπέμπει τό S.O.S. μέ τή βοήθεια άλλων κυμάτων, των **έρτζιανών ή ηλεκτρομαγνητικών** κυμάτων.

Η γνώση των κυμάτων μās είναι απαραίτητη, γιατί τά κύματα έχουν στενή σχέση μέ τόν ήχο, τό φώς, τή ραδιοφωνία, τήν τηλεόραση κτλ.

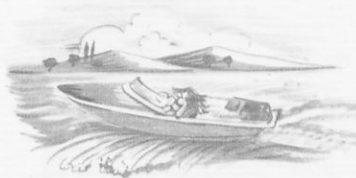
II. ΚΥΜΑΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

α. Όρισμός του κύματος. Η λεκάνη πού φαίνεται στο Σχ. 3α περιέχει λίγο νερό. Στην ήρεμη ελεύθερη επιφάνεια του νερού υπάρχουν κομμάτια φελλού. Ταραζούμε τήν ήρεμη επιφάνεια του νερού σέ ένα σημείο Ο μέ τή βοήθεια ενός διαπασών ή ρίχνοντας στο σημείο Ο σταγονόες νερού μέ σταγονόμετρο. Παρατηρούμε τότε ότι ή **ελαστική διαταραχή** πού δημιουργούμε στο σημείο Ο διαδίδεται στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέ τή μορφή ομόκεντρων κύκλων, πού έχουν κέντρο τό σημείο Ο καί άκτίνα συνεχώς αύξανόμενη (δηλ. σχηματίζονται κινούμενες «ρυτίδες») (Σχ. 3β). Παρατηρούμε ακόμη ότι οί φελλοί κινούνται, όμως δέν αρχίζουν όλοι συγχρόνως τήν κίνησή τους, αλλά πρώτα αρχίζει νά κινείται ό Α, ύστερα ό Β κ.ο.κ. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι ή αρχική διαταραχή διαδίδεται μέ όρισμένη ταχύτητα, άφου χρειάζεται κάποιο χρόνο γιά νά διαδοθεί σέ όρισμένη απόσταση ($u = \frac{s}{t}$). Η διάδοση αυτή τής ελαστικής διαταραχής λέγεται **κύμα ελαστικότητας**. Επομένως:

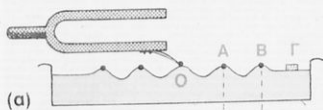
Κύμα ελαστικότητας λέγεται ή διάδοση μιάς ελαστικής διαταραχής, μέσα σέ ένα ελαστικό μέσο, μέ όρισμένη ταχύτητα.



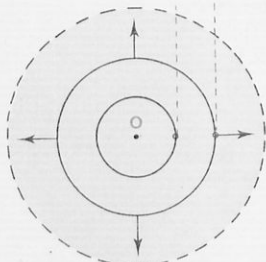
Σχ. 1.



Σχ. 2



(α)



(β)

Σχ. 3. Τά κύματα απομακρύνονται από τήν πηγή Ο.

β. Μεταφορά ενέργειας με τὰ κύματα. Στο πείραμα πού ἀναφέραμε προηγουμένως (Σχ. 3α) παρατηρούμε ἀκόμη ὅτι οἱ φελλοὶ δέ μετατοπίζονται ὀριζόντια, δηλ. δέν ἀπομακρύνονται ἀπὸ τὸ σημεῖο Ο, ἀλλὰ ταλαντώνονται κατακόρυφα, ὅπως καὶ τὸ σημεῖο Ο. Τὴν ἴδια κίνηση μέ τούς φελλοὺς κάνουν καὶ τὰ διάφορα μέρη τῆς ἐπιφάνειας τοῦ νεροῦ μέ ἀποτέλεσμα σέ ἄλλα σημεία τῆς νά σχηματίζονται ὑψώματα, πού λέγονται «**ὄρη**» καὶ σέ ἄλλα νά σχηματίζονται κοιλάματα, πού λέγονται «**κοιλιάδες**». Ἐπειδὴ οἱ φελλοὶ χρειάζονται κάποια ἐνέργεια γιὰ νά ἀρχίσουν νά ταλαντώνονται, συμπεραίνουμε ὅτι ἡ ἐνέργεια πού δώσαμε στό σημεῖο Ο μεταφέρεται διαδοχικὰ στὰ διάφορα μέρη τῆς ἐπιφάνειας τοῦ νεροῦ. Ἐπομένως:

Τὰ κύματα μεταφέρουν ἐνέργεια, ἀπὸ τὸ ἕνα μέρος τοῦ μέσου πού διαδίδονται στό ἄλλο, χωρὶς νά μεταφέρουν τὴν ὕλη τοῦ μέσου αὐτοῦ.

γ. Συχνότητα καὶ περίοδος τοῦ κύματος. Τὸ σημεῖο Ο τῆς ἐπιφάνειας τοῦ νεροῦ (Σχ. 3α), στό ὁποῖο δίνουμε ἐνέργεια ταραζώντας ἔτσι τὴν ἰσορροπία του, λέγεται πηγὴ τῶν κυμάτων. Ἡ συχνότητα ταλαντώσεως τοῦ σημείου Ο, δηλ. ἡ συχνότητα τῆς πηγῆς, καθορίζει τὴ συχνότητα τοῦ κύματος. Ἄρα:

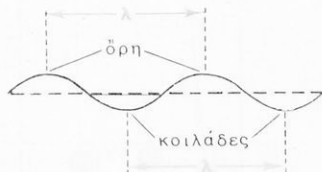
Ἡ συχνότητα καὶ ἡ περίοδος ἐνὸς κύματος εἶναι ἴσες ἀντιστοίχως μέ τὴ συχνότητα καὶ τὴν περίοδο τῆς πηγῆς τῶν κυμάτων.

δ. Στιγμιότυπο τοῦ κύματος. Ἄν φωτογραφίσουμε τὴν ἐπιφάνεια τοῦ νεροῦ, ὅταν διαδίδονται σ' αὐτὴ κύματα, θά πάρουμε μίαν εἰκόνα περίπου σάν αὐτὴ πού φαίνεται στό Σχ. 4. Ἡ εἰκόνα αὐτὴ λέγεται **στιγμιότυπο τοῦ κύματος** καὶ δείχνει καθαρὰ τὰ «ὄρη» καὶ τὶς «κοιλιάδες». Ἄν ξαναφωτογραφίσουμε τὴν ἴδια ἐπιφάνεια λίγο ἀργότερα, θά πάρουμε ἕνα ἄλλο στιγμιότυπο τοῦ κύματος πού θά ἔχει πάλι «ὄρη» καὶ «κοιλιάδες» ὅχι ὅμως στὴν ἴδια θέση μέ τὸ πρῶτο, γιατί τὰ «ὄρη» καὶ οἱ «κοιλιάδες» κινούνται πάνω στὴν ἐπιφάνεια τοῦ νεροῦ καὶ ἀπομακρύνονται ἀπὸ τὴν πηγή. Ἐπομένως:

Τὸ στιγμιότυπο τοῦ κύματος μᾶς δείχνει τὴ θέση πού ἔχουν τὰ διάφορα μέρη τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου σέ μίαν ὀρισμένη χρονικὴ στιγμή.



(α)



(β)

Σχ. 4. (α) Φωτογραφία (στιγμιότυπο) κυκλικῶν κυμάτων στὴν ἐπιφάνεια νεροῦ. (β) Γραφικὴ παράσταση τοῦ στιγμιότυπου ἐνὸς κύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

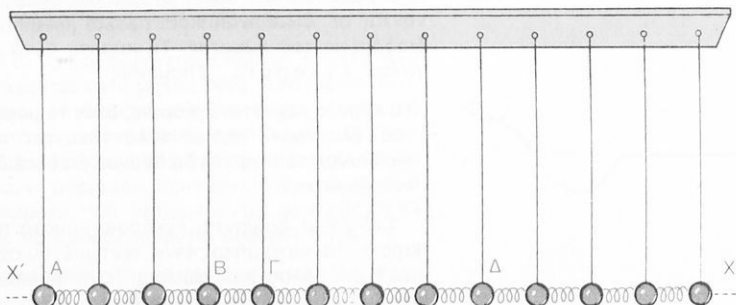
1. Κύμα ελαστικότητας λέγεται ή διάδοση μιάς διαταραχής μέσα σέ ένα ελαστικό μέσο, μέ όρισμένη ταχύτητα.
2. Τά κύματα μεταφέρουν ενέργεια από τό ένα μόριο στό άλλο χωρίς νά μεταφέρουν ύλη.
3. Η συχνότητα καί ή περίοδος τών κυμάτων είναι αντίστοιχα ίσες μέ τή συχνότητα καί τήν περίοδο τής πηγής τών κυμάτων.
4. Τό στιγμιότυπο τού κύματος μάς δείχνει τή θέση πού έχουν τά διάφορα μόρια τού μέσου σέ μία όρισμένη στιγμή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί λέγεται κύμα ελαστικότητας;
2. Τί φανερώνει τό στιγμιότυπο τού κύματος;
3. Πώς από τό πείραμα τού Σχ. 3α μπορείτε νά συμπεράνετε ότι τό κύμα διαδίδεται μέ όρισμένη ταχύτητα καί όχι μέ άπειρη ταχύτητα;
4. Πώς από τό πείραμα τού Σχ. 3α μπορείτε νά συμπεράνετε ότι τό κύμα μεταφέρει ενέργεια καί δέ μεταφέρει ύλη;
5. Ποιά είναι ή περίοδος καί ή συχνότητα τής ταλαντώσεως τών φελλών στό Σχ. 3α;

ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ

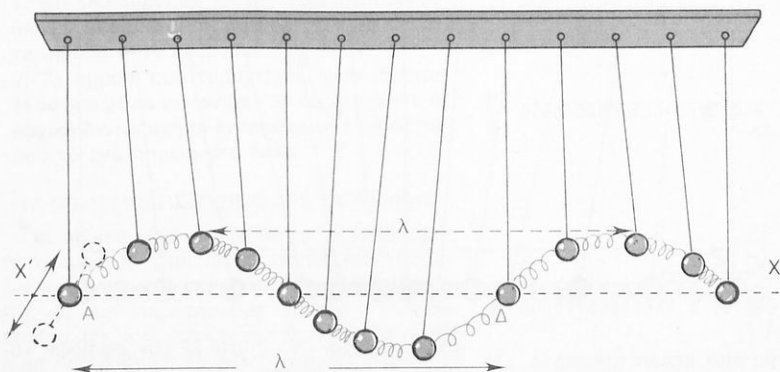
Ι. ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ



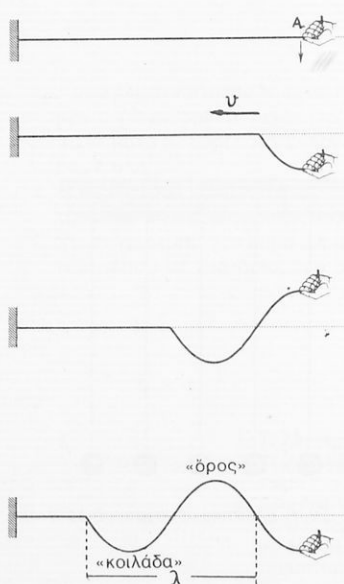
Ἡ πειραματική διάταξη πού φαίνεται στό Σχ. 1 ἀποτελεῖται ἀπό μικρές σφαῖρες, πού εἶναι κρεμασμένες μέ νήματα τοῦ ἴσου μήκους καί συνδέονται μεταξύ τους μέ ἐλατήρια.

Σχ. 1. Ἐλαστικό μέσο (μονοδιάστατο).

Ἄν θέσουμε σέ ταλάντωση τή σφαῖρα Α κατὰ διεύθυνση κάθετη στήν εὐθεία ΧΧ' (Σχ. 2), θά παρατηρήσουμε ὅτι ἀρχίζουν νά ταλαντώνονται κατὰ τήν ἴδια διεύθυνση καί οἱ ἄλλες σφαῖρες, διαδοχικά ἢ μία μετά τήν ἄλλη. Ἐπομένως, στό σύστημα αὐτό τῶν σφαιρῶν παράγονται κύματα ἐλαστικότητας πού ἔχουν πηγή τή σφαῖρα Α.



Σχ. 2. Ἐγκάρσια κύματα.



Σχ. 3. Έγκάρσια κύματα κατά μήκος τεντωμένου σχοινιού ή ελαστικού σωλήνα.

Ἡ ἐνέργεια πού δώσαμε στήν πηγή Α διαδίδεται κατά τή διεύθυνση Χ'Χ, γιατί κατά τή διεύθυνση αὐτή διαδίδεται καί ἡ ἀρχική διαταραχή (ταλάντωση). Ἡ διεύθυνση αὐτή Χ'Χ λέγεται **διεύθυνση διαδόσεως τοῦ κύματος**.

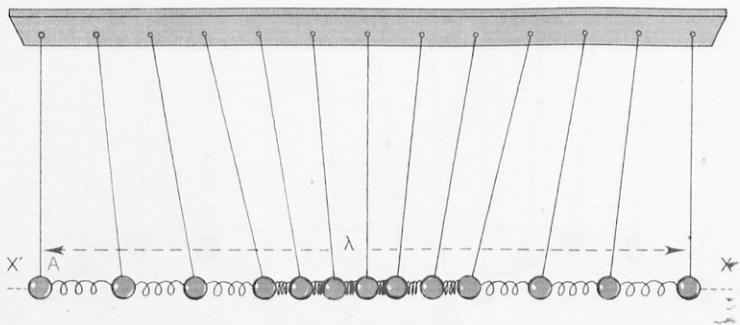
Μποροῦμε λοιπόν νά ποῦμε ὅτι στά κύματα πού φαίνονται στό Σχ. 2 οἱ σφαῖρες ταλαντώνονται σέ διεύθυνση κάθετη στή διεύθυνση διαδόσεως τοῦ κύματος. Τά κύματα αὐτά λέγονται **ἐγκάρσια**. Ἐπομένως:

Τά κύματα λέγονται ἐγκάρσια, ὅταν τά μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου ταλαντώνονται σέ διεύθυνση κάθετη στή διεύθυνση διαδόσεως τοῦ κύματος.

Στό Σχ. 3 φαίνονται ἐγκάρσια κύματα πού παράγονται κατά μήκος ἑνός τεντωμένου σχοινιοῦ ἢ ἑνός ἐλαστικοῦ σωλήνα. Τά ἐγκάρσια κύματα ἐλαστικότητας σχηματίζονται μόνο στά στερεά σώματα καί κατά προσέγγιση στήν ἐπιφάνεια τῶν ὑγρῶν. Κατά τή διάδοση τῶν ἐγκάρσιων κυμάτων τά μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου δημιουργοῦν «**ὄρη**» καί «**κοιλιάδες**», πού μετακινοῦνται συνεχῶς, ἔτσι ὥστε νά ἀπομακρύνονται ἀπό τήν πηγή.

II. ΔΙΑΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ

Στήν πειραματική διάταξη πού φαίνεται στό Σχ. 1 θέτοῦμε σέ ταλάντωση τή σφαῖρα Α κατά τή διεύθυνση Χ'Χ. Παρατηροῦμε ὅτι καί πάλι



Σχ. 4. Διαμήκη κύματα.

σχηματίζονται στό σύστημα τῶν σφαιρῶν κύματα ἐλαστικότητας. Οἱ σφαῖρες στήν περίπτωση αὐτή ταλαντώνονται κατά τή διεύθυνση

διαδόσεως του κύματος Χ'Χ, με αποτέλεσμα σέ άλλα μέρη νά πλησιάζουν μεταξύ τους (νά πυκνώνουν) καί σέ άλλα μέρη νά απομακρύνονται μεταξύ τους (νά αραιώνουν) (Σχ. 4). Τά κύματα αυτά λέγονται **διαμήκη**. Έπομένως:

Τά κύματα λέγονται διαμήκη, όταν τά μόρια του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται κατά τή διεύθυνση διαδόσεως του κύματος.

Στό Σχ. 5 φαίνονται διαμήκη κύματα πού παράγονται κατά μήκος ενός τεντωμένου ελατηρίου. Τά διαμήκη κύματα σχηματίζονται σέ όλα τά σώματα, στερεά, υγρά καί αέρια. Όταν διαδίδονται διαμήκη κύματα σέ ένα ελαστικό μέσο, τά μόριά του δημιουργοῦν **πυκνώματα καί αραιώματα** πού μετακινούνται συνεχώς, έτσι ώστε νά απομακρύνονται από τήν πηγή.

III. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

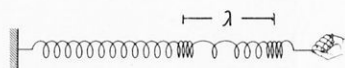
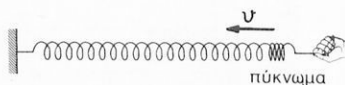
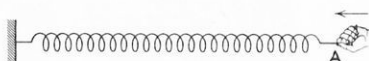
Στήν πειραματική διάταξη του Σχ. 1 αφαιρούμε ένα ελατήριο, π.χ. αυτό πού συνδέει τίς σφαίρες Β καί Γ. Ύστερα θέτουμε σέ ταλάντωση τή σφαίρα Α καί παρατηρούμε ότι ή διαταραχή φθάνει ως τή σφαίρα Β, αλλά δέ διαδίδεται πιό πέρα, γιατί μεταξύ των σφαιρών Β καί Γ δέν υπάρχει **ελαστικός σύνδεσμος**, δηλ. ελατήριο. Στήν περίπτωση αυτή δέ σχηματίζονται κύματα στό σύστημα των σφαιρών. Έπομένως:

Γιά νά σχηματιστούν κύματα ελαστικότητας πρέπει:

1. Νά δημιουργηθεῖ σέ κάποιο σημείο ενός υλικού μέσου μία διαταραχή, δηλ. νά πάρει τό σημείο αυτό **ένεργεια**.
2. Τό σημείο πού ταράχτηκε νά **συνδέεται** ελαστικά μέ τά γειτονικά του σημεία, ώστε ή αρχική διαταραχή (ή **ένεργεια**) νά διαδίδεται από τό ένα σημείο στό άλλο.

IV. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ

α. Μήκος κύματος. Θέτουμε σέ ταλάντωση τή σφαίρα Α, έτσι ώστε να δημιουργηθοῦν εγκάρσια κύματα στό σύστημα των σφαιρών (Σχ. 2) καί παρατηρούμε τό ἑξῆς. Κάποια σφαίρα, π.χ. ή Δ, αρχίζει νά ταλαντώνεται, όταν ή σφαίρα Α (πηγή κυμάτων) ἔχει συμπληρώσει μία ταλάντωση, δηλ. ὕστερα από χρόνο μιάς



Σχ. 5. Διαμήκη κύματα κατά μήκος τεντωμένου ελατηρίου.

περιόδου T . Ἡ ἀπόσταση (Δd) ὀνομάζεται $\mu\eta$ -
κος κύματος λ . Ἄρα:

**Μήκος κύματος λ λέγεται ἡ ἀπόσταση στὴν
ὁποία διαδίδεται ἡ διαταραχή σέ χρόνο ἴσο
πρὸς τὴν περίοδο T τοῦ κύματος.**

Στὰ ἐγκάρσια κύματα τὸ μήκος κύματος εἶναι
ἴσο μέ τὴν ἀπόσταση δύο **διαδοχικῶν** ὁρέων ἢ
δύο **διαδοχικῶν** κοιλάδων (Σχ. 4 12ης ἐνότητος).
Στὰ διαμήκη κύματα τὸ μήκος κύματος εἶναι
ἴσο μέ τὴν ἀπόσταση δύο **διαδοχικῶν** πυκνωμά-
των ἢ ἀραιωμάτων (Σχ. 4 καὶ 5).

β. Σχέση μήκους κύματος καὶ συχνότητας.
Ἀπὸ τὸν ὀρισμὸ τοῦ μήκους κύματος καὶ τῇ
γνωστῇ σχέσῃ $s = u \cdot t$ προκύπτει ἡ ἐξίσωσις
 $\lambda = u \cdot T$, ὅπου u εἶναι ἡ ταχύτητα διαδόσεως τοῦ
κύματος (ταχύτητα διαδόσεως τῆς διαταραχῆς).
Ἐπειδὴ $T = \frac{1}{\nu}$, ἡ ἐξίσωσις $\lambda = u \cdot T$ γράφεται:

$$\lambda = \frac{u}{\nu} \Leftrightarrow u = \lambda \cdot \nu. \text{ Ἄρα:}$$

$u = \lambda \cdot \nu$	Θεμελιώδης τύπος τῆς κυματικῆς
-------------------------	--------------------------------

V. ΕΙΔΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

Στὴ φύση σχηματίζονται πολλὰ εἶδη κυμά-
των ἐλαστικότητας, ὅπως τὰ μεγάλα κύματα
τοῦ ὠκεανοῦ καὶ τῆς θάλασσας, τὰ κύματα πού
σχηματίζονται στὰ τεντωμένα σχοινιά καὶ στὰ
ἐλατήρια κτλ. Καταλαβαίνουμε ὅτι **υπάρχουν**
ὅλα αὐτὰ τὰ κύματα, γιατί **βλέπουμε** τὴ διατα-
ραχὴ (πύκνωμα, ἀραίωμα, «ὄρος», «κοιλάδα») καὶ
τὴν κίνησή της.

Ὑπάρχουν καὶ κύματα ἐλαστικότητας στὰ
ὁποία **δὲ βλέπουμε** τὴ διαταραχὴ, ὅμως τὰ κύ-
ματα αὐτὰ ἔχουν τέτοια συχνότητα ὥστε ἐρεθί-
ζουν τὰ αὐτιά μας καὶ γίνονται ἀντιληπτά σάν
ἤχος. Αὐτὰ τὰ κύματα ἐλαστικότητας λέγονται
ἡχητικά.

Ἐκτός ἀπὸ τὰ κύματα ἐλαστικότητας ὑπάρ-
χουν καὶ τὰ **ἠλεκτρομαγνητικά κύματα**. Μερικά
ἀπὸ τὰ κύματα αὐτὰ ἔχουν τέτοια συχνότητα
ὥστε ἐρεθίζουν τὰ μάτια μας καὶ γίνονται ἀντι-
ληπτά σάν φῶς. Τὰ ἠλεκτρομαγνητικά αὐτὰ κύ-
ματα λέγονται **φωτεινά κύματα**. Ὅλα τὰ κύματα,
ἐλαστικότητας καὶ ἠλεκτρομαγνητικά, εἶναι κι-
νούμενες διαταραχές πού μεταφέρουν ἐνέρ-
γεια, δὲ μεταφέρουν ὕλη καὶ ἔχουν πολλές ἄλ-

λες κοινές ιδιότητες. Για όλα τα κύματα ισχύει ο θεμελιώδης τύπος της κυματικής.

$$v = \lambda \cdot \nu$$

Τά αϋτιά καί τά μάτια μας λοιπόν εἶναι δέκτες κυμάτων καί ἐρεθίζονται μέ κύματα πού ἔχουν κατάλληλες συχνότητες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Στά ἐγκάρσια κύματα τά μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου ταλαντώνονται κάθετα στή διεύθυνση διαδόσεως τοῦ κύματος, σχηματίζοντας «ὄρη» καί «κοιλιάδες».
2. Στά διαμήκη κύματα τά μόρια τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου ταλαντώνονται κατά τή διεύθυνση διαδόσεως τοῦ κύματος, σχηματίζοντας πυκνώματα καί ἀραιώματα.
3. Μήκος κύματος λέγεται ἡ ἀπόσταση στήν ὁποία διαδίδεται ἡ διαταραχή σέ χρόνο ἴσο πρός τήν περίοδο T τοῦ κύματος.
4. Ὁ θεμελιώδης τύπος τῆς κυματικῆς εἶναι: $v = \lambda \cdot \nu$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιές διαφορές ὑπάρχουν ἀνάμεσα στά διαμήκη καί στά ἐγκάρσια κύματα;
2. Σέ ἓνα ὑλικό μέσο σχηματίζονται ἐγκάρσια κύματα. Ποιά ἀπό τά παρακάτω διαδίδονται τότε στό μέσο αὐτό: α. ἡ ὕλη; β. ἡ ἐνέργεια; γ. τά πυκνώματα καί τά ἀραιώματα; δ. τά ὄρη καί οἱ κοιλιάδες; ε. τίποτε ἀπό ὅλα αὐτά;
3. Σέ ποιά σώματα σχηματίζονται ἐγκάρσια κύματα καί σέ ποιά διαμήκη κύματα;
4. Ἡ ταχύτητα διαδόσεως τοῦ κύματος ἐξαρτᾶται ἀπό τό μέσο στό ὁποῖο σχηματίζεται τό κύμα. Ὄταν ἓνα κύμα ἀλλάζει μέσο διαδόσεως, τί μεταβάλλεται καί τί μένει σταθερό: α. τό μήκος κύματος; β. ἡ συχνότητα; γ. ἡ ταχύτητα;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ἡ συχνότητα ἑνός κύματος εἶναι $750 \cdot 10^{12}$ Hz καί τό μήκος κύματος εἶναι $0,4 \cdot 10^{-6}$ m. Νά βρεῖτε τήν ταχύτητα τοῦ κύματος.
2. Ἡ ταχύτητα τῶν φωτεινῶν κυμάτων στόν ἀέρα εἶναι $3 \cdot 10^8$ m/sec. Πόση εἶναι ἡ συχνότητά τους, ὅταν τό μήκος κύματος στόν ἀέρα εἶναι $0,8 \cdot 10^{-6}$ m; Πόση γίνεται ἡ συχνότητα αὐτή ὅταν τό φῶς διαδίδεται στό νερό;
3. Στό πείραμα τοῦ Σχ. 1 ἡ σφαῖρα Α ἔχει περίοδο 1 sec καί ἡ ταχύτητα τοῦ κύματος πού παράγεται εἶναι 0,15 m/sec. Πόσο εἶναι τό μήκος κύματος;



Ο ΗΧΟΣ ΩΣ ΚΥΜΑ

"Όπως γνωρίζουμε, καθετί που γίνεται αντιληπτό με το αίσθητήριο όργανο της άκοης (τό αὐτί) το όνομάζουμε ήχο.

I. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ἡ πειραματική διάταξη που εικονίζεται στο Σχ. 1 αποτελείται από ένα διαπασών και μία σφαίρα Σ, που βρίσκεται σε έπαφή με το ένα σκέλος του. Όταν χτυπήσουμε το άλλο σκέλος του διαπασών με ένα ελαστικό σφυράκι, θα ακούσουμε έναν ήχο και θα δούμε τη σφαίρα να αναπηδάει. Από τα αναπηδήματα της σφαίρας καταλαβαίνουμε ότι τα σκέλη του διαπασών ταλαντώνονται, όταν αυτό παράγει ήχο. (Ἡ παλμική αὐτή κίνηση γίνεται τόσο γρήγορα που το μάτι μας δεν μπορεί να την αντιληφθεί άμεσα, γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε το σφαιρίδιο). Με ανάλογο τρόπο παράγουν ήχο οι καμπάνες των εκκλησιών, οι χορδές των μουσικών οργάνων κτλ. Ἄρα:

Ὁ ήχος παράγεται από τις παλμικές κινήσεις διαφόρων σωμάτων.

Οί ταλαντώσεις του ελάσματος Ε (Σχ.2) παράγουν ήχο.

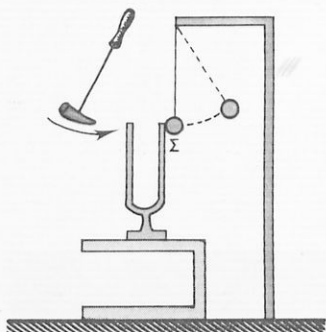
II. ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

α. Μέσα διαδόσεως του ήχου. Στο πείραμα του Σχ. 1, ανάμεσα στην ήχητική πηγή (διαπασών) και στο αὐτί μας υπάρχει αέρας. Ἐπειδή ακούμε τόν ήχο του διαπασών, συμπεραίνουμε ότι ο ήχος διαδίδεται στον αέρα.

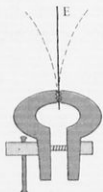
"Όταν βάλουμε το κεφάλι μας μέσα στη θάλασσα και χτυπήσουμε μέσα στο νερό δύο πέτρες που κρατάμε στα χέρια μας, ακούμε τόν ήχο του χτυπήματος. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι ο ήχος διαδίδεται στο νερό.

Τοποθετούμε ένα ρολόι στο άκρο ενός ξύλινου τραπεζιού. Ἐφαρμόζουμε το αὐτί μας στο άλλο άκρο του τραπεζιού και ακούμε καθαρά τούς χτύπους του ρολογιού. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι ο ήχος διαδίδεται στο ξύλο.

Τοποθετούμε κάτω από τόν κώδωνα αεραντλίας ένα ηλεκτρικό κουδούνι που λειτουργεί



Σχ. 1.



Σχ. 2.

(Σχ.3). "Όταν ο κώδωνας περιέχει αέρα, ακούμε τόν ήχο του κουδουνιού. "Όταν όμως αφαιρέσουμε τόν αέρα από τόν κώδωνα, δέν ακούμε τόν ήχο, άν και τό πληκτρο του κουδουνιού συνεχίζει νά χτυπάει τό τύμπανο. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι ο ήχος δέ διαδίδεται στο κενό. Από τά παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

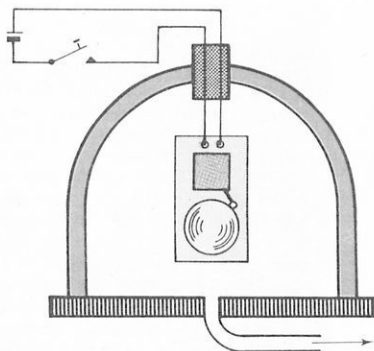
Ο ήχος διαδίδεται μόνο στά υλικά μέσα (στερεά, υγρά καί αέρια), ενώ δέ διαδίδεται στο κενό.

Ιδιαίτερη σημασία γιά μās έχει ή διάδοση του ήχου στον αέρα, γιατί ζούμε μέσα στην ατμόσφαιρα.

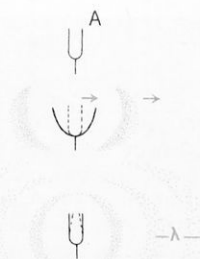
β. Ήχητικά κύματα. Θα εξετάσουμε τώρα τί συμβαίνει στον αέρα, όταν πάλλεται ένα διαπασών καί ακούμε τόν ήχο πού παράγει. "Όταν τό σκέλος Α ενός διαπασών (Σχ. 4) κινείται πρός τά δεξιά, συμπιέζει τόν αέρα πού είναι κοντά του, μέ αποτέλεσμα νά σχηματιστεί ένα **πύκνωμα μορίων**. Στην περιοχή του πυκνώματος ή πίεση είναι μεγαλύτερη από πρίν. Τά μόρια του πυκνώματος αυτού ώθούν στη συνέχεια τά γειτονικά τους μόρια, όποτε μετατοπίζεται τό πύκνωμα στά γειτονικά μόρια. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι τό αρχικό πύκνωμα των μορίων, δηλ. ή αρχική διαταραχή, διαδίδεται μέσα στον αέρα. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι σχηματίζονται κύματα ελαστικότητας μέσα στον αέρα πού περιβάλλει τό διαπασών. Τά κύματα αυτά είναι διαμήκη, γιατί τά μόρια του αέρα πάλλονται κατά τή διεύθυνση πού διαδίδεται ή διαταραχή καί σχηματίζονται πυκνώματα καί αραιώματα (βλ. 13η ενότητα). Τά κύματα αυτά λέγονται ήχητικά. "Όταν τά ήχητικά κύματα φθάσουν στο αύτί μας καί τό έρεθίσουν λέμε ότι ακούμε κάποιο ήχο. "Επομένως:

Τά ήχητικά κύματα (ήχος) είναι κύματα ελαστικότητας πού έχουν κατάλληλη συχνότητα, ώστε, ερεθίζοντας τό αύτί, νά δημιουργούν διάφορα ακουστικά αισθήματα.

Τά ήχητικά κύματα πού διαδίδονται στα ρευστά (υγρά καί αέρια) είναι μόνο διαμήκη, ενώ τά ήχητικά κύματα πού διαδίδονται στα στερεά είναι διαμήκη ή εγκάρσια.



Σχ. 3.



Σχ. 4. Ήχητικά κύματα.

III. ΔΙΑΦΟΡΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

α. Συχνότητα του ήχου λέγεται ή συχνότητα της παλμικής κινήσεως της ήχητικής πηγής (π.χ. του διαπασών). Η συχνότητα του ήχου φανερώνει τον αριθμό των πυκνωμάτων ή των αραιωμάτων που παράγονται από την ήχητική πηγή σε μία χρονική μονάδα (1sec).

β. Περίοδος του ήχου λέγεται ή περίοδος της παλμικής κινήσεως της ήχητικής πηγής.

γ. Μήκος κύματος λέγεται ή απόσταση στην οποία φθάνει ή διαταραχή (πύκνωμα ή αραιώμα) σε χρόνο ίσο προς την περίοδο του ήχου. Τό μήκος κύματος είναι ίσο με την απόσταση δύο διαδοχικών πυκνωμάτων ή αραιωμάτων (Σχ.4).

δ. Ταχύτητα του ήχου. Η ταχύτητα διαδόσεως των ήχητικών κυμάτων εξαρτάται από τό υλικό μέσο, στο όποιο διαδίδεται ό ήχος. Αποδεικνύεται ότι ή ταχύτητα διαδόσεως του ήχου στά στερεά σώματα είναι πιό μεγάλη από ό,τι στά υγρά, καί στά υγρά πιό μεγάλη από ό,τι στά αέρια.

Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται καί από τή θερμοκρασία. Όταν αυξάνεται ή θερμοκρασία, αυξάνεται καί ή ταχύτητα του ήχου, όχι όμως ανάλογα προς αυτή. Στόν πίνακα I αναγράφονται μερικά παραδείγματα γιά τήν ταχύτητα του ήχου.

Γιά τήν ταχύτητα του ήχου ισχύει ό γνωστός τύπος της κυματικής:

$$v = \lambda \cdot \nu$$

ΠΙΝΑΚΑΣ I

Μέσο διαδόσεως	Ταχύτητα ήχου σε m/sec
άτσάλι	6.100
χαλαζίας	5.500
νερό (20 °C)	1.480
άέρας (0 °C)	331
άέρας (15 °C)	340
άέρας (20 °C)	343

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ό ήχος παράγεται από τίς παλμικές κινήσεις διαφόρων σωμάτων.
2. Ό ήχος διαδίδεται μόνο στά υλικά μέσα (στερεά, υγρά καί αέρια), ενώ δε διαδίδεται στό κενό.
3. Τά ήχητικά κύματα είναι κύματα ελαστικότητας που έχουν κατάλληλη συχνότητα, ώστε νά έρεθίζουν τό αὐτί. Τά ήχητικά κύματα που διαδίδονται στόν αέρα είναι διαμήκη.
4. Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται από τό υλικό μέσο στο όποιο διαδίδονται τά ήχητικά κύματα καί από τή θερμοκρασία.

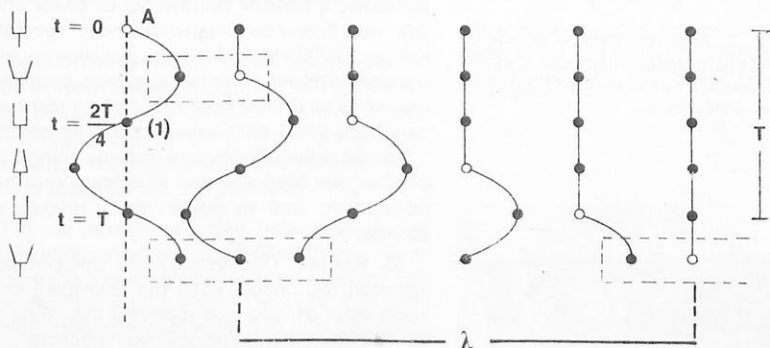
1. Τί είναι τὰ ἡχητικά κύματα;
2. Μέσα στὸν ἀέρα παράγεται ἕνας ἦχος. Τί διαδίδονται τότε μέσα στὸν ἀέρα; α. τὰ μόρια τοῦ ἀέρα; β. ἡ ἐνέργεια τῆς ἡχητικῆς πηγῆς; γ. τὰ πυκνώματα καὶ τὰ ἀραιώματα; δ. τὰ ὅρη καὶ οἱ κοιλάδες; ε. τίποτε ἀπὸ ὅλα αὐτά;
3. Τὸ διαπασῶν τοῦ Σχ. 4, πάλλεται μέ συχνότητα 440 Hz. Τὸ τύμπανο (ἢ μεμβράνη) τοῦ αὐτιοῦ ποὺ ἀκούει τὸν ἦχο τοῦ διαπασῶν πάλλεται; α. μέ τὴν ἴδια συχνότητα; β. μέ μεγαλύτερη συχνότητα; γ. μέ μικρότερη συχνότητα;
4. Ἐξω ἀπὸ τὴν ἀτμόσφαιρα γίνεται μία πολὺ μεγάλη ἔκρηξη. Θὰ ἀκουστεῖ στὴν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς;

1. Ὁ ἦχος τοῦ διαπασῶν ἔχει συχνότητα 440 Hz. Πόσο εἶναι τὸ μήκος κύματος τοῦ ἡχου αὐτοῦ στὸν ἀέρα, ὅταν ἡ ταχύτητα τοῦ ἡχου στὸν ἀέρα εἶναι 340m/sec;
2. Ἄν ὁ ἦχος ποὺ ἀναφέρεται στὸ προηγούμενο πρόβλημα διαδίδεται στὸ νερό μέ ταχύτητα 1500 m/sec, νὰ βρεῖτε τὸ μήκος κύματος τοῦ ἡχου αὐτοῦ στὸ νερό.
3. Στὸ ἓνα ἄκρο μιᾶς σιδηροτροχιᾶς ποὺ ἔχει μήκος 12km παράγεται ἕνας δυνατός ἦχος. Νὰ βρεῖτε τὴ διαφορά τῶν χρόνων ποὺ χρειάζεται ὁ ἦχος αὐτός γιὰ νὰ φθάσει στὸ ἄλλο ἄκρο τῆς σιδηροτροχιᾶς, ὅταν κινεῖται μέσα στὸν ἀέρα καὶ μέσα στὸ σίδηρο. Ἡ ταχύτητα τοῦ ἡχου στὸν ἀέρα καὶ στὸ σίδηρο εἶναι ἀντίστοιχα 340m/sec καὶ 6000 m/sec.

15ῃ ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΙΔΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ – ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ι. ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

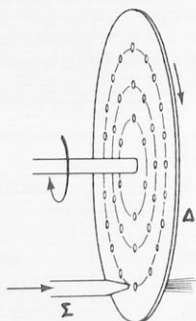


Ὅταν τὰ πυκνώματα καὶ τὰ ἀραιώματα τοῦ ἡχητικοῦ κύματος διαδίδονται π.χ. στὸν ἀέρα, τὰ μόρια τοῦ ἀέρα ἐκτελοῦν παλινδρομικὴ κίνηση περὶ τῆς θέσης «ἰσορροπίας» τους. Στὸ Σχ. 1 ἡ κατακόρυφη εὐθεία ἀντιστοιχεῖ στῇ θέσει «ἰσορροπίας» τοῦ πρώτου μορίου καὶ ἡ καμπύλη

Σχ. 1. Κάθε σειρά δείχνει τὴ θέση τῶν μορίων τοῦ ἀέρα σὲ μιὰ ὁρισμένη χρονικὴ στιγμή (στιγμιότυπα κύματος). Ἡ καμπύλη (1) παριστάνει τὴν ταλάντωση τοῦ μορίου Α' (κυματομορφή τοῦ ἡχου).



Σχ. 2.



Σχ. 3. Σειρήνα. "Όταν ο δίσκος Δ στρέφεται και διαβιάσουμε σ' αυτόν ρεύμα αέρα με το σωλήνα Σ, παράγεται άπλός ήχος



Σχ. 4. Γεννήτρια ακουστών συχνοτήτων

(1) δείχνει τις θέσεις πού έχει τό μόριο αυτό στις διάφορες χρονικές στιγμές.

Η καμπύλη αυτή, πού παριστάνει την ταλάντωση κάποιου μορίου, λέγεται **κυματομορφή** καί έχει τό ίδιο σχήμα γιά όλα τά μόρια τού μέσου. Μπορούμε νά δούμε την κυματομορφή τού ήχου στην οθόνη τού καθοδικού παλμογράφου (Σχ.2).

II. ΕΙΔΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

α. Άπλός ήχος ή τόνος. Έχει την κυματομορφή πού βλέπουμε στό Σχ. 2 , λέγεται καί **άρμονικός ήχος**, έχει μία όρισμένη συχνότητα καί παράγεται από μερικά εργαστηριακά όργανα, όπως είναι τό διαπασών, ή σειρήνα (Σχ.3) καί ή γεννήτρια ακουστών συχνοτήτων (Σχ.4).

β. Σύνθετος ήχος ή φθόγγος. Σύνθετος ήχος είναι ό ήχος τής φωνής μας καί εκείνος πού παράγεται από τά μουσικά όργανα. Ό ήχος αυτός λέγεται καί **περιοδικός μή άρμονικός ήχος** καί μάς δημιουργεί εύχάριστο αίσθημα. Ό σύνθετος ήχος μπορεί νά αναλυθεί σέ πολλούς **άπλους ήχους** πού οί συχνότητές τους είναι άκέραια πολλαπλάσια μιås όρισμένης συχνότητας (π.χ. 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz κτλ.). Από τούς ήχους αυτούς εκείνος πού έχει τή μικρότερη συχνότητα (π.χ. 100 Hz) λέγεται **θεμελιώδης ή πρώτος άρμονικός**. Οί άλλοι άπλοί ήχοι πού έχουν συχνότητα διπλάσια, τριπλάσια κτλ. (π.χ. 200 Hz, 300 Hz κτλ.), λέγονται αντίστοιχα **δεύτερος άρμονικός, τρίτος άρμονικός** κτλ. Κάθε σύνθετος ήχος έχει τή δική του κυματομορφή, όπως βλέπουμε στό Σχ. 5β καί 6β.

γ. Θόρυβος. Παράγεται από τήν κίνηση τών φύλλων τών δένδρων, από τό σχίσμο χαρτιού ή ύφασματος, από τή συγκέντρωση πολλών ανθρώπων κτλ.

δ. Κρότος. Παράγεται κατά τήν εκपुरσοκρότηση τού όπλου, κατά τήν ηλεκτρική εκκένωση στην άτμόσφαιρα (βροντή) κτλ. Έχει μεγάλη ένταση καί μικρή χρονική διάρκεια.

III. ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Όταν ακούμε έναν ήχο μπορούμε νά βγάλουμε διάφορα συμπεράσματα, όπως π.χ. νά πούμε ότι είναι όξυς ή βαρύς, ότι είναι δυνατός ή άσθενής, ακόμα δέ ότι είναι ήχος κιθάρας ή ή

φωνή κάποιου γνωστού μας ανθρώπου. Τα συμπεράσματα αυτά δεν είναι ακριβώς τα ίδια για όλους τους ανθρώπους που ακούνε τον ίδιο ήχο. Λέμε λοιπόν ότι ο ήχος έχει ορισμένα υποκειμενικά γνώρισμα.

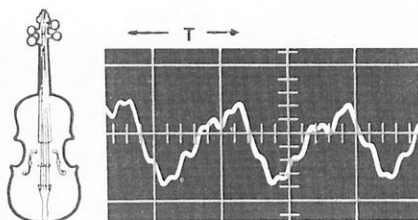
α. Ύψος του ήχου. "Όταν ακούσουμε διαδοχικά δύο ήχους με διαφορετικές γνωστές συχνότητες, θα συμπεράνουμε ότι ο ήχος με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι **οξύτερος** (πιό διαπεραστικός) από τον άλλο. Η γυναικεία φωνή είναι **λεπτή (ύψηλή)** και η ανδρική είναι **βαριά (χαμηλή)**, γιατί η συχνότητα της πρώτης είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα της δεύτερης. Επομένως:

Τό ύψος του ήχου είναι ένα γνώρισμα που εξαρτάται από τη συχνότητα του ήχου και μας επιτρέπει να συμπεράνουμε αν ο ήχος είναι **οξύς (ύψηλός)** ή **βαρύς (χαμηλός)**. Ο ύψηλός ήχος έχει μεγάλη συχνότητα και ο βαρύς μικρή συχνότητα.

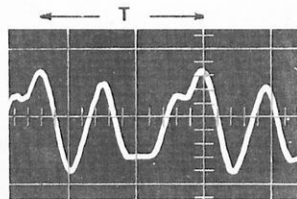
β. Άκουστικότητα του ήχου. "Όταν ακούσουμε διαδοχικά δύο ήχους με την ίδια συχνότητα και διαφορετική ένταση, θα συμπεράνουμε ότι οι ήχοι αυτοί έχουν τό ίδιο ύψος, αλλά ο ένας ακούγεται **πιό δυνατά** από τον άλλο. "Όταν χτυπάμε με μεγάλη δύναμη τό διαπασών, ο ήχος του ακούγεται **πιό δυνατά**. Επομένως:

Η άκουστικότητα του ήχου είναι ένα γνώρισμα που εξαρτάται από την ένταση του ήχου και μας επιτρέπει να συμπεράνουμε αν ο ήχος είναι **ισχυρός** ή **ασθενής**. Ο ήχος που έχει μεγάλη ένταση έχει και μεγάλη άκουστικότητα (είναι ισχυρός) και αντίστροφα.

Γιά να μετρήσουμε την άκουστικότητα του ήχου χρησιμοποιούμε τη μονάδα Phon (φών). Γιά έναν ήχο που μόλις ακούγεται λέμε ότι έχει άκουστικότητα μηδέν Phon. Γιά έναν ήχο πολύ ισχυρό, που προκαλεί πόνο στό ατί μας, λέμε ότι έχει άκουστικότητα 130 Phon. Δεν πρέπει να συγχέουμε την ένταση του ήχου με την άκουστικότητα. Η ένταση ενός ήχου είναι ανεξάρτητη από τον παρατηρητή που ακούει τον ήχο, ενώ η άκουστικότητα του ίδιου ήχου διαφέρει από παρατηρητή σέ παρατηρητή.



Σχ. 5. (α) Βιολί. (β) Κυματομορφή μιās νότας βιολιού



Σχ. 6. (α). Κλαρίνο. (β). Κυματομορφή μιās νότας κλαρινού. Η καμπύλη επαναλαμβάνεται ύστερα από κάθε περίοδο T

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι

	Όρια ακουστών ήχων
Άνθρωπος	16 Hz – 20.000 Hz
Σκύλος	15 Hz – 50.000 Hz
Γάτα	60 Hz – 65.000 Hz
Τζιτζίκας	100 Hz – 15.000 Hz
Δελφίνι	150 Hz – 150.000 Hz
Νυχτερίδα	1000 Hz – 120.000 Hz

γ. Χροιά του ήχου. Όταν ακούσουμε διαδοχικά δύο σύνθετους ήχους, που έχουν την ίδια συχνότητα και την ίδια ένταση, αλλά παράγονται από διαφορετικά μουσικά όργανα, π.χ. κλαρίνο και βιολί, θα συμπεράνουμε ότι οι ήχοι αυτοί είναι διαφορετικοί, αν και μάς δημιουργούν την ίδια εντύπωση ύψους και ακουστότητας. Ακόμη μπορούμε να καταλάβουμε ποιό όργανο παράγει τον κάθε ήχο, χωρίς βέβαια να το βλέπουμε. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι οι σύνθετοι ήχοι διακρίνονται από τη χροιά τους. Επομένως:

Η χροιά ενός σύνθετου ήχου είναι το γνώρισμα που μας επιτρέπει να διακρίνουμε τον ήχο αυτό από έναν άλλο σύνθετο ήχο του ίδιου ύψους και της ίδιας ακουστότητας. Η χροιά εξαρτάται από τους άπλους ήχους που αποτελούν το σύνθετο.

IV. ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΑΚΟΥΣΤΩΝ ΗΧΩΝ

Για να ακούγεται ένας ήχος από το ανθρώπινο αυτί, πρέπει να έχει συχνότητα από 16 Hz ως 20000 Hz περίπου και κατάλληλη ένταση.

Οι ήχοι που έχουν συχνότητα μικρότερη από 16 Hz λέγονται **υπόηχοι** και εκείνοι που έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από 20000 Hz λέγονται **υπέρηχοι**.

Οι υπέρηχοι έχουν σήμερα πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία, στην Ιατρική, στη Χημεία, στη Βιολογία κτλ. Τα όρια των ακουστών ήχων διαφέρουν από το ένα ζώο στο άλλο, όπως φαίνεται στον πίνακα Ι. Τα περισσότερα ζώα ακούν περισσότερους ήχους από εκείνους που παράγουν. Ο τζίτζικας όμως παράγει ήχους από 7000 Hz ως 100000 Hz, τρίβοντας τα πόδια του πάνω στη σκληρή κοιλιά του, και ακούει ήχους από 100 Hz ως 15000 Hz. Ο τζίτζικας, λοιπόν, ακούει ένα ελάχιστο μέρος των ήχων που παράγει.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α. Τι γνωρίζετε για τον άπλο ήχο και τι για το σύνθετο; β. Να βρείτε διαφορές ανάμεσα στον άπλο και στο σύνθετο ήχο.
2. Να βρείτε και να ονομάσετε μερικούς αρμονικούς ήχους, που έχουν ως πρώτο αρμονικό τον ήχο συχνότητας 800 Hz.
3. Τι είναι ύψος του ήχου;
4. α. Τι είναι η ακουστότητα του ήχου; β. Σε τι διαφέρει η ακουστότητα ενός ήχου από την έντασή του;
5. α. Τι είναι η χροιά του ήχου και από τι εξαρτάται; β. Ποιοί ήχοι έχουν χροιά;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οι ήχοι διακρίνονται σε άπλους ή τόνους, σε σύνθετους ή φθόγγους, σε θορύβους και σε κρότους.
2. Ο άπλος ήχος έχει μια όρισμένη συχνότητα (άρμονικός) και παράγεται από μερικά εργαστηριακά όργανα.

3. Ο σύνθετος ήχος (περιοδικός μή αρμονικός) αποτελείται από πολλούς απλούς ήχους (αρμονικούς) και παράγεται από τὰ μουσικά ὄργανα.
4. Τό ὕψος τοῦ ήχου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ συχνότητά του καὶ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε τοὺς ήχους σὲ ὑψηλοὺς (ὀξεῖς) καὶ σὲ χαμηλοὺς (βαρεῖς).
5. Ἡ ἀκουστότητα τοῦ ήχου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἔντασή του καὶ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε τοὺς ήχους σὲ δυνατοὺς καὶ ἀσθενεῖς.
6. Ἡ χροιά ἑνὸς σύνθετου ήχου ἐξαρτᾶται ἀπὸ τοὺς ἀπλοὺς ήχους πού τὸν ἀποτελοῦν καὶ μᾶς ἐπιτρέπει νὰ διακρίνουμε τὸν ήχο αὐτὸ ἀπὸ ἕναν ἄλλο σύνθετο ήχο τοῦ ἴδιου ὕψους καὶ τῆς ἴδιας ἀκουστότητας.
7. Τό ἀνθρώπινο αὐτί ἀκούει τοὺς ήχους πού ἔχουν συχνότητα ἀπὸ 16 Hz ὡς 20000 Hz περίπου καὶ κατάλληλη ἔνταση.

16η ΕΝΟΤΗΤΑ

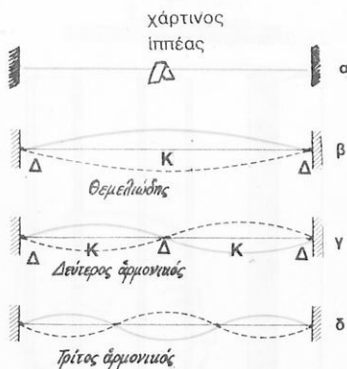
ΗΧΟΓΟΝΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΑΝΤΗΧΕΙΑ

Γνωρίζουμε ὅτι ὁ ήχος παράγεται ἀπὸ τὶς παλμικές κινήσεις διαφόρων σωμάτων. Τὰ σώματα αὐτὰ λέγονται **ήχογονες** (ήχητικές) πηγές καὶ μπορεῖ νὰ εἶναι χορδές, ήχητικοὶ σωλήνες, ράβδοι, μεμβράνες, κτλ. Θὰ μελετήσουμε τώρα μερικές ἀπὸ αὐτές τὶς ήχητικές πηγές.

1. ΗΧΟΓΟΝΕΣ ΠΗΓΕΣ

α. Χορδές. Κατασκευάζονται ἀπὸ μέταλλο ἢ ἀπὸ ἔντερο ζῶων, ἔχουν τὴ μορφή σύρματος καὶ στερεώνονται καὶ στὰ δύο ἄκρα τους. Ὄταν διεγείρουμε (κυρτώσουμε) μὴ τεντωμένη χορδὴ (Σχ.1α) καὶ τὴν ἀφήσουμε μετὰ ἐλευθερίας, θὰ παρατηρήσουμε ὅτι ἐκτελεῖ μὴ ιδιόρρυθμη ταλάντωση ἔτσι, ὥστε μερικά σημεῖα τῆς νὰ μένουν πάντα ἀκίνητα (**δεσμοὶ Δ**) καὶ μερικά ἄλλα νὰ πάλλονται πάντοτε μὲ τὸ μέγιστο πλάτος (**κοιλίες Κ**). Τὴν ὑπαρξὴ τῶν δεσμῶν καὶ τῶν κοιλῶν μπορούμε νὰ τὴν ἐπιβεβαιώσουμε καὶ μὲ ἕνα **χάρτινο ἱππέα**. Ὁ ἱππέας αὐτὸς μένει ἀκίνητος, ὅταν τὸν βάλουμε σὲ ἕνα δεσμό τῆς χορδῆς καὶ τινάζεται, ὅταν τὸν βάλουμε σὲ μὴ κοιλία τῆς. Ὄταν διεγείρουμε κατάλληλα τὴν χορδὴ, μπορεῖ νὰ πάλλεται, ὅπως δείχνει τὸ Σχ. 1β, ὁπότε παράγεται **ἀπλὸς ήχος** μὲ συχνότητα νι. Ὁ ήχος αὐτὸς λέγεται **θεμελιώδης ἢ πρῶτος ἀρμονικός**.

Ἡ ἴδια χορδὴ, μὲ ἄλλη κατάλληλη διέγερση,



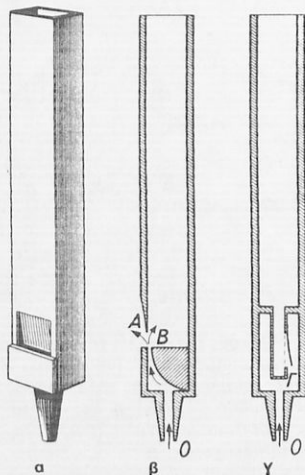
Σχ. 1. Ἡ κάθε μία ἀπὸ τὶς τρεῖς γραμμές τῶν σχημάτων (β), (γ), (δ), παραστάνει καὶ μὴ θέσιν τῆς ταλαντούμενης χορδῆς. Ἐπειδὴ ἡ συχνότητα τῆς χορδῆς εἶναι μεγάλη, τὸ μάτι μας δὲν μπορεῖ νὰ διακρίνει τὶς διαδοχικές θέσεις τῆς καὶ βλέπει ἀτράκτους (μία στὸ β, δύο στὸ γ κτλ.)
Κ = κοιλίες, Δ = δεσμοί



Σχ. 2. "Αρπα



Σχ. 3. Βιολοντσέλλο



Σχ. 4. Άνοιχτοί ήχητικοί σωλήνες. α) Έξωτερική εμφάνιση. β) Τομή άνοι-

μπορεί νά πάλλεται, όπως δείχνει τό Σχ. 1γ, όποτε παράγεται πάλι **άπλός ήχος** μέ συχνότητα διπλάσια ($v_2 = 2v_1$) πού λέγεται **δεύτερος άρμονικός**. Μέ ανάλογο τρόπο ή χορδή μπορεί νά παράγει τόν **τρίτο άρμονικό** (Σχ. 1δ, $v_3 = 3v_1$), τόν **τέταρτο άρμονικό** ($v_4 = 4v_1$) κτλ. "Όταν διεγείρουμε μία χορδή έλεύθερα, δηλ. χωρίς ιδιαίτερη φροντίδα, (έτσι διεγείρονται οί χορδές στά έγχορδα όργανα, π.χ. οί χορδές του βιολιού μέ τό δοξάρι) τότε παράγει ένα **σύνθετο ήχο (φθόγγο)**, πού αποτελείται από όλους τούς άπλους ήχους πού αναφέρθηκαν. Στην περίπτωση αύτή ή χορδή ταλαντώνεται μέ έναν πολύπλοκο τρόπο καί όχι όπως φαίνεται στό Σχ. 1. "Αρα:

"Όταν ή χορδή διεγερθεί έλεύθερα, παράγει ένα σύνθετο ήχο πού αποτελείται από πολλούς άπλους ήχους. Οί συχνότητες τών ήχων αυτών είναι $v_1, 2v_1, 3v_1$ κτλ.

"Αν διαθέτουμε ένα έγχορδο όργανο, π.χ. μία κιθάρα, μπορούμε εύκολα νά διαπιστώσουμε ότι ή συχνότητα v_1 του θεμελιώδους ήχου μιάς χορδής εξαρτάται από τά έξης: 1) Από τή δύναμη μέ τήν όποία τείνουμε (κουρντίζουμε) τή χορδή. ("Όταν αύξάνεται ή δύναμη, ή συχνότητα μεγαλώνει). 2) Από τό πάχος (διάμετρο) τής χορδής. (Οί λεπτότερες χορδές παράγουν όξύτερους ήχους). 3) Από τό μήκος τής χορδής. ("Όταν μικραίνει τό μήκος, ή συχνότητα μεγαλώνει). Οί χορδές ως ήχογόνες πηγές χρησιμοποιούνται στά έγχορδα μουσικά όργανα, όπως είναι ή άρπα (Σχ. 2), τό βιολί, τό βιολοντσέλο (Σχ. 3), τό πιάνο, ή λύρα, ή κιθάρα κτλ.

β. Ήχητικοί σωλήνες. Κατασκευάζονται από μέταλλο ή ξύλο, έχουν σχήμα κυλινδρικό ή πρισματικό μέ σταθερή διατομή, χοντρά τοιχώματα γιά νά μήν πάλλονται, καί περιέχουν άέρα. Οί ήχητικοί σωλήνες χωρίζονται σέ δύο είδη, σέ **άνοιχτούς**, όταν καί τά δύο άκρα τους είναι άνοιχτά (Σχ. 4), καί σέ **κλειστούς**, όταν τό έλεύθερο άκρο τους είναι κλειστό. "Όταν διεγείρουμε τόν ήχητικό σωλήνα μέ μία από τίς διατάξεις του Σχ. 4, ή άέρια στήλη του σωλήνα εκτελεί μία ιδιόρρυθμη ταλάντωση, όπως καί οί χορδές, όποτε παράγεται ήχος.

Οί ήχητικοί σωλήνες μπορούν νά παράγουν τόν πρώτο ή άνωτερους άρμονικούς ήχους άν

διεγείρονται κατάλληλα. "Ετσι, αν φυσήξουμε δυνατότερα σέ έναν ήχητικό σωλήνα, ακούγεται ήχος οξύτερος (άνώτερος αρμονικός). Επίσης, μεταβάλλοντας τό μήκος ενός σωλήνα, διαπιστώνουμε ότι μεταβάλλεται καί ή συχνότητα τοῦ παραγόμενου ἤχου καί μάλιστα ή συχνότητα αὐξάνεται ὅταν τό μήκος τοῦ σωλήνα ἐλαττώνεται. Οἱ ήχητικοί σωλήνες ὡς ήχογόνες πηγές χρησιμοποιοῦνται στά πνευστά μουσικά ὄργανα, ὅπως εἶναι ή φλογέρα, τό κλαρίνο, τό σαξόφωνο, ή κορνέτα, ή τρομπέτα (Σχ.5) κτλ.

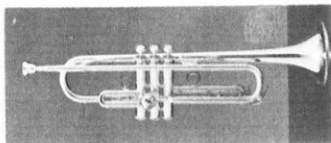
II. ANTHXEIA

"Όταν χτυπήσουμε μέ τό ἐλαστικό σφυράκι τό ένα σκέλος τοῦ διαπασῶν, θά ἀκούσουμε έναν **ἀσθενή** ἤχο. "Όταν ἀμέσως μετά τοποθετήσουμε τό διαπασῶν πού πάλλεται στό ξύλινο δοχεῖο τοῦ Σχ. 6, θά ἀκούσουμε **ισχυρό** ἤχο. Αὐτό ἐξηγεῖται ὡς ἐξῆς: Τό διαπασῶν πού πάλλεται διεγείρει τήν ἀέρια στήλη τοῦ δοχείου ἔτσι, ὥστε νά ἐκτελεῖ αὐτή ἐξαναγκασμένη ταλάντωση σέ **συντονισμό** μέ τόν ἤχο τοῦ διαπασῶν, δηλ. ή ἀέρια στήλη πάλλεται μέ συχνότητα ἴση πρός τή συχνότητα τοῦ διαπασῶν. "Επειδή κατά τό συντονισμό τό πλάτος τῆς ταλαντώσεως εἶναι μέγιστο, ὁ παραγόμενος ἤχος εἶναι ἰσχυρός. Τό ξύλινο δοχεῖο μέ τήν ἀέρια στήλη πού περιέχει λέγεται **ἀντηχεῖο**. "Αρα:

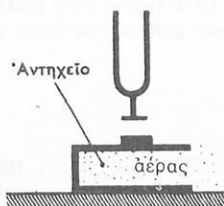
Τά ἀντηχεῖα εἶναι κοιλότητες μέ κατάλληλες διαστάσεις πού περιέχουν ἀέρα. "Όταν ὁ ἀέρας τῶν ἀντηχείων πάλλεται σέ συντονισμό μέ έναν ἐξωτερικό ἤχο, ὁ ἤχος αὐτός ἐνισχύεται.

Τά ἀντηχεῖα χρησιμοποιοῦνται γιά τήν καλή ἐκπομπή τῶν ἤχων. Ὑπάρχουν ἀντηχεῖα πού συντονίζονται μέ μία μόνο συχνότητα (μέ ένα μόνο ἀπλό ἤχο). Ἄλλα πάλι ἀντηχεῖα μποροῦν νά συντονίζονται μέ ὅλες τίς συχνότητες (μέ ὅλους τούς ἤχους), ὅπως τά ἀντηχεῖα τῶν μουσικῶν ὀργάνων, δηλ. τά ξύλινα κιβώτια τοῦ βιολιού, τῆς κιθάρας κτλ. Ἡ ἀνθρώπινη φωνή παράγεται ἀπό τίς παλμικές κινήσεις **τῶν φωνητικών χορδῶν** (Σχ.7) καί ἐνισχύεται ἀπό τή στοματική καί τή ρινική κοιλότητα πού συμπεριφέρονται σάν ένα μεταβλητό ἀντηχεῖο. Ὁ φωταγωγός τῶν πολυκατοικιῶν λειτουργεῖ ὡς ἀντη-

χτοῦ ήχητικοῦ σωλήνα χωρίς γλωσσίδα. γ) Τομή ἀνοιχτοῦ ήχητικοῦ σωλήνα μέ γλωσσίδα. (θ = ἐπιστόμιο, A = χεῖλος, B = στόμιο, Γ = γλωσσίδα)



Σχ. 5. Τρομπέτα



Σχ. 6. Διαπασῶν καί τό ἀντηχεῖο τοῦ



Σχ. 7. Οἱ κινήσεις τῆς γλώσσας ἀλλάζουν τό σχῆμα τοῦ ἀντηχείου τῆς στοματικῆς κοιλότητος καί ἔτσι ἐνισχύονται ὅλοι οἱ ἤχοι τῆς ἀνθρώπινης φωνῆς

χειο, γι' αυτό οι φωνές των ἐνοίκων ἐνός ὀρό-
φου ἀκούγονται καί στούς ἄλλους ὀρόφους,
ὅταν τά παράθυρα τοῦ φωταγωγοῦ εἶναι ἀνοι-
χτά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οἱ χορδές μποροῦν νά παράγουν ἓνα θεμελιώδη ἦχο (συχνότηας ν_1) καί ὅλους τούς ἁρμονικούς τοῦ ἡχου αὐτοῦ ($2\nu_1$, $3\nu_1$, $4\nu_1$ κτλ).
2. Ἡ συχνότητα ν_1 τοῦ θεμελιώδους ἡχου μιᾶς χορδῆς ἐξαρτᾶται ἀπό τό ὕψος τῆς χορδῆς, ἀπό τό μήκος της, ἀπό τό πάχος της, καθώς καί ἀπό τή δύναμη πού τεντώνει τή χορδή.
3. Οἱ ἡχητικοί σωλήνες μποροῦν νά παράγουν ἓνα θεμελιώδη ἦχο καί ἀνώτερους ἁρμονικούς. Ἡ συχνότητα τοῦ θεμελιώδους ἡχου καί τῶν ἁρμονικῶν του ἐξαρτᾶται ἀπό τό μήκος τοῦ σωλήνα.
4. Τά ἀντηχεῖα εἶναι κοιλότητες μέ κατάλληλες διαστάσεις πού περιέχουν ἀέρα καί χρησιμοποιοῦνται γιά τήν καλή ἐκπομπή τῶν ἡχων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πῶς ἐξηγεῖται ἡ ἀλλαγὴ στή συχνότητα τοῦ ἡχου μιᾶς φλογέρας μέ τό ἀνοίγμα μιᾶς τρύπας στό σωλήνα της;
(Ἀρχικά ὅλες οἱ τρύπες εἶναι κλειστές)
2. Ὄταν κουντίζουμε (τεντώνουμε) μία χορδή τῆς κιθάρας, ὁ ἦχος πού παράγεται γίνεται: α. βαρύτερος; β. ἰσχυρότερος; γ. ὀξύτερος; δ. πιό ἀσθενής; ε. μένει ὁ ἴδιος;
3. Μέ τό δάκτυλό μας ἐμποδίζουμε ἓνα μέρος μιᾶς χορδῆς τῆς κιθάρας νά πάλλεται. Ὁ ἦχος πού παράγεται τότε εἶναι: α. ἰσχυρότερος; β. πιό ἀσθενής; γ. βαρύτερος; δ. ὀξύτερος; ε. ὁ ἴδιος ὅπως καί πρίν;
4. Σέ τί διαφέρουν οἱ ἦχοι πού παράγονται ἀπό μία λεπτή καί ἀπό μία χοντρή χορδή βιολιοῦ καί γιατί;
5. Γιατί, ἡ στοματική κοιλότητα μπορεῖ νά ἐνισχύει ὅλους τούς ἡχους πού παράγονται ἀπό τίς φωνητικές μας χορδές;

17η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ – ΗΛΕΚΤΡΙΣΗ – ΗΛΕΚΤΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ι. ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

“Όταν δύο στεγνά σώματα τρίβονται μεταξύ τους, εμφανίζονται διάφορα φαινόμενα, που μερικές φορές πέφτουν στην αντίληψή μας. “Όταν π.χ. χαϊδεύουμε μία γάτα με στεγνά χέρια, τό τρίχωμά της άνασηκώνεται κάθε φορά που πλησιάζουμε τά χέρια μας σ’ αυτή. Παρόμοιο φαινόμενο εμφανίζεται καί κατά τό χτένισμά μας. “Αν τά μαλλιά μας είναι στεγνά, έλκονται από τή χτένα. Επίσης, αν τρίψουμε ένα πλαστικό στυλό με τά μάλλινα ρούχα μας καί τό πλησιάσουμε σε χαρτάκια, τά χαρτάκια έλκονται από τό στυλό..

Τά σώματα πού έχουν τήν ιδιότητα νά έλκουν διάφορα (έλαφρά) αντικείμενα, λέμε ότι είναι ήλεκτρισμένα ή ηλεκτρικά φορτισμένα καί ή πράξη πού κάνουμε γιά νά τά φορτίσουμε λέγεται ήλέκτριση.

Τό φυσικό μέγεθος πού περικλείεται στά ήλεκτρισμένα σώματα καί πού προκαλεί τά διάφορα ήλεκτρικά φαινόμενα, ονομάζεται ήλεκτρικό φορτίο.

Ως σύμβολο του φορτίου χρησιμοποιούμε τό γράμμα Q ή q καί ως μονάδα στό Διεθνές Σύστημα τό 1Coulomb (Κουλόμπ) ή σύντομα 1Cb.

Τά παραπάνω φαινόμενα παρατηρούνται έντονα τίς ξηρές μέρες, π.χ. όταν κάνει παγωνιά.

Η ήλέκτριση των σωμάτων παρατηρήθηκε γιά πρώτη φορά στό ήλεκτρο (κεχριμπάρι) από τό Θαλή τό Μιλήσιο τόν 6ο αιώνα π.Χ. καί από τή λέξη αυτή προέκυψαν όλες οι σχετικές λέξεις.

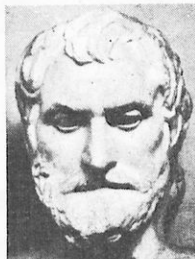
ΙΙ. ΗΛΕΚΤΡΟΣΚΟΠΙΟ

Τό ήλεκτρικό φορτίο δέν είναι ορατό. Γίνεται όμως αίσθητή ή παρουσία του από τά αποτελέσματά του.

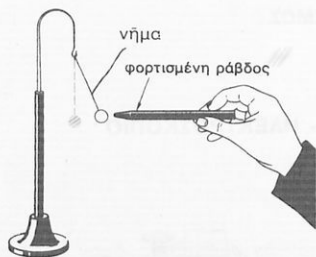
Ένα συνηθισμένο όργανο, με τό οποίο διαπιστώνουμε εύκολα τήν ύπαρξη ήλεκτρικών



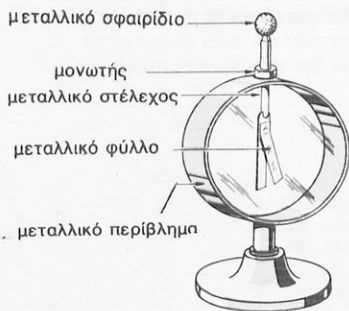
Σχ. 1. Τά ρούχα καί τό σώμα ήλεκτρίζονται, όταν ό διάδρομος τής τσουλήθρας είναι από συνθετικό ύλικό



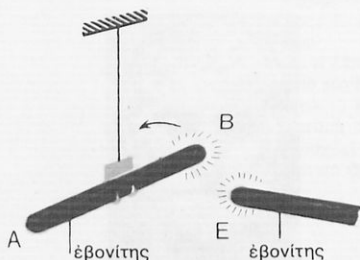
Σχ. 2. Θαλής ό Μιλήσιος



Σχ. 3. Ήλεκτρικό έκκρεμές



Σχ. 4. Ήλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα



Σχ. 5. Τα όμοιωμα φορτία απωθούνται

φορτίων σέ ένα σώμα, είναι τό **ήλεκτροσκόπιο**, τό όποίο έχει διάφορες μορφές.

α. Ήλεκτρικό έκκρεμές. Ένα άπλό ήλεκτροσκόπιο είναι τό ήλεκτρικό έκκρεμές (Σχ.3). Άποτελείται από ένα έλαφρό σφαιρίδιο (κομμάτι φελλού, χαρτιού, φελιζόλ κτλ.) κρεμασμένο από λεπτό καί στεγνό νήμα.

Άν πλησιάσουμε στό έκκρεμές ένα σώμα καί παρατηρήσουμε έκτροπή του έκκρεμοϋς από την κατακό, υφη θέση, σημαίνει ότι τό σώμα είναι ήλεκτρικά φορτισμένο.

β. Ήλεκτροσκόπιο μέ κινητά φύλλα. Τό ήλεκτροσκόπιο μέ κινητά φύλλα αποτελείται από μεταλλικό κύλινδρο, στό έσωτερικό του όποιου κρέμεται ένα μεταλλικό στέλεχος (Σχ.4). Τό στέλεχος στηρίζεται σέ πλαστικό πώμα καί φέρει στην κάτω άκρη ένα ή δύο κινητά μεταλλικά φύλλα. Όταν τό στέλεχος ήλεκτρίζεται τά φύλλα άπωθούνται καί άποκλίνουν.

Μέ τόν τρόπο αυτό μπορούμε νά διαπιστώσουμε την ύπαρξη ήλεκτρικών φορτίων σέ κάποιο σώμα.

III. ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Κρεμάμε μία ράβδο από έβονιτή, όπως φαίνεται στό Σχ.5. Κατόπιν τρίβουμε τή μία άκρη της μέ μάλλινο ύφασμα (ή δέρμα γάτας) καί την αφήνουμε νά ήρεμήσει. Όστερα πλησιάζουμε στην κρεμασμένη ράβδο μία άλλη ράβδο από έβονιτή, την όποία έχουμε επίσης τρίψει μέ μάλλινο ύφασμα καί παρατηρούμε ότι οί δύο ράβδοι **άπωθούνται**.

Άν όμως πλησιάσουμε στην ήλεκτρισμένη ράβδο από έβονιτή μία ράβδο από γυαλί, την όποία έχουμε τρίψει μέ μάλλινο ή μεταξωτό ύφασμα, θά παρατηρήσουμε ότι οί ράβδοι **έλκονται** (Σχ.5 α).

Άπό τό πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι πρέπει νά υπάρχουν δύο είδη φορτίου: αυτό πού εμφανίζεται στόν έβονιτή καί αυτό πού εμφανίζεται στό γυαλί.

Τό φορτίο πού αναπτύσσεται στόν έβονιτή, όταν τρίβεται μέ μάλλινο ύφασμα, λέγεται **αρνητικό φορτίο**, καί τό φορτίο πού αναπτύσσεται στό γυαλί, όταν τρίβεται μέ μάλλινο ή μεταξωτό ύφασμα, λέγεται **θετικό**.

Ἀλληλεπίδραση φορτίων. Ἀπὸ τὰ προηγούμενα πειράματα προκύπτει ὅτι τὰ **ὁμώνυμα φορτία** (φορτία ποῦ ἔχουν τὸ ἴδιο πρόσημο) ἀπωθοῦνται, ἐνῶ τὰ **ἐτερόνυμα** ἑλκονται.

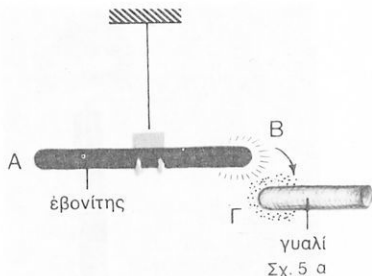
IV. ΤΡΟΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΕΩΣ

Εἶδαμε προηγουμένως ὅτι ἡ ἡλέκτριση τῶν σωμάτων γίνεται **μέ τριβή**, ἀλλὰ μπορεῖ νά γίνει καί μέ ἄλλους τρόπους.

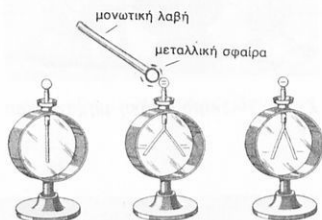
α. Μὲ ἐπαφή. Φέρουμε σὲ ἐπαφή μία φορτισμένη μεταλλικὴ σφαῖρα μέ τὸ στέλεχος ἑνὸς ἡλεκτροσκοπίου. Τὰ φύλλα τοῦ ἡλεκτροσκοπίου ἀποκλίνουν (Σχ.6). Στὴ συνέχεια ἀπομακρύνουμε τὴ σφαῖρα ἀπὸ τὸ στέλεχος καὶ παρατηροῦμε ὅτι τὰ φύλλα μένουν σὲ ἀπόκλιση. Ἄρα, τὸ στέλεχος πῆρε φορτία, ὅταν ἦρθε σὲ ἐπαφή μέ τὴ φορτισμένη σφαῖρα, καί τὰ διατήρησε μετὰ τὴν ἀπομάκρυνσή της.

Ὁ τρόπος αὗτός ἡλεκτρίσεως λέγεται ἡλέκτριση μέ ἐπαφή.

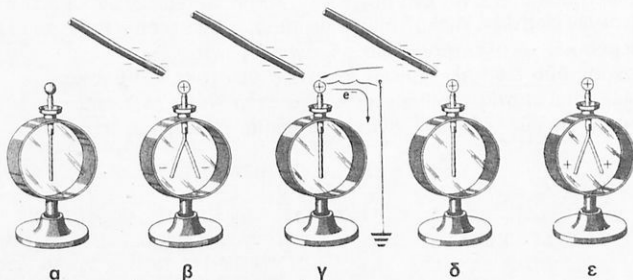
β. Μὲ ἐπαγωγή. Πλησιάζουμε σ' ἓνα ἡλεκτροσκόπιο μία φορτισμένη ράβδο καὶ παρατη-



Σχ. 5 α
Τὰ ἐτερόνυμα φορτία ἑλκονται:



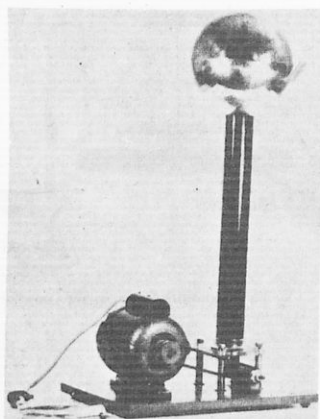
Σχ. 6. Ἠλέκτριση μέ ἐπαφή



ροῦμε ὅτι τὰ φύλλα τοῦ ἀποκλίνουν, χωρίς ἡ ράβδος νά ἀκουμπήσει στὸ στέλεχος (Σχ.7.β).

Στὸ χρόνο ποῦ ἡ φορτισμένη ράβδος βρίσκεται κοντὰ στὸ ἡλεκτροσκόπιο, ἀκουμπᾶμε τὸ δάχτυλό μας στὸ στέλεχος γιὰ μία μόνο στιγμή καί μετὰ τὸ ἀπομακρύνουμε. Κατόπιν ἀπομακρύνουμε τὴ φορτισμένη ράβδο καί βλέπουμε ὅτι τὰ μεταλλικὰ φύλλα ἀποκλίνουν καί παραμένουν σὲ ἀπόκλιση γιὰ ἄρκετό χρόνο

Σχ. 7. Ἠλέκτριση μέ ἐπαγωγή



Σχ. 8. Ήλεκτροστατική μηχανή Van de Graaf

(Σχ.7,ε). "Αρα τό ήλεκτροσκόπιο φορτίστηκε χωρίς νά έρθει σέ έπαφή μέ τό φορτισμένο σώμα.

Ό τρόπος αυτός φορτίσεως λέγεται ήλέκτριση μέ έπαγωγή.

V. ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

"Όταν μελετάμε ήλεκτρικά φαινόμενα σάν τά προηγούμενα, χρησιμοποιούμε συχνά τίς ήλεκτροστατικές γεννήτριες, οί όποίες έχουν τήν ικανότητα νά συσσωρεύουν ήλεκτρικά φορτία σέ μεταλλικές σφαίρες (Σχ. 8). Έτσι, αντί νά παράγουμε φορτία μέ τριβή, παίρνουμε έτοιμα φορτία από τίς γεννήτριες. Τά φορτία αυτά τά παίρνουμε μέ μικρές μεταλλικές σφαίρες πού στηρίζονται σέ μονωτική λαβή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Τό ήλεκτρικό φορτίο είναι ένα φυσικό μέγεθος πού προκαλεί τά διάφορα ήλεκτρικά φαινόμενα. Μονάδα ήλεκτρικού φορτίου είναι τό 1Cb.
2. Τό ήλεκτροσκόπιο είναι ένα όργανο μέ τό όποίο διαπιστώνουμε τήν ύπαρξη ήλεκτρικών φορτίων. Διακρίνουμε δύο τύπους ήλεκτροσκοπίων: τό ήλεκτρικό εκκρεμές καί τό ήλεκτροσκόπιο μέ κινητά φύλλα.
3. Υπάρχουν δύο είδη ήλεκτρικών φορτίων: άρνητικά καί θετικά.
4. Τά όμώνυμα φορτία άπωθούνται καί τά έτερόνυμα έλκονται.
5. Ή ήλέκτριση τών σωμάτων γίνεται μέ τριβή, έπαφή καί έπαγωγή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιά φορτία λέγονται άρνητικά καί ποιά θετικά;
2. Όταν χτενιζόμαστε ή χτένα ήλεκτρίζεται. Πώς γίνεται αυτή ή ήλέκτριση; Μέ τριβή, μέ έπαφή ή μέ έπαγωγή;
3. Στην ήλέκτριση μέ έπαγωγή (Σχ.8) ποιά είναι ή όρθή διαδικασία; α) Νά άπομα-

- κρύνουμε συγχρόνως τό δάκτυλο καί τή φορτισμένη ράβδο; β) Νά άπομακρύνουμε πρώτα τό δάκτυλό μας καί μετά τή ράβδο; γ) Νά άπομακρύνουμε πρώτα τή ράβδο καί μετά τό δάκτυλό μας;
4. Όταν τά αυτοκίνητα (ή άεροπλάνα) κινούνται, φορτίζονται ήλεκτρικά. Νά έξηγήσετε γιατί συμβαίνει αυτό. Τί μέτρα παίρνουμε γιά νά διευκολύνουμε τήν άποφόρτιση;

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ – ΠΥΚΝΩΤΕΣ

I. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB (Κουλόμπ)

Θεωρούμε δύο μικρές σφαίρες, φορτισμένες με φορτία Q_1 ή μία και Q_2 ή άλλη, σε απόσταση r (Σχ. 1).

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι σφαίρες θα έλκονται ή θα άπωθούνται, ανάλογα με το είδος των φορτίων τους. Η δύναμη F που ενεργεί σε κάθε σφαίρα, όπως αποδεικνύεται πειραματικά, εξαρτάται από την ποσότητα των φορτίων Q_1 και Q_2 , την απόσταση r , και από το υλικό που υπάρχει ανάμεσα στα φορτία. Μάλιστα με ακριβείς μετρήσεις αποδεικνύεται ότι ισχύει ο έξης Νόμος του Coulomb.

Η δύναμη F , που ασκείται μεταξύ δύο ηλεκτρικών φορτίων Q_1 και Q_2 , είναι ανάλογη προς το φορτίο Q_1 , ανάλογη προς το Q_2 και αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασεως r μεταξύ των φορτίων.

Δηλ.	$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$	Νόμος του Coulomb
------	-----------------------------------	-------------------

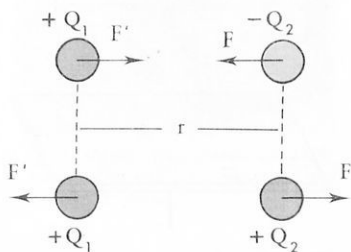
όπου K είναι μία φυσική σταθερά που εξαρτάται από το υλικό που υπάρχει ανάμεσα στα φορτία. Για το κενό και τον αέρα έχει την ίδια περίπου τιμή, $K = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Cb^2}$ (Διεθνές Σύστημα μονάδων).

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ δύο ακίνητων φορτίων λέγονται **ηλεκτρικές**.

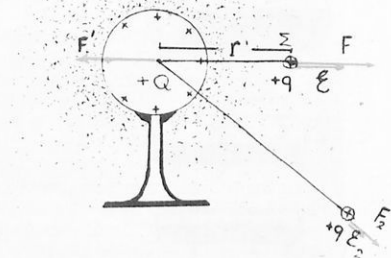
II. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

α. **Έννοια του πεδίου.** Θεωρούμε ένα σώμα φορτισμένο με κάποιο φορτίο Q (Σχ. 2). "Αν σε ένα σημείο Σ του χώρου γύρω από το φορτίο Q τοποθετήσουμε ένα άλλο φορτίο q , θα ασκηθεί πάνω του μία ηλεκτρική δύναμη που θα δίνεται από το νόμο του Coulomb. Το χώρο αυτό τον ονομάζουμε **ηλεκτρικό πεδίο**. "Αρα:

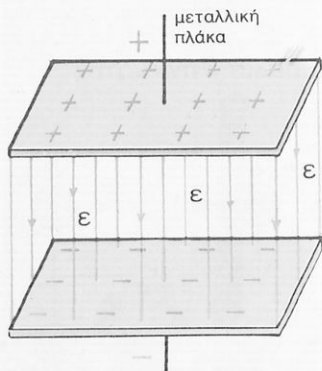
"Ένας χώρος λέγεται **ηλεκτρικό πεδίο**, όταν ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε ηλεκτρικό φορτίο που βρίσκεται μέσα σ' αυτόν.



Σχ. 1. Ηλεκτρικές δυνάμεις



Σχ. 2. Το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τη φορτισμένη σφαίρα είναι ανομογενές (εξασθενίζει με την απόσταση)



Σχ. 3. Επίπεδος πυκνωτής. Ανάμεσα στις παράλληλες πλάκες δημιουργείται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο. ($\mathcal{E}$ = σταθερό)

Γύρω από τούς πυρήνες των ατόμων – όπως θα δούμε σε επόμενες ενότητες – υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο όμοιο με το πεδίο που σχηματίζεται γύρω από μία φορτισμένη σφαίρα (Σχ. 2). Μέσα στο πεδίο αυτό κινούνται τα ηλεκτρόνια των ατόμων.

β. Ένταση του πεδίου. Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου είναι η ένταση. Η ένταση φανερώνει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο σε κάποιο σημείο του και ορίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

Θεωρούμε ένα φορτίο q σε κάποιο σημείο Σ του πεδίου. Αν F είναι η δύναμη που άσκει το πεδίο στο φορτίο, τότε το πηλίκο F/q εκφράζει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Σ .

Δηλ.

$\frac{\text{ένταση}}{\text{ήλ. πεδίου}} = \frac{\text{δύναμη}}{\text{φορτίο}}$	$\mathcal{E} = \frac{F}{q}$
---	-----------------------------

Η ένταση $\mathcal{E}$ είναι μέγεθος **διανυσματικό** και έχει την ίδια διεύθυνση και φορά με τη δύναμη που ασκείται πάνω σε **θετικό** φορτίο.

Η μονάδα μετρήσεως της έντασεως στο Διεθνές Σύστημα είναι τό

ένα νιούτον κατά κουλόμπ (1N/Cb)
καί βρίσκεται από τον τύπο που ορίζει την ένταση.

III. ΟΜΟΓΕΝΕΣ ΚΑΙ ΑΝΟΜΟΙΟΓΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

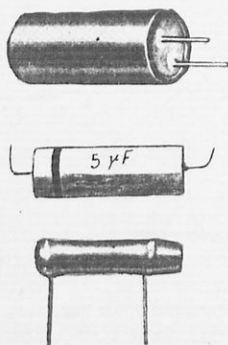
Όταν το πεδίο έχει την ίδια ένταση $\mathcal{E}$ σε όλα τα σημεία του, ονομάζεται **ομογενές** ηλεκτρικό πεδίο.

Ένα τέτοιο πεδίο μπορούμε να το πραγματοποιήσουμε με δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους (Σχ. 3). Αν φορτίσουμε τις πλάκες με αντίθετα φορτία, τότε ανάμεσα στις δύο πλάκες δημιουργείται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Στή φύση δε συναντάμε ομογενή ηλεκτρικά πεδία, αλλά **ανομοιογενή**. Τα πεδία αυτά δεν έχουν την ίδια ένταση σε όλα τα σημεία τους (Σχ. 2).

IV. ΠΥΚΝΩΤΕΣ

Τό σύστημα των δύο παράλληλων μεταλλικών πλακών του Σχ. 3 ονομάζεται **πυκνωτής** και

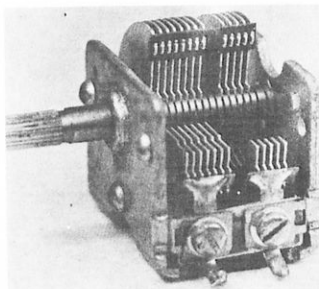


Σχ. 4. Μορφές πυκνωτών

οι δύο πλάκες ονομάζονται **όπλισμοί** του πυκνωτή.

Οι όπλισμοί δέν είναι απαραίτητο νά είναι παράλληλοι μεταξύ τους καί ούτε νά είναι επίπεδοι, άρκει νά είναι ηλεκτρικά μονωμένοι ό ένας από τόν άλλο. Οι πυκνωτές έχουν τήν ικανότητα νά αποθηκεύουν ηλεκτρικά φορτία καί νά τά δίνουν, όταν τά χρειαζόμαστε.

Υπάρχουν πολλών ειδών πυκνωτές καί χρησιμοποιούνται σέ ραδιόφωνα, τηλεοράσεις κτλ. (Σχ. 4, Σχ. 5).



Σχ. 5. Μεταβλητός πυκνωτής. (Χρησιμοποιείται στά ραδιόφωνα γιά τήν επιλογή σταθμών)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Μεταξύ δύο ηλεκτρικών φορτίων άσκειται πάντοτε ηλεκτρική δύναμη πού δίνεται από τόν τύπο

$$F = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

2. Όταν βάσουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο q σέ όποιοδήποτε σημείο ενός χώρου καί στό φορτίο q άσκειται μία ηλεκτρική δύναμη, τότε ό χώρος αυτός ονομάζεται ηλεκτρικό πεδίο.
3. Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι μέγεθος διανυσματικό καί όρίζεται από τόν τύπο $E = F/q$. Όταν ή ένταση E είναι ή ίδια σέ όλα τά σημεία ενός πεδίου, τό πεδίο λέγεται όμογενές.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πώς σχηματίζουμε όμογενές ηλεκτρικό πεδίο;
2. Τί πεδίο σχηματίζεται γύρω από τούς πυρήνες τών ατόμων: α) Όμογενές; β) Άνομοιογενές; γ) Σέ όρισμένα άτομα όμογενές καί σέ άλλα άνομοιογενές;
3. Νά γράψετε τό νόμο του Coulomb πού δίνει τή δύναμη F πού άσκειται στό φορτίο $+q$ (Σχ. 2). Κατόπιν νά αποδείξετε ότι ή ένταση E στό σημείο Σ δίνεται από τή σχέση $E = K \frac{Q}{r^2}$.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- *1. Στό Σχ. 1 δίνονται τά φορτία $Q_1 = 5 \cdot 10^{-8} \text{Cb}$ καί $Q_2 = 6 \cdot 10^{-9} \text{Cb}$ καί ή απόσταση $r = 2 \text{cm}$. Νά υπολογιστεί ή δύναμη F . Πόση θά είναι τότε ή δύναμη F' ; ($K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Cb}^2$).
2. Ένα φορτίο $q = 5 \cdot 10^{-10} \text{Cb}$ βρίσκεται άκίνητο σέ ένα σημείο Σ ηλεκτρικού πεδίου καί δέχεται από τό πεδίο δύναμη $12 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ (νιούτον). Πόση είναι ή ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στό σημείο Σ ;
3. Σας λένε ότι ή σφαίρα στό Σχ. 2 έχει φορτίο $Q = 10^{-7} \text{Cb}$ καί ότι τό μικρό φορτίο q δέχεται δύναμη $9 \cdot 10^{-4} \text{ N}$. Άν ή απόσταση r είναι $0,02 \text{m}$, πόσο είναι τό φορτίο q ; ($K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Cb}^2$).

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ – ΙΣΟΤΟΠΑ

Ι. ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ

Από τις έρευνες, πού έχουν γίνει μέχρι σήμερα, έχει αποδειχτεί ότι η ύλη συγκροτείται από πολύ μικρά σωματίδια, τα **άτομα**.

Τά άτομα δέν είναι όλα ίδια μεταξύ τους και ούτε έχουν τις ίδιες διαστάσεις. Τά μικρότερα και απλούστερα άτομα τά έχει τό στοιχείο υδρογόνο. (Η διάμετρός τους είναι περίπου $6\text{m}/100000000000 = 6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$).

Τά μεγαλύτερα άτομα φτάνουν μέχρι δέκα φορές τή διάμετρο του ατόμου του υδρογόνου.

α. Κάθε άτομο μοιάζει με μικρό ήλιακό σύστημα. Έχει ένα κεντρικό μέρος πού λέγεται **πυρήνας** και έναν ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων πού κινούνται γύρω από τον πυρήνα (Σχ. 1).

Τά ηλεκτρόνια εκτελούν δύο συγχρόνως κινήσεις. Μία γύρω από τον πυρήνα (περιφορά) και μία γύρω από τον άξονά τους (στροβιλισμός), όπως ή Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο και τον άξονά της. Η μάζα τους είναι πολύ μικρή και τό ηλεκτρικό τους φορτίο είναι μόνιμα άρνητικό.

Οι τροχιές των ηλεκτρονίων, γύρω από τον πυρήνα, δεχόμαστε για λόγους απλότητας ότι είναι κυκλικές. Οι ακτίνες των τροχιών αυτών δέν είναι τυχαίες, αλλά έχουν ορισμένες τιμές, πού είναι χαρακτηριστικές για κάθε είδος ατόμου.

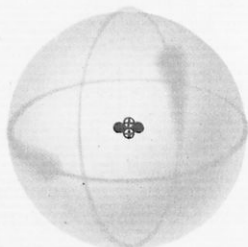
β. Ο πυρήνας αποτελείται από δύο είδη σωματιδίων, τά πρωτόνια και τά νετρόνια (Σχ. 1).

Τά πρωτόνια είναι πολύ μικρά σωματίδια, φορτισμένα μόνιμα με θετικό φορτίο, ίσο με τό φορτίο των ηλεκτρονίων. Η μάζα τους είναι περίπου 1840 φορές μεγαλύτερη από τή μάζα του ηλεκτρονίου.

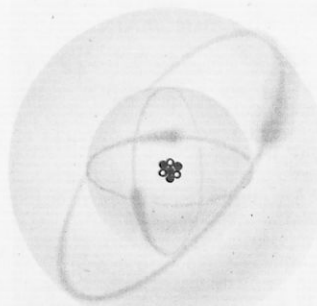
Τά άτομα στή φυσική τους κατάσταση είναι ουδέτερα, γιατί ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων τους.

Τά νετρόνια είναι ουδέτερα σωματίδια και έχουν μάζα ίση περίπου με τή μάζα των πρωτονίων.

● πρωτόνιο ● νετρόνιο



ήλιο 2He^4



λίθιο 3Li^7

Σχ. 1. Δομή των ατόμων

II. ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΚΑΙ ΜΑΖΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Τό άτομο του υδρογόνου περιέχει ένα πρωτόνιο στον πυρήνα του, τό ήλιο περιέχει δύο, τό λίθιο τρία κ.ο.κ.

Από τά παραδείγματα αυτά προκύπτει ότι σέ κάθε στοιχείο αντιστοιχεί καί ένας όρισμένος άριθμός πρωτονίων.

Ο άριθμός των πρωτονίων πού περιέχουν τά άτομα κάθε στοιχείου όνομάζεται **άτομικός άριθμός Z** του στοιχείου.

Όταν γνωρίζουμε τόν άτομικό άριθμό, μπορούμε, από τόν πίνακα του περιοδικού συστήματος των στοιχείων, νά βρούμε άμέσως τό στοιχείο πού αντιστοιχεί στόν άριθμό αυτό.

Εκτός από τόν άτομικό άριθμό, πού προσδιορίζει ποιό είναι τό στοιχείο, ύπάρχει καί ένας άλλος άριθμός, ό μαζικός άριθμός, πού προσδιορίζει τή μάζα κάθε ατόμου.

Λέγοντας **μαζικό άριθμό M**, έννοούμε τό συνολικό άριθμό πρωτονίων καί νετρονίων. Δηλ.

μαζικός άριθ. = άριθ. πρωτονίων + άριθ. νετρονίων
$M = Z + N$

Επειδή τά ηλεκτρόνια είναι περίπου 1840 φορές ελαφρότερα από τά πρωτόνια ή νετρόνια, συμπεραίνουμε ότι ή μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη κυρίως στόν πυρήνα. Άν, έπομένως, γνωρίζουμε τό μαζικό άριθμό ενός στοιχείου, μπορούμε νά ύπολογίσουμε τή μάζα των ατόμων του.

III. ΙΣΟΤΟΠΑ

Έχει βρεθεί πειραματικά ότι τό υδρογόνο αποτελείται από τρία διαφορετικά είδη ατόμων (Σχ. 2).

Τό ένα είδος περιέχει στόν πυρήνα ένα μόνο πρωτόνιο καί λέγεται πρώτιο. Τό άλλο είδος περιέχει στόν πυρήνα ένα πρωτόνιο καί ένα νετρόνιο καί λέγεται δευτέριο. Τέλος τό τρίτο είδος περιέχει στόν πυρήνα ένα πρωτόνιο καί δύο νετρόνια καί λέγεται τρίτιο.

Τά τρία αυτά είδη ατόμων έχουν όλα τόν ίδιο άτομικό άριθμό (άριθμό πρωτονίων), αλλά δια-

^1H



πρώτιο

^2H



δευτέριο

^3H



τρίτιο

Σχ. 2. Ίσοτοπα άτομα υδρογόνου

φέρουν στον αριθμό νετρονίων, επομένως και στο μαζικό αριθμό.

Τά άτομα που έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό, λέγονται ισότοπα.

Τά ισότοπα άτομα, αφού έχουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, ανήκουν στο ίδιο στοιχείο και έχουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες. Μόνο οι φυσικές τους ιδιότητες είναι διαφορετικές (π.χ. πυκνότητα, σημείο υγροποιήσεως κτλ.)

Γιά να διακρίνουμε τά ισότοπα άτομα, χρησιμοποιούμε μαζί με τό σύμβολο του στοιχείου και δύο αριθμούς, τον ατομικό και τό μαζικό αριθμό. Έτσι τά ισότοπα του υδρογόνου γράφονται:



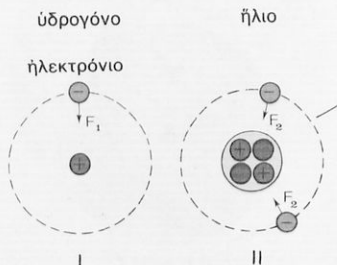
Ισότοπα άτομα συναντάμε στά περισσότερα φυσικά στοιχεία. (Τό όξυγόνο π.χ. έχει τρία ισότοπα ${}^{16}_8\text{O}^{16}$, ${}^{17}_8\text{O}^{17}$, ${}^{18}_8\text{O}^{18}$).

IV. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ

α. Ηλεκτρικές. Σύμφωνα μέ τούς νόμους τής Φυσικής, γιά νά μπορεί ένα σώμα νά κινείται σέ κυκλική τροχιά, πρέπει νά ασκείται διαρκώς πάνω του μία δύναμη μέ φορά πρὸς τό κέντρο τής τροχιάς. Δηλ. πρέπει νά ασκείται μία κεντρομόλος δύναμη.

Η δύναμη αὐτή, στήν περίπτωση τής περιφοράς τῶν ἡλεκτρονίων, προέρχεται ἀπό τήν ἑλξη πού ἀσκει τό φορτίο τοῦ πυρήνα στό φορτίο τοῦ ἡλεκτρονίου (Σχ. 3). Ἄν εἶναι γνωστά τά φορτία αὐτά καί ἡ μεταξύ τους ἀπόσταση, μπορούμε, μέ τό νόμο τοῦ Coulomb, νά υπολογίσουμε τήν ἡλεκτρική δύναμη πού ἀσκεῖ ὁ πυρήνας στά ἡλεκτρόνια.

β. Πυρηνικές. Τά πρωτόνια ἔχουν θετικό φορτίο καί ἐπομένως θά ἔπρεπε νά ἀπωθῶνται μεταξύ τους. Τά νετρόνια ἐξάλλου δέν ἔχουν ἡλεκτρικό φορτίο καί ἐπομένως δέ θά ἔπρεπε νά συγκρατοῦνται στόν πυρήνα. Συνεπῶς ἂν ἀναπτύσσονταν μόνο ἡλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ τῶν συστατικῶν τῶν πυρήνων, οἱ πυρήνες θά διαλύονταν αὐτόματα σέ ἀνεξάρτητα πρωτόνια καί νετρόνια. Μέ τή σκέψη αὕτη θά ὑπῆρχαν μόνο ἄτομα υδρογόνου στή φύση.



Σχ. 3. Ἡ ἑλξη τοῦ πυρήνα δημιουργεῖ τήν ἀπαραίτητη κεντρομόλο δύναμη

Από αυτά συμπεραίνουμε ότι μεταξύ των συστατικών των πυρήνων πρέπει να αναπτύσσονται και άλλες δυνάμεις, πού είναι έλκτικές και ισχυρότερες από τις ηλεκτρικές. Οι δυνάμεις αυτές ονομάζονται **πυρηνικές**. Οι πυρηνικές δυνάμεις εξασφαλίζουν τη σταθερότητα των πυρήνων των ατόμων.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΙΣΟΤΟΠΩΝ

Στοιχείο	Ισότοπα άτομα
Ήλιο	$2\text{He}^3, 2\text{He}^4$
Λίθιο	$3\text{Li}^6, 3\text{Li}^7$
Άνθρακας	$6\text{C}^{12}, 6\text{C}^{13}, 6\text{C}^{14}$
Άζωτο	$7\text{N}^{14}, 7\text{N}^{15}, 7\text{N}^{16}$

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Κάθε άτομο έχει έναν όρισμένο αριθμό ηλεκτρονίων. Τά ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τόν πυρήνα και συγχρόνως στροβιλίζονται γύρω από τόν άξονά τους.
- Ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια πού είναι θετικά φορτισμένα και νετρόνια πού είναι ουδέτερα. Τό πλήθος των πρωτονίων είναι ίσο μέ τό πλήθος των ηλεκτρονίων στά ουδέτερα άτομα και λέγεται ατομικός αριθμός. Τό σύνολο των πρωτονίων και νετρονίων λέγεται μαζικός αριθμός.
- Άτομα πού έχουν τόν ίδιο ατομικό αριθμό και διαφορετικό μαζικό, λέγονται ισότοπα άτομα.
- Τά ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τόν πυρήνα χάρη στίς έλκτικές δυνάμεις πού δέχονται από τόν πυρήνα. Τά πρωτόνια και νετρόνια συγκρατούνται στόν πυρήνα χάρη στίς πυρηνικές δυνάμεις.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

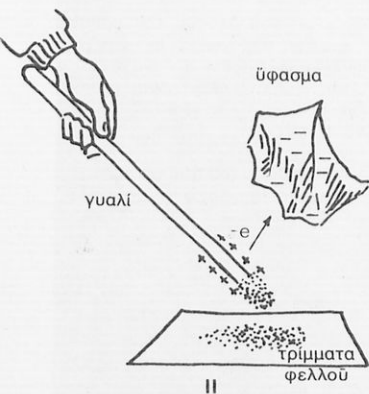
- Σέ τί διαφέρουν μεταξύ τους τά ισότοπα άτομα;
- α) Πόσο είναι τό μοριακό βάρος του 1H_2 και πόσο του 1H_2^2 ; β) Άν σέ ένα δοχείο Α υπάρχει ένα γραμμόμριο πρωτίου (1H_2) και σέ ένα άλλο δοχείο Β υπάρχει ένα γραμμόμριο δευτερίου (1H_2^2), πόσα γραμμάρια υδρογόνου υπάρχουν στό Α και πόσα στό Β;
- Τό άτομο του Na έχει 11 πρωτόνια και 12 νετρόνια στόν πυρήνα του. α) Πόσος είναι ό ατομικός και ό μαζικός αριθμός του; β) Πώς θά συμβολίσουμε τό ισότοπο αυτό του νατρίου;
- Ποιές δυνάμεις συγκρατούν α) τά ηλεκτρόνια πού περιφέρονται γύρω από τόν πυρήνα και β) τά πρωτόνια και νετρόνια μέσα στόν πυρήνα; Ποιές από τίς δυνάμεις αυτές μπορούμε νά υπολογίσουμε μέ τό νόμο του Coulomb;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- Τό ηλεκτρόνιο του ατόμου του υδρογόνου κινείται σέ τροχιά μέ ακτίνα $6 \cdot 10^{-11}\text{m}$. Νά υπολογίσετε τή δύναμη πού άσκει ό πυρήνας στό ηλεκτρόνιο. (φορτίο ηλεκτρονίου $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{Cb}$, $K = 9 \cdot 10^9\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{Cb}^2$)
- Ο ατομικός αριθμός του άζωτου είναι 7. Νά υπολογίσετε τό φορτίο του πυρήνα του. (φορτίο ηλεκτρ. $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{Cb}$).

ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΕΩΣ – ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ

ΜΟΝΩΤΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ



I. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΕΩΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Στήν προηγούμενη ένότητα μάθαμε ότι τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα αρνητικά και οι πυρήνες των ατόμων φορτισμένοι θετικά. Το σύνολο των θετικών φορτίων σε κάθε άτομο είναι ίσο με το σύνολο των αρνητικών φορτίων, με αποτέλεσμα τα άτομα – άρα και τα υλικά σώματα – να παρουσιάζονται ηλεκτρικά ουδέτερα. Για να ηλεκτρισθεί (φορτισθεί) ένα σώμα πρέπει να διαταραχθεί η ισορροπία των θετικών και αρνητικών του φορτίων. Με άλλα λόγια πρέπει να δημιουργηθεί πλεόνασμα αρνητικού ή θετικού φορτίου. Αυτό το πλεόνασμα ηλεκτρικού φορτίου σε ένα σώμα, μπορεί να γίνει με **πρόσληψη ή απόβολή ηλεκτρονίων**.

1. Στήν περίπτωση που τρίβουμε μία γυάλινη ράβδο με μάλλινο ύφασμα, φεύγουν από τη ράβδο ηλεκτρόνια και μεταβαίνουν στο ύφασμα (Σχ. 1). Έτσι η ράβδος φορτίζεται θετικά και το ύφασμα αρνητικά.

2. Στήν ηλεκτρική φόρτιση του ηλεκτροσκοπίου με επαγωγή (17η ενोट.) γίνεται μετακίνηση ηλεκτρονίων από το στέλεχος προς το σώμα μας, γιατί η ράβδος που προκαλεί την ηλεκτρίση είναι αρνητικά φορτισμένη. Έτσι το στέλεχος φορτίζεται θετικά. Άρα:

Η ηλεκτρίση ενός σώματος γίνεται με μεταφορά ηλεκτρονίων από το σώμα προς το περιβάλλον του ή και αντίστροφα.

II. ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΩΤΕΣ

Η ράβδος από έβονιτη, ή γυάλινη ράβδος, το μάλλινο ύφασμα κτλ., όταν φορτίζονται, διατηρούν τα φορτία ακίνητα στη θέση που πρωτοεμφανίζονται. Αντίθετα, το μεταλλικό στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου, καθώς και το σώμα μας, επιτρέπουν στα φορτία να κινηθούν. Έτσι, αν αγγίσουμε ένα φορτισμένο ηλεκτροσκόπιο με το δαχτυλό μας, το ηλεκτροσκόπιο εκφορτίζεται.

Σχ. 1. Κατά την ηλεκτρίση φεύγουν ηλεκτρόνια από το ένα σώμα και πηγαίνουν στο άλλο

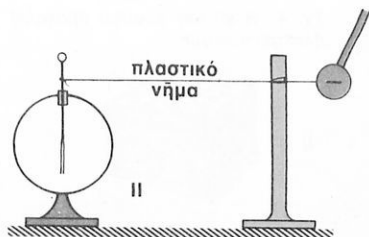
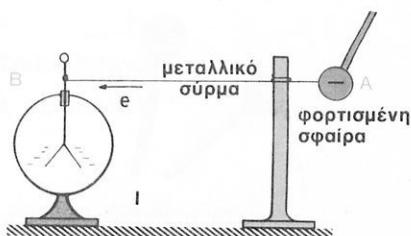
Τά υλικά που επιτρέπουν την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα στη μάζα τους λέγονται **αγωγοί** του ηλεκτρισμού και εκείνα που δεν επιτρέπουν την κίνηση των φορτίων λέγονται **μονωτές**.

Συχνά οι μονωτές ονομάζονται και **κακοί αγωγοί** του ηλεκτρισμού.

Μέ ένα ηλεκτροσκόπιο μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ποιά υλικά είναι αγωγοί και ποιά μονωτές (Σχ. 2).

Συνδέουμε ένα μεταλλικό σύρμα με το στέλεχος ενός ηλεκτροσκοπίου και άκουμπάμε στο άλλο άκρο του μία φορτισμένη μεταλλική σφαίρα. Παρατηρούμε ότι τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου αποκλίνουν (Σχ. 2, I). Από αυτό συμπεραίνουμε ότι το μεταλλικό σύρμα άφησε να περάσουν ηλεκτρικά φορτία μέσα από τη μάζα του και να μεταβούν από τη φορτισμένη σφαίρα στο στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου.

Αν επαναλάβουμε το ίδιο πείραμα με ένα πλαστικό νήμα, θά παρατηρήσουμε ότι τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου δεν αποκλίνουν (Σχ. 2, II). Με τέτοια πειράματα βρίσκουμε ότι τα μέταλλα, το σώμα μας, τα διαλύματα ηλεκτρολυτών κτλ. είναι ηλεκτρικοί αγωγοί. Αντίθετα, το γυαλί, τα πλαστικά, τα στεγνά ρούχα, το στεγνό ξύλο κτλ. είναι μονωτές.

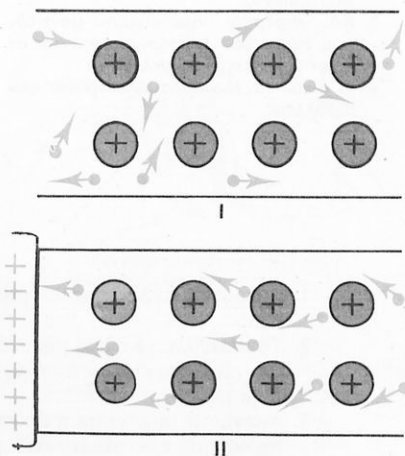


Σχ. 2. Οι αγωγοί επιτρέπουν την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων, ενώ οι μονωτές όχι

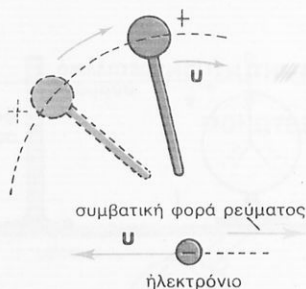
III. ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Η ιδιότητα που έχουν τα υλικά να επιτρέπουν την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα από τη μάζα τους λέγεται **ηλεκτρική αγωγιμότητα**.

Στα **μέταλλα** η αγωγιμότητα οφείλεται σε ηλεκτρόνια, τα οποία έχουν φύγει από τα άτομα και κινούνται ελεύθερα μέσα στη μάζα του μετάλλου (Σχ. 3, I). Τα ηλεκτρόνια αυτά προέρχονται από τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων, δηλ. από τα **ηλεκτρόνια σθένους** και ονομάζονται **ελεύθερα ηλεκτρόνια**. Όταν από ένα άτομο φεύγουν ηλεκτρόνια, το άτομο φορτίζεται θετικά, γίνεται δηλ. ένα **θετικό ιόν**. Στη μάζα λοιπόν των μετάλλων υπάρχουν θετικά ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ιόντα έχουν ορισμένες θέσεις μέσα στο μέταλλο και έκτελούν μικρές δονήσεις γύρω από αυτές. Αντίθετα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν παραμένουν σε ορισμένες θέσεις, αλλά κινούνται άτακτα ανάμεσα



Σχ. 3. Η αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια



Σχ. 4. Ἡ κίνηση φορτίου προκαλεῖ ηλεκτρικό ρεύμα

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί λέγεται συμβατική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος; Ποιά είναι ἡ πραγματική φορά του ρεύματος στους μεταλλικούς ἀγωγούς;
2. Πότε λέμε ὅτι ἓνα σῶμα εἶναι ηλεκτρικά φορτισμένο;
3. Νά ἀναφέρετε παραδείγματα μονωτῶν πού ἔχετε δεῖ νά χρησιμοποιοῦνται σέ διάφορα ηλεκτρικά κυκλώματα.
4. Τί εἶναι τὰ ἐλεύθερα ηλεκτρόνια τῶν μετάλλων;

στά ἰόντα, ὅπως περίπου κινοῦνται τὰ μόρια ἑνός ἀερίου.

Ἄν ἓνας μεταλλικός ἀγωγός ἔρθει σέ ἐπαφή μέ ἓνα φορτισμένο σῶμα, τότε τὰ ἐλεύθερα ηλεκτρόνια του κινοῦνται πρὸς τὴν ἴδια περίπου κατεύθυνση (Σχ. 3, II). Ἔτσι μεταφέρεται ηλεκτρικό φορτίο ἀπὸ τὸ ἓνα ἄκρο τοῦ ἀγωγοῦ σὲ ἄλλο ἄρα:

Ἡ ἀγωγιμότητα τῶν μετάλλων ὀφείλεται σὲ ἐλεύθερα ηλεκτρόνια τους.

IV. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Στὸ πείραμα τοῦ Σχ. 2, I, τὸ ηλεκτροσκόπιο φορτίζεται γιατί ηλεκτρικά φορτία, πού μεταφέρονται μέ τὰ ηλεκτρόνια, κινοῦνται μέσα σὲ μεταλλικό σύρμα AB, ἀπὸ τὴ φορτισμένη σφαῖρα πρὸς τὸ στέλεχος.

Ἡ κίνηση ηλεκτρικῶν φορτίων πρὸς κάποια κατεύθυνση ὀνομάζεται **ηλεκτρικό ρεύμα**.

Σύμφωνα μέ τὸν ὀρισμὸ τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος, ἀκόμη καὶ ἡ κίνηση ἑνός φορτισμένου σώματος παράγει κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα (Σχ. 4).

Φορὰ τοῦ ρεύματος. Ὡς φορὰ τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος ἔχει ὀρισθεῖ ἡ φορὰ κινήσεως τοῦ θετικοῦ ηλεκτρικοῦ φορτίου πού λέγεται συμβατική φορὰ (Σχ. 4).

Στὰ **μέταλλα**, ἡ πραγματική φορὰ τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος συμπίπτει μέ τὴ φορὰ κινήσεως τῶν ηλεκτρονίων (ἀρνητικῶν φορτίων) καὶ εἶναι ἀντίθετη πρὸς τὴ συμβατική φορὰ τοῦ ρεύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ἡ φόρτιση ἑνός σώματος μπορεῖ νά γίνει μέ πρόσληψη ἢ ἀποβολή ηλεκτρονίων.
2. Τὰ μέταλλα, τὸ σῶμα μας, τὰ διαλύματα ηλεκτρολυτῶν, τὰ βρεγμένα ρούχα κτλ. εἶναι ηλεκτρικοί ἀγωγοί, ἐνῶ τὰ πλαστικά, τὸ γυαλί, τὸ στεγνὸ ξύλο κτλ. εἶναι μονωτές.
3. Ἀγωγιμότητα λέγεται ἡ ιδιότητα πού ἔχουν διάφορα σῶματα νά ἐπιτρέπουν τὴν κίνηση τῶν ηλεκτρικῶν φορτίων μέσα στὴ μάζα τους.
4. Ἡ κίνηση ηλεκτρικοῦ φορτίου πρὸς κάποια κατεύθυνση λέγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛ. ΡΕΥΜΑΤΟΣ

I. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Στήν προηγούμενη ενότητα μάθαμε ότι τό μεταλλικό σύρμα, πού φορτίζει τό στέλεχος τοῦ ηλεκτροσκοπίου, διαρρέεται γιά λίγο ἀπό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν ἀκουμπάμε στό ἓνα ἄκρο του τή φορτισμένη σφαίρα. Μόλις ὅμως φορτισθεῖ τό στέλεχος καί δημιουργηθεῖ μία κατάσταση ηλεκτρικῆς ἰσορροπίας στά ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ, παύει ἡ διέλευση ηλεκτρικοῦ ρεύματος.

Γιά τή συνεχή παροχή ηλεκτρικοῦ ρεύματος σέ ἓναν ἀγωγό ἢ ηλεκτρικό κύκλωμα χρησιμοποιοῦνται οἱ ηλεκτρικές πηγές.

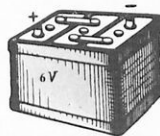
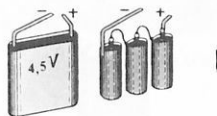
Υπάρχουν διάφορα εἶδη ηλεκτρικῶν πηγῶν. Οἱ γνωστότερες ἀπό αὐτές εἶναι τὰ ηλεκτρικά στοιχεῖα καί οἱ συσσωρευτές πού μετατρέπουν τή χημική ἐνέργεια σέ ηλεκτρική (Σχ. 1), οἱ γεννήτριες πού μετατρέπουν τή μηχανική ἐνέργεια σέ ηλεκτρική (Σχ. 2) καί τὰ φωτοστοιχεῖα πού μετατρέπουν τή φωτεινή ἐνέργεια σέ ηλεκτρική. Ὅταν δύο ἢ περισσότερα στοιχεῖα συνδέονται μεταξύ τους, τότε σχηματίζεται μία ηλεκτρική στήλη.

II. ΣΥΝΕΧΕΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ
(Ἔννοιες)

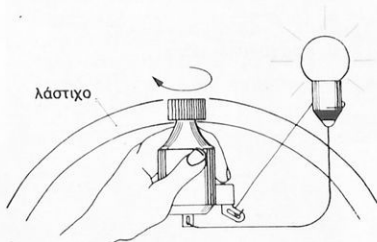
Τό ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται συνεχές, όταν ἔχει διαρκῶς τήν ἴδια φορά. Ἀντίθετα, όταν ἡ φορά τοῦ ρεύματος μεταβάλλεται περιοδικά μέ τό χρόνο, τό ρεύμα ὀνομάζεται ἐναλλασσόμενο.

Τὰ ηλεκτρικά στοιχεῖα, οἱ συσσωρευτές καί τὰ φωτοστοιχεῖα παράγουν συνεχές ρεύμα, ἐνῶ οἱ γεννήτριες, ἀνάλογα μέ τήν κατασκευή τους, μποροῦν νά δώσουν συνεχές ἢ ἐναλλασσόμενο ρεύμα.

Στά σπίτια μας ὡς πηγή ρεύματος χρησιμοποιοῦμε τό **ρευματοδότη** (κ. πρίζα), ἀλλά γιά τήν ἐκτέλεση ἀπλῶν πειραμάτων εἶναι ἀκατάλληλη πηγή, γιατί α) ὑπάρχει κίνδυνος **ἡλεκτροπληξίας** καί β) γιατί δίνει μόνο ἐναλλασσόμενο ρεύμα πού δέ χρησιμεύει σέ πολλὰ πειράματα.



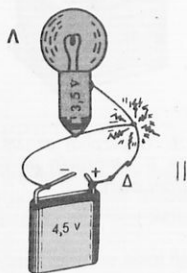
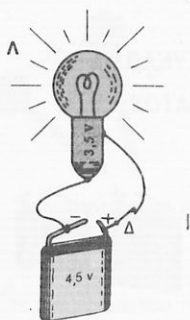
Σχ. 1. I. Ἡλεκτρική στήλη μέ τρία στοιχεῖα. II. Μπαταρία μέ τρία στοιχεῖα συσσωρευτή



Σχ. 2. Γεννήτρια ποδηλάτου. (παράγει ἐναλλασσόμενο ρεύμα)



Σχ. 3. Συμβολική παράσταση ἡλεκτρικῶν πηγῶν συνεχοῦς τάσεως. (Ἐνα στοιχεῖο καί τρία στοιχεῖα στή σειρά)



Σχ. 4. I. Κύκλωμα (κλειστό)
II. Βραχυκύκλωμα



Σχ. 5. Χημικά αποτελέσματα

II. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Ένα σύστημα που περιλαμβάνει ηλεκτρικές πηγές, καλώδια, ηλεκτρικές συσκευές και διακόπτη, ονομάζεται **ηλεκτρικό κύκλωμα** (Σχ. 4, I). Ο λαμπτήρας Λ, όπως και κάθε συσκευή που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια, λέγεται **ηλεκτρικός καταναλωτής**.

Όταν ένα κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται **κλειστό**, ενώ όταν δε διαρρέεται από ρεύμα λέγεται **άνοιχτό**.

Βραχυκύκλωμα. Είναι δυνατό, μερικές φορές, να συνδεθούν οι πόλοι μίας πηγής κατευθείαν με έναν αγωγό χωρίς να παρεμβάλλεται στο κύκλωμα κατάλληλος ηλεκτρικός καταναλωτής (π.χ. κατάλληλος λαμπτήρας) (Σχ. 4, II). Ένα τέτοιο κύκλωμα ονομάζεται **βραχυκύκλωμα**.

Στό βραχυκύκλωμα περνάει πολύ ρεύμα, που είναι ικανό μερικές φορές να λιώσει τούς αγωγούς ή να προκαλέσει πυρκαγιά.

Γιὰ να αποφεύγονται οι καταστρεπτικές συνέπειες από τὰ βραχυκυκλώματα, σέ όλες τīs ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ή συσκευές, υπάρχουν κατάλληλες **ασφάλειες**, που διακόπτουν τὸ κύκλωμα στὴν κατάλληλη χρονική στιγμή.

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Όταν τὸ ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα ἀπὸ τὴν ὕλη, φέρνει ὀρισμένα ἀποτελέσματα, τὰ σπουδαιότερα ἀπὸ τὰ ὁποῖα εἶναι τὰ θερμικά, τὰ μαγνητικά, τὰ μηχανικά, τὰ χημικά καὶ τὰ βιολογικά ἀποτελέσματα.

α) Θερμικά ἀποτελέσματα

Τὰ θερμικά ἀποτελέσματα τοῦ ρεύματος εἶναι ἴσως ἀπὸ τὰ πιὸ φανερά καὶ γνωστά φαινόμενα τοῦ ρεύματος. Οἱ λαμπτήρες πυρακτώσεως, οἱ ηλεκτρικές θερμάστρες, οἱ ηλεκτρικές κουζίνες κτλ. λειτουργοῦν χάρη στὴ θερμότητα πὺ προκαλεῖ τὸ ρεύμα ὅταν διέρχεται μέσα ἀπὸ τούς αγωγούς. Στīs περιπτώσεις αὐτές ἡ ηλεκτρική ἐνέργεια μετατρέπεται σέ θερμική.

β) Χημικά ἀποτελέσματα

Μέσα σέ ποτὴρι πὺ περιέχει διάλυμα χλωριούχου νατρίου, βυθίζουμε δύο χάλκινα καλώδια (ἡλεκτρόδια) πὺ ἔχουμε συνδέσει μὲ τούς πόλους μίας πηγής συνεχούς ρεύματος καὶ παρατηροῦμε ὅτι πάνω στὸ ἀρνητικό ἡλεκτρό-

διο έλευθερώνονται φυσαλίδες αερίου (Σχ. 5). Από αυτό συμπεραίνουμε ότι τό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται από διαλύματα ηλεκτρολυτών, προξενεί χημικές μεταβολές, δηλ., χημικά φαινόμενα.

γ) Μαγνητικά αποτελέσματα

Τοποθετούμε έναν άγωγο παράλληλα προς μία μαγνητική βελόνα, πού ισορροπεί μέ διεύθυνση «βερράς - νότος» (Σχ. 6) καί διοχετεύουμε ηλεκτρικό ρεύμα στόν άγωγό. Παρατηρούμε ότι ή βελόνα στρέφεται καί τείνει νά γίνει κάθετη προς τόν άγωγό. Τό γεγονός αυτό φανερώνει ότι τό ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί νά άσκήσει δυνάμεις σέ μαγνήτες, δηλ. νά φέρει μαγνητικά άποτελέσματα.

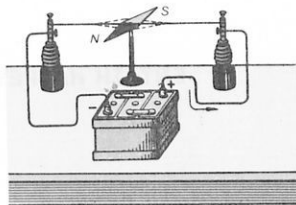
δ) Μηχανικά άποτελέσματα

Παρόμοιες δυνάμεις μέ αυτές πού κινούν τή μαγνητική βελόνα βάζουν σέ λειτουργία τούς ηλεκτρικούς κινητήρες (άνεμιστήρες κτλ.), όταν αυτοί συνδέονται μέ τήν ηλεκτρική πηγή. "Ετσι ή ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σέ μηχανική.

ε) Βιολογικά άποτελέσματα

Τέλος τό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται από τό ανθρώπινο σώμα ή τό σώμα τών ζώων, προκαλεί βιολογικά άποτελέσματα, τά όποια είναι δυνατό νά προξενήσουν καί τό θάνατο.

Μερικά από τά άποτελέσματα αυτά είναι: έγκαύματα, χημικές άποσυνθέσεις καί τέτανος τών μυών.



Σχ. 6. Μαγνητικά άποτελέσματα

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί μετατροπές ενέργειας γίνονται α) μέ ένα ηλεκτρικό στοιχείο β) μέ μία γεννήτρια καί γ) μέ έναν ηλεκτρικό κινητήρα;
2. Για ποιούς λόγους ή πρίζα είναι άκατάλληλη νά χρησιμοποιηθεί ως πηγή ρεύματος σέ κοινά πειράματα;
3. Τί είναι ηλεκτρικός καταναλωτής; Νά αναφέρετε μερικά παραδείγματα.
4. Τί βλάβες μπορεί νά προξενήσει τό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται από έναν οργανισμό;
5. Σας λένε νά μετατρέψετε α) τήν ηλεκτρική ενέργεια σέ χημική, β) τήν ηλεκτρική ενέργεια σέ φωτεινή, γ) τή φωτεινή ενέργεια σέ ηλεκτρική καί δ) τήν ηλεκτρική ενέργεια σέ μηχανική. Τί συσκευή θά χρησιμοποιήσετε στήν κάθε περίπτωση;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οί ηλεκτρικές πηγές εξασφαλίζουν τήν αδιάκοπη κυκλοφορία του ηλεκτρικού ρεύματος στά ηλεκτρικά κυκλώματα. Διακρίνονται σέ ηλεκτρικά στοιχεία, συσσωρευτές, γεννήτριες, φωτοστοιχεία κτλ.
2. Τό συνεχές ρεύμα έχει σταθερή φορά, ενώ τό έναλλασσόμενο μεταβάλλει τή φορά του περιοδικά μέ τό χρόνο.
3. Ένα κύκλωμα λέγεται κλειστό όταν διαρρέεται από ρεύμα καί άνοιχτό όταν δέ διαρρέεται. "Αν συμβεί νά συνδεθεί ανάμεσα στους πόλους ηλεκτρικής πηγής ένας άγωγός, χωρίς νά παρεμβάλλεται ηλεκτρικός καταναλωτής, έχουμε βραχυκύκλωμα.
4. Τά άποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι θερμικά, χημικά, μαγνητικά, βιολογικά καί μηχανικά.

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛ. ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Ι. ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τό ηλεκτρικό ρεύμα είναι κάτι ανάλογο προς τό ρεύμα ενός ποταμού ή τή ροή νερού μέσα σέ σωλήνα. Στήν περίπτωση τής ροής νερού σέ σωλήνα δέ μās ενδιαφέρει ή όλική ποσότητα του νερού, πού υπάρχει στό σωλήνα, αλλά ή ποσότητα του νερού πού περνάει από κάποια διατομή του σωλήνα στή μονάδα του χρόνου, δηλ. ή παροχή του σωλήνα. Τό ανάλογο μās ενδιαφέρει καί στήν περίπτωση του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλ. μās ενδιαφέρει νά γνωρίζουμε τήν ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου q πού περνάει από κάποια διατομή του αγωγού στή μονάδα του χρόνου. Τό μέγεθος αυτό πού μετράει τήν ηλεκτρική «παροχή» ενός αγωγού ονομάζεται **ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος** καί ορίζεται ως εξής:

“Ένταση i του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται τό φυσικό μέγεθος πού εκφράζεται μέ τό πηλίκο του φορτίου q , πού περνάει από κάποια διατομή του αγωγού σέ χρόνο t , προς τό χρόνο αυτό.

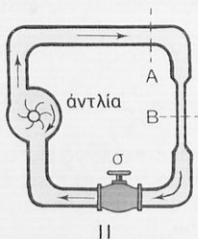
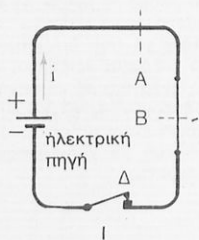
$$\text{Δηλαδή: } i = \frac{q}{t} \quad (1)$$

Σέ κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα ή ένταση του ρεύματος έχει τήν ίδια τιμή σέ όλα τά σημεία του κυκλώματος, δηλ. όσο φορτίο περνάει από τή διατομή Α τόσο περνάει στόν ίδιο χρόνο καί από τή διατομή Β. “Αν δέ συνέβαινε αυτό, θά είχαμε διαρκή συσσώρευση ηλεκτρικού φορτίου σέ κάποιο από τά σημεία του αγωγού, γεγονός πού ούδέποτε έχει παρατηρηθεί.

“Αν δίνεται ή ένταση i σέ ένα κύκλωμα, μπορούμε νά υπολογίσουμε τό φορτίο q , πού περνάει από κάποια διατομή Α του κυκλώματος, λύνοντας τήν παραπάνω εξίσωση ως προς q .

$$q = i \cdot t \quad (2)$$

Μονάδα έντάσεως ήλ. ρεύματος. Στό Διεθνές Σύστημα μονάδων ως μονάδα έντάσεως



Σχ. 1. “Η ροή του ηλεκτρικού φορτίου σέ αγωγό μοιάζει μέ τή ροή ύγρου σέ σωλήνα.

χρησιμοποιείται τό **1 Ampere (1A)** ('Αμπέρ). Τό 1 Ampere μαζί μέ τό 1m (μέτρο), τό 1kg (χιλιό-γραμμο), τό 1sec καί μερικές άλλες μονάδες αποτελοῦν τίς θεμελιώδεις μονάδες τοῦ Διεθνoῦς Συστήματος (SI Units).

Στήν πράξη χρησιμοποιoῦνται συχνά πολ-λαπλάσια καί ὑποπολλαπλάσια τῆς μονάδας A, ἀνάλογα μέ τήν τιμή τῆς ἐντάσεως (π.χ. $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ κτλ.).

Ἀπό τόν τύπο (1) μπορούμε νά βρούμε τή σχέση πού συνδέει τή μονάδα φορτίου (**1 Cb**) μέ τή μονάδα ἐντάσεως (**1A**). Ἡ σχέση αὐτή εἶναι: $1\text{A} = 1\text{Cb/sec}$ ἢ $1\text{Cb} = 1\text{A}\cdot\text{sec}$.

Ἡ δευτέρα σχέση μπορεί νά χρησιμοποιηθεῖ καί γιά τόν **ὀρισμό** τῆς μονάδας φορτίου, ἡ ὁποία στό Διεθνές Σύστημα εἶναι παράγωγος μονάδα (παράγεται ἀπό τό 1A καί τό 1sec).

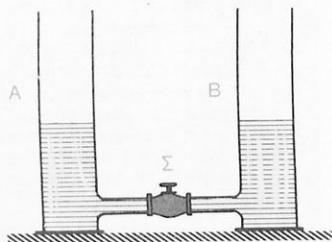
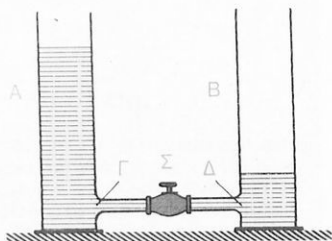
Ἡ ἐνταση τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος μετρίε-ται μέ εἰδικά ὄργανα πού λέγονται **ἀμπερόμε-τρα**.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΗΛ. ΡΕΥΜΑΤΟΣ (προσεγγιστικά)

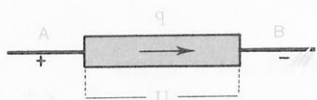
Κρυσταλλολυχνίες (Transistors)	5 mA
Λαμπτήρας φανού τσέπης	0,2 A
Λαμπτήρες φωτισμοῦ (100W)	≈0,5 A
Θερμοσίφωνα	10 A
Κεραυνός	20 KA

II. ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ἢ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΣΗ

α. Αἰτία τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος. Γιά νά καταλάβουμε τήν αἰτία πού προκαλεῖ ἠλεκτρικό ρεῦμα σέ ἕναν ἀγωγό, θά ἀναφέρουμε ἕνα ὑδραυλικό παράδειγμα. Ἄς ὑποθέσουμε ὅτι ἔχουμε δύο δοχεῖα A καί B συνδεμένα μέ ἕνα σωλήνα ὀριζόντιο καί τοποθετημένο κοντά στή βάση τους. Βάζουμε νερό καί στά δύο δοχεῖα, ἀλλά φροντίζουμε ἡ στάθμη τοῦ νεροῦ στό ἕνα δοχεῖο νά εἶναι ψηλότερα ἀπό τό ἄλλο. Ἐπίσης, γιά νά κινεῖται τό νερό μόνο ὅταν θέλουμε ἐμεῖς, τοποθετοῦμε ἕνα διακόπτη Σ (στρό-φιγγα) στό σωλήνα (Σχ. 2). Ὅταν ἀνοίγουμε τή στρόφιγγα, παρατηροῦμε ὅτι τό νερό ρεεῖ ἀπό τό δοχεῖο A πρὸς τό δοχεῖο B, κι αὐτό γιατί στά ἄκρα Γ καί Δ τοῦ σωλήνα ὑπάρχει **διαφορά πίε-σεως**. (Ἡ ὑδροστατική πίεση στό Γ εἶναι μεγα-λύτερη ἀπό τήν πίεση στό Δ). Τό αἶτιο, λοιπόν,



Σχ. 2. Αἰτία τῆς ροῆς ὑγροῦ σέ σω-λήνα εἶναι ἡ διαφορά πίεσεως στά ἄκρα του



Σχ. 3. Αιτία της ροής φορτίου είναι η διαφορά δυναμικού U

της ροής του νερού μέσα στο σωλήνα, είναι η διαφορά πιέσεως στα άκρα του.

Κατά ανάλογο τρόπο το αίτιο της κυκλοφορίας ηλεκτρικού ρεύματος σέ έναν αγωγό ή σέ ένα κύκλωμα (π.χ. στον αγωγό AB του Σχ. 3), είναι η **διαφορά δυναμικού** στα άκρα του A και B, πού συμβολίζεται μέ τό γράμμα U . "Αρα:

Ή διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση στα άκρα ενός αγωγού είναι τό αίτιο του ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό.

β. Όρισμός της διαφορᾶς δυναμικού. "Ένα από τά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος, όταν περνάει μέσα από αγωγούς, είναι ή παραγωγή θερμότητας. Αυτό φανερώνει ότι κατά τήν κίνησή ηλεκτρικού φορτίου, από ένα σημείο ενός αγωγού σέ άλλο, παράγεται έργο, πού μετατρέπεται σέ θερμότητα.

"Ας υποθέσουμε ότι κάποιο φορτίο q μετακινείται από τό άκρο A στο άκρο B ενός αγωγού καί ότι τό έργο πού παράγεται κατά τή μετακίνηση αυτή είναι W . Τό πηλίκο W/q ορίζεται ως διαφορά δυναμικού U μεταξύ των σημείων A καί B. Έπομένως:

Διαφορά δυναμικού U μεταξύ δύο σημείων αγωγού ονομάζεται τό φυσικό μέγεθος πού εκφράζεται μέ τό πηλίκο του έργου W , πού παράγεται κατά τήν κίνηση φορτίου q από τό ένα σημείο στο άλλο, διά του φορτίου q .

Δηλαδή:

$$U = \frac{W}{q} \quad (3)$$

γ. Μονάδες τάσεως. Μονάδα ηλεκτρικής τάσεως στο Διεθνές Σύστημα είναι τό 1Volt (1V) καί βρίσκεται από τόν παραπάνω τύπο:

$$1\text{Volt} = \frac{1\text{Joule}}{1\text{Coulomb}} \quad (1\text{V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{Cb}})$$

Θά λέμε ότι μεταξύ δύο σημείων A καί B αγωγού υπάρχει διαφορά δυναμικού 1 Volt, όταν παράγεται έργο 1 Joule κατά τή μετακίνηση φορτίου 1Cb μεταξύ των σημείων αυτών. Έκτός από τό 1V χρησιμοποιούνται επίσης πολλαπλάσια καί υποπολλαπλάσια της μονάδας, π.χ. $1\text{mV} = 10^{-3} \text{V}$, $1\text{KV} = 10^3 \text{V}$ κτλ.

Ή ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων μετρίε-

ται μέ ειδικά όργανα πού λέγονται βολτόμετρα.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Φωτοστοιχείο	0,2 V
Ξηρό Στοιχείο	1,5 V
Συσσωρευτής αυτοκινήτου (6 στοιχεία)	12 V
Ηλεκτρικό δίκτυο οίκων (ένταλλας.)	220 V
Τάση λειτουργίας ήλεκτρ. σιδηροδρόμου (συνεχές)	500 V
Τάση κεραυνού	100 MV

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος όρίζεται από τον τύπο $i = q/t$. Οι μονάδες έντάσεως είναι τό 1A, 1mA, 1kA κτλ.
2. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός άγωγού είναι ή αίτία πού προκαλεί τό ηλεκτρικό ρεύμα στον άγωγό και όρίζεται από τον τύπο $U = W/q$. Μονάδες δ.δ. είναι τό 1V = 1Joule/Cb, τό 1mV κτλ.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

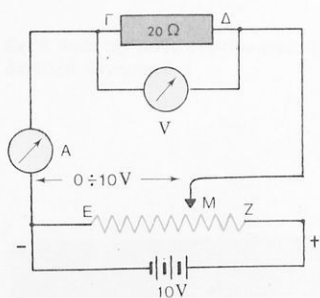
1. Ποιές από τίς παρακάτω μονάδες του Διεθνούς Συστήματος είναι θεμελιώδεις και ποιές παράγωγες; 1A, 1V, 1Cb; Πώς όρίζονται οι παράγωγες αυτές μονάδες;
2. Τί είναι ή διαφορά δυναμικού και πώς όρίζεται;
3. Νά αποδείξετε ότι τό έργο W πού παράγεται σέ χρόνο t στον άγωγό AB του Σχ. 3, όταν διαρρέεται από ρεύμα i, δίνεται από τον τύπο $W = iUt$.
4. Τό φορτίο πού περνάει από ή διατομή B (Σχ. 1) είναι λιγότερο, περισσότερο ή ίσο μέ τό φορτίο πού περνάει από ή διατομή A στον ίδιο χρόνο;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- *1. Αν ή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα του Σχ. 1 είναι 0,5 A, νά υπολογίσετε τό ηλεκτρικό φορτίο πού περνάει από ή διατομή A σέ χρόνο 6min.
2. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B ενός άγωγού είναι 20 Volt και τό φορτίο πού μετακινείται από τό A στο B είναι 15,5 Cb. Πόσο έργο παράγεται κατά ή μετακίνηση αυτή;
3. Η ένταση του ρεύματος στον άγωγό AB του Σχ. 3 είναι 0,4A και ή διαφορά δυναμικού U στα άκρα του είναι 6V. Νά υπολογιστούν τό φορτίο q πού διέρχεται από ή διατομή A σέ χρόνο 3min και τό έργο πού παράγεται κατά ή μετακίνηση του φορτίου αυτού από τό A στο B.

ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ – ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ

Ι. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ – ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ



Σχ. 1. Όταν η έπαφή M μετακινείται από τό E στο Z , η τάση στα άκρα του αγωγού μεταβάλλεται από 0 V έως 10 V

Συνδέουμε έναν αγωγό ΓΔ σε σειρά με ένα αμπερόμετρο A και στα άκρα του συστήματος εφαρμόζουμε διάφορες τάσεις (π.χ. από 0 έως 10 V) (Σχ. 1). Με τό αμπερόμετρο A μετράμε την ένταση του ρεύματος που περνάει μέσα από τον αγωγό ΓΔ και μέ ένα βολτόμετρο V μετράμε την τάση που επικρατεί στα άκρα του αγωγού.

Στή συνέχεια μεταβάλλουμε την τάση και παρατηρούμε ότι μεταβάλλεται και τό ρεύμα του κυκλώματος.

“Ας υποθέσουμε ότι, όταν η τάση $U_{\Gamma\Delta}$ είναι 2 V , η ένταση του ρεύματος είναι $0,1\text{ A}$. Τότε, αν η τάση γίνει 4 V , παρατηρούμε ότι η ένταση γίνεται $0,2\text{ A}$ κ.ο.κ. Μέ ένα τέτοιο πείραμα συμπληρώνουμε τόν πίνακα τιμών I .

ΠΙΝΑΚΑΣ I

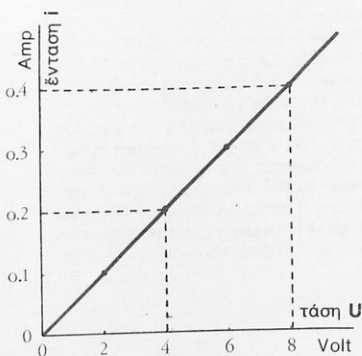
$U_{\Gamma\Delta}$ σε Volt	i σε Amp.	U/i σε Ohm
0	0	—
2	0,1	20
4	0,2	20
6	0,3	20
8	0,4	20

Στή συνέχεια παριστάνουμε γραφικά τά ζεύγη τιμών (U, i) σε ένα ορθογώνιο σύστημα αξόνων και παρατηρούμε ότι τά διάφορα σημεία βρίσκονται (περίπου) σε εϋθεία γραμμή (Σχ. 2). Από τό διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι:

“Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη προς την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού.

“Η πρόταση αυτή αποτελεί τή διατύπωση του νόμου του Ohm (“Ωμ). (Στό ίδιο συμπέρασμα, δηλ. ότι η ένταση είναι ανάλογη προς την τάση, μπορούμε νά καταλήξουμε κατευθείαν και από τόν πίνακα τών τιμών, όταν οί τιμές αυτές είναι αριθμοί άκεραιοι ή άπλοοι δεκαδικοί).

Από τόν πίνακα τών τιμών παρατηρούμε



Σχ. 2. Γραφική παράσταση της έντάσεως i σε συνάρτηση μέ την τάση U

επίσης ότι ο λόγος U/i παραμένει **σταθερός**, ανεξάρτητα από τις τιμές που παίρνει ή τάση στα άκρα του αγωγού.

Ο λόγος αυτός μεταβάλλεται μόνο όταν τοποθετούμε άλλο αγωγό μεταξύ Γ και Δ.

Ο σταθερός λόγος $\frac{U}{i}$ εκφράζει ένα νέο φυσικό μέγεθος που ονομάζεται **αντίσταση του αγωγού** και συμβολίζεται με το γράμμα **R**.

$\text{αντίσταση} = \frac{\text{τάση}}{\text{ένταση}} \quad R = \frac{U}{i} \quad (1)$
--

Η σχέση αυτή αποτελεί τη συμβολική διατύπωση του νόμου του Ohm και μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$i = \frac{U}{R}$	Νόμος του Ohm
-------------------	----------------------

Στά διάφορα διαγράμματα κυκλωμάτων η αντίσταση εικονίζεται με το σύμβολο του Σχ.3.

Με τόν όρο «αντίσταση» εννοούμε τη δυσκολία που συναντάει τό ρεύμα στο πέρασμά του μέσα από τόν αγωγό. Όσο μεγαλύτερη είναι ή αντίσταση του αγωγού, τόσο μικρότερη ένταση ρεύματος περνάει μέσα από τόν αγωγό, αν ή τάση στα άκρα του αγωγού διατηρείται σταθερή.

Επίσης με τόν ίδιο όρο «αντίσταση» εννοούμε και τόν αγωγό που χρησιμοποιούμε για να βάζει εμπόδιο στο ρεύμα. Για τήν περίπτωση αυτή τελευταία χρησιμοποιείται ό όρος **αντιστάτης**. Στο εμπόριο κυκλοφορούν αντιστάτες με διάφορες τιμές αντιστάσεως που είναι γραμμένες πάνω στον αντιστάτη είτε με αριθμούς, είτε με ειδικό κώδικα χρωμάτων (Σχ. 4) (βλ. κώδικα χρωμάτων τέλος βιβλίου).

Μονάδα αντιστάσεως. Η μονάδα αντιστάσεως στο Διεθνές Σύστημα λέγεται Ohm (Ω) και όρίζεται από τήν εξίσωση (1), αν βάλουμε $U = 1V$ και $i = 1A$. Δηλ.

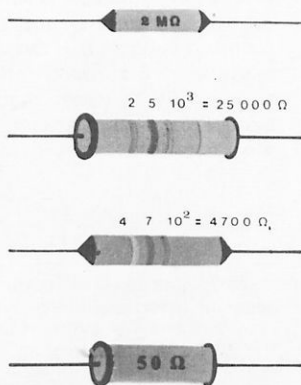
$$1\text{Ohm} = \frac{1\text{Volt}}{1\text{Amp.}} \quad \text{ή} \quad 1\Omega = \frac{1V}{1A} \quad (2)$$

Αναλύοντας με λόγια τόν τύπο (2) μπορούμε να πούμε ότι:

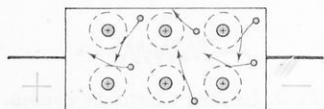
1Ω είναι ή αντίσταση εκείνου του αγωγού που διαρρέεται από ρεύμα έντάσεως 1A, όταν στα άκρα του εφαρμόζεται τάση 1V.



Σχ. 3. Σύμβολο ηλεκτρικής αντίστασεως



Σχ. 4. Μορφές αντιστάσεων (ή αντιστατών)



Σχ. 5. Οι συγκρούσεις δημιουργούν αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων.

Εκτός από τό 1Ω χρησιμοποιούνται και τά εξής πολλαπλάσια της μονάδας:

1 κιλοώμ (1 kilohm) = $1\text{K}\Omega = 10^3 \Omega$

1 μεγαώμ (1 megohm) = $1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$

II. ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΣ

Η αγωγιμότητα των μετάλλων, ως γνωστό, οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια που κινούνται ανάμεσα από τά ιόντα του μετάλλου (Σχ. 5). Η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων δεν είναι τελείως ελεύθερη, γιατί υπάρχουν τά ιόντα, μέ τά όποια «συγκρούονται» τά ηλεκτρόνια, συναντώντας έτσι μία δυσκολία, ένα είδος τριβής στην κίνησή τους. Αυτή ή δυσκολία που συναντούν τά ηλεκτρόνια αποτελεί την αντίσταση του αγωγού. Συνεπώς:

Η ηλεκτρική αντίσταση των μεταλλικών αγωγών οφείλεται στις συγκρούσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων μέ τά ιόντα των αγωγών.

Αποτέλεσμα των συγκρούσεων αυτών είναι ή παραγωγή θερμότητας. Γι' αυτό, όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, θερμαίνεται.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένας αγωγός αντίστασας 2,4 Ω διαρρέεται από ρεύμα έντάσεως 0,5 A. Νά βρεθεί ή ηλεκτρική τάση στά άκρα του.
2. Στά άκρα ενός αγωγού αντίστασας 20Ω εφαρμόζεται τάση 4V. Νά υπολογιστεί ή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τόν διαρρέει.
3. Στά άκρα ενός αγωγού εφαρμόζεται τάση $U = 12\text{ V}$, όποτε ό αγωγός διαρρέεται από ρεύμα έντάσεως $i = 0,3\text{ A}$. Πόση είναι ή αντίσταση του αγωγού;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Κάθε αγωγός προβάλλει κάποια αντίσταση (έμπόδιο) στη διέλευση του ρεύματος που είναι χαρακτηριστική γιά τόν αγωγό και ανεξάρτητη από την ηλεκτρική τάση στά άκρα του. Η αντίσταση αυτή R ισούται μέ $R = U/i$. Η σχέση αυτή αποτελεί τή διατύπωση του νόμου του Ohm, που γράφεται συχνά ως εξής:
 $i = U/R$. Οι αγωγοί που παρεμβάλλουν αντίσταση στό ρεύμα λέγονται αντιστάσεις (ή αντιστάτες).
2. Μονάδες αντίστασας είναι τό $1\Omega = 1\text{V/A}$, τό $1\text{K}\Omega = 10^3 \Omega$, τό $1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$ κτλ.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιά από τίς παρακάτω προτάσεις είναι όρθή; Η αντίσταση ενός αγωγού α) εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος, β) εξαρτάται από την τάση στά άκρα του αγωγού γ) εξαρτάται μόνο από τόν αγωγό και είναι ανεξάρτητη τής τάσεως ή τής έντάσεως του ρεύματος.
2. Τι έννοούμε λέγοντας ότι ένας αγωγός έχει αντίσταση 1Ω;
3. Τά ζεύγη τιμών (U, i) από ένα πείραμα είναι (3,2), (6,4), (9,6), (12,8) κτλ. Νά τά παραστήσετε γραφικά και νά βρείτε την αντίσταση του αγωγού. (Η τάση μετρίεται σε V και ή ένταση σε mA).
4. Πού οφείλεται ή ηλεκτρική αντίσταση των μεταλλικών αγωγών;

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ – ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Ι. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ

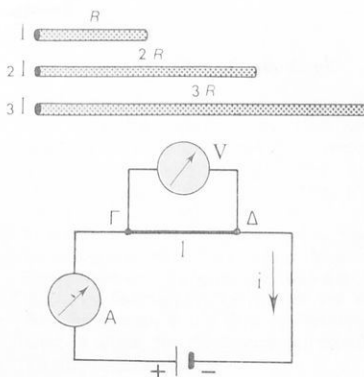
Η ηλεκτρική αντίσταση των αγωγών, όπως θα δούμε παρακάτω, εξαρτάται από τις διαστάσεις τους και από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένοι. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντίσταση των αγωγών που έχουν τη μορφή σύρματος μέ σ τ α θ ε ρ ή δ ι α τ ο μ ή (έμβαδό τομής).

α. Σχέση μήκους και αντίστασεως. Παίρνουμε ένα λεπτό σύρμα, π.χ. από χρωμονικελίνη, και κόβουμε τρία κομμάτια με μήκος l το πρώτο, $2l$ το δεύτερο και $3l$ το τρίτο (Σχ. 1). Στη συνέχεια με τη βοήθεια μιάς πηγής, ενός αμπερομέτρου και ενός βολτομέτρου υπολογίζουμε την αντίσταση του κάθε σύρματος, εφαρμόζοντας το νόμο του Ohm ($R = U/i$). Από το πείραμα αυτό βρίσκουμε ότι, όταν διπλασιάζεται το μήκος του αγωγού, διπλασιάζεται και η αντίσταση, όταν τριπλασιάζεται το μήκος τριπλασιάζεται και η αντίσταση κ.ο.κ. Έπομένως:

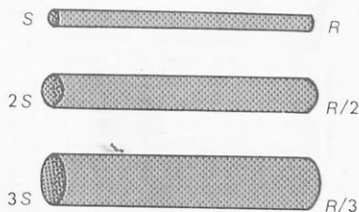
Η αντίσταση ενός αγωγού, που έχει σταθερή διατομή, είναι ανάλογη προς το μήκος του αγωγού.

β. Σχέση διατομής και αντίστασεως. Παίρνουμε και πάλι ένα μεταλλικό σύρμα και κόβουμε μερικά κομμάτια που να έχουν το ίδιο μήκος l (Σχ. 2). Ύστερα με τη βοήθεια του νόμου του Ohm υπολογίζουμε τις αντιστάσεις των κομματιών και βρίσκουμε ότι, όταν τά κομμάτια είναι μονά (διατομή S), έχουν αντίσταση R , όταν είναι διπλά (διατομή $2S$), έχουν αντίσταση $R/2$ και όταν είναι τριπλά (διατομή $3S$), έχουν αντίσταση $R/3$. Από το πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι:

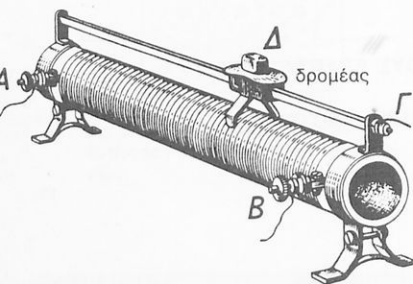
Η αντίσταση ενός αγωγού, με σταθερό μήκος, είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη διατομή S του αγωγού.



Σχ. 1. Η αντίσταση του σύρματος εξαρτάται από το μήκος του



Σχ. 2. Η αντίσταση του σύρματος εξαρτάται από τη διατομή του



Σχ. 3. Μεταβλητή αντίσταση

Βέβαια και στις τρεις περιπτώσεις το υλικό του σύρματος παραμένει το ίδιο.

γ. **Σχέση υλικού και αντίστασης.** Πάιρνουμε δύο σύρματα με το ίδιο μήκος και την ίδια διατομή, αλλά κατασκευασμένα από διαφορετικό υλικό. Μετράμε τις αντιστάσεις και βρίσκουμε ότι είναι διαφορετικές. Από το πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι:

Η αντίσταση ενός αγωγού εξαρτάται από το υλικό, από το οποίο είναι κατασκευασμένος.

Συγκεντρώνοντας όλα τα προηγούμενα συμπεράσματα μπορούμε να γράψουμε τον έξης τύπο:

$\text{αντίσταση αγωγού} = \text{σταθερά} \times \frac{\text{μήκος αγωγού}}{\text{διατομή αγωγού}}$
$(1) \quad R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

Ο συντελεστής ρ είναι χαρακτηριστικός για κάθε υλικό και ονομάζεται **ειδική αντίσταση** του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός.

Μονάδα ειδικής αντίστασης. Λύνουμε τον τύπο (1) ως προς ρ και βρίσκουμε:

$$(2) \quad \rho = \frac{R \cdot S}{l}$$

Αν στον τύπο αυτό βάλουμε $R = 1\Omega$, $S = 1\text{m}^2$ και $l = 1\text{m}$, βρίσκουμε ότι $\rho = 1\Omega \cdot \text{m}$.

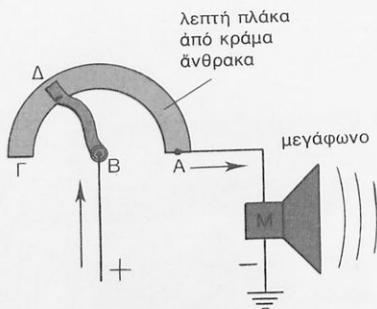
Αρα η μονάδα της ειδικής αντίστασης στο Διεθνές Σύστημα μονάδων είναι τό:

$$1\Omega \cdot \text{m}$$

(π.χ. λέμε ότι η ειδική αντίσταση σιδήρου είναι $\rho = 10 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$). Εκτός από τη μονάδα αυτή συχνά χρησιμοποιείται και η μονάδα **1Ω·cm**, που βγαίνει επίσης από τον τύπο (2) αν βάλουμε $R = 1\Omega$, $S = 1\text{cm}^2$ και $l = 1\text{cm}$.

II. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Στις μεταβλητές αντιστάσεις μπορούμε να μεταβάλλουμε την τιμή της αντίστασης, μετατοπίζοντας ένα δρομέα Δ (Σχ. 3) ή γυρίζοντας ένα κουμπί (Σχ. 4). Η λειτουργία τους στηρίζεται στο ότι η αντίσταση ενός αγωγού με σταθερή διατομή είναι ανάλογη προς το μήκος του.



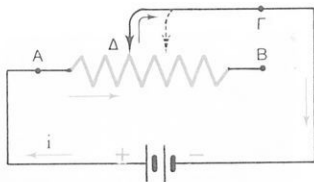
Σχ. 4. Μεταβλητή αντίσταση με άνθρακα. (Λειτουργεί ως ροοστάτης)

Οι μεταβλητές αντιστάσεις των έργαστη-
ρίων αποτελούνται από ένα μεταλλικό σύρμα,
τυλιγμένο γύρω από μονωτικό σωλήνα, και από
ένα δρομέα Δ που μετακινείται πάνω στο
σωλήνα, κάνοντας έπαφή με το σύρμα (Σχ. 3).

Οι μεταβλητές αντιστάσεις που χρησιμο-
ποιούνται στα ηλεκτρονικά μηχανήματα (ρα-
διόφωνα, τηλεοράσεις κτλ.), αντί για μεταλλικό
σύρμα, έχουν μία λεπτή και στενόμακρη πλάκα
από κράμα του άνθρακα και ο δρομέας, αντί να
μετατοπίζεται, γυρίζει γύρω από έναν άξονα
(Σχ. 4).

Ροοστάτης. 'Ας υποθέσουμε ότι συνδέουμε
μία μεταβλητή αντίσταση, όπως φαίνεται στο
Σχ. 5. 'Η μετακίνηση του δρομέα προς τα δεξιά
αυξάνει την αντίσταση του τμήματος ΑΔ και
έπομένως μειώνει την ένταση του ρεύματος
στο κύκλωμα. Βλέπουμε, λοιπόν, ότι μία μετα-
βλητή αντίσταση μπορεί να ρυθμίζει το ρεύμα
ένος κυκλώματος. Στην περίπτωση αυτή η
μεταβλητή αντίσταση ονομάζεται **ροοστάτης**.

Οι ροοστάτες βρίσκουν εφαρμογές στις
ηλεκτρονικές συσκευές για τη ρύθμιση π.χ. της
έντασης του ήχου, στα ηλεκτροκίνητα όχη-
ματα (τρόλεϋ, ηλεκτρικ. τραίνα) για τη ρύθμιση
της ταχύτητας κτλ.



Σχ. 5. Αρχή της λειτουργίας του ροο-
στάτη

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένα σύρμα από σιδηρονικέλιο έχει μή-
κος 10 m και έμβαδό τομής (διατομή)
 $S=0,2 \text{ mm}^2$. Νά υπολογιστεί η αντίσταση
του σύρματος, αν η ειδική αντίσταση του
σιδηρονικελίου είναι $\rho=3 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$. (Δί-
νεται ότι $0,2 \text{ mm}^2=0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$).
2. 'Η αντίσταση που παρουσιάζει ένα ήλε-
κτρικό σίδερο είναι 50 Ω . Γιά να την αντι-
καταστήσουμε, χρησιμοποιούμε σύρμα
πού έχει διατομή $S=0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ και ει-
δική αντίσταση $5 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$. Νά υπολογι-
στεί τό μήκος του σύρματος πού πρέπει
νά χρησιμοποιήσουμε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. 'Η αντίσταση R ενός άγωγού πού έχει σταθερή διατομή S είναι ανάλογη πρὸς
τό μήκος l , αντιστρόφως ανάλογη πρὸς τό S καί εξαρτάται από τό υλικό του
άγωγού ($R = \rho \cdot l / S$). 'Ο συντελεστής ρ ονομάζεται ειδική αντίσταση του υλικού
του άγωγού.
2. Μεταβλητή αντίσταση λέγεται μία αντίσταση της οποίας μπορούμε νά μετα-
βάλλουμε τό μήκος καί έπομένως την τιμή της. Οι μεταβλητές αντιστάσεις
χρησιμοποιούνται στους ροοστάτες.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

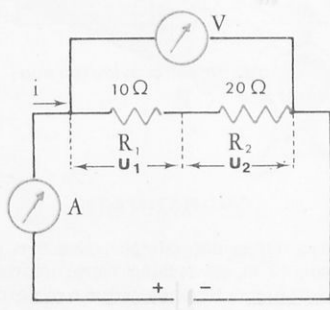
1. Από τί εξαρτάται η αντίσταση ενός με-
ταλλικού σύρματος;
2. Σας δίνουν ένα σύρμα, πού έχει μήκος
9m καί αντίσταση 20 Ω , καί σας λένε νά
κατασκευάσετε μία αντίσταση 10 Ω . Τί
από τά παρακάτω θά κάνετε: α) Θά κό-
ψετε τό σύρμα σέ τρία ίσα μέρη καί θά
πάρετε τό ένα κομμάτι; β) Θά κόψετε τό

σύρμα σέ δύο ίσα μέρη καί θά πάρετε τό
ένα κομμάτι; γ) Θά διπλώσετε τό σύρμα
στή μέση καί θά τό χρησιμοποιήσετε δι-
πλό;

3. 'Όταν μετακινούμε τό δρομέα μιάς με-
ταβλητής αντιστάσεως, ποιά από τά τρία
μεγέθη ρ , l καί S μεταβάλλουμε, γιά νά
μεταβληθεί η αντίστασή της R ;
4. Τί είναι καί πώς λειτουργεί ένας ροοστά-
της; (νά κάνετε ένα σχέδιό του).

ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ – ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

1. ΣΥΝΔΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Σχ. 1. Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά

α. Σύνδεση σε σειρά: Όταν λέμε σύνδεση σε σειρά δύο ή περισσότερων αντιστάσεων, εννοούμε μία σύνδεση στην οποία περνάει το ίδιο ρεύμα από τις αντιστάσεις (Σχ. 1). Το σύστημα όλων των αντιστάσεων μαζί παρεμβάλλει κάποια αντίσταση στο ρεύμα που τη λέμε ολική αντίσταση ($R_{ολ}$).

Παίρνουμε δύο γνωστές αντιστάσεις R_1 και R_2 (π.χ. $R_1 = 10\Omega$ και $R_2 = 20\Omega$) και τις συνδέουμε σε σειρά. Κατόπιν συνδέουμε το σύστημα των δύο αντιστάσεων με μία ηλεκτρική πηγή, παρεμβάλλοντας και ένα αμπερόμετρο στο κύκλωμα για να μετράει την ένταση του ρεύματος. Με ένα βολτόμετρο μετράμε την τάση στα άκρα του συστήματος των αντιστάσεων και από το νόμο του Ohm ($R_{ολ} = \frac{U}{I}$), υπολογίζουμε την ολική αντίσταση.

Από τη μέτρηση αυτή βρίσκουμε ότι η ολική αντίσταση είναι $R_{ολ} = 30\Omega$, δηλ. ίση με το άθροισμα των δύο αντιστάσεων R_1 και R_2 . Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και με δύο άλλες οποιεσδήποτε αντιστάσεις. Άρα:

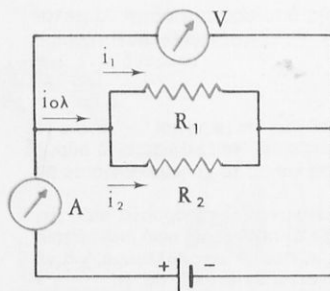
Η ολική αντίσταση $R_{ολ}$ δύο αντιστάσεων R_1 και R_2 που συνδέονται σε σειρά, είναι ίση με το άθροισμα των δύο αντιστάσεων.

$R_{ολ} = R_1 + R_2$	Σύνδεση αντιστ. σε σειρά
----------------------	---------------------------------

Στό ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και αν χρησιμοποιήσουμε τρεις, τέσσερις κτλ. αντιστάσεις. Πάντοτε η ολική αντίσταση ισούται με το άθροισμα των αντιστάσεων.

β. Σύνδεση κατά διακλάδωση ή παράλληλη σύνδεση. Όταν λέμε σύνδεση κατά διακλάδωση δύο ή περισσότερων αντιστάσεων εννοούμε μία σύνδεση στην οποία υπάρχει η ίδια τάση στα άκρα των αντιστάσεων (Σχ. 2).

Συνδέουμε δύο αντιστάσεις, π.χ. $R_1 = R_2 = 10\Omega$, κατά διακλάδωση και με τον τρόπο που αναφέραμε παραπάνω υπολογίζουμε την ολική αντίσταση και βρίσκουμε $R_{ολ} = 5\Omega$. Από το πεί-



Σχ. 2. Σύνδεση αντιστάσεων κατά διακλάδωση (παράλληλη σύνδεση)

ραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι η όλική αντίσταση είναι μικρότερη από τις συνδεμένες αντιστάσεις.

Στήν παράλληλη σύνδεση αποδεικνύεται ότι ισχύει η σχέση:

$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	Σύνδεση κατά διακλάδωση
--	--------------------------------

Παρατήρηση: Η σύνδεση δύο αντιστάσεων σε σειρά ισοδυναμεί με αύξηση του μήκους ενός αγωγού και, επομένως, η όλική αντίσταση γίνεται μεγαλύτερη από την κάθε αντίσταση χωριστά, ενώ η παράλληλη σύνδεση δύο αντιστάσεων ισοδυναμεί με αύξηση της διατομής ενός αγωγού και, επομένως, η όλική αντίσταση του συστήματος γίνεται μικρότερη και από τη μικρότερη αντίσταση του συστήματος.

II. ΟΡΓΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στή μελέτη των φαινομένων του ηλεκτρισμού χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα που ονομάζονται όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων. Τό γαλβανόμετρο, άμπερόμετρο, βολτόμετρο, ωμόμετρο (μετράει την αντίσταση αγωγού), βατόμετρο (μετράει την ισχύ) κτλ. είναι τα περισσότερα σε χρήση όργανα.

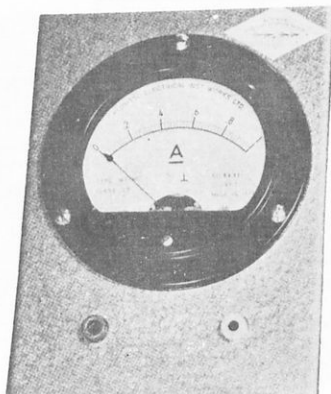
Η λειτουργία των οργάνων αυτών στηρίζεται στα αποτελέσματα που φέρνει τό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν περνάει μέσα από τά υλικά (θέρμανση, χημικές μεταβολές και έκτροπη μαγνητών).

III. ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΑ

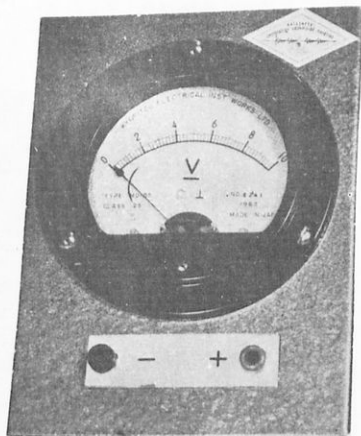
Τά όργανα αυτά έχουν παρόμοια κατασκευή μεταξύ τους και η λειτουργία τους στηρίζεται συνήθως στα μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος (Σχ. 5).

α. Άμπερόμετρα. Τά άμπερόμετρα είναι όργανα που μετρούν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και συνδέονται στο κύκλωμα **σε σειρά** με τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές (Σχ. 1). Για νά μήν εμποδίζουν τή διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τό κύκλωμα, πρέπει νά έχουν μικρή έσωτερική αντίσταση.

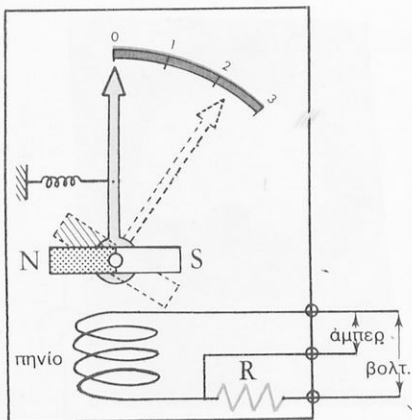
Όταν χρησιμοποιούμε ένα άμπερόμετρο, πρέπει νά προσέχουμε ή σύνδεσή του νά γίνει-



Σχ. 3. Άμπερόμετρο συνεχούς ρεύματος



Σχ. 4. Βολτόμετρο συνεχούς ρεύματος



Σχ. 5. Αρχή της λειτουργίας αμπερομέτρου και βολτομέτρου συνεχούς ρεύματος

ται πάντα σε σειρά, γιατί διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος να κάψουμε τό όργανο.

β. Βολτόμετρα. Τά βολτόμετρα είναι όργανα πού μετρούν την τάση μιάς πηγής ή τή διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία και συνδέονται κατά διακλάδωση στο κύκλωμα (Σχ.1).

Γιά νά μή διαταράσσουμε τό ρεύμα πού κυκλοφορεί στο κύκλωμα, πρέπει τό βολτόμετρο νά έχει μεγάλη έσωτερική αντίσταση, ώστε νά περνάει ρεύμα μικρής έντάσεως από τό όργανο. "Αν κατά λάθος συνδεθεί τό βολτόμετρο σε σειρά στο κύκλωμα, τό όργανο δέ διατρέχει κανένα κίνδυνο.

γ. Γαλβανόμετρα. Τά γαλβανόμετρα είναι ευαίσθητα βολτόμετρα ή αμπερόμετρα και μπορούν νά μετρούν πολύ μικρές τάσεις ή έντάσεις. Η κατασκευή τους είναι όμοια μέ την κατασκευή ενός αμπερομέτρου, δηλ. έχουν πολύ μικρή έσωτερική αντίσταση.

δ. Πολύμετρα. Τά πολύμετρα είναι όργανα κατασκευασμένα νά μετρούν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την τάση, την αντίσταση των άγωγών κτλ. Η μετατροπή τους από αμπερόμετρο σε βολτόμετρο γίνεται μέ την προσθήκη κάποιας αντίστασεως, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Στη σύνδεση δύο αντιστάσεων R_1 και R_2 σε σειρά, ή όλική αντίσταση $R_{ολ}$ δίνεται από τον τύπο $R_{ολ} = R_1 + R_2$ και στην παράλληλη σύνδεση δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{1}{R_{ολ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

2. Τά αμπερόμετρα συνδέονται στο κύκλωμα σε σειρά και τά βολτόμετρα κατά διακλάδωση. Η λειτουργία τους στηρίζεται συνήθως στα μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος.
3. Τά γαλβανόμετρα είναι ευαίσθητα βολτόμετρα ή αμπερόμετρα.

1. Διαθέτουμε ένα αμπερόμετρο. Τί θά κάνουμε γιά νά τό μετατρέψουμε σέ βολτόμετρο;
2. α) Πώς συνδέονται σέ ένα κύκλωμα τό αμπερόμετρο καί τό βολτόμετρο; β) Ποιό από τά δύο ὄργανα κινδυνεύει νά καταστραφεί σέ περίπτωση λαθεμένης συνδέσεως;
3. Τί εἶναι τά πολύμετρα;
1. Σᾶς λένε ὅτι στό πείραμα τοῦ Σχ. 1 οἱ ἀντιστάσεις εἶναι $R_1=5\Omega$ καί $R_2=7\Omega$. Πόσο εἶναι ἡ ὅλική ἀντίσταση;
2. Δύο ἀντιστάσεις $R_1=20\Omega$ καί $R_2=30\Omega$ συνδέονται σέ σειρά καί στά ἄκρα τοῦ συστήματος ἐφαρμόζεται τάση 6V. Πόση εἶναι ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τήν κάθε ἀντίσταση;
3. Ἄν οἱ ἀντιστάσεις R_1 καί R_2 τῆς προηγούμενης ἀσκήσεως εἶναι συνδεμένες σέ διακλάδωση, πόση εἶναι ἡ ὅλική ἀντίσταση;

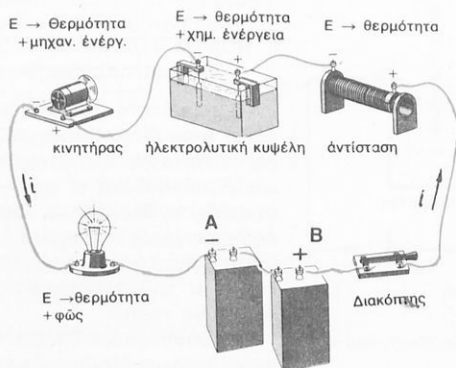
26η ΕΝΟΤΗΤΑ

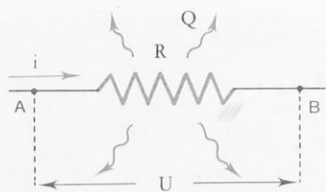
ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ι. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Ὅπως εἶναι γνωστό, τό ἡλεκτρικό ρεύμα προκαλεῖ θερμικά, μαγνητικά καί χημικά φαινόμενα, ὅταν κυκλοφορεῖ μέσα σέ σώματα ἢ κατάλληλες συσκευές (Σχ. 1). Γιά νά γίνουν ὅμως αὐτά τά φαινόμενα χρειάζεται ἐνέργεια, τήν ὁποία προφανῶς δίνει τό ἡλεκτρικό ρεύμα.

Σχ. 1. Τό ἡλεκτρικό ρεύμα παράγει ἐνέργεια $E = i \cdot \mathcal{U} \cdot t$, πού μετατρέπεται σέ θερμική, χημική, μηχανική, φωτεινή κτλ. ἐνέργεια





Σχ. 2. Θερμότητα Joule $Q = i^2 R \cdot t$

Επειδή τό ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται από τήν πηγή, ή ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται τελικά από τήν ηλεκτρική πηγή.

Ας υποθέσουμε ότι κάποιο ηλεκτρικό φορτίο q ξεκινάει από τόν πόλο Β μιάς πηγής (Σχ. 1), περνάει μέσα από τούς διάφορους ηλεκτρικούς καταναλωτές καί φθάνει στόν άλλο πόλο Α. Αν U είναι ή διαφορά δυναμικού μεταξύ τών πόλων Α καί Β, τότε, σύμφωνα μέ τόν όρισμό τής διαφοράς δυναμικού, θά ισχύει ή σχέση $U = W/q$ ή $W = q \cdot U$ (1), όπου W είναι τό έργο πού παράγει τό φορτίο q μέσα στούς ηλεκτρικούς καταναλωτές, δηλ. ή ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος. Αν συμβολίσουμε μέ E τήν ενέργεια αυτή, τότε ή σχέση (1) γράφεται:

$$(2) E = q \cdot U$$

Τό φορτίο όμως q δίνεται από τή σχέση $q = i \cdot t$ καί επομένως ή σχέση (2) γράφεται:

$$(3) E = i \cdot U \cdot t \quad \text{ένέργεια ηλεκτρικού ρεύματος}$$

Ο τύπος αυτός τής ενέργειας είναι γενικός τύπος καί μάς δίνει τήν ενέργεια πού δαπανάει ένας ηλεκτρικός καταναλωτής, στά άκρα του οποίου επικρατεί τάση U , χωρίς νά μάς ενδιαφέρει αν αυτή ή ενέργεια μετατρέπεται σέ θερμική, μηχανική ή χημική ενέργεια.

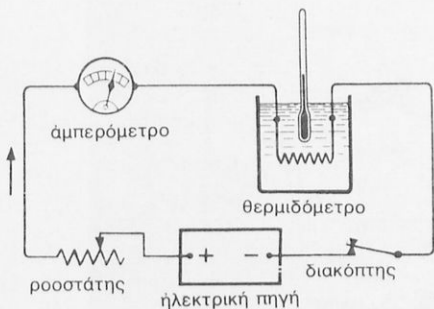
Μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Ως μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας στο Διεθνές Σύστημα χρησιμοποιείται ή γνωστή μονάδα **Joule**. Αν στόν τύπο (3) θέσουμε $i = 1A$, $U = 1V$ καί $t = 1 \text{ sec}$, τότε βρίσκουμε ότι:

$$1 \text{ Joule} = 1A \cdot 1V \cdot 1 \text{ sec}.$$

II. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ JOULE (Τζάουλ). (Θερμική ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος)

Η θερμότητα Q πού ελευθερώνεται σέ αγώγους, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, μελετήθηκε τό 19ο αιώνα από τόν Άγγλο φυσικό J.P. JOULE καί γι' αυτό ή θερμότητα αυτή ονομάζεται **θερμότητα Joule**. Ο νόμος στόν οποίο κατέληξε πειραματικά ό JOULE μπορεί νά βρεθεί από τόν τύπο (3), πού δίνει γενικά τήν ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος, μέ τόν ακόλουθο τρόπο.

Ας υποθέσουμε ότι στά άκρα μιάς αντίστασης R εφαρμόσουμε μία τάση U (Σχ. 2). Τότε



Σχ. 3. Πειραματική απόδειξη του νόμου του Joule

μέσα στην αντίσταση θά κυκλοφορεί ένα ρεύμα i που θά δίνεται από τό νόμο του Ohm

$$(4) \quad i = \frac{U}{R} \Leftrightarrow U = i \cdot R$$

“Αν στόν τύπο (3) αντικαταστήσουμε τήν τάση U μέ τό ἴσο της $i \cdot R$ καί ἄν, ἀντί γιά E , χρησιμοποιήσουμε τό σύμβολο Q τῆς θερμότητας, τότε προκύπτει:

$$(5) \quad Q = i^2 \cdot R \cdot t \quad \text{Νόμος τοῦ Joule}$$

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ A}^2 \cdot \Omega \cdot \text{sec}$$

Ὁ νόμος τοῦ Joule μᾶς δίνει τή θερμότητα Q ποῦ παράγεται σέ μιά αντίσταση R μέσα σέ χρόνο t , ὅταν ἡ αντίσταση αὐτή διαρρέεται ἀπό ρεύμα ἐντάσεως i .

Στόν τύπο (5) ἡ θερμότητα Q μετριέται σέ Joule. “Αν θέλουμε νά τή μετρήσουμε σέ θερμίδες (cal), ποῦ εἶναι μία συνηθισμένη μονάδα γιά τή θερμότητα, τότε πρέπει νά κάνουμε μετατροπή στίς μονάδες χρησιμοποιώντας τή γνωστή σχέση τους:

$$1 \text{ cal} = 4,2 \text{ Joule} \quad \text{ἢ} \quad 1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ cal}$$

Πειραματική ἀπόδειξη τοῦ νόμου τοῦ Joule

Γιά τήν πειραματική ἀπόδειξη τοῦ νόμου τοῦ Joule πραγματοποιοῦμε τό κύκλωμα τοῦ Σχ. 3.

Μέ τό ροοστάτη ρυθμίζουμε τήν ἔνταση τοῦ ρεύματος i καί μέ τό θερμιδόμετρο ὑπολογίζουμε κάθε φορά τή θερμότητα Q , πᾶύ ἐλευθερώνεται στήν αντίσταση, ἀπό τό γνωστό τύπο τῆς θερμιδομετρίας:

$$\text{θερμότητα} = \text{εἰδική θερμότητα} \times \text{μάζα} \times \text{μεταβολή θερμοκρασίας}$$

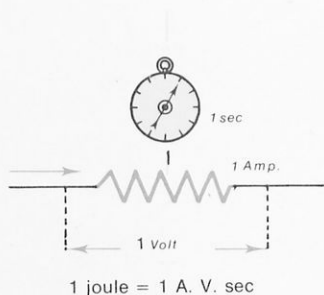
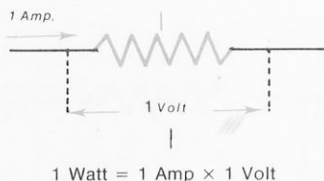
$$\text{ἢ} \quad (6) \quad Q = c \cdot m \cdot \Delta \theta$$

Κατόπιν κάνουμε τά ἑξῆς:

1) Μεταβάλλουμε μόνο τήν ἔνταση i καί βρίσκουμε ὅτι ἡ θερμότητα Q εἶναι ἀνάλογη πρὸς τό τετράγωνο τοῦ i . 2) Μεταβάλλουμε μόνο τήν αντίσταση R καί βρίσκουμε ὅτι τό Q εἶναι ἀνάλογο πρὸς τήν R καί 3) Διατηροῦμε τά i καί R σταθερά καί παρατηροῦμε ὅτι ἡ θερμότητα εἶναι ἀνάλογη πρὸς τό χρόνο t .

III. ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

“Ὅπως εἶναι γνωστό ἀπό τή Μηχανική, ἡ



Σχ. 4.

ισχύς P εκφράζεται με το λόγο της ενέργειας E που παράγεται σε χρόνο t προς το χρόνο αυτό. Άρα και η ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος θα είναι:

$$(6) \quad P = \frac{E}{t}$$

Αντικαθιστούμε το E με το ίδιο του $i \cdot U \cdot t$ και βρίσκουμε:

$$(7) \quad \boxed{P = i \cdot U} \quad \begin{array}{l} \text{Ισχύς του ηλεκ. ρεύματος} \\ \text{ισχύς} = \text{ένταση} \times \text{τάση} \end{array}$$

Αν μās ενδιαφέρει ειδικά η **θερμική ισχύς** του ρεύματος, αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$(8) \quad P = \frac{Q}{t} = i^2 R$$

Μονάδα ισχύος. Ως μονάδα ισχύος στο Διεθνές Σύστημα χρησιμοποιείται το Watt και από τον τύπο (7) προκύπτει ότι:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Amp.} \times 1 \text{ Volt} \text{ ή } 1 \text{ W} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ V.}$$

Ένα watt είναι η ισχύς που καταναλώνει ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα 1A, όταν στα άκρα του επικρατεί τάση 1V (Σχ. 4) και **ένα Joule** είναι η ενέργεια που καταναλώνει ο πίο πάνω αγωγός σε 1sec.

Εκτός από το W χρησιμοποιούνται και τα παρακάτω:

$$1 \text{ KW (κιλοβάτ)} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW (μεγαβάτ)} = 10^6 \text{ W}$$

Άλλες μονάδες ενέργειας. Από τον ορισμό της ισχύος $P = E/t$ παίρνουμε $E = P \cdot t$. Αν στον τύπο αυτό βάλουμε $P = 1 \text{ W}$, $t = 1 \text{ sec}$, τότε το E γίνεται 1 Joule. Δηλ. **1Joule = 1W.1sec.** Αν βάλουμε $P = 1 \text{ KW}$ και $t = 1 \text{ h}$, τότε το E γίνεται 1KWh (κιλοβατώρα) δηλ.

1KWh (κιλοβατώρα) = 1000W.3600sec = 3.600.000 Joule. Η κιλοβατώρα (KWh) είναι μία μεγάλη μονάδα ενέργειας και χρησιμοποιείται στη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στα σπίτια, στα εργοστάσια κτλ.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΙΣΧΥΩΝ	
Λαμπτήρας φανού τσέπης (4.5V, 0.22A)	1W
Λαμπτήρας φωτισμού (220V, 0.45A)	100W
Τηλεόραση	140W
Ηλεκτρική κουζίνα	2KW
Κινητήρας τρόλεϋ	130KW

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Τό ηλεκτρικό ρεύμα παίρνει ενέργεια από την ηλεκτρική πηγή και τή δίνει στους διάφορους ηλεκτρικούς καταναλωτές, παράγοντας θερμική, χημική, μηχανική, φωτεινή κτλ. ενέργεια. Ή ενέργεια αυτή δίνεται από τον τύπο:
 $E = i \cdot U \cdot t$.
2. Ειδικά ή θερμική ενέργεια δίνεται και από τον τύπο $Q = i^2 \cdot R \cdot t$ και ή σχέση αυτή λέγεται νόμος του Joule.
3. Ή ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος δίνεται από τον τύπο $P = i \cdot U$. Ειδικά γιά τή θερμική ισχύ μπορούμε νά χρησιμοποιήσουμε και τον τύπο $P = i^2 \cdot R$.
4. Οί μονάδες ενέργειας και ισχύος προκύπτουν από τούς αντίστοιχους τύπους και είναι $1 \text{ Joule} = 1 \text{ A} \cdot \text{V} \cdot \text{sec}$ και $1 \text{ Watt} = 1 \text{ A} \cdot \text{V}$.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιός είναι ό γενικός τύπος τής ενέργειας του ηλεκτρικού ρεύματος και ποιός ειδικότερα ό τύπος τής θερμικής ενέργειας;
2. Τί είναι ή κιλοβατώρα;
3. Πώς αποδεικνύεται θεωρητικά και πώς πειραματικά ό νόμος του Joule;
4. Θέλετε νά υπολογίσετε τή θερμότητα πού παράγεται σέ μία αντίσταση. α) Είναι όρθό νά χρησιμοποιήσετε τον τύπο $Q = i^2 \cdot R \cdot t$; β) Είναι λάθος άν χρησιμοποιήσετε τον τύπο $E = i \cdot U \cdot t$;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Μία ηλεκτρική θερμάστρα έχει αντίσταση 50Ω και συνδέεται μέ τάση 220 V . Νά υπολογίσετε τήν ένταση του ρεύματος πού διαρρέει τήν αντίστασή της.
2. Ένα ηλεκτρικό σίδερο έχει ισχύ 500 Watt . Σέ πόσες ώρες θά καταναλώσει 4 kWh ;
3. Ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας έχει αντίσταση $R = 100 \Omega$ και διαρρέεται από ρεύμα έντάσεως $i = 0,5 \text{ A}$. Νά υπολογιστεί ή ισχύς πού καταναλώνει ό λαμπτήρας.
4. Πόση θερμότητα παράγει σέ χρόνο 80 sec ό παραπάνω λαμπτήρας;

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΗΕΔ ΠΗΓΗΣ

I. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκει πολλές εφαρμογές στις καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου. Ηλεκτροκίνητα τραίνα και ηλεκτροκίνητα λεωφορεία (τρόλεϋ) είναι βασικά μέσα συγκοινωνίας στις μεγάλες πόλεις του κόσμου, όπου το πρόβλημα της μόλυνσης της ατμόσφαιρας από τα καυσαέρια είναι οξύ. Όλα αυτά τα όχημα, πάρα πολλά παιδικά παιχνίδια και οικιακές συσκευές κάνουν χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία μετατρέπουν σε μηχανική. Λεπτομέρειες σχετικές με τον τρόπο της μετατροπής αυτής θα αναπτυχθούν σε επόμενες ενότητες.

Πολύ σπουδαίες εφαρμογές βρίσκει επίσης το ηλεκτρικό ρεύμα στην παραγωγή θερμότητας (θερμότητα Joule).

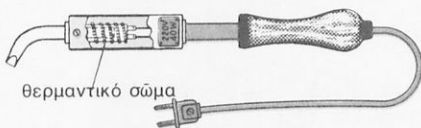
II. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ JOULE

Το κύριο εξάρτημα όλων των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιούνται για παραγωγή θερμότητας είναι η **ηλεκτρική αντίσταση** (ή **θερμαντικό σώμα**) (Σχ. 1).

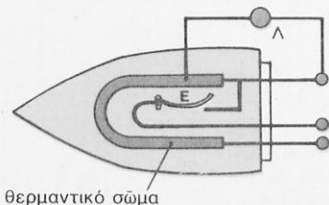
Τό θερμαντικό σώμα είναι μεταλλικό σύρμα κατασκευασμένο από ειδικά κράματα, όπως χρωμονικελίνη κτλ., τα οποία αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Για να προστατεύεται το σύρμα είναι τοποθετημένο συνήθως μέσα σε μονωτικό σώμα από κεραμικό υλικό ή μαρμαρυγία (μίκρα).

1. Ηλεκτρικό σίδερο. Η θερμαινόμενη αντίσταση στα α υ τ ό μ α τ α ηλεκτρικά σίδερα προστατεύεται από κεραμικό υλικό που έχει σχήμα πετάλου και το οποίο στηρίζεται πάνω σε μεταλλική πλάκα (Σχ. 2). Ένα διμεταλλικό έλασμα E (θερμοστάτης) ανοίγει και κλείνει αυτόματα το κύκλωμα, διατηρώντας με τον τρόπο αυτό τη θερμοκρασία της μεταλλικής πλάκας περίπου σταθερή και σε επιθυμητά επίπεδα. Τό ένδεικτικό λαμπάκι Λ ανάβει κάθε φορά που τό διμεταλλικό έλασμα κλείνει τό κύκλωμα.

2. Ηλεκτρική κουζίνα. Η παραγωγή θερμό-



Σχ. 1. Ηλεκτρικό κολλητήρι



θερμαντικό σώμα



Σχ. 2. Αυτόματο ηλεκτρικό σίδερο

τητας στις πλάκες (ή μάτια) της κουζίνας γίνεται με μία ή περισσότερες αντίστασεις, που για να προστατεύονται είναι περιτυλιγμένες με κεραμικό υλικό (Σχ. 3).

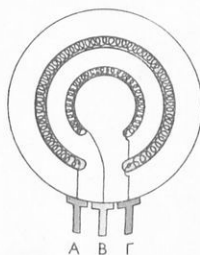
3. Ηλεκτρικός θερμοσίφωνα. Τα κύρια μέρη του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα είναι ένα κυλινδρικό μεταλλικό δοχείο (λέβητας), ένα θερμαντικό σώμα και ένας θερμοστάτης (Σχ. 4).

Ο θερμοστάτης είναι ρυθμισμένος να διακόπτει την παροχή του ρεύματος σε μία θερμοκρασία (π.χ. 80°C), για να αποφεύγεται τυχόν έκρηξη του θερμοσίφωνα. Για λόγους μεγαλύτερης προστασίας οι θερμοσίφωνες έχουν (ή πρέπει να έχουν) και δεύτερο σύστημα ασφάλειας, που να λειτουργεί σε περίπτωση που ο θερμοστάτης δέ λειτουργήσει.

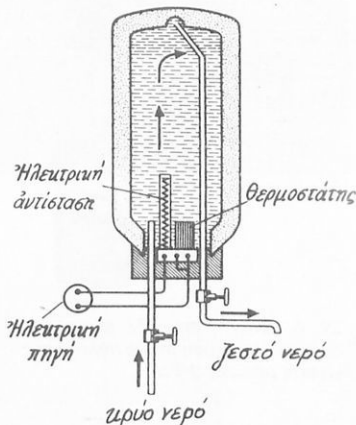
4. Λαμπτήρας πυρακτώσεως. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως εκτός από θερμότητα παράγουν και φως. Για να συμβαίνει αυτό πρέπει το θερμαντικό σώμα (νήμα) να φθάνει σε υψηλή θερμοκρασία (γύρω στους 2000°C) και επομένως πρέπει το υλικό του νήματος να είναι πολύ δύσστηκτο. Ένα κατάλληλο μέταλλο για το σκοπό αυτό είναι το βολφράμιο με σ.τ. 3400°C περίπου. Για να προστατεύεται το μεταλλικό νήμα από ανάφλεξη, είναι τοποθετημένο σε γυάλινο δοχείο που περιέχει αδρανές αέριο (Σχ. 5).

Οι λαμπτήρες, αλλά και κάθε ηλεκτρική συσκευή, είναι κατασκευασμένοι για να λειτουργούν υπό μία όρισμένη τάση, οπότε αποδίδουν μία όρισμένη ισχύ. Η τάση κανονικής λειτουργίας και η ισχύς είναι γραμμένες πάνω σε κάθε λαμπτήρα (π.χ. 220 V , 100 W).

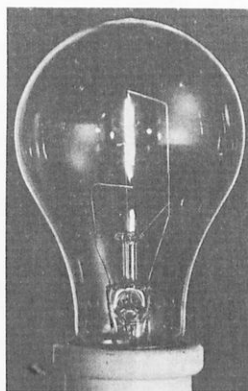
Σημείωση: Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας και φωτός ή για την κίνηση μηχανών δε ρυπαίνει την ατμόσφαιρα με βλαβερές ουσίες, όπως συμβαίνει με τη χρήση όλων των καυσίμων. Παρ' όλα αυτά και η αλόγιστη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας – αλλά και κάθε μορφής ενέργειας – είναι ένα είδος θερμικής ρυπάνσεως (thermal pollution) του περιβάλλοντος που είναι δυνατό να διαταράξει την ισορροπία ενός οικοσυστήματος. Γι' αυτό εκτός από τους οικονομικούς λόγους υπάρχουν και λόγοι οικολογικοί που επιβάλλουν περιορισμό στην ενεργειακή σπατάλη.



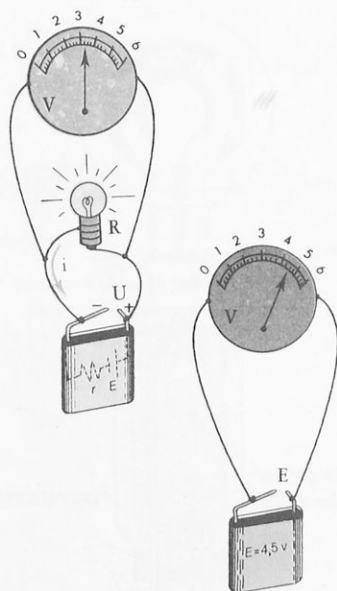
Σχ. 3. Πλάκα (ή μάτι) κουζίνας



Σχ. 4. Ηλεκτρικός θερμοσίφωνα



Σχ. 5. Ηλεκτρικός λαμπτήρας μεγάλης ισχύος



Σχ. 6. Όταν η πηγή δέ διαρρέεται από ρεύμα, η τάση στους πόλους της γίνεται μέγιστη (ΗΕΔ)

III. ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΠΗΓΗΣ (ΗΕΔ) ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

Συνδέουμε ένα λαμπάκι στους πόλους μιάς ηλεκτρικής πηγής, π.χ. μιάς ηλεκτρικής στήλης 4,5 V, και μετράμε την τάση στους πόλους της πηγής (Σχ. 6). Παρατηρούμε ότι η τάση είναι μικρότερη από 4,5 V, δηλ. μικρότερη από την τιμή της τάσεως που είναι γραμμένη πάνω στην πηγή. Κατόπιν αποσυνδέουμε τό λαμπάκι, μετράμε την τάση στους πόλους της πηγής και βρίσκουμε 4,5V. Από τό πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι ή διαφορά δυναμικού στους πόλους μιάς πηγής γίνεται μέγιστη, όταν ή πηγή δέ διαρρέεται από ρεύμα.

Η μέγιστη ηλεκτρική τάση που εμφανίζεται στους πόλους μιάς πηγής, όταν ή πηγή δέ διαρρέεται από ρεύμα, ονομάζεται ή **ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) E** της πηγής.

Η μείωση της τάσεως ανάμεσα στους πόλους, όταν ή πηγή διαρρέεται από ρεύμα, οφείλεται σέ κάποια αντίσταση που συναντάει τό ρεύμα στό έσωτερικό της πηγής. Η αντίσταση αυτή ονομάζεται **έσωτερική αντίσταση r** της πηγής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται γιά την κίνηση ηλεκτρικών όχημάτων και παιχνιδιών, γιά τή λειτουργία πολλών οικιακών συσκευών κτλ.
2. Ο θερμοσίφωνας, ή ηλεκτρική κουζίνα, τό ηλεκτρικό σίδερο, ή ηλεκτρική θερμάστρα κτλ. είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σέ θερμική.
3. Η τάση που εμφανίζεται στους πόλους μιάς πηγής, όταν αυτή δέ διαρρέεται από ρεύμα, ονομάζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) της πηγής.

1. Νά αναφέρετε παραδείγματα οικιακών συσκευών που μετατρέπουν α) την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και β) την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική.
2. α) Τι χρειάζεται ο θερμοστάτης σε ένα θερμοσίφωνα; β) Γιατί πρέπει οι θερμοσίφωνες να έχουν και δεύτερο σύστημα ασφάλειας;
3. Τι παριστάνουν οι ένδειξεις «220V, 60W» σε μία ηλεκτρική συσκευή;
4. α) Ποιά είναι τα κύρια μέρη ενός αυτόματου ηλεκτρικού σίδηρου; β) Αν καεί το θερμαντικό σώμα ενός αυτόματου ηλεκτρικού σίδηρου, θά ανάβει το λαμπάκι Λ, όταν το έλασμα Ε κλείνει το κύκλωμα; (Σχ. 2).
5. Τι είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη μιάς ηλεκτρικής πηγής;
1. Ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας φέρνει τις ένδειξεις «220V, 100W». α) Για ποιά τάση είναι κατάλληλος ο λαμπτήρας και πόση είναι τότε η ισχύς του; β) Πόσο ρεύμα περνάει από το λαμπτήρα, αν συνδεθεί σε τάση 220V;
2. Η πλάκα μιάς ηλεκτρικής κουζίνας έχει ισχύ $P = 500W$ και η ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει είναι $i = 2,5A$. Πόση είναι η ηλεκτρική τάση που τροφοδοτεί την κουζίνα;
3. Πόσο θά κοστίσει η λειτουργία της παραπάνω κουζίνας αν λειτουργήσει επί 6 ώρες συνεχώς και η τιμή της κιλοβατώρας είναι 2,2 δρχ;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

28η ΕΝΟΤΗΤΑ

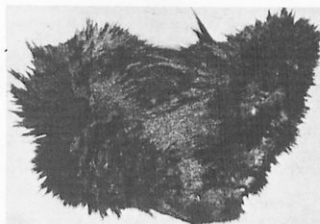
ΜΑΓΝΗΤΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΕΣ

1. ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΜΑΓΝΗΤΕΣ – ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

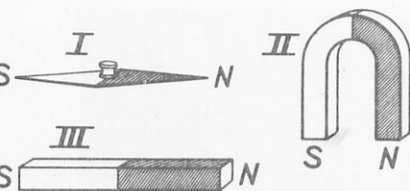
Από την αρχαιότητα ακόμη ο άνθρωπος είχε παρατηρήσει ότι ένα όρυκτό είχε την ιδιότητα να έλκει κομμάτια από το ίδιο υλικό καθώς και κομμάτια σιδήρου, δεν είχε όμως την ιδιότητα να έλκει το ξύλο, το χαλκό, το άχυρο και άλλα υλικά.

Τό όρυκτό αυτό είναι χημική ένωση του σιδήρου (Fe_3O_4) και ονομάζεται **μαγνητίτης**. Κοιτάσματά του υπάρχουν σε πολλές χώρες του κόσμου, καθώς επίσης και σε διάφορα μέρη της Ελλάδας. (π.χ. Χαλκιδική). Κομμάτια του όρυκτου αυτού αποτελούν τους **φυσικούς μαγνήτες** (Σχ. 1).

Σήμερα σπάνια χρησιμοποιούνται οι φυσικοί μαγνήτες, ενώ χρησιμοποιούνται εύρυτατα οι



Σχ. 1. Φυσικός μαγνήτης με ρινίσματα σιδήρου



Σχ. 2. Συνηθισμένες μορφές τεχνητών μαγνητών. (I) Μαγνητική βελόνα. (II) πεταλοειδής μαγνήτης. (III) Ραβδόμορφος μαγνήτης

τεχνητοί μαγνήτες, πού κατασκευάζονται από κράματα Fe, Ni, ή Co.

Οι κατασκευαστές δίνουν διάφορες μορφές στους μαγνήτες, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Στο Σχ. 2 φαίνονται μερικές από τις πιο συνηθισμένες μορφές τους.

Οι μαγνήτες, όπως αναφέραμε παραπάνω, δεν έλκουν όλα τα υλικά, αλλά μόνο ορισμένα, όπως το σίδηρο, το νικέλιο, το κοβάλτιο, τα κράματά τους κτλ. Τα υλικά αυτά πού έλκονται από τους μαγνήτες ονομάζονται **μαγνητικά υλικά**.

Πειράματα με πολύ ισχυρούς μαγνήτες αποδεικνύουν ότι καί άλλα υλικά παρουσιάζουν ασθενείς μαγνητικές ιδιότητες. Τέτοια υλικά είναι το χρώμιο, ο λευκόχρυσος κτλ.

II. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΕΣ

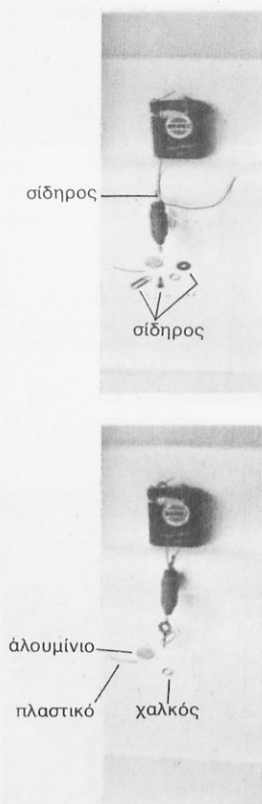
Παίρνουμε μία ράβδο από μαλακό σίδηρο (κοινά καρφιά κτλ.) καί τυλίγουμε γύρω της ένα μονωμένο καλώδιο (Σχ. 3). "Ονομάζουμε τη ράβδο **πυρήνα** καί το περιτυλιγμένο καλώδιο **πηνίο**. Διαβιβάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο καί παρατηρούμε ότι ο πυρήνας έλκει διάφορα σιδερένια αντικείμενα, ενώ δεν άσκει καμιά δύναμη στα αντικείμενα από αλουμίνιο, χαλκό κτλ. Από τό πείραμα αυτό συμπεραίνουμε ότι τό σύστημα «πηνίο-πυρήνας» αποκτά μαγνητικές ιδιότητες με τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. "Αν διακόψουμε τό ηλεκτρικό ρεύμα τά σιδερένια αντικείμενα παύουν νά έλκονται καί αποχωρίζονται από τόν πυρήνα. "Ένα τέτοιο σύστημα, πού αποτελείται από ένα πηνίο καί έναν πυρήνα από μαλακό σίδηρο, ονομάζεται **ηλεκτρομαγνήτης**.

"Όπως οί μόνιμοι μαγνήτες έτσι καί οί ηλεκτρομαγνήτες κατασκευάζονται με διάφορες μορφές (Σχ. 4), (Σχ. 5).

("Αν συμβεί ο πυρήνας νά είναι από χάλυβα – καταβίδια, άτσαλόκαρφα κτλ. – τά σιδερένια αντικείμενα συνεχίζουν νά μένουν κολλημένα στον πυρήνα καί μετά τη διακοπή του ρεύματος στο πείραμα του Σχ. 3).

III. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΠΟΛΟΙ

Πλησιάζουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη σε καρφάκια ή ρινίσματα σιδήρου καί παρατη-



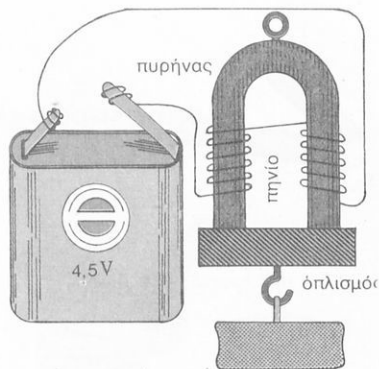
Σχ. 3. "Ο ηλεκτρομαγνήτης έλκει μόνο τά μαγνητικά υλικά

ρούμε ότι τα αντικείμενα αυτά έλκονται ισχυρότερα από τα άκρα του μαγνήτη. Τό ίδιο παρατηρούμε και σε έναν ηλεκτρομαγνήτη (Σχ. 3).

Οι περιοχές αυτές του μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη, που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη έλκτική ικανότητα, ονομάζονται πόλοι.

Αν κρεμάσουμε σε λεπτό νήμα ένα μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη, βλέπουμε τόν ένα πόλο να στρέφεται προς τό βορρά (North) και τόν άλλο προς τόν νότο (South). Ο πόλος που στρέφεται προς τό βορρά λέγεται **βόρειος πόλος (N)** και ό άλλος **νότιος πόλος (S)** του μαγνήτη (Σχ. 6).

Μέ άπλό πείραμα αποδεικνύεται ότι **οι όμώνυμοι πόλοι άπωθούνται, ενώ οι ετερώνυμοι έλκονται μεταξύ τους** (Σχ. 7).



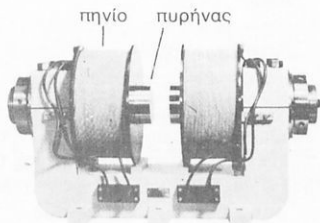
Σχ. 4. Πεταλοειδής ηλεκτρομαγνήτης

IV. ΤΟ ΠΗΝΙΟ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΥΡΗΝΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΕΡΕΤΑΙ ΩΣ ΜΑΓΝΗΤΗΣ

Σε ένα πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα πλησιάζουμε ένα μαγνήτη και παρατηρούμε ότι τό πηνίο έλκεται ή άπωθείται, όπως άκριβώς θα συνέβαινε και σε ένα μαγνήτη (Σχ. 8). Τό ίδιο θα παρατηρήσουμε και αν στο παραπάνω πηνίο πλησιάζουμε ένα άλλο πηνίο που διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα. Άρα:

Κάθε πηνίο που διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα συμπεριφέρεται ως ένας μαγνήτης.

Από τά παραπάνω προκύπτει ότι τό ήλεκτρικό ρεύμα έχει άμεση σχέση με τά μαγνητικά φαινόμενα.

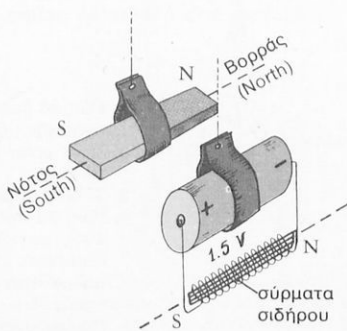


Σχ. 5. Ίσχυρός ηλεκτρομαγνήτης για έρευνες

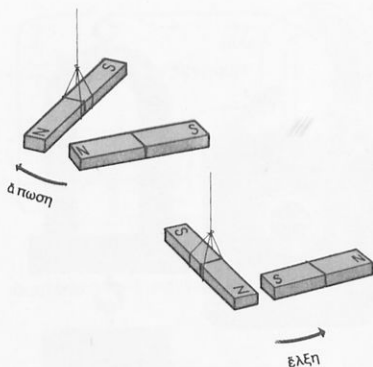
V. ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Είναι γνωστό ότι ανάμεσα σε δύο άκίνητα ήλεκτρικά φορτία αναπτύσσονται έλκτικές ή άπωστικές δυνάμεις, ανάλογα με τό είδος τών φορτίων. Οι δυνάμεις αυτές λέγονται **ήλεκτρικές**.

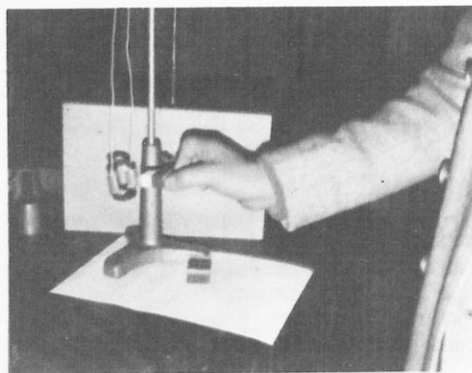
Δυνάμεις, επίσης έλκτικές ή άπωστικές, αναπτύσσονται και ανάμεσα σε μαγνήτες ή πηνία που διαρρέονται από ήλεκτρικό ρεύμα. Οι δυνάμεις αυτές λέγονται **μαγνητικές**.



Σχ. 6. Ο πόλος που στρέφεται προς τό βορρά λέγεται βόρειος πόλος (N)



Σχ. 7. Οί όμώνυμοι πόλοι απωθοῦνται καί οί ετερώνυμοι έλκονται



Σχ. 8. Τό πηνίο διαρρέεται από ρεύμα καί απωθεΐται από τό μαγνήτη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ο μαγνητίτης (Fe_3O_4) είναι ένας φυσικός μαγνήτης.
2. Όρισμένα υλικά (σίδηρος, νικέλιο, κοβάλτιο κτλ.) έλκονται από τούς μαγνήτες καί ονομάζονται μαγνητικά υλικά.
3. Οί ηλεκτρομαγνήτες αποτελούνται από ένα πηνίο τυλιγμένο γύρω από πυρήνα από μαλακό σίδηρο.
4. Οί ηλεκτρομαγνήτες καί τά πηνία συμπεριφέρονται ως μαγνήτες, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Τό ηλεκτρικό ρεύμα είναι ή αιτία τών μαγνητικών φαινομένων.
5. Οί ηλεκτρικές δυνάμεις αναπτύσσονται ανάμεσα σέ ακίνητα φορτία, ενώ οί μαγνητικές δυνάμεις αναπτύσσονται ανάμεσα σέ μαγνήτες ή πηνία πού διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πώς θά βρούμε τό βόρειο πόλο μιάς μαγνητικής βελόνας ή ενός πηνίου;
2. Ποιά είναι τά σπουδαιότερα μαγνητικά υλικά;
3. Τί είναι ό μαγνητίτης;
4. Πώς θά προσδιορίσετε τό βόρειο πόλο ενός μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη εάν διαθέτετε έναν άλλο μαγνήτη μέ γνωστή πολικότητα ή μία μαγνητική βελόνα, τής οποίας όμως δέ γνωρίζετε τούς πόλους;
5. Ποιές δυνάμεις ονομάζουμε ηλεκτρικές καί ποιές μαγνητικές;

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΑΓΝΗΤΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΩΝ

Ι. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΜΑΓΝΗΤΩΝ

Σέ πολλά ὄργανα καί συσκευές καθημερινῆς χρήσεως (πυξίδες, ἀκουστικά, μεγάφωνα, μικροὺς ἠλεκτροκινητῆρες κτλ.) συναντᾶμε μόνιμους μαγνήτες. Παρακάτω θά περιγράψουμε τήν πυξίδα, ἐνῶ τά ἄλλα θά τά περιγράψουμε σέ ἐπόμενες ἐνότητες.

Ἡ **πυξίδα** εἶναι ἓνα χρήσιμο ὄργανο γιά τόν προσανατολισμό τοῦ ἀνθρώπου. Χρησιμοποιεῖται ἀπό πεζοπόρους, ναυτιλομένους καί ἀεροπόρους καί τούς βοηθεῖ νά χαράζουν τήν πορεία τους.

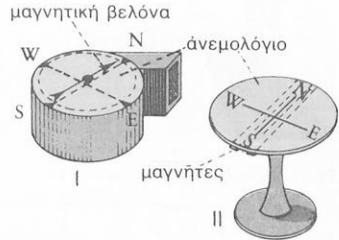
Χάρη στήν πυξίδα οἱ τολμηροί θαλασσοπόροι τῆς Ἀναγεννήσεως μπόρεσαν νά ἀπομακρυνθοῦν ἀπό τίς ἀκτές τῆς Εὐρώπης καί νά φτάσουν στήν «ἄγνωστη» ἠπειρο, τήν Ἀμερική.

Κάθε πυξίδα ἀποτελεῖται ἀπό μία μαγνητική βελόνη καί ἓνα δίσκο πού ἔχει πάνω του τά σημεῖα τοῦ ὀριζήντα (ἀνεμολόγιο) (Σχ. 1).

Στίς κοινές πυξίδες τό ἀνεμολόγιο μένει ἀκίνητο, ἐνῶ στίς **ναυτικές** πυξίδες τό ἀνεμολόγιο στρέφεται μαζί μέ τό μαγνήτη. Οἱ ναυτικές πυξίδες ἀρθρώνονται στά πλοῖα μέ εἰδικό τρόπο, ὥστε νά παραμένει ὁ δίσκος ὀριζόντιος παρὰ τούς κλυδωνισμούς τοῦ πλοίου (Σχ. 2). Τά μεγάλα ποντοπόρα σκάφη, μαζί μέ τή ναυτική πυξίδα, χρησιμοποιοῦν καί ἓνα ἄλλο ὄργανο προσανατολισμοῦ πού λέγεται **γυροσκοπική πυξίδα**, ἀλλά λειτουργεῖ μέ ἐντελῶς διαφορετικό τρόπο ἀπό αὐτόν τῆς μαγνητικῆς πυξίδας.

ΙΙ. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΩΝ

Οἱ ἠλεκτρομαγνήτες ἔχουν περισσότερες ἐφαρμογές ἀπό τούς μόνιμους μαγνήτες. Τό ἠλεκτρικό κουδούνι, ὁ τηλέγραφος, τό τηλέτυπο, τό τηλέφωνο κτλ. εἶναι μερικές ἀπό τίς συσκευές πού περιέχουν τόν ἠλεκτρομαγνήτη ὡς ἀπαραίτητη λειτουργική μονάδα.

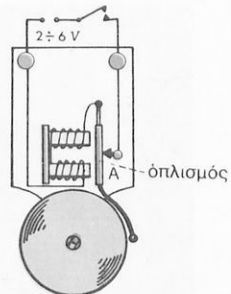


Σχ. 1. I. Κοινή πυξίδα.

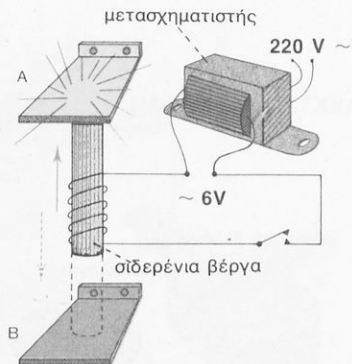
II. Ναυτική πυξίδα (ἀρχή)



Σχ. 2. Ναυτική πυξίδα. Ἡ γραμμή πίστεως δείχνει τόν ἄξονα τοῦ πλοίου



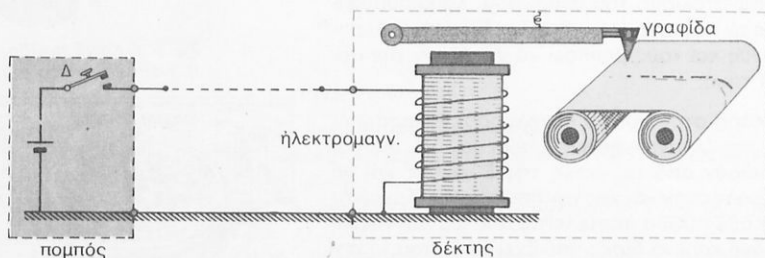
Σχ. 3. Ἐπαναληπτικό κουδούνι. Ὁ ἠλεκτρομαγνήτης τραβάει τόν ὄπλισμό καί χτυπάει τό κουδούνι. Τό ρεύμα τότε διακόπτεται στό σημεῖο Α καί ὁ ὄπλισμός ἐπιστρέφει στή θέση του. Κατόπιν ἐπαναλαμβάνεται τό ἴδιο



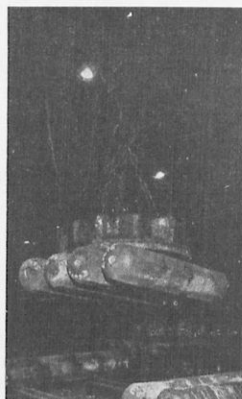
Σχ. 4. Μελωδικό κουδούνι

α. Ήλεκτρικό κουδούνι. Υπάρχουν δύο ειδών ηλεκτρικά κουδούνια: τά μελωδικά και τά επαναληπτικά (Σχ. 3). Τελευταία χρησιμοποιούμε στα σπίτια μας περισσότερο τά μελωδικά (Σχ. 4).

Τά μελωδικά ηλεκτρικά κουδούνια περιλαμβάνουν δύο μεταλλικές πλάκες Α, Β και έναν ηλεκτρομαγνήτη με κινητό πυρήνα. "Όταν τó κύκλωμα είναι ανοιχτό, ό πυρήνας μένει ακίνητος, άκουμπώντας στην κάτω πλάκα. "Όταν όμως κλείνουμε τó κύκλωμα, ό πυρήνας τινάζεται πρός τά πάνω, χτυπάει στην πάνω πλάκα και παράγεται ό πρώτος ήχος. Τό τίναγμα αυτό τού πυρήνα όφείλεται στη μαγνητική δύναμη, πού δέχεται από τó πηνίο πού διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα. "Αν στη συνέχεια διακόψουμε



Σχ. 5. Άπλό διάγραμμα τηλέγραφου



Σχ. 6. Ήλεκτρομαγνήτης. (Τά κομμάτια ζυγίζουν 6 τόνους)

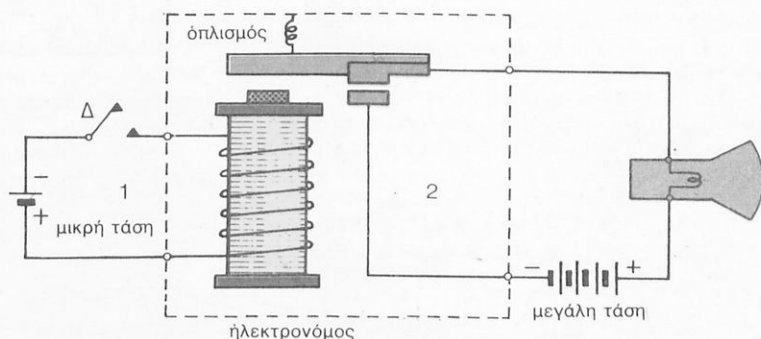
τό ήλεκτρικό ρεύμα, ή μαγνητική δύναμη στόν πυρήνα μηδενίζεται και ό πυρήνας πέφτει στην κάτω πλάκα. "Ετσι παράγεται ό δεύτερος ήχος.

β. Τηλέγραφος. "Ο τηλέγραφος χρησιμοποιήθηκε πολύ στό παρελθόν γιά τή μεταβίβαση γραπτών μηνυμάτων. Σήμερα χρησιμοποιείται σπάνια, γιατί καθημερινά έκτοπίζεται από τó τηλέτυπο πού ύπηρετεί τόν ίδιο σκοπό μέ τόν τηλέγραφο, αλλά μέ πρακτικότερο τρόπο.

"Ενα άπλό διάγραμμα τηλέγραφου φαίνεται στό Σχ. 5. "Όταν πιέζουμε τó διακόπτη Δ, διέρχεται ρεύμα από τόν ήλεκτρομαγνήτη και έλκεται ή γραφίδα. "Ετσι αφήνει ή γραφίδα ένα σημάδι στό χαρτί. "Αν τó κύκλωμα μένει κλειστό γιά μία μόνο στιγμή, τó σημάδι είναι μία τελεία. "Αν τó κύκλωμα μένει κλειστό γιά περισσότερο χρόνο, τó σημάδι είναι μία γραμμή.

Μέ ειδικό κώδικα (Α = —·—, Β = — — κτλ.), πού έπινόησε ό Μόρς, μπορούμε νά μεταβιβάζουμε μηνύματα σε μεγάλες ή μικρές άποστάσεις.

γ. **Ήλεκτρομαγνητικός γερανός.** Όρισμένοι γερανοί, προορισμένοι νά ανυψώνουν σιδερένια αντικείμενα, χρησιμοποιούν ισχυρούς ήλεκτρομαγνήτες καί λέγονται **ήλεκτρομαγνητικοί γερανοί**. Τέτοιοι γερανοί χρησιμοποιούνται σέ χαλυβουργίες, μηχανουργεία κτλ. (Σχ. 6). Παρόμοιοι ήλεκτρομαγνήτες, αλλά σέ πολύ μικρότερο μέγεθος, χρησιμοποιούνται από χειρουργούς ιατρούς, γιά νά βγάξουν ρινίσματα σιδήρου ή άλλα μικρά σιδερένια αντικείμενα, πού μπήκαν στό μάτι ή σέ άλλο μέρος τού σώματος μετά από κάποιο ατύχημα.



Σχ. 7. Ήλεκτρονόμος (άρχη)

δ. **Ήλεκτρονόμος (Relay, ρελέ).** Ο άπλός ήλεκτρονόμος περιλαμβάνει έναν **ήλεκτρομαγνήτη** καί ένα λεπτό σιδερένιο έλασμα (**όπλισμό**) (Σχ. 7). Ο όπλισμός λειτουργεί ως διακόπτης στό δεύτερο κύκλωμα. Όταν τό πρώτο κύκλωμα είναι ανοικτό, τότε καί τό δεύτερο κύκλωμα μένει ανοικτό. Όταν όμως κλείσει τό πρώτο κύκλωμα, ο όπλισμός έλκεται καί κλείνει αυτόματα τό δεύτερο κύκλωμα.

Ή λειτουργία αυτή τού ήλεκτρονόμου μās διευκολύνει νά καλούμε έναν ανεγκυστήρα ή νά επιλέγουμε έναν τηλεφωνικό αριθμό. Στην άποστολή τής «έντολης» χρησιμοποιούμε μικρές τάσεις (κύκλωμα 1) καί στην «έκτέλεση» μεγάλες τάσεις (κύκλωμα 2). Μέ τόν τρόπο αυτό αποφεύγονται μεγάλες άπώλειες ενέργειας, ιδιαίτερα όταν ή έντολή στέλνεται από μεγάλη άπόσταση (ένας από τούς ρόλους τού ήλεκτρονόμου).

Οί ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούνται σε όλους τους αυτόματους μηχανισμούς, καθώς επίσης σε εγκαταστάσεις, στις οποίες ο χειρισμός γίνεται από απόσταση.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Η μαγνητική πυξίδα είναι όργανο προσανατολισμού και αποτελείται από έναν ευθύγραμμο μαγνήτη, στρεπτό γύρω από κατακόρυφο άξονα, και από ένα ανεμολόγιο.
2. Τό μελωδικό κουδούνι αποτελείται από ένα πηνίο, έναν κινητό πυρήνα από μαλακό σίδηρο και από δύο μεταλλικές πλάκες που παράγουν τόν ήχο.
3. Ο ηλεκτρομαγνητικός γερανός χρησιμοποιείται στην ανύψωση σιδερένιων αντικειμένων που έχουν μεγάλο βάρος.
4. Ο ηλεκτρονόμος είναι ένα όργανο απαραίτητο στις αυτόματες εγκαταστάσεις (τηλέφωνα, ανελκυστήρες, εργοστάσια με αυτοματισμό κτλ.).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τι είναι η πυξίδα και ποιά η διαφορά μεταξύ της κοινής και της ναυτικής πυξίδας;
2. Ποι χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρονόμοι;
3. Να σχεδιάσετε έναν ηλεκτρονόμο έτσι ώστε, όταν το πρώτο κύκλωμα κλείνει, το δεύτερο κύκλωμα να ανοίγει.
4. Τι από τα ακόλουθα θα συμβεί αν στο μελωδικό κουδούνι (Σχ. 4) κλείσουμε το κύκλωμα και το διατηρήσουμε κλειστό;
α) Ο πυρήνας θα χτυπήσει στην πάνω πλάκα και μετά θα παραμείνει μετέωρος.
β) Ο πυρήνας θα χτυπάει διαρκώς στην πάνω πλάκα παράγοντας ήχο. γ) Ο πυρήνας θα κινείται πάνω κάτω διαρκώς χτυπώντας και στις δύο πλάκες.
5. Για να τραβηχτεί η γραφίδα του τηλεγραφου χρειάζεται αρκετό ρεύμα. Γι' αυτό σχεδόν πάντοτε ο τηλεγράφος χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρονόμο. Να σχεδιάσετε ένα απλό διάγραμμα τηλεγραφου με ηλεκτρονόμο.
(Υπόδειξη: Στο Σχ. 5 να παρεμβάλετε και έναν ηλεκτρονόμο).

ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ - ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

I. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Είναι γνωστό ότι κάθε μαγνήτης άσκει μία δύναμη σε άλλο γειτονικό μαγνήτη. Τό ίδιο έπισης κάνει καί ένα πηνίο πού διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα σε άλλο πηνίο μέ ρεύμα ή σε μαγνήτη (Σχ. 1).

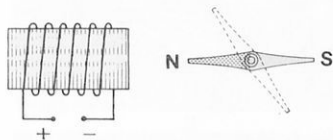
Η περιοχή του χώρου, μέσα στην οποία εμφανίζονται μαγνητικές δυνάμεις, ονομάζεται **μαγνητικό πεδίο**.

Ένα ευαίσθητο όργανο πού μπορεί νά δείξει την ύπαρξη μαγνητικών δυνάμεων, άρα καί μαγνητικού πεδίου, είναι ή μαγνητική βελόνα πού μπορεί νά στρέφεται ελεύθερα γύρω από έναν άξονα. Μέ τή βοήθεια, λοιπόν, μιάς μαγνητικής βελόνας διαπιστώνουμε ότι γύρω από ένα πηνίο μέ ρεύμα (Σχ. 1), έναν οποιοδήποτε ρευματοφόρο άγωγό (Σχ. 2) ή ένα μαγνήτη (Σχ. 3) υπάρχει μαγνητικό πεδίο.

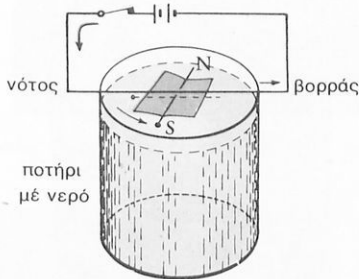
II. ΕΚΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Τοποθετούμε ένα μαγνήτη κοντά σε μία μαγνητική βελόνα, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Παρατηρούμε ότι ή βελόνα γυρίζει καί παίρνει μία νέα θέση ισορροπίας. Απομακρύνουμε λίγο τή βελόνα από τό μαγνήτη καί βλέπουμε ότι ή έκτροπή της από τήν άρχική διεύθυνση γίνεται μικρότερη. Αυτό φανερώνει ότι τό μαγνητικό πεδίο γίνεται ασθενέστερο καθώς απομακρυνόμαστε από τόν πόλο του μαγνήτη. Όταν ή βελόνα απομακρυνθεί άρκετά, δέν παρατηρείται πλέον καμία έκτροπή από τήν άρχική της διεύθυνση (θέση Β). Μπορούμε νά πούμε ότι, από τήν απόσταση αυτή καί μετά, δέν υπάρχει, **πρακτικά**, μαγνητικό πεδίο.

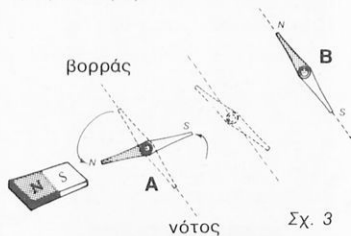
Άρα τό μαγνητικό πεδίο γύρω από ένα μαγνήτη είναι ισχυρό κοντά στους πόλους του καί εξασθενίζει καθώς απομακρυνόμαστε από αυτούς. Από μία απόσταση καί μετά, πρακτικά, μηδενίζεται. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από τό πόσο ισχυρός είναι ό μαγνήτης καί πόσο ευαίσθητη είναι ή μαγνητική βελόνα.



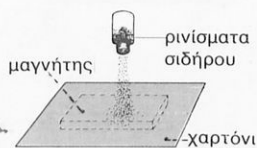
Σχ. 1. Όταν περνάει ρεύμα από τό πηνίο, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο πού στρέφει τή βελόνα



Σχ. 2. Η μαγνητισμένη καρφίτσα στρέφεται καί τείνει νά γίνει κάθετη πρós τόν άγωγό

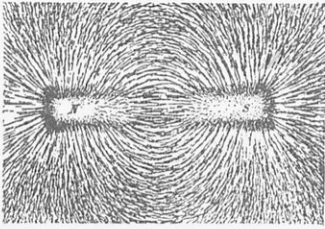


Σχ. 3

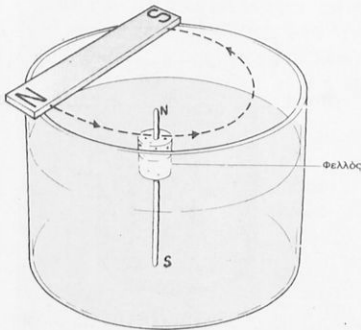


Σχ. 4.

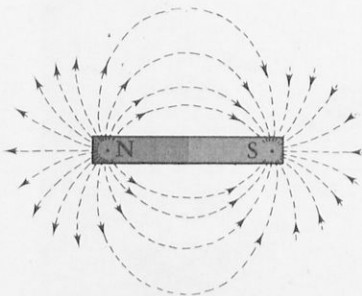
III. ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ



Σχ. 5. Μαγνητικό φάσμα ραβδόμορφου μαγνήτη



Σχ. 6. Ἡ φορά κινήσεως τοῦ βόρειου μαγνητικοῦ πόλου ὁρίζει τὴν φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν



Σχ. 7. Φορὰ τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν ἔξω ἀπὸ τὸ μαγνήτη

Τοποθετοῦμε ἓνα χαρτόνι (ἢ μία γυάλινη πλάκα) πάνω ἀπὸ ἓνα μαγνήτη καὶ ρίχνουμε στὸ χαρτόνι ρινίσματα σιδήρου (Σχ. 4). Χτυπάμε ἑλαφρὰ τὸ χαρτόνι καὶ παρατηροῦμε ὅτι τὰ ρινίσματα σιδήρου διατάσσονται κατὰλληλα καὶ σχηματίζουν καμπύλες γραμμές, ὅπως φαίνεται στὴ φωτογραφία (Σχ. 5).

Οἱ γραμμές αὐτές πού σχηματίζουν τὰ ρινίσματα σιδήρου, ὅταν βρίσκονται σέ μαγνητικό πεδίο, ὀνομάζονται **μαγνητικές γραμμές**. Τὸ σύνολο ὅλων τῶν γραμμῶν αὐτῶν ὀνομάζεται **μαγνητικό φάσμα**.

Ἀπὸ τὸ μαγνητικό φάσμα ἐνὸς πεδίου μποροῦμε νά ἀντλήσουμε πολλές πληροφορίες. Μποροῦμε π.χ. νά βροῦμε σέ ποιές περιοχές τὸ πεδίο εἶναι ἰσχυρό, νά ποῦμε ποιοὶ ἀπὸ τὰ ἄκρα τοῦ μαγνήτη, πού παράγει τὸ πεδίο, εἶναι ὁ βόρειος πόλος κ.ο.κ.

Γιὰ νά μπορούμε νά παίρνομε ὅλα αὐτὰ τὰ στοιχεῖα ἀπὸ τὸ φάσμα τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν, πρέπει νά γνωρίζουμε καὶ τὴν **φορά** τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν.

Ἡ φορά τῶν γραμμῶν εἶναι τελείως συμβατική καὶ καθορίζεται ἀπὸ τὴν κίνηση ἐνὸς βόρειου μαγνητικοῦ πόλου, ὅπως φαίνεται στὸ πείραμα* τοῦ Σχ. 6. Ὁ βόρειος πόλος τοῦ μαγνητισμένου σύρματος κινεῖται ἀπὸ τὸ βόρειο πόλο τοῦ μαγνήτη στὸ νότιο, διαγράφοντας καμπύλη τροχιά.

Ἡ **φορά κινήσεως τοῦ βόρειου μαγνητικοῦ πόλου ὁρίζεται ὡς φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν**.

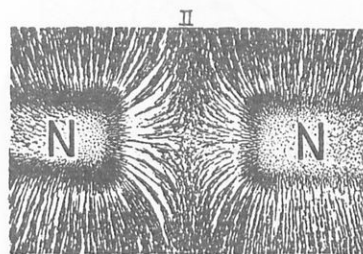
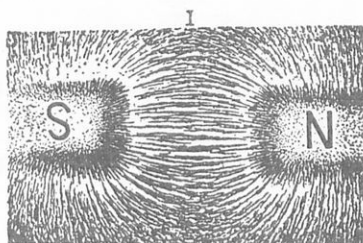
Ἀπὸ τὸν ὀρισμὸ αὐτὸ προκύπτει ὅτι οἱ μαγνητικές γραμμές, ἔξω ἀπὸ τὸ μαγνήτη, ἔχουν φορά ἀπὸ τὸ βόρειο πρὸς τὸ νότιο πόλο (Σχ. 7).

* Τὸ πείραμα αὐτὸ μπορεῖ νά γίνῃ εὐκόλα στὸ σπίτι. Χρησιμοποιήστε ἓνα ποτήρι μέ νερὸ καὶ μιά μαγνητισμένη καρφίτσα στερεωμένη σέ κομματάκι φελλοῦ ἀπὸ πώματα. Ἄν δὲν ἔχετε μαγνήτη, κατασκευάστε ἓναν ἡλεκτρομαγνήτη.

IV. ΠΕΔΙΟ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΥΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ

Τοποθετούμε δύο μαγνήτες με τούς έτερώνυμους πόλους τους τόν ένα άπέναντι στον άλλο καί μέ ρινίσματα σιδήρου παίρνουμε τό φάσμα του μαγνητικού πεδίου πού σχηματίζεται από αυτούς (Σχ. 8, I). Από τό φάσμα αυτό προκύπτει ότι τό πεδίο, πού σχηματίζεται ανάμεσα στους έτερώνυμους πόλους, έχει τίς μαγνητικές γραμμές παράλληλες μεταξύ τους στή μικρή περιοχή του διακένου. Ένα τέτοιο πεδίο, στό όποιο οί μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλες μεταξύ τους, ονομάζεται **όμογενές** μαγνητικό πεδίο. Κάθε άλλο πεδίο λέγεται **άνομοιογενές**.

Τό μαγνητικό πεδίο πού σχηματίζεται ανάμεσα σέ όμώνυμους πόλους είναι άνομοιογενές σέ όλη του τήν έκταση (Σχ. 8, II).



Σχ. 8. Φάσματα διαφόρων μαγνητικών πεδίων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

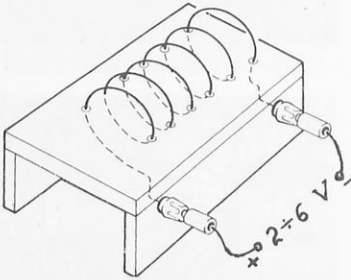
1. Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ό χώρος μέσα στον όποιο έκδηλώνονται μαγνητικές δυνάμεις. Τά μαγνητικά πεδία εμφανίζονται γύρω από μαγνήτες, πηνία μέ ρεύμα ή όποιουσδήποτε ρευματοφόρους άγωγούς.
2. Γιά τήν παράσταση ενός μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιούμε τίς μαγνητικές γραμμές πού έχουν φορά από τό βόρειο πός τό νότιο πόλο, στον έξωτερικό χώρο του μαγνήτη. Τό σύνολο των μαγνητικών γραμμών ενός πεδίου ονομάζεται μαγνητικό φάσμα του πεδίου.
3. Όταν οί μαγνητικές γραμμές ενός πεδίου είναι παράλληλες μεταξύ τους, τό πεδίο λέγεται όμογενές.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

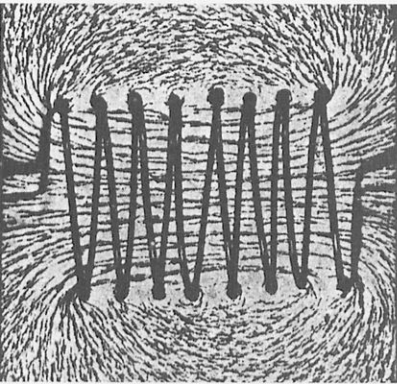
1. Πώς θά καταλάβετε άν γύρω από ένα σώμα ύπάρχει μαγνητικό πεδίο;
2. α) Μέχρι πού έκτείνεται πρακτικά τό μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη; β) Από τί έξαρτάται ή άπόσταση αύτή;
3. Πώς όρίζεται ή φορά των μαγνητικών γραμμών;
4. Σας λένε ότι από έναν πόλο Α βγαίνουν μαγνητικές γραμμές μέ φορά πός τά έξω. Ποιός πόλος πρέπει νά είναι ό Α;

ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ ΚΑΙ

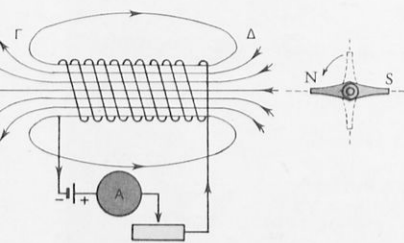
ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΑΓΩΓΟΥ - ΓΗΙΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ



Σχ. 1. Σωληνοειδές



Σχ. 2. Μαγνητικό φάσμα σωληνοειδούς



Σχ. 3.

Ι. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΟΥΣ

Τό σωληνοειδές είναι ένα είδος πηνίου που έχει κυλινδρικό σχήμα (Σχ. 1 και Σχ. 8).

Γιά να πραγματοποιήσουμε έργαστηριακά τό φάσμα του μαγνητικού του πεδίου, συνδέουμε τό σωληνοειδές μέ μία ηλεκτρική πηγή και ρίχνουμε ρινίσματα σιδήρου στην πλάκα στήριξέως του.

Παρατηρούμε ότι τά ρινίσματα διατάσσονται σέ γραμμές καί σχηματίζουν ένα **φάσμα όμοιο μέ τό φάσμα ραβδόμορφου μαγνήτη** (Σχ. 2). Στό έσωτερικό του σωληνοειδούς οί μαγνητικές γραμμές είναι σχεδόν παράλληλες. Άρα τό μαγνητικό πεδίο στην περιοχή εκείνη είναι σχεδόν **όμογενές**.

Άπό την εικόνα του φάσματος που παίρνουμε πειραματικά, δέν μπορούμε νά συμπεράνουμε τή φορά των μαγνητικών γραμμών, ούτε νά έντοπίσουμε πού βρίσκεται ό βόρειος πόλος καί ό νότιος πόλος του πηνίου. Μπορούμε όμως μέ μία μαγνητική βελόνα νά βρούμε τό είδος των πόλων ενός πηνίου πού διαρρέεται από ρεύμα. Π.χ. ό πόλος Δ του πηνίου του Σχ. 3 είναι ό νότιος πόλος, γιατί έλκει τό βόρειο πόλο τής βελόνας.

Άφού βρούμε τούς πόλους του πηνίου, μπορούμε κατόπιν νά καθορίσουμε τή φορά των μαγνητικών γραμμών.

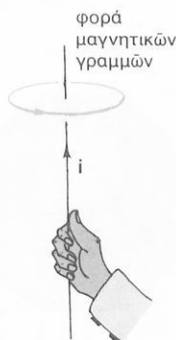
Κανόνας του δεξιού χεριού. Τή φορά των μαγνητικών γραμμών, στην πράξη, τή βρίσκουμε μέ έναν πρακτικό κανόνα, άρκεί νά γνωρίζουμε τή φορά του ηλεκτρικού ρεύματος πού περνάει από τό πηνίο (Σχ. 4). Βάζουμε τόν αντίχειρα του δεξιού μας χεριού νά δείχνει τή συμβατική φορά του ρεύματος καί λυγίζουμε τά άλλα δάχτυλα. Τότε τά λυγισμένα δάχτυλα δείχνουν τή φορά των μαγνητικών γραμμών (κανόνας του δεξιού χεριού).

II. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Τό μαγνητικό πεδίο πού παράγει ένας ευθύγραμμος ρευματοφόρος άγωγός φαίνεται στό Σχ. 5. Όπως προκύπτει από τή φωτογραφία του φάσματος, τά ρινίσματα σιδήρου σχηματίζουν όμόκεντρους κύκλους μέ κέντρο πάνω στον άγωγό. Για νά σχηματισθούν καλά αυτοί οί κύκλοι πρέπει τό χαρτόνι νά είναι κάθετο στον άγωγό. Από τίς παρατηρήσεις αυτές συμπεραίνουμε ότι:

Οί μαγνητικές γραμμές του πεδίου πού σχηματίζεται από ευθύγραμμο ρευματοφόρο άγωγό, είναι περιφέρειες κύκλου μέ κοινό κέντρο πού βρίσκεται πάνω στον άγωγό και μέ τό επίπεδό τους κάθετο στον άγωγό (Σχ. 6).

Ή φορά των γραμμών βρίσκεται και πάλι μέ τόν κανόνα του δεξιού χεριού.



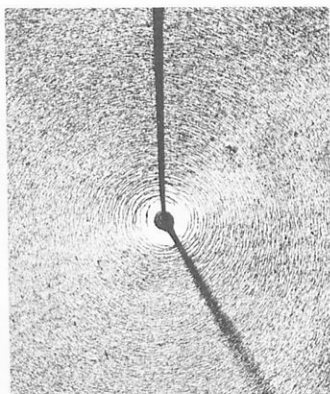
Σχ. 4. Κανόνας του δεξιού χεριού

III. ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ

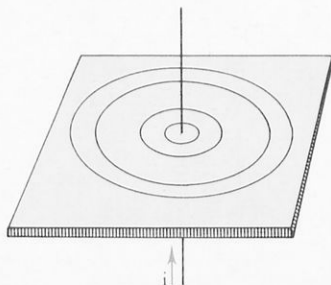
α. Μορφή του πεδίου. Από τήν καθημερινή μας έμπειρία γνωρίζουμε ότι ή μαγνητική βελόνα ισορροπεί πάντοτε κατά τή διεύθυνση βορράς - νότος, άν δεν υπάρχει κοντά της μαγνήτης ή πηγίο μέ ρεύμα. Ό προσανατολισμός αυτός της βελόνας φανερώνει ότι γύρω από τή Γή υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Τό πεδίο αυτό λέγεται **μαγνητικό πεδίο της Γής ή γεωμαγνητικό πεδίο**.

Άν υπήρχε τρόπος νά φωτογραφήσουμε τό φάσμα του γεωμαγνητικού πεδίου, θά παίρναμε μία εικόνα παρόμοια μέ τό φάσμα ραβδόμορφου μαγνήτη (Σχ. 7). Από τή μορφή του φάσματος προκύπτει ότι ό μαγνητικός άξονας της Γής δέ συμπίπτει μέ τόν άξονα περιστροφής της. Μέ άλλα λόγια οί μαγνητικοί πόλοι της Γής δέ βρίσκονται πάνω στους γεωγραφικούς πόλους, αλλά σέ άρκετή απόσταση από αυτούς.

β. Προέλευση του γεωμαγνητικού πεδίου. Από όσα είναι γνωστά μέχρι σήμερα, τό μαγνητικό πεδίο της Γής όφείλεται σέ δύο κυρίως αίτίες: α) Σέ ηλεκτρικά ρεύματα πού κυκλοφορούν στον πυρήνα της Γής και β) στα μαγνητισμένα υλικά πού υπάρχουν σέ πολλές περιοχές του φλοιού της Γής.



Σχ. 5. Μαγνητικό φάσμα ευθύγραμμου ρευματοφόρου άγωγού



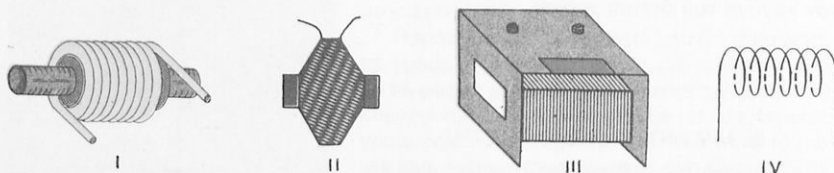
Σχ. 6. Γραφική παράσταση του φάσματος ευθύγραμμου ρευματοφόρου άγωγού



Σχ. 7.

Έκτός από τη Γη και άλλα ούρανια σώματα έχουν μαγνητικό πεδίο, όπως ο Ήλιος, ο Άρης, ο Ζεύς κτλ.

Σημείωση: Συχνά χρησιμοποιούμε τούς όρους πηνίο και σωληνοειδές. Για να γίνουν κατανοητές οι έννοιες, παραθέτουμε τις μορφές μερικών από τα πιο συνηθισμένα πηνία (Σχ. 8). Από τα σχέδια αυτά γίνεται αντιληπτό ότι **σωληνοειδές** είναι εκείνο το πηνίο που έχει τη μορφή στενόμεκρου σωλήνα και έχει σταθερό αριθμό σπειρών σε κάθε μονάδα του μήκους του.



Σχ. 8. Μορφές πηνίων. (Ειδικά τα πηνία I και IV λέγονται σωληνοειδή πηνία)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Το μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς μοιάζει με το πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη και είναι ομογενές στο έσωτερικό του και ανομοιογενές στο εξωτερικό του.
2. Το μαγνητικό πεδίο γύρω από εύθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό έχει κυκλικές μαγνητικές γραμμές κάθετες προς τον αγωγό.
3. Το μαγνητικό πεδίο της γης έχει μορφή παρόμοια με το πεδίο ραβδόμορφου μαγνήτη και οφείλεται κυρίως σε ηλεκτρικά ρεύματα που κυκλοφορούν στον πυρήνα της και σε σιδηρομαγνητικά υλικά που υπάρχουν στο φλοιό της.
4. Ο μαγνητικός άξονας της γης δε συμπίπτει με το γεωγραφικό άξονά της.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Με τί μοιάζει το μαγνητικό φάσμα σωληνοειδούς; β) Σε ποιά περιοχή του σωληνοειδούς το πεδίο είναι ομογενές;
2. Τι μορφή έχουν οι μαγνητικές γραμμές εύθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού; Σημειώστε τη φορά των μαγνητικών γραμμών στο Σχ. 6.
3. Πώς θα βρείτε τούς πόλους ενός πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα: α) με μία μαγνητική βελόνα; β) χωρίς μαγνητική βελόνα;
4. Ποῦ οφείλεται το γήινο μαγνητικό πεδίο;

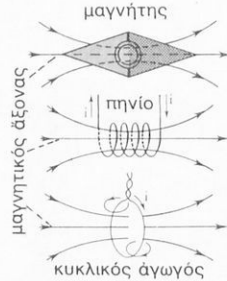
ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών ήταν γνωστές από την εποχή του Θαλή, αλλά ή έρμηνεία τους παρέμεινε άγνωστη ως τις αρχές του 20ου αιώνα.

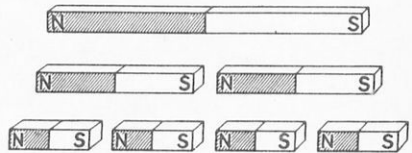
I. ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΔΙΠΟΛΑ

Όπως είναι γνωστό, κάθε πηνίο που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά και κάθε μαγνήτης, εμφανίζει στις άκρες του δύο πόλους, είναι δηλ. ένα **μαγνητικό δίπολο** (Σχ. 1).

Τα μαγνητικά δίπολα έχουν μία κεντρική μαγνητική γραμμή, που είναι ευθεία και λέγεται **μαγνητικός άξονας** του διπόλου. Στην περίπτωση που το μαγνητικό δίπολο είναι ένας κυκλικός άγωγός, ο μαγνητικός του άξονας είναι κάθετος προς το επίπεδο του άγωγού, όπως προκύπτει από το μαγνητικό του φάσμα.



Σχ. 1. Μαγνητικά δίπολα



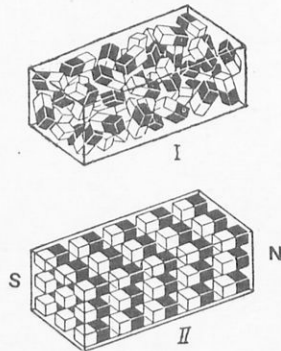
Σχ. 2. Η απομόνωση ενός μαγνητικού πόλου είναι αδύνατη

II. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΜΑΓΝΗΤΕΣ

Αν κόψουμε ένα ραβδόμορφο μαγνήτη σε δύο κομμάτια, παρατηρούμε ότι προκύπτουν δύο μικρότεροι μαγνήτες (Σχ. 2). Αν τό κάθε κομμάτι κοπεί ξανά σε μικρότερα κομμάτια, προκύπτουν και πάλι μικρότεροι μαγνήτες κ.ο.κ. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι είναι αδύνατο να χωρίσουμε και να απομονώσουμε τούς πόλους ενός μαγνήτη. Μέ άλλα λόγια οι μαγνητικοί πόλοι εμφανίζονται πάντα σε ζευγάρια.

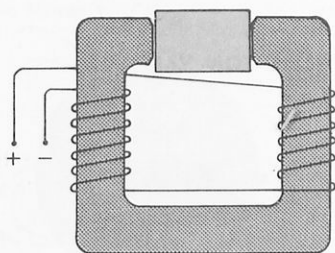
Αν ήταν δυνατό να συνεχίσουμε τη διαίρεση των μαγνητών σε όλοένα μικρότερα κομμάτια, θά φθάναμε τελικά σε μικρότατους μαγνήτες, **στοιχειώδεις μαγνήτες**, που θά ήταν τὰ άτομα ή μόρια του υλικού, από τό οποίο είναι κατασκευασμένος ο μαγνήτης.
Επομένως:

Τά άτομα ή μόρια των μαγνητικών υλικών είναι μικρά μαγνητικά δίπολα, δηλ. στοιχειώδεις μαγνήτες.



Σχ. 3. Κατά τη μαγνήτιση μιάς ράβδου αιδήρου οι στοιχειώδεις μαγνήτες προσανατολίζονται προς την ίδια κατεύθυνση

κομμάτι από χάλυβα



Σχ. 4. Μαγνήτιση με ηλεκτρομαγνήτη

III. ΜΑΓΝΗΤΙΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σε μία ράβδο σιδήρου, που είναι άμαγνήτιση, οι στοιχειώδεις μαγνήτες είναι άτακτα διαταγμένοι (Σχ. 3, I). Με την επίδραση όμως ενός μαγνητικού πεδίου, οι στοιχειώδεις μαγνήτες προσανατολίζονται προς την ίδια κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται δύο έτερώνυμοι πόλοι στα άκρα της ράβδου (Σχ. 3, II). Τότε λέμε ότι **η ράβδος μαγνητίζεται**.

“Αν η ράβδος είναι από μαλακό σίδηρο, ο προσανατολισμός των στοιχειωδών μαγνητών καταστρέφεται, μόλις σταματήσει η επίδραση του μαγνητικού πεδίου. Άρα ο μαλακός σίδηρος παθαίνει **παροδική μαγνήτιση**. Αντίθετα, αν η ράβδος είναι από χάλυβα, οι στοιχειώδεις μαγνήτες παραμένουν προσανατολισμένοι και μετά την απομάκρυνση του μαγνητικού πεδίου. Ο χάλυβας, λοιπόν, παθαίνει **μόνιμη μαγνήτιση**.”

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από ειδικά κράματα σιδήρου, δηλ. από ειδικούς χάλυβες, για να διατηρούν τη μαγνήτισή τους*.

III. ΤΡΟΠΟΙ ΜΑΓΝΗΤΙΣΕΩΣ

“Όπως αναφέραμε παραπάνω, για να μαγνητισθεί ο σίδηρος πρέπει να βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο προσανατολίζει τους στοιχειώδεις μαγνήτες, όπως ακριβώς και τη μαγνητική βελόνα. Όσο ισχυρότερο είναι το πεδίο, τόσο καλύτερα προσανατολίζονται οι στοιχειώδεις μαγνήτες και επομένως τόσο μεγαλύτερη γίνεται η μαγνήτιση του σιδήρου.”

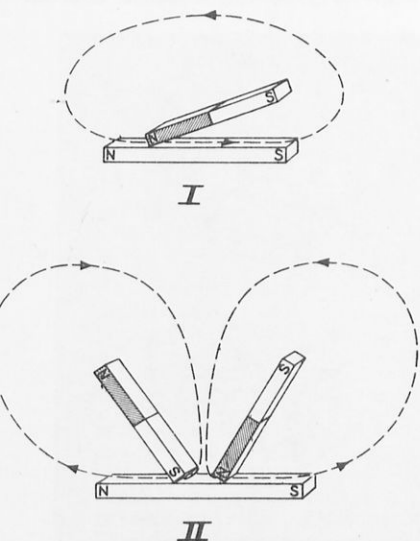
Ισχυρή μαγνήτιση μπορούμε να πετύχουμε με έναν ηλεκτρομαγνήτη. (Σχ. 4).

“Αν δέ διαθέτουμε ηλεκτρομαγνήτη, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μαγνήτη ή ακόμη και το γήινο μαγνητικό πεδίο, για να μαγνητίσουμε κάποιο υλικό (Σχ. 5).

IV. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

“Ας θυμηθούμε τη δομή των ατόμων (Σχ. 6). Κάθε άτομο αποτελείται από έναν πυρήνα και όρισμένα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια στρέφο-

* Οι ισχυροί μαγνήτες στα εργαστήρια (οι μαύροι) είναι από κράμα Al, Ni, Co.



Σχ. 5. Άπλός τρόπος μαγνήτισεως

νται γύρω από τόν πυρήνα σέ καθορισμένες τροχιές, καθώς επίσης καί γύρω από τόν έαυτό τους, όπως ακριβώς ή Γη στρέφεται γύρω από τόν Ήλιο καί τόν άξονά της.

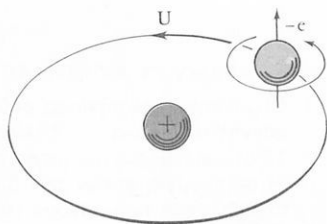
Ή κίνηση κάθε ηλεκτρονίου γύρω από τόν ατομικό πυρήνα, προκαλεί μικρό κυκλικό ρεύμα (δεχόμαστε τίς τροχιές κυκλικές), πού ή συμβατική του φορά είναι αντίθετη πρός τήν κίνηση του ηλεκτρονίου (Σχ. 7, I). Τό ρεύμα αυτό δημιουργεί μαγνητικό πεδίο όμοιο μέ τό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου άγωγού.

Ό στροβιλισμός κάθε ηλεκτρονίου γύρω από τόν άξονά του δημιουργεί επίσης ένα μαγνητικό πεδίο πού μοιάζει κάπως μέ τό πεδίο κυκλικού άγωγού* (Σχ. 7, II).

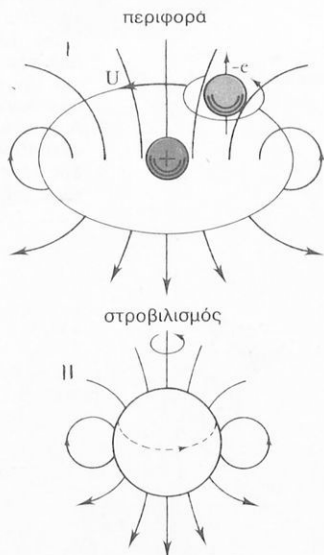
Άρα κάθε ηλεκτρόνιο ενός ατόμου, μέ τίς δύο κινήσεις πού κάνει, δημιουργεί συγχρόνως δύο μαγνητικά πεδία.

Στά άτομα ή μόρια τών μαγνητικών υλικών οί κινήσεις τών ηλεκτρονίων γίνονται μέ τέτοιο τρόπο, πού στό σύνολό τους τά άτομα ή μόρια είναι μικρά μαγνητικά δίπολα (στοιχειώδεις μαγνήτες). Αντίθετα, στά υπόλοιπα υλικά οί κινήσεις τών ηλεκτρονίων γίνονται έτσι πού τά άτομα δέν παρουσιάζουν μαγνητικές ιδιότητες. Άρα:

Οί μαγνητικές ιδιότητες τών υλικών οφείλονται στήν περιφορά καί στό στροβιλισμό τών ηλεκτρονίων, πού κινούνται γύρω από τούς πυρήνες τών ατόμων.



Σχ. 6. Κάθε ηλεκτρόνιο κάνει δύο συγχρόνως κινήσεις. Μία γύρω από τόν πυρήνα του ατόμου (περιφορά) καί μία γύρω από τόν έαυτό του (στροβιλισμό)



Σχ. 7. Ή περιφορά του ηλεκτρονίου γύρω από τόν πυρήνα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο καί ό στροβιλισμός δημιουργεί δεύτερο μαγνητικό πεδίο

* Για νά βρίσκετε εύκολα τή φορά τών μαγνητικών γραμμών πού προκαλούνται από άρνητικά φορτία, χρησιμοποιήστε τό άριστερό χέρι, μέ τόν ίδιο τρόπο πού χρησιμοποιείτε τό δεξιό στή συμβατική φορά του ρεύματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οί μαγνήτες, τά πηγία μέ ρεύμα καί οί κυκλικοί άγωγοί μέ ρεύμα όνομάζονται μαγνητικά δίπολα.
2. Τά άτομα ή μόρια τών μαγνητικών ύλικών είναι στοιχειώδη μαγνητικά δίπολα. Ή δημιουργία αύτών τών διπόλων όφείλεται στίς δύο κινήσεις (περιφορά, στροβιλισμό) πού κάνουν τά ηλεκτρόνια στά άτομα.
3. Τά μαγνητικά ύλικά μαγνητίζονται όταν οί στοιχειώδεις μαγνήτες προσανατολίζονται από κάποιο μαγνητικό πεδίο. Άν ό προσανατολισμός διατηρηθεϊ καί μετά τήν άπομάκρυνση του μαγνητικού πεδίου, ή μαγνήτιση λέγεται μόνιμη.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί συμβαίνει σέ ένα ύλικό όταν μαγνητίζεται;
2. Δύο μαγνήτες έχουν τίς ίδιες διαστάσεις καί είναι κατασκευασμένοι από τό ίδιο ύλικό, αλλά ό ένας είναι ισχυρότερος από τόν άλλο. Τί συμπέρασμα βγάξετε γιά τόν προσανατολισμό τών στοιχειωδών μαγνητών τους;
3. Από τί ύλικά καί μέ ποιό τρόπο κατασκευάζονται οί μόνιμοι μαγνήτες;
4. Σās λένε ότι τό άτομο του ύδρογόνου είναι μαγνητικό δίπολο. Νά εξηγήσετε γιατί.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

I. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΕ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟ
ΡΕΥΜΑΤΟΦΟΡΟ ΑΓΩΓΟ (ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ LAPLACE)

α. **Άγωγός κάθετος στις μαγνητικές γραμμές.** Χρησιμοποιούμε έναν πεταλοειδή μαγνήτη και ένα καλώδιο λυγισμένο σε σχήμα ανάποδου Π (Σχ. 1). Βάζουμε το οριζόντιο τμήμα του ΓΔ ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη, φροντίζοντας να είναι κάθετο προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου. Κατόπιν συνδέουμε τα άκρα του καλωδίου με τους πόλους μίας ηλεκτρικής πηγής και παρατηρούμε ότι ο άγωγός ΓΔ τινάζεται κάθετα προς τη διεύθυνσή του. Από την κίνηση αυτή συμπεραίνουμε ότι, το μαγνητικό πεδίο ασκεί στο ρευματοφόρο άγωγό ΓΔ μία δύναμη, που έχει διεύθυνση κάθετη στον άγωγό.

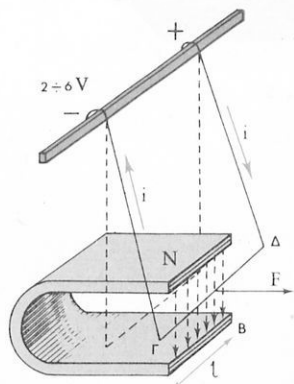
"Αν προσέξουμε στο ίδιο πείραμα, θα διαπιστώσουμε ότι η διεύθυνση της κινήσεως του άγωγού, άρα και η δύναμη που ασκείται πάνω του, είναι επίσης κάθετη στις μαγνητικές γραμμές του πεδίου. Άρα:

Σε κάθε ευθύγραμμο ρευματοφόρο, άγωγό, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, ενεργεί μία δύναμη με διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο που σχηματίζουν ο άγωγός και οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου.

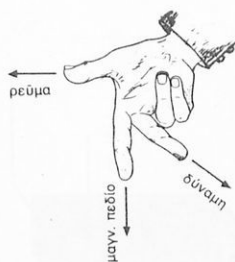
"Αν αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος, αλλάζει και η φορά της δυνάμεως, αλλά η δύναμη συνεχίζει να παραμένει κάθετη προς το επίπεδο που σχηματίζουν ο άγωγός και οι μαγνητικές γραμμές.

"Η δύναμη που ασκούν τα μαγνητικά πεδία σε ρευματοφόρους άγωγούς έχει την ίδια φύση με τη δύναμη που ασκούν οι μαγνήτες σε ρευματοφόρα πηνία. Είναι δηλαδή μία **μαγνητική δύναμη** και λέγεται συχνά **δύναμη LAPLACE**.

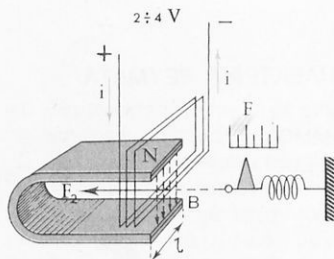
"Αν διαθέτουμε ευαίσθητο δυναμόμετρο (ικανό να δείχνει δέκατα του p), μπορούμε να μετρήσουμε τη δύναμη F με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχ. 3. Από τέτοιες μετρήσεις



Σχ. 1. Δύναμη Laplace



Σχ. 2 Κανόνας του δεξιού χεριού για την εθρεση της φοράς της μαγνητικής δυνάμεως που ασκείται σε ρευματοφόρο άγωγό



Σχ. 3.

αποδεικνύεται ότι η μαγνητική δύναμη F είναι ανάλογη προς την ένταση i του ρεύματος και ανάλογη προς το μήκος l του τμήματος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο πεδίο.

Επίσης αποδεικνύεται ότι η δύναμη εξαρτάται και από το πόσο ισχυρό είναι το μαγνητικό πεδίο, μέσα στο οποίο βρίσκεται ο αγωγός.

Το φυσικό μέγεθος, που προσδιορίζει πόσο ισχυρό είναι ένα μαγνητικό πεδίο σε κάποιο σημείο του Σ , λέγεται ένταση B του μαγνητικού πεδίου στο σημείο Σ .

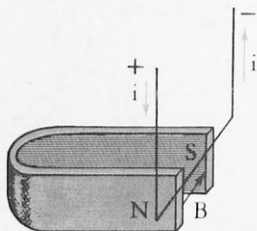
Συγκεντρώνοντας τα παραπάνω συμπεράσματα καταλήγουμε στο εξής:

μαγν. δύν.=έντ. ρεύμ.×μήκ. αγωγ.×έντ. πεδίου
ή $F = i \cdot l \cdot B$ Νόμος του Laplace

Στόν τύπο αυτό το F μετριέται σε Newton, το i σε Ampere, το l σε μέτρα και το B σε Tesla. Ο τύπος αυτός ισχύει όταν το B είναι το ίδιο σε όλα τα σημεία του αγωγού.

Πειραματική επαλήθευση. Μπορούμε να επαληθεύσουμε τον παραπάνω νόμο ποιοτικά με τα ακόλουθα πειράματα. 1) Αυξάνουμε το ρεύμα στον αγωγό, διατηρώντας τον ίδιο μαγνήτη, και παρατηρούμε μεγαλύτερο τίναγμα του αγωγού. 2) Αυξάνουμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου (χρησιμοποιούμε ισχυρότερο μαγνήτη) και παρατηρούμε ότι για το ίδιο i και l το τίναγμα του αγωγού γίνεται μεγαλύτερο. 3) Αυξάνουμε το μήκος του αγωγού μέσα στο πεδίο, διατηρώντας τα άλλα μεγέθη σταθερά, και το τίναγμα γίνεται μεγαλύτερο. (Η αύξηση του μήκους μπορεί να γίνει με ένα τετραγωνικό πηνίο. "Αν n είναι ο αριθμός των σπειρών του, στο πείραμα του Σχ. 2 το πηνίο συμπεριφέρεται όπως ένας αγωγός με μήκος $n \cdot l$ που βρίσκεται στο ίδιο μαγνητικό πεδίο).

Ένας πρακτικός κανόνας. Για να βρούμε τη διεύθυνση και τη φορά της δύναμης F , χρησιμοποιούμε το δεξιό μας χέρι, με τα τρία δάχτυλα (άντίχειρας, δείκτης, μεσαίος) τοποθετημένα σε τρεις άξονες κάθετους μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 2. (κανόνας του δεξιού χεριού για τη δύναμη Laplace).



Σχ. 4. Σε αγωγό παράλληλο προς τις μαγνητικές γραμμές δεν ασκείται μαγνητική δύναμη

β. Άγωγός παράλληλος προς τις μαγνητικές γραμμές. Τοποθετούμε ένα ρευματοφόρο άγωγό παράλληλα προς τις μαγνητικές γραμμές ενός πεδίου και παρατηρούμε ότι ο άγωγός παραμένει ακίνητος (Σχ. 4). Αυτό σημαίνει ότι δεν ασκείται στον άγωγό μαγνητική δύναμη. "Αν γυρίσουμε λίγο το μαγνήτη, ώστε να σχηματιστεί κάποια γωνία ανάμεσα στον άγωγό και τις μαγνητικές γραμμές ο άγωγός δέχεται μία δύναμη από το μαγνήτη.

"Η δύναμη αυτή μεγαλώνει (τό τίναγμα γίνεται μεγαλύτερο) καθώς αύξάνεται η γωνία και γίνεται μέγιστη, όταν ο άγωγός γίνεται κάθετος στις μαγνητικές γραμμές. "Αρα:

"Όταν ένας ρευματοφόρος άγωγός είναι παράλληλος προς τις μαγνητικές γραμμές ενός πεδίου, δεν ασκείται πάνω του μαγνητική δύναμη από το πεδίο.

II. ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΕΩΣ Β ΟΜΟΓΕΝΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Τό πεδίο πού σχηματίζεται στο έσωτερικό σωληνοειδούς, καθώς και τό πεδίο πού σχηματίζεται στο διάκενο ανάμεσα στους έτερώνυμους πόλους του μαγνήτη του Σχ. 1, είναι όμογενές και όπως έχουμε μάθει οι μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλες μεταξύ τους.

Σέ κάθε όμογενές μαγνητικό πεδίο οι μαγνητικές γραμμές είναι παράλληλες μεταξύ τους και η ένταση Β είναι ή ίδια σέ όλα τά σημεία του. (Σχ. 5). Για νά βρούμε τήν ένταση Β ενός όμογενούς μαγνητικού πεδίου, λύνουμε τό νόμο του Laplace ως προς Β:

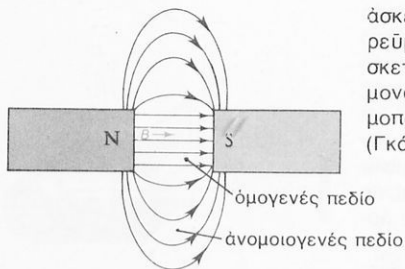
$$(1) \quad B = \frac{F}{iL}$$

"Αν μετρήσουμε τή δύναμη F μέ ένα δυναμόμετρο ή μέ κάποιο εύαισθητο ζυγό, τήν ένταση i μέ ένα άμπερόμετρο και τό μήκος l μέ ένα μέτρο, μπορούμε νά βρούμε τήν ένταση Β.

"Η ένταση Β είναι διανυσματικό μέγεθος και έχει τήν ίδια διεύθυνση και φορά μέ τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου. "Από τόν τύπο (1) μπορούμε νά όρίσουμε τή μονάδα έντάσεως μαγνητικού πεδίου, πού τή λέμε Tesla.

$$1 \text{ Tesla} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}, (1 \frac{\text{Νιούτον}}{\text{Άμπέρ} \times \text{μέτρο}})$$

"Ένα μαγνητικό πεδίο έχει ένταση 1 Tesla, αν



άσκει δύναμη 1N σε άγωγό που διαρρέεται από ρεύμα 1A και ό οποίος έχει μήκος 1m και βρίσκεται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές. Η μονάδα Tesla είναι μεγάλη και γι' αυτό χρησιμοποιείται στην πράξη συνήθως τό 1 Gauss (Γκάους)

$$1\text{Gauss} = 10^{-4} \text{ Tesla}$$

Σχ. 5. Στο διάκενο, ή ένταση B είναι παντού ή ίδια. (Όμογενές πεδίο)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Τά μαγνητικά πεδία άσκουν δυνάμεις σε ρευματοφόρους άγωγούς. "Όταν ό άγωγός είναι ευθύγραμμος και έχει διεύθυνση κάθετη προς τις μαγνητικές γραμμές όμογενοϋς μαγνητικού πεδίου, ή μαγνητική δύναμη δίνεται από τόν τύπο $F = i \cdot l \cdot B$. "Όταν ό άγωγός είναι παράλληλος προς τις μαγνητικές γραμμές, δέ δέχεται δύναμη από τό πεδίο.
2. Η μαγνητική δύναμη F (δύναμη Laplace) είναι κάθετη προς τό επίπεδο που σχηματίζουν οι μαγνητικές γραμμές και ό άγωγός.
3. Η ένταση B όμογενοϋς μαγνητικού πεδίου δίνεται από τόν τύπο $B = F/i \cdot l$ και μετριέται σε Tesla (1 Tesla = 1N/A·m).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Από τί εξαρτάται ή μαγνητική δύναμη σε ευθύγραμμο ρευματοφόρο άγωγό; Παίζει ρόλο ή γωνία που σχηματίζει ό άγωγός με τις μαγνητικές γραμμές στή μαγνητική δύναμη; Πότε ή δύναμη γίνεται μέγιστη και πότε μηδέν;
2. Σε ποιές από τις ακόλουθες περιπτώσεις αλλάζει ή φορά της δυνάμεως στο πείραμα του Σχ. 1: α) όταν αλλάζουμε τή φορά του ρεύματος; β) όταν αλλάζουμε τή φορά των μαγνητικών γραμμών, δηλ. όταν αντίστροφουμε τούς πόλους του μαγνήτη; γ) όταν αλλάζουμε τή φορά του ρεύματος και τή φορά των μαγνητικών γραμμών συγχρόνως;
3. Έχει σχεδιαστεί όρθά ή φορά της δυνάμεως F στο Σχ. 3;
4. Η δύναμη στο πλαίσιο του Σχ. 3 είναι μεγαλύτερη από τή δύναμη στον άγωγό του Σχ. 1, μολονότι ή ένταση του ρεύματος i και ή ένταση του πεδίου B παραμένουν ίδιες και στίς δύο περιπτώσεις. Πώς δικαιολογείται αυτό;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 1*. Άγωγός έχει μήκος 10cm, διαρρέεται από ρεύμα 2,5A και βρίσκεται σε όμογενές μαγνητικό πεδίο έντάσεως $B = 2 \cdot 10^{-3}$ Tesla, κάθετα προς τις γραμμές του. Πόση δύναμη άσκειται στον άγωγό;
2. Αν στο πείραμα του Σχ. 1 ή ένταση του ρεύματος είναι 0,8A, ή δύναμη είναι $16 \cdot 10^{-3}$ N και τό μήκος του άγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι 2cm, πόση είναι ή ένταση B του μαγνητικού πεδίου μεταξύ των πόλων του μαγνήτη;
3. Τό πλαίσιο του Σχ. 3 έχει 100 σπείρες και διαρρέεται από ρεύμα έντάσεως 0,5A. "Αν τό μήκος / της πλευράς που βρίσκεται στο μαγνητικό πεδίο είναι 3cm και ή ένταση του πεδίου είναι 0,4 Tesla, πόση θά είναι ή δύναμη F ;

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

(ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ LAPLACE)

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι οικονομικοί και πρακτικοί κινητήρες. Πολλές οικιακές συσκευές, μεταφορικά μέσα κτλ. χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες για τη λειτουργία τους.

I. ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

Τοποθετούμε μία μαγνητική βελόνα στο έσωτερικό ενός πηνίου* (Σχ. 3). Διοχετεύουμε ρεύμα στο πηνίο και παρατηρούμε ότι η βελόνα εκτρέπεται από την αρχική της διεύθυνση και τείνει να κάνει τό μαγνητικό της άξονα παράλληλο προς τις γραμμές του πεδίου. Αυτό γίνεται γιατί τό μαγνητικό πεδίο του πηνίου άσκει δυνάμεις στή βελόνα πού δημιουργούν μηχανική ροπή και τήν άναγκάζουν νά στραφεϊ. Όταν ό μαγνητικός άξονας γίνεται παράλληλος προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου, ή ροπή μηδενίζεται. Στή θέση αυτή ή βελόνα μπορεί νά ισορροπήσει και νά παραμείνει ακίνητη.

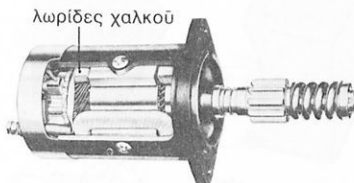
Αν στό πείραμα αυτό άνοικοκλείνουμε τό κύκλωμα σέ κατάλληλη στιγμή, μπορούμε νά κάνουμε τή βελόνα νά στρέφεται άσταμάτητα. Τό άνοιγμα και κλείσιμο του κυκλώματος προκαλεί περιοδικές ώθήσεις στή βελόνα πού τή διατηρούν σέ αδιάκοπη περιστροφή. Τήν ενέργεια γιά τήν περιστροφή τής βελόνας τήν παρέχει ή ηλεκτρική πηγή. Μέ τόν τρόπο αυτό έχουμε **μετατροπή τής ηλεκτρικής ενέργειας σέ μηχανική**. Πάνω στήν άρχή αυτή στηρίζεται ή λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων.

II. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

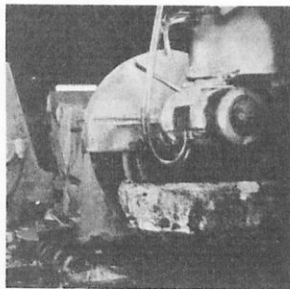
Από τό προηγούμενο πείραμα προκύπτει ότι, γιά νά λειτουργεί ένας ηλεκτρικός κινητήρας, πρέπει νά περιλαμβάνει ένα μαγνητικό δίπολο, ένα μαγνητικό πεδίο και ένα μηχανισμό πού νά άνοικοκλείνει αυτόματα τό ηλεκτρικό κύκλωμα.

Μέρη του κινητήρα. Τά βασικά μέρη ενός

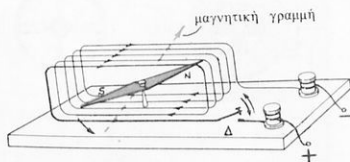
* Τό πείραμα γίνεται και όταν ή βελόνα βρίσκεται έξω, αλλά κοντά στό πηνίο.



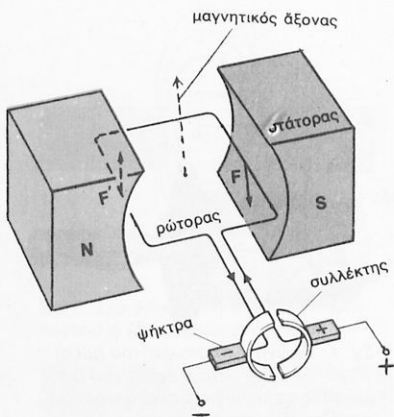
Σχ. 1. Έκκινητής αυτοκινήτου (μίζα). Τά πηνία είναι κατασκευασμένα από λωρίδες χαλκού γιατί περνάει ρεύμα μεγάλης έντάσεως



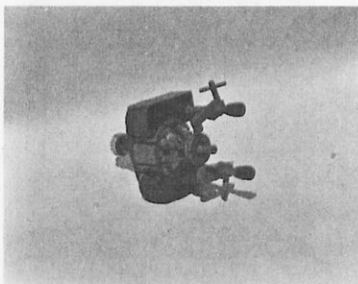
Σχ. 2. Ηλεκτρικός κινητήρας γιά τήν κοπή μαρμάρου



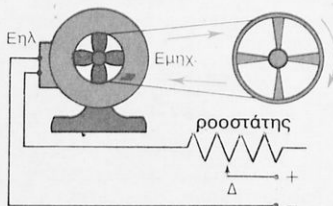
Σχ. 3. Άνοιγμα και κλείσιμο του κυκλώματος σέ κατάλληλη στιγμή διατηρεί τή μαγνητική βελόνα σέ διαρκή περιστροφή



Σχ. 4. Άπλο διάγραμμα ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος (άρχή)



Σχ. 5. Έργαστηριακός (σχολικός) κινητήρας



Σχ. 7. Με το ροοστάτη ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα

κινητήρα είναι ο ρώτορας, ο στάτορας, ο συλλέκτης και οι δύο ψήκτρες (Σχ. 4).

Ο ρώτορας είναι το περιστρεφόμενο μέρος της μηχανής, που στην απλούστερη περίπτωση αποτελείται από ένα μόνο πλαίσιο. Οι άκρες του πλαισίου του ρώτορα συνδέονται με το συλλέκτη, ο οποίος παίρνει ρεύμα από τις ψήκτρες (ή καρβουνάκια) και το διοχετεύει στο πλαίσιο του ρώτορα.

Ο στάτορας είναι το ακίνητο μέρος του κινητήρα και μπορεί να είναι ένας μόνιμος μαγνήτης ή ένας ηλεκτρομαγνήτης. Ο στάτορας δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο, μέσα στο οποίο περιστρέφεται ο ρώτορας.

Λειτουργία του κινητήρα. Όταν περνάει ρεύμα από το πλαίσιο του ρώτορα, αναπτύσσεται ροπή στο πλαίσιο που το αναγκάζει να περιστραφεί. Η ροπή προέρχεται από τις μαγνητικές δυνάμεις F και F' που ασκούνται στους άγωγούς του πλαισίου.

Όταν ο μαγνητικός άξονας του πλαισίου γίνεται παράλληλος προς τις γραμμές του πεδίου, η ροπή μηδενίζεται. Το πλαίσιο όμως δε σταματάει γιατί έχει αποκτήσει κάποια κινητική ενέργεια. Συνεχίζει λοιπόν την περιστροφή του και δέχεται νέα ώθηση. Οι περιοδικές αυτές ώθήσεις πραγματοποιούνται χάρη στο συλλέκτη που ανοιγγοκλείνει αυτόματα το κύκλωμα του πλαισίου. Έτσι με διαδοχικές ώθησεις συνεχίζει την περιστροφή του ο ρώτορας.

Αν ο ρώτορας συναντήσει κάποια αντίσταση, την ώρα που η ροπή είναι μηδέν, ο κινητήρας μπορεί να σταματήσει. Αν όμως βάλουμε δύο πηνία κάθετα μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στον πειραματικό κινητήρα του έργαστηρίου (Σχ. 5), η ροπή στο ρώτορα δε μηδενίζεται ποτέ. Γιατί, όταν το ένα πλαίσιο έχει το μαγνητικό του άξονα παράλληλο προς τις γραμμές και δέχεται ροπή μηδέν, το άλλο έχει τον άξονά του κάθετο προς τις γραμμές και δέχεται τη μέγιστη ροπή. Για το λόγο αυτό:

Σε ισχυρούς κινητήρες χρησιμοποιούνται πολλά πλαίσια ώστε να υπάρχει διαρκώς μεγάλη ροπή στο ρώτορα.

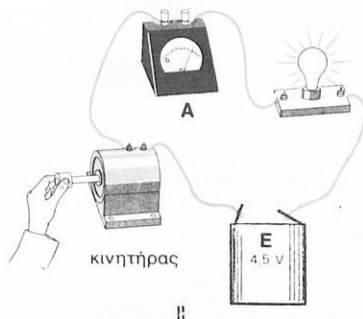
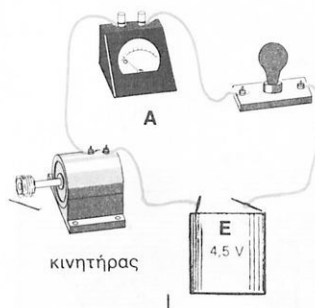
Πώς μεταβάλλεται το ρεύμα ενός κινητήρα. Μέ ένα αμπερόμετρο μετράμε την ένταση του

ρεύματος που διέρχεται από έναν κινητήρα και παρατηρούμε ότι, όταν ο κινητήρας στρέφεται κανονικά, η ένταση του ρεύματος είναι μικρή (Σχ. 6). Στη συνέχεια εμποδίζουμε τον κινητήρα να στρέφεται κανονικά και παρατηρούμε ότι η ένταση του ρεύματος μεγαλώνει και γίνεται μέγιστη, όταν ο κινητήρας σταματά*. Αυτό συμβαίνει π.χ. κατά τη στιγμή της έκκινσής του κινητήρα.

Στους ισχυρούς κινητήρες, για να αποφεύγεται το μεγάλο ρεύμα στο ξεκίνημά τους, χρησιμοποιείται ροοστάτης, δηλ. μεταβλητή αντίσταση (Σχ. 7).

* Οι μεταβολές αυτές του ρεύματος μπορεί να παρατηρηθούν και με μικρούς κινητήρες από παιχνίδια.

Σχ. 6. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν κινητήρα μεγαλώνει, όταν η συχνότητα περιστροφής μικραίνει.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

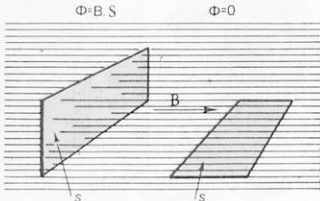
1. Η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων στηρίζεται στη μηχανική ροπή, που αναπτύσσεται σε μαγνητικά δίπολα, όταν αυτά βρίσκονται σε μαγνητικό πεδίο. Η ροπή αυτή οφείλεται σε μαγνητικές δυνάμεις.
2. Τα κύρια μέρη ενός κινητήρα είναι ο στάτορας που δημιουργεί το μαγνητικό πεδίο, ο ρώτορας που είναι ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό δίπολο, ο συλλέκτης και οι ψήκτρες.
3. Ο ρώτορας στους συνηθισμένους ηλεκτρικούς κινητήρες αποτελείται από πολλά πλαίσια (μαγνητικά δίπολα) για να άσκειται διαρκώς μεγάλη ροπή πάνω του.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Από πού προέρχεται η ενέργεια για την περιστροφή της βελόνας στο Σχ.3 και σε τι μετατρέπεται;
2. Ποιά είναι τα κύρια μέρη ενός ηλεκτρικού κινητήρα;
3. Τι ρόλο παίζει ο συλλέκτης στη λειτουργία του κινητήρα;
4. Γιατί ο ρώτορας των κινητήρων κατασκευάζεται συνήθως με δύο ή και περισσότερα πλαίσια που σχηματίζουν κάποια γωνία μεταξύ τους;
5. Τι χρειάζεται ο ροοστάτης σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα;

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ – ΕΠΑΓΩΓΗ

ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ



Σχ. 1 Μαγνητική ροή

Θεωρούμε μία επίπεδη επιφάνεια S μέσα σε όμογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B (Σχ. 1). Είναι φανερό ότι, μέσα από την επιφάνεια S , περνά ένα πλήθος μαγνητικών γραμμών. Τό πλήθος αυτό των μαγνητικών γραμμών, που διαπερνούν την επιφάνεια S , παριστάνει σχηματικά ένα φυσικό μέγεθος που λέγεται μαγνητική ροή. Όταν η επιφάνεια S είναι **κάθετη** προς τις μαγνητικές γραμμές, ή μαγνητική ροή Φ ορίζεται ως εξής:

μαγν. ροή = ένταση μαγν. πεδ. $\times$ έμβαδό επιφάν.

$$\Phi = B \cdot S$$

Στό Διεθνές Σύστημα μονάδα μαγνητικής ροής είναι τό 1 Weber (Βέμπερ) και ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$1 \text{ Weber} = 1 \text{ Tesla} \cdot \text{m}^2$$

Αν η επιφάνεια S γίνει **παράλληλη** προς τις μαγνητικές γραμμές, τότε καμία μαγνητική γραμμή δεν περνάει από την επιφάνεια. Η μαγνητική ροή τότε είναι $\Phi = 0$. Για κάθε άλλη θέση της επιφάνειας S ως προς τις μαγνητικές γραμμές θά περνάει κάποιος αριθμός μαγνητικών γραμμών από την επιφάνεια, δηλ. θά υπάρχει κάποια μαγνητική ροή. Η μαγνητική ροή γίνεται μέγιστη, όταν η επιφάνεια γίνεται κάθετη προς τις γραμμές του πεδίου.

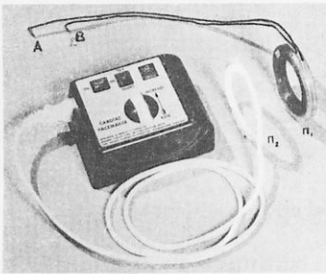
ΕΠΑΓΩΓΗ

Τό φαινόμενο της επαγωγής είναι ένα από τά βασικότερα φαινόμενα του ηλεκτρισμού και έχει πολλές τεχνικές εφαρμογές. Μία από τις σύγχρονες εφαρμογές του βρίσκουμε στό βηματοδότη που εικονίζεται στό Σχ. 2.

Ι. ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Τοποθετούμε ένα μαγνήτη κοντά σε ένα πηνίο και συνδέουμε τά άκρα τού πηνίου με ένα ευαίσθητο βολτόμετρο (γαλβανόμετρο μηδενός) (Σχ. 3).

Όταν ό μαγνήτης μένει ακίνητος, δέν παρατηρείται καμία απόκλιση στή βελόνα του βολ-



Σχ. 2. Βηματοδότης. Τό πηνίο P_1 τοποθετείται μέ χειρουργική επέμβαση στό έσωτερικό των τοιχωμάτων του στήθους και έξω από τό στήθος τοποθετείται τό πηνίο. P_2 Μέ ειδική γεννήτρια στέλνονται ηλεκτρικοί παλμοί στό P_2 και μέ επαγωγή δημιουργείται τάση στά άκρα A, B του P_1 , τά όποια στηρίζονται στός μύς της καρδιάς. Έτσι μία άρρυθμη καρδιά μπορεί νά λειτουργεί κανονικά και μέ έλεγγόμενο παλμό

τομέτρου, είτε ο μαγνήτης βρίσκεται έξω από το πηνίο, είτε μέσα σ' αυτό. (Σχ. 3 I, II).

Όταν ο μαγνήτης κινείται, ή βελόνα του βολτομέτρου εκτρέπεται από τη μηδενική θέση, δηλ. στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται μία ηλεκτρική τάση. Μάλιστα όταν ο μαγνήτης πλησιάζει προς το πηνίο, ή βελόνα εκτρέπεται προς τη μία φορά, ενώ όταν απομακρύνεται ο μαγνήτης, ή βελόνα εκτρέπεται προς την άλλη φορά.

Τό φαινόμενο αυτό, κατά τό όποιο εμφανίζεται ηλεκτρική τάση (ηλεκτρεγερτική δύναμη) στα άκρα ενός πηνίου μέ τήν κίνηση ενός μαγνήτη, όνομάζεται έπαγωγή καί ή τάση πού αναπτύσσεται έπαγωγική τάση.

II. ΑΙΤΙΑ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

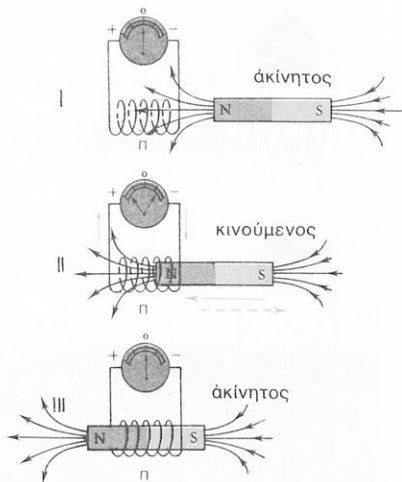
Από τά προηγούμενα πειράματα φαίνεται ότι ή έπαγωγική τάση, άρα καί τό φαινόμενο τής έπαγωγής, συνδέεται στενά μέ τήν κίνηση του μαγνήτη.

Η κίνηση του μαγνήτη, όπως φαίνεται καθαρά στο Σχ. 3, συνοδεύεται μέ μεταβολή τής μαγνητικής ροής στο πηνίο. Ποιά είναι έπομένως ή πραγματική αίτία του φαινομένου τής έπαγωγής; Είναι ή κίνηση του μαγνήτη ή ή μεταβολή τής μαγνητικής ροής στο πηνίο;

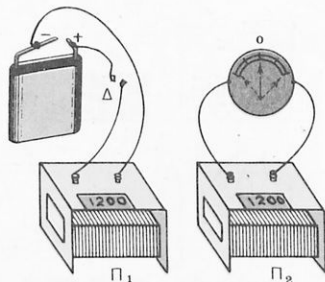
Γιά νά δώσουμε άπάντηση στο έρώτημα αυτό, κάνουμε ένα άλλο πείραμα. Τοποθετούμε δύο πηνία Π₁ καί Π₂ τό ένα δίπλα στο άλλο, όπως φαίνεται στο Σχ. 4. Διοχετεύουμε ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο Π₁ καί παρατηρούμε ότι γιά μία μόνο στιγμή εμφανίζεται ηλεκτρική τάση στα άκρα του δεύτερου πηνίου. Διακόπτουμε τό ρεύμα στο πρώτο πηνίο καί παρατηρούμε ότι πάλι εμφανίζεται στιγμιαία τάση στα άκρα του δεύτερου πηνίου.

Οι μεταβολές του ηλεκτρικού ρεύματος στο πρώτο πηνίο προκαλούν μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο πού δημιουργείται γύρω του. Οι μεταβολές αυτές του μαγνητικού πεδίου μεταβάλλουν τή μαγνητική ροή στο έσωτερικό του δεύτερου πηνίου καί δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ηλεκτρική τάση) στα άκρα του. Άρα:

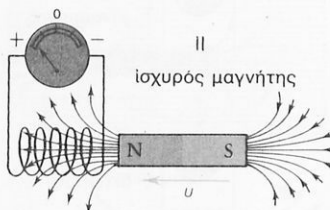
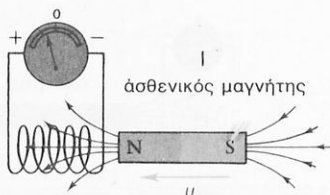
Η αίτία πού δημιουργεί ηλεκτρική τάση στα άκρα ενός πηνίου, κατά τό φαινόμενο τής



Σχ. 3. Όταν ο μαγνήτης κινείται παράγεται τάση στα άκρα του πηνίου. (Π = 300, 600 ή 1200 σπείρες)



Σχ. 4. Μεταβολές του ρεύματος στο Π₁ προκαλούν έπαγωγική τάση στα άκρα του Π₂.



Σχ. 5.

έπαγωγής, είναι ή μεταβολή τής μαγνητικής ροής στο έσωτερικό του πηνίου.

“Αν στά πηνία υπάρχουν πυρήνες, οί μεταβολές τής μαγνητικής ροής στο Π_2 γίνονται μεγαλύτερες καί έπομένως οί τάσεις στά άκρα του γίνονται μεγαλύτερες.

III. ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

1ο πείραμα. “Από τά προηγούμενα πειράματα προέκυψε ότι ή έπαγωγική τάση U όφείλεται στη μεταβολή τής μαγνητικής ροής $\Delta\Phi$ ($\Delta\Phi = \Phi_{\text{τελικό}} - \Phi_{\text{αρχ.}}$).

“Αν χρησιμοποιήσουμε δύο διαφορετικούς μαγνήτες (Σχ. 5) καί τούς εισαγάγουμε μέ τήν ίδια περίπου ταχύτητα μέσα σ' ένα πηνίο, θά παρατηρήσουμε ότι ο ισχυρότερος μαγνήτης δημιουργεί μεγαλύτερη έπαγωγική τάση.

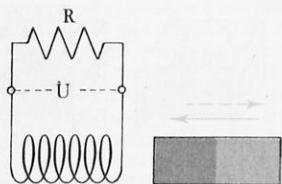
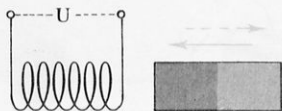
Αυτό συμβαίνει γιατί ο ισχυρότερος μαγνήτης προκαλεί μεγαλύτερη μεταβολή $\Delta\Phi$ τής μαγνητικής ροής. Μέ άκριβείς μετρήσεις αποδεικνύεται ότι:

“Η έπαγωγική τάση είναι άνάλογη πρός τή μεταβολή τής μαγνητικής ροής $\Delta\Phi$

2ο πείραμα. “Αν στο προηγούμενο πείραμα κινήσουμε γρηγορότερα τούς μαγνήτες, θά παρατηρήσουμε ότι οί τάσεις γίνονται μεγαλύτερες. “Αρα, ή έπαγωγική τάση εξαρτάται από τήν ταχύτητα μεταβολής τής μαγνητικής ροής $\Delta\Phi/\Delta t$. “Όπου $\Delta\Phi$ είναι ή μεταβολή τής μαγνητικής ροής καί Δt ο αντίστοιχος χρόνος.

“Αποδεικνύεται ότι:

“Η έπαγωγική τάση είναι άνάλογη πρός τήν ταχύτητα μεταβολής τής μαγνητικής ροής $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$



Σχ. 6.

3ο πείραμα. Τέλος, άν χρησιμοποιήσουμε πηνία μέ διαφορετικούς αριθμούς σπειρών n (π.χ. $n = 6, 300, 1200$) θά παρατηρήσουμε ότι, μέ τήν εισαγωγή του ίδιου μαγνήτη καί στά τρία πηνία καί μέ τήν ίδια περίπου ταχύτητα, ή τάση είναι μεγαλύτερη στο πηνίο μέ τίσ περισσότερες σπείρες. Μέ άκριβείς μετρήσεις καί πάλι αποδεικνύεται ότι:

‘Η επαγωγική τάση σέ ένα πηνίο είναι ανάλογη πρός τόν αριθμό τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου n .

Συγκεντρώνοντας τά πιό πάνω συμπεράσματα, μπορούμε νά γράψουμε ἕνα μόνο τύπο, ὁ ὁποῖος ἀποτελεῖ τήν ἔκφραση τοῦ νόμου τῆς ἐπαγωγῆς:

$$\text{ἐπαγωγική τάση} = \text{ἀριθμ. σπειρῶν πην.} \times \text{ταχύτ. μεταβολῆς μαγν. ροῆς.}$$

ἢ	$U_{\text{επαγ}} = n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	Νόμος τῆς ἐπαγωγῆς*
---	--	---------------------

Τήν τάση U τή μετράμε σέ Volt, τή μεταβολή τῆς ροῆς $\Delta \Phi$ σέ Weber καί τό χρόνο Δt σέ sec. “Αρα θά ἰσχύει ἡ σχέση:

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{Weber}}{\text{sec}} \quad \text{ἢ} \quad 1 \text{ Weber} = 1 \text{ V} \cdot \text{sec}$$

IV. ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

“Αν τά ἄκρα τοῦ πηνίου δέ συνδέονται μέ ἐξωτερικό κύκλωμα, στό πηνίο ἀναπτύσσεται μόνο ἐπαγωγική τάση χωρίς νά κυκλοφορεῖ ρεῦμα (Σχ. 6). “Αν ὁμως συνδέσουμε μία ἀντίσταση R στά ἄκρα τοῦ πηνίου, ὥστε νά σχηματισθεῖ κλειστό κύκλωμα, τότε ἡ ἐπαγωγική τάση προκαλεῖ στό κύκλωμα ἡλεκτρικό ρεῦμα, τοῦ ὁποῖου ἡ ἔνταση δίδεται ἀπό τό γνωστό νόμο τοῦ Ohm

$$i_{\text{επ}} = \frac{U_{\text{επ}}}{R}$$

* Γιά λόγους ἀπλουστεύσεως παραλείψαμε τό ἀρνητικό πρόσημο τοῦ τύπου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ποιό εἶναι τό αἷτιο τῆς ἐμφανίσεως τῆς ἐπαγωγικῆς τάσεως;
2. Ἀπό τί ἐξαρτᾶται ἡ ἐπαγωγική τάση στά ἄκρα ἑνός πηνίου;
3. Ποιές μονάδες χρησιμοποιοῦνται γιά τά μεγέθη U , $\Delta \Phi$ καί Δt καί πῶς συνδέονται μεταξύ τους;
4. Σᾶς δίνουν ἕναν ἰσχυρό καί ἕναν ἀσθενή μαγνήτη, ἕνα πηνίο μέ 300 σπεῖρες καί ἕνα μέ 1200 σπεῖρες. Ποιό συνδυασμό θά κάνετε γιά νά πάρετε τή μεγαλύτερη δυνατή ἐπαγωγική τάση;
5. Στό πείραμα τοῦ Σχ. 3, διατηρώντας τόν ἴδιο μαγνήτη καί τό ἴδιο πηνίο, ἡ τάση αὐξάνεται ὅταν ὁ μαγνήτης κινεῖται γρηγορότερα. Ποιό ἀπό τά τρία μεγέθη U , $\Delta \Phi$ καί Δt ἐπηρεάζεται ἀπό τήν ταχύτητα τοῦ μαγνήτη καί αὐξάνεται ἡ τάση;
6. Πότε ἡ μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό μία ἐπίπεδη ἐπιφάνεια γίνεται μέγιστη καί πότε ἐλάχιστη;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. ‘Η μαγνητική ροή Φ ἐκφράζει τό πλῆθος τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν πού διαπερνοῦν μία ἐπιφάνεια S καί δίνεται ἀπό τόν τύπο $\Phi = B \cdot S$, ὅταν ἡ ἐπιφάνεια εἶναι κάθετη πρός τίς μαγνητικές γραμμές.
2. ‘Η ἐμφάνιση ἡλεκτρικῆς τάσεως στά ἄκρα ἑνός πηνίου, ὅταν μεταβάλλεται ἡ μαγνητική ροή στό πηνίο, ὀνομάζεται ἐπαγωγή.
3. ‘Ο νόμος τῆς ἐπαγωγῆς εἶναι:

$$U_{\text{επαγ}} = \eta \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένα πηνίο έχει 300 σπείρες και ή μαγνητική ροή στο έσωτερικό του μεταβάλλεται κατά $2 \cdot 10^{-3}$ Weber σέ χρόνο 0.2 sec. Πόση τάση αναπτύσσεται στά άκρα του πηνίου;
2. Κατά την είσagωγή ενός μαγνήτη σέ πηνίο 600 σπειρών μετρήθηκε τάση 2 V στά άκρα του πηνίου. Έάν ό χρόνος είσagωγής ήταν 0.5 sec, πόση ήταν ή μεταβολή της ροής στό έσωτερικό του πηνίου;
3. Ένα πηνίο έχει 1.200 σπείρες και τό διαπερνάει μαγνητική ροή $\Phi = 0,4$ Weber.
 - α) Πόση μαγνητική ροή περνάει από την έπιφάνεια;
 - β) Πόση γίνεται ή ροή, άν ή έπιφάνεια γίνει παράλληλη πρός τίς γραμμές;
4. Έπιφάνεια έχει έμβαδό $S = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ και βρίσκεται κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές πεδίου έντάσεως $B = 1/10$ Tesla.

37η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ - ΤΑΧΟΜΕΤΡΟ

(ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ)

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν πολλών ειδών ηλεκτρικές πηγές: Τά ηλεκτρικά στοιχεία πού μετατρέπουν ή χημική ένέργεια σέ ηλεκτρική, τά φωτοστοιχεία πού μετατρέπουν ή φωτεινή ένέργεια σέ ηλεκτρική κτλ. Άπ' όλες όμως τίς γνωστές πηγές ρεύματος οι μόνες κατάλληλες, γιά νά δώσουν ρεύματα μεγάλης ισχύος γιά βιομηχανική και οικιακή χρήση, είναι οι ηλεκτρογεννήτριες (Σχ. 1).

II. ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Τό σύστημα ενός πηνίου και ενός μαγνήτη, πού μελετήσαμε στήν προηγούμενη ένότητα, λειτουργεί ως άπλή γεννήτρια. **Μετατρέπει ή μηχανική ένέργεια**, πού παρέχουμε στό μαγνήτη, σέ **ηλεκτρική**. Θά μπορούσε λοιπόν νά χρη-



Σχ. 1. Ηλεκτρογεννήτριες του άτμοηλεκτρικού σταθμού Πτολεμαΐδας

σιμοποιηθεί ως ηλεκτρογεννήτρια, αρκεί με κάποιο τρόπο νά δίνουμε στο μαγνήτη διαρκή κίνηση.

α. Κατασκευή της γεννήτριας. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως την ίδια κατασκευή με τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Αποτελούνται κι αυτές από τό στάτορα, τό ρώτορα, τό συλλέκτη καί τίς ψήκτριες (Σχ. 2).

Στή γεννήτρια τοῦ ἐργαστηρίου (Σχ. 3) καί σέ πολλές μικρές γεννήτριες τό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται ἀπό τό στάτορα, πού μπορεῖ νά εἶναι μόνιμος μαγνήτης ἢ ηλεκτρομαγνήτης. Μέσα στό μαγνητικό πεδίο τοῦ στάτορα στρέφεται ὁ ρώτορας, στά ἄκρα τοῦ ὁποῖου ἀναπτύσσεται ἡ ἐπαγωγική τάση.

β. Λειτουργία τῆς γεννήτριας. "Όταν τό πλαίσιο εἶναι παράλληλο πρὸς τίς μαγνητικές γραμμές (Σχ. 4, I), ἡ μαγνητική ροή εἶναι μηδέν, δηλ. καμία μαγνητική γραμμή δέ διέρχεται ἀπό τὴν ἐπιφάνεια τοῦ πλαισίου.

"Όταν τό πλαίσιο γίνεται κάθετο πρὸς τίς γραμμές, τότε ἡ μαγνητική ροή γίνεται μέγιστη (Σχ. 4, II). "Αρα:

Ἡ περιστροφή τοῦ πλαισίου τῆς γεννήτριας μέσα στό μαγνητικό πεδίο προκαλεῖ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς $\Delta\Phi$ στό πλαίσιο, μέ ἀποτέλεσμα νά ἐμφανίζεται ἡλεκτρεγερτική δύναμη (ἐπαγωγική τάση) στά ἄκρα τοῦ.

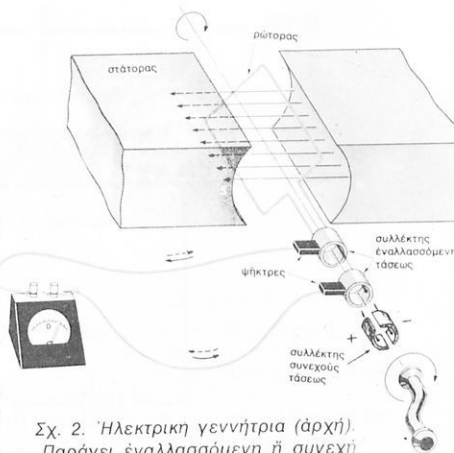
Συνδέουμε ἓνα λαμπάκι ἢ ἓνα βολτόμετρο στά ἄκρα τοῦ πλαισίου μιᾶς γεννήτριας καί ἀρχίζουμε νά περιστρέφουμε τό πλαίσιο μέ ὅλο-ένα αὐξανόμενη ταχύτητα (Σχ. 2). Παρατηροῦμε ὅτι ἡ τάση αὐξάνεται καί μάλιστα, ὅπως ἀποδεικνύεται, εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ταχύτητα περιστροφῆς. "Αρα:

Ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς γεννήτριας εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ πλαισίου τῆς.

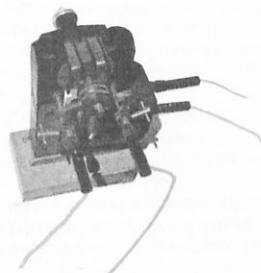
Τό συμπέρασμα αὐτό εἶναι σύμφωνο μέ τό νόμο τῆς ἐπαγωγῆς, γιατί ἡ ἐπαγωγική τάση εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴν ταχύτητα μεταβολῆς τῆς μαγνητικῆς ροῆς $\Delta\Phi/\Delta t$.

γ. Γεννήτριες συνεχοῦς καί ἐναλλασσόμενου ρεύματος.

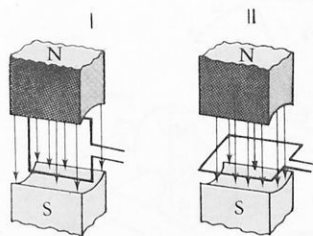
Ἡ γεννήτρια τοῦ ἐργαστηρίου εἶναι κατα-



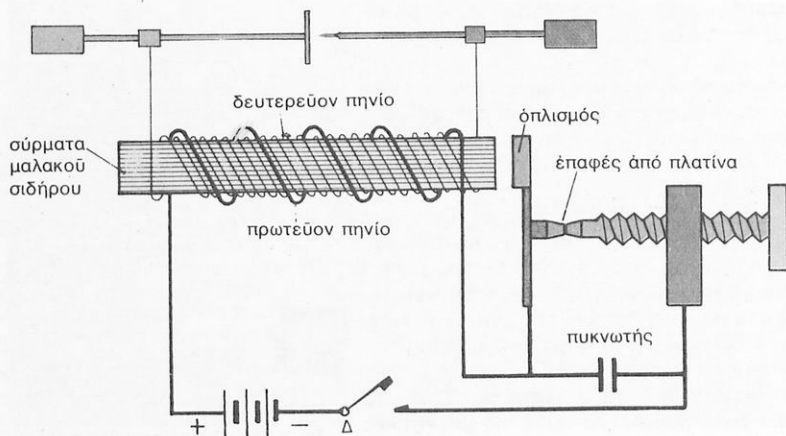
Σχ. 2. Ἡλεκτρικὴ γεννήτρια (ἀρχή). Παράγει ἐναλλασσόμενη ἢ συνεχὴ τάση



Σχ. 3. Ἐργαστηριακὴ (σχολικὴ) γεννήτρια



Σχ. 4. Ἡ μαγνητικὴ ροὴ στό πλαίσιο μεταβάλλεται μέ τὴν περιστροφή



Σχ. 5. Έπαγωγικό πηνίο (πολλαπλασιαστής)

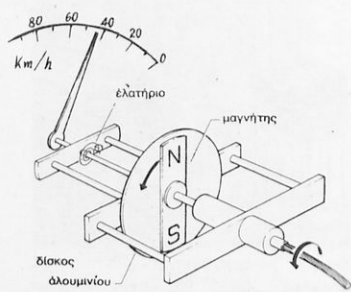
σκευασμένη έτσι ώστε να παράγει συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση, ανάλογα με τη θέση που έχουν κάθε φορά οι ψήκτρες.

“Αν οι ψήκτρες άκουμπούν στο δακτύλιο πού είναι κομμένος σέ δύο ίσα μέρη, ή γεννήτρια παράγει συνεχή τάση. “Αν οι ψηκτῆρες άκουμπούν στους δύο ανεξάρτητους δακτύλιους του συλλέκτη, ή γεννήτρια παράγει εναλλασσόμενη τάση.

Οι περισσότερες γεννήτριες είναι κατασκευασμένες να παράγουν μία μόνο από τις δύο τάσεις, δηλ. τή συνεχή ή τήν εναλλασσόμενη.

δ. Ήλεκτρικές μηχανές. Από τά παραπάνω προκύπτει ότι οι γεννήτριες λειτουργούν μέ τρόπο αντίστροφο πρός τόν τρόπο λειτουργίας των κινητήρων, δηλ. καταναλώνουν μηχανική ενέργεια καί παράγουν ήλεκτρική. Θά μπορούσε επομένως ένας κινητήρας νά λειτουργήσει σάν γεννήτρια καί νά αποδώσει ήλεκτρική ενέργεια, αν δίναμε μηχανική ενέργεια στή μηχανή, περιστρέφοντας μέ κάποιο τρόπο τό ρώτορα.

Παρόμοια μετατροπή μπορεί νά γίνει καί σέ μία γεννήτρια, όχι όμως σέ κάθε γεννήτρια. (Δοκιμάστε νά μετατρέψετε τή γεννήτρια του εργαστηρίου σέ κινητήρα μέ τίς ψήκτρες τοποθετημένες στό συλλέκτη εναλλασσόμενης τάσεως. Τί παρατηρείτε;).



Σχ. 6. Ταχύμετρο αυτοκινήτων

Οι γεννήτριες και οι κινητήρες μαζί αποτελούν μία κατηγορία μηχανών που λέγονται **ηλεκτρικές μηχανές**. Μία ηλεκτρική μηχανή μπορεί συνήθως να λειτουργεί και ως γεννήτρια και ως κινητήρας.

III. ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΗΣ "Η ΕΠΑΓΩΓΙΚΟ ΠΗΝΙΟ

Αποτελείται από δύο πηνία που έχουν πυρήνα. Τό ένα που λέγεται **πρωτεύων** έχει λίγες σπείρες από χοντρό καλώδιο, ενώ τό άλλο που λέγεται **δευτερεύων** έχει πολλές σπείρες από λεπτό καλώδιο (Σχ. 5).

Συνδέουμε τό πρωτεύων μέ πηγή **συνεχοῦς** τάσεως (π.χ. 6V) και παρατηρούμε ότι ανάμεσα στά ηλεκτρόδια του δευτερεύοντος εμφανίζεται ηλεκτρικός σπινθήρας. Αυτό φανερώνει ότι στά άκρα του δευτερεύοντος εμφανίζεται μεγάλη τάση (χιλιάδες Volt).

Η ηλεκτρική τάση στό δευτερεύων είναι **έναλλασσόμενη** και παράγεται μέ έπαγωγή. (Οι περιοδικές διακοπές του ρεύματος στό πρωτεύων, που προκαλούνται από τόν όπλισμό που πάλλεται, δημιουργούν μεταβολή της μαγνητικής ροής στόν πυρήνα, δηλ. στό έσωτερικό του δευτερεύοντος πηνίου).

Ό πολλαπλασιαστής χρησιμοποιείται στους **άναφλεκτήρες** (bougies) των αυτοκινήτων γιά τήν παραγωγή σπινθήρων, στά έργαστήρια γιά τήν παραγωγή μεγάλων τάσεων κτλ.

Σημείωση. Η τάση που παράγει ένας πολλαπλασιαστής δέν είναι επικίνδυνη, άν και είναι χιλιάδες Volt, γιατί τό ρεύμα του έχει μικρή ισχύ. Γι' αυτό ή παραγωγή της στό έργαστήριο δέ χρειάζεται ιδιαίτερες προφυλάξεις.

IV. TAXOMETPO AYTOKINHTOY

Τό ταχύμετρο (ή κοντέρ) είναι όργανο που μετράει τήν ταχύτητα των αυτοκινήτων (Σχ. 6). Αποτελείται από ένα δίσκο άλουμινίου, πάνω στόν όποιο είναι στερεωμένος ό δείκτης ταχυτήτων και από ένα μαγνήτη που παίρνει κίνηση από τόν άξονα των τροχών του αυτοκινήτου. Καθώς περιστρέφεται ό μαγνήτης, δημιουργούνται έπαγωγικά ρεύματα στό δίσκο, τά όποια άναγκάζουν τό δίσκο νά στραφεί. Όσο πιό γρήγορα περιστρέφεται ό μαγνήτης, τόσο ισχυρότερα ρεύματα άναπτύσσονται και τόσο περισσότερο στρέφεται ό δίσκος. Ένα έλατήριο, κατάλληλα στερεωμένο, συγκρατεί τό δίσκο και

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σέ ποίο φαινόμενο στηρίζεται ή παραγωγή τάσεως στις γεννήτριες;
2. Από τί εξαρτάται ή τάση (ήλεκτρεγερτική δύναμη) μιάς γεννήτριας;
3. Από ποιά κύρια μέρη αποτελείται και που χρησιμοποιείται τό έπαγωγικό πηνίο;
4. Δύο από τίς ακόλουθες φράσεις είναι όρθες. Ποιές είναι αυτές;
 - α) Κάθε γεννήτρια μπορεί νά λειτουργήσει και ως ηλεκτρικός κινητήρας.
 - β) Κάθε ηλεκτρ. κινητήρας μπορεί νά λειτουργήσει και ως γεννήτρια.
 - γ) Οι ηλεκτρικές μηχανές συχνά μπορούν νά λειτουργήσουν και ως γεννήτριες και ως κινητήρες.
 - δ) Καμία γεννήτρια δέν μπορεί νά λειτουργήσει ως κινητήρας.
5. Από που δημιουργείται τό μαγνητικό πεδίο σέ μία γεννήτρια;
 - α) πάντα από τό στάτορα; β) πάντα από τό ρώτορα; γ) σέ άλλες γεννήτριες από τό στάτορα και σέ άλλες από τό ρώτορα;

τόν επαναφέρει στην αρχική του θέση. Μέ τον τρόπο αυτό μετράμε την ταχύτητα των αυτοκινήτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οι γεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής.
2. Ο πολλαπλασιαστής μετατρέπει μία μικρή συνεχή τάση σε μεγάλη εναλλασσόμενη, χάρη στο φαινόμενο της επαγωγής.
3. Η λειτουργία των συνηθισμένων ταχομέτρων στηρίζεται στη δημιουργία επαγωγικών ρευμάτων, τα όποια δέχονται μαγνητικές δυνάμεις και μετακινούν το δείκτη ταχυτήτων.

38η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ – ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΝΤΑΣΗ – ΙΣΧΥΣ

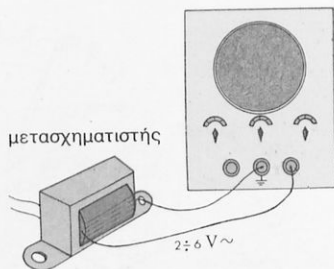
Ι. ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ (Α.Σ.)

α. Όρισμός. Επαναλαμβάνουμε το πείραμα του Σχ. 3 (35η και 36η ενότητες) κινώντας το μαγνήτη μέσα-έξω. Παρατηρούμε ότι, όταν ο μαγνήτης εισάγεται στο πηνίο, ή βελόνα του γαλβανομέτρου εκτρέπεται προς τη μία μεριά και όταν ο μαγνήτης εξάγεται από το πηνίο, ή βελόνα εκτρέπεται προς την άλλη. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στο πηνίο κυκλοφορεί ρεύμα που δεν έχει ούτε σταθερή τιμή έντασης ούτε σταθερή φορά.

Ένα ρεύμα, του οποίου ή τιμή και ή φορά έντασης μεταβάλλονται περιοδικά με το χρόνο, ονομάζεται **εναλλασσόμενο ρεύμα**, και ή τάση που το παράγει **εναλλασσόμενη τάση**.

Το ρεύμα που χρησιμοποιούμε στα σπίτια μας και στις βιομηχανίες για φωτισμό, για θέρμανση ή για κίνηση μηχανών, είναι εναλλασσόμενο.

β. Μορφή. Τη μορφή της εναλλασσόμενης τάσεως μπορούμε εύκολα να τη δούμε με έναν **παλμογράφο** (Σχ. 1). Συνδέουμε την είσοδο του



Σχ. 1. Η εναλλασσόμενη τάση του δικτύου της ΔΕΗ. (Συχνότητα = 5×10 c/sec = 50 c/sec)

παλμογράφου με μία μικρή έναλλασσόμενη τάση, πού δίνει ο μετασχηματιστής του έργαστηρίου καί ρυθμίζουμε τόν παλμογράφο ώστε νά πετύχουμε σταθερή εικόνα. Τότε στήν οθόνη του παλμογράφου σχηματίζεται μία κυματοειδής γραμμή, πού στά μαθηματικά λέγεται **ήμιτονοειδής καμπύλη**. Άρα:

Ἡ έναλλασσόμενη ηλεκτρική τάση μεταβάλλεται ήμιτονοειδῶς σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο.

Συνδέουμε κατόπιν τήν εἴσοδο τοῦ παλμογράφου μέ μία πηγή συνεχούς τάσεως, π.χ. μέ μία ηλεκτρική στήλη τῶν 4,5V, καί παρατηροῦμε στήν οθόνη μία εὐθεία γραμμή (Σχ. 2). Ἄρα:

Ἡ συνεχής ηλεκτρική τάση εἶναι σταθερή σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο.

γ. Γραφική παράσταση τῆς έναλλασσόμενης τάσεως.

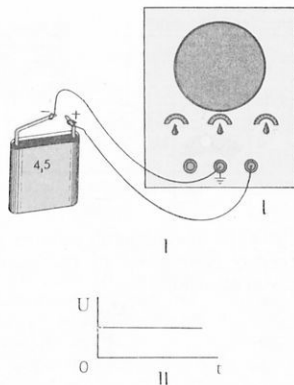
Ἡ μεταβολή τῆς έναλλασσόμενης τάσεως σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο παριστάνεται μέ μία ήμιτονοειδή καμπύλη (Σχ. 3), ὅμοια μέ τήν καμπύλη πού βλέπουμε στήν οθόνη τοῦ παλμογράφου. Ἡ τιμή U πού ἔχει ἡ τάση σέ κάθε χρονική στιγμή, λέγεται **στιγμιαία τάση** καί ἡ μέγιστη τιμή U_0 , πού παίρνει ἡ τάση σέ ὁρισμένες στιγμές, λέγεται **πλάτος** τῆς τάσεως. Ἡ στιγμιαία τάση γίνεται μηδέν, μεγαλώνει, γίνεται μέγιστη, ἀρχίζει νά μικραίνει κ.ο.κ. Μετά ἀπό ὁρισμένο χρόνο T , ἡ τάση ἀρχίζει νά παθαίνει τίς ἴδιες ἀκριβῶς μεταβολές.

Ὁ χρόνος T , μέσα στόν ὁποῖο ἡ τάση συμπληρώνει ἕναν ὁλόκληρο κύκλο μεταβολῶν, λέγεται περίοδος τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος.

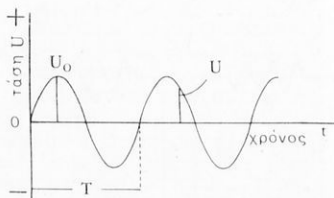
Ὅταν γνωρίζουμε τήν περίοδο T , μπορούμε νά ὑπολογίσουμε τή συχνότητα ν τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος μέ τό γνωστό τύπο:

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

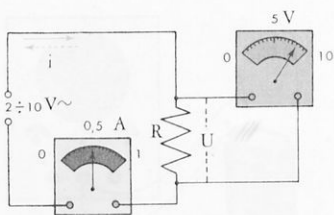
Ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος τῆς ΔΕΗ εἶναι 50 c/sec καί μπορεί εὐκόλα νά βρεθεῖ μέ ἕναν παλμογράφο. (Γυρίστε τό κουμπί τῆς συχνότητας τοῦ παλμογράφου στό ἐλάχιστο 10 c/sec.



Σχ. 2. Συνεχῆς τάση. (I) Ὅπως φαίνεται στόν παλμογράφο καί (II) ὅπως παριστάνεται γραφικά

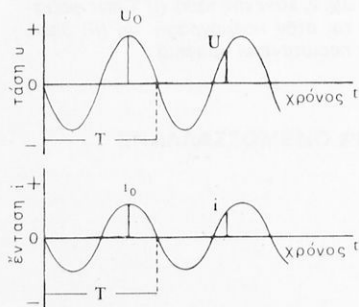


Σχ. 3. Γραφική παράσταση τῆς έναλλασσόμενης τάσεως. Ἡ στιγμιαία τάση U διαρκῶς μεταβάλλεται

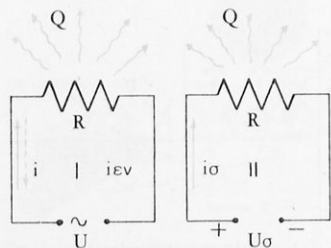


Σχ. 4. Τό άμπερόμετρο μετράει τήν ενεργό ένταση καί τό βολτόμετρο τήν ενεργό τάση

$$i_{ev} = \frac{U_{ev}}{R}$$



Σχ. 5. Γραφική παράσταση τής τάσεως U καί τής έντάσεως i εναλλασσόμενου ρεύματος



Σχ. 6. Είναι $i_{ev} = i_0$ όταν παράγεται τό ίδιο Q στόν ίδιο χρόνο

Τότε στήν όθόνη σχηματίζεται ή εικόνα του Σχ. 1).

II. ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΟΗΜ ΣΤΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Ο νόμος του Όhm ισχύει καί στο έναλλασσόμενο ρεύμα. Έτσι, άν σέ κάποια στιγμή ή τάση στά άκρα μιάς αντίστασεως R είναι U (Σχ. 4), ή ένταση του ρεύματος i θά δίνεται από τόν τύπο:

$$i = \frac{U}{R} \quad (1A = 1 \frac{V}{\Omega})$$

Η γραφική παράσταση τής έντάσεως του ρεύματος σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο είναι επίσης μία ήμιτονοειδής καμπύλη μέ περίοδο ίση μέ τήν περίοδο τής τάσεως (Σχ. 5).

III. ΕΝΕΡΓΟΣ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΑΣΗ

Είναι γνωστό από τήν καθημερινή έμπειρία ότι τό έναλλασσόμενο ρεύμα, πού χρησιμοποιούμε στά σπίτια μας, παράγει θερμότητα, όταν διέρχεται από τίς διάφορες ηλεκτρικές συσκευές. Άς υποθέσουμε ότι μία αντίσταση R διαρρέεται από έναλλασσόμενο ρεύμα καί ότι σέ χρόνο t παράγεται θερμότητα Q (Σχ. 6). Συνδέουμε κατόπιν τήν ίδια αντίσταση R μέ πηγή συνεχούς ρεύματος καί ρυθμίζουμε τήν έντασή του i_0 , ώστε νά παράγεται ή ίδια θερμότητα Q στόν ίδιο χρόνο t . Η ένταση αυτή i_0 του συνεχούς ρεύματος ονομάζεται **ένεργός ένταση** του έναλλασσόμενου ρεύματος.

Η συνεχής τάση U_0 , πού παράγει στήν παραπάνω αντίσταση R ένταση ίση μέ τήν ενεργό ένταση i_{ev} , λέγεται **ένεργός τάση** του έναλλασσόμενου ρεύματος.

Τά άμπερόμετρα καί βολτόμετρα πού είναι κατασκευασμένα γιά έναλλασσόμενο ρεύμα δείχνουν τήν ενεργό ένταση καί ενεργό τάση αντίστοιχως. Άν i_0 είναι τό πλάτος τής έντάσεως του ρεύματος αποδεικνύεται ότι:

$$i_{ev} = 0,7i_0 \quad (\text{περίπου})$$

$$\text{Όμοίως: } U_{ev} = 0,7U_0 \quad (\text{περίπου})$$

(Τό πλάτος τής τάσεως του ηλεκτρικού δικτύου στά σπίτια μας είναι 308V καί ή ενεργός τάση 220V).

Σέ πολλές περιπτώσεις γιά λόγους συντομίας χρησιμοποιούμε τούς όρους «τάση» καί

«ένταση» και έννοούμε την «ένεργό τάση» και την «ένεργό ένταση». Όταν στα προβλήματα χρησιμοποιούμε την ένεργό ένταση, μπορούμε να θεωρούμε τό έναλλασσόμενο ρεύμα σάν συνεχές.

IV. ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Γιά να υπολογίζουμε την ισχύ P ενός ρεύματος χρησιμοποιούμε τό γνωστό τύπο $P = i \cdot U$. "Αν όπου i βάλουμε τό $i_{\text{εν}}$ και όπου U τό $U_{\text{εν}}$, τότε ό τύπος τής ισχύος γράφεται:

$$P = i_{\text{εν}} \cdot U_{\text{εν}}$$

Η ισχύς πού υπολογίζουμε μέ τόν τύπο αυτό λέγεται **μέση ισχύς** του έναλλασσόμενου ρεύματος.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί μετρούν τά άμπερόμετρα έναλλασσόμενου ρεύματος;
2. Πόση είναι ή συχνότητα και ή ένεργός τάση του ρεύματος τής ΔΕΗ πού χρησιμοποιούμε στα σπίτια;
3. Δύο ίδιες αντίστασεις διαρρέονται ή μία μέ συνεχές ρεύμα έντάσεως i_0 και ή άλλη μέ έναλλασσόμενο ρεύμα ένεργού έντάσεως $i_{\text{εν}}$. Εάν $i_{\text{εν}} = i_0$, ποιά από τίς ακόλουθες προτάσεις είναι όρθή; α) τό συνεχές παράγει περισσότερη ισχύ β) τό έναλλασσόμενο παράγει περισσότερη ισχύ γ) τό έναλλασσόμενο ρεύμα δέ θερμαίνει τήν αντίσταση, γιατί πρós τή μία φορά θερμαίνει και πρós τήν άλλη ψύχει δ) παράγεται ή ίδια ισχύς στις αντίστασεις.

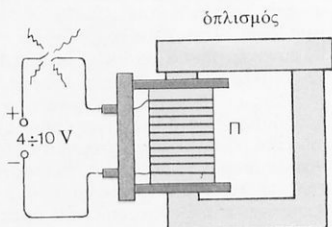
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Στο έναλλασσόμενο ρεύμα ή ένταση μεταβάλλεται περιοδικά μέ τό χρόνο. Τά συνηθισμένα έναλλασσόμενα ρεύματα έχουν ήμιτονοειδή μορφή και παριστάνονται γραφικά μέ μία ήμιτονοειδή καμπύλη.
2. Τό έναλλασσόμενο ρεύμα προκαλεί θερμικά αποτελέσματα, όπως και τό συνεχές. Χρησιμοποιώντας τήν ένεργό ένταση μπορούμε να θεωρούμε τό έναλλασσόμενο σάν συνεχές.
3. Η μέση ισχύς του έναλλασσόμενου ρεύματος δίνεται από τόν τύπο
 $P = i_{\text{εν}} \cdot U_{\text{εν}}$.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Τό χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών μηδενισμών τής έντάσεως ενός έναλλασσόμενου ρεύματος είναι 0,01 sec. Πόση είναι ή περίοδος και πόση ή συχνότητα του ρεύματος;
2. Αντίσταση 50Ω συνδέεται μέ έναλλασσόμενη τάση πού έχει ένεργό τιμή 20V. Πόση είναι ή ένεργός ένταση του ρεύματος πού διέρχεται από τήν αντίσταση;
3. Μία ηλεκτρική θερμάστρα έχει κατασκευασθεί να λειτουργεί κανονικά σέ συνεχές ρεύμα τάσεως 220V. α) Γιά να λειτουργεί κανονικά σέ έναλλασσόμενο ρεύμα, πόση πρέπει να είναι ή ένεργός τάση; β) Εάν ή αντίσταση τής θερμάστρας είναι $R = 110\Omega$, πόση θά είναι ή ένεργός ένταση;
4. Ένας ηλεκτρικός λαμπτήρας φέρνει τίς ένδείξεις «220V, 100W» και είναι συνδεδεμένος μέ τό δίκτυο των 220V. α) Τί σημαίνουν οι πό πάνω ένδείξεις του λαμπτήρα; β) Πόση θερμότητα σέ Joule παράγει ό λαμπτήρας σέ 1h;

ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗ – ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΝΙΟΥ



Σχ. 1. Στο σημείο διακοπής του κυκλώματος πετιέται σπινθήρας

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

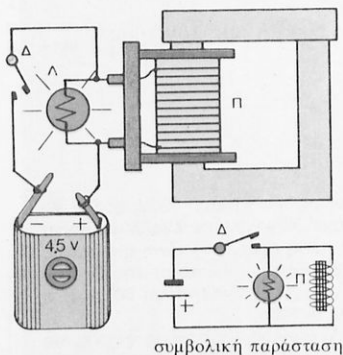
Κάθε φορά που σβήνουμε το φως ή αποσυνδέουμε έναν κινητήρα από την ηλεκτρική πηγή ή διακόπτουμε το κύκλωμα ενός πηνίου (Σχ. 1), παράγονται μικροί σπινθήρες στο σημείο διακοπής του κυκλώματος, δηλ. στο διακόπτη. Οι σπινθήρες αυτοί οφείλονται στο φαινόμενο της αυτεπαγωγής που είναι μία ειδική περίπτωση της έπαγωγής.

II. ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗ

α. Έννοια της αυτεπαγωγής. Συνδέουμε ένα λαμπάκι Λ στα άκρα ενός πηνίου με πυρήνα (Σχ. 2). Κατόπιν συνδέουμε το σύστημα με μία ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως, φροντίζοντας ή τάση της πηγής να είναι τέτοια, ώστε το λαμπάκι μόλις να ανάβει, όταν η πηγή είναι συνδεδεμένη με το σύστημα. Αποσυνδέουμε στή συνέχεια την ηλεκτρική πηγή και παρατηρούμε στο λαμπάκι μία στιγμιαία ανάλαμπη. Το γεγονός αυτό φανερώνει ότι, κατά τη διακοπή του ρεύματος του πηνίου, αναπτύσσεται στα άκρα του πηνίου μία ηλεκτρική τάση μεγαλύτερη από την τάση της ηλεκτρικής πηγής. Ανάπτυξη τάσεως στα άκρα ενός πηνίου δεν παρατηρείται μόνο κατά τη διακοπή του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, αλλά και σε κάθε μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται αυτεπαγωγή. Επομένως:

Αυτεπαγωγή ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται ηλεκτρική τάση στα άκρα ενός πηνίου, όταν μεταβάλλεται ή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το πηνίο.

β. Εξήγηση του φαινομένου της αυτεπαγωγής. Όταν το πηνίο είναι συνδεδεμένο με την ηλεκτρική πηγή, μέσα απ' το πηνίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο (Σχ. 3). Όταν διακόπτεται το ρεύμα, μηδενίζεται το μαγνητικό πεδίο, άρα μηδενίζεται



Σχ. 2. Όταν αποσυνδέεται η πηγή, το λαμπάκι κάνει μία ανάλαμπη. (Για $E = 4,5 \text{ V}$ και $N = 300$ σπείρες, πρέπει $L = 3,5 \text{ V}$)

καί ἡ μαγνητική ροή μέσα στό πηνίο. Μὲ τὴ διακοπὴ λοιπόν τοῦ ρεύματος συμβαίνει μεταβολὴ τῆς μαγνητικῆς ροῆς στό ἐσωτερικὸ τοῦ πηνίου, μὲ ἀποτέλεσμα νὰ ἐμφανίζεται ἐπαγωγικὴ τάση στὰ ἄκρα τοῦ. Ἄρα:

Ἡ αὐτεπαγωγή ὀφείλεται στὶς μεταβολές τῆς μαγνητικῆς ροῆς στό ἐσωτερικὸ τοῦ πηνίου, οἱ ὁποῖες συνοδεύουν τὶς μεταβολές τῆς ἐντάσεως τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος πού διαρρέει τὸ πηνίο.

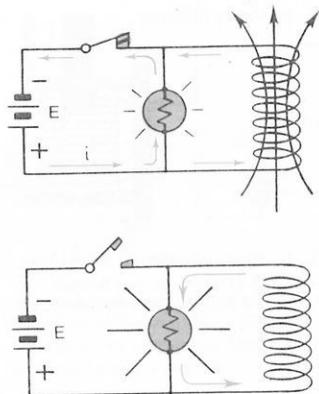
Ἀπὸ τὰ παραπάνω προκύπτει ὅτι ἡ αὐτεπαγωγή εἶναι ἓνα φαινόμενο ὅμοιο μὲ τὴν ἐπαγωγή. Ἡ διαφορὰ τους εἶναι ὅτι οἱ μεταβολές τῆς μαγνητικῆς ροῆς στὴν ἐπαγωγή προέρχονται ἀπὸ ἐξωτερικὰ αἰτία, ἐνῶ στὴν αὐτεπαγωγή προέρχονται ἀπὸ τὶς μεταβολές τοῦ ἴδιου τοῦ ρεύματος πού κυκλοφορεῖ στό πηνίο.

γ. Τὸ πηνίο ἀποθηκεύει ἐνέργεια ἐξαιτίας τῆς αὐτεπαγωγῆς. Γιά νὰ λάμψει τὸ λαμπάκι στό πείραμα τοῦ Σχ. 2, χρειάζεται ἐνέργεια. Τὴν ἐνέργεια αὕτη, προφανῶς δὲν τὴ δίνει ἡ ἠλεκτρικὴ πηγὴ – ἀφοῦ ἡ λάμψη παρατηρεῖται μετὰ τὴ διακοπὴ τοῦ κυκλώματος – ἀλλὰ τὸ πηνίο. Ἀπὸ αὐτὸ συμπεραίνουμε ὅτι τὸ πηνίο, στὴ διάρκεια τῆς διακοπῆς τοῦ ρεύματός του, ἐνεργεῖ ὡς ἠλεκτρικὴ πηγὴ καὶ δίνει ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια. Ἀλλὰ πού βρῆκε τὴν ἐνέργεια αὕτὴ τὸ πηνίο; Πότε τὴν ἀποθήκευσε καὶ μὲ ποιά μορφή;

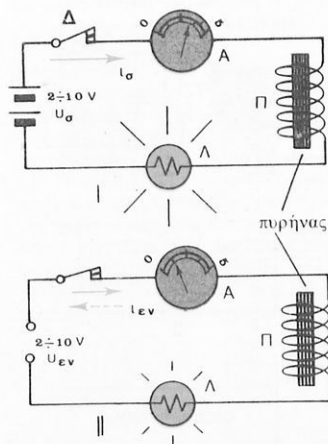
Τὴν ἐνέργεια τὴν παίρνει τὸ πηνίο ἀπὸ τὴν πηγὴ στὴν ἀρχὴ τῆς συνδέσεως καὶ τὴ διατηρεῖ ἀποθηκευμένη μὲ τὴ μορφή ἐνέργειας μαγνητικοῦ πεδίου. Ὅταν ἀνοίγουμε τὸ κύκλωμα, ἡ ἐνέργεια τοῦ πηνίου ἀποδίδεται στό λαμπάκι.

III. ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΝΙΟΥ

α. Ἔννοια τῆς ἐπαγωγικῆς ἀντιστάσεως. Συνδέουμε ἓνα πηνίο, ἓνα λαμπάκι καὶ ἓνα ἄμπερόμετρο σὲ σειρά μὲ ἠλεκτρικὴ πηγὴ συνεχούς τάσεως, ὅπως φαίνεται στοῦ Σχ. 4. Ρυθμίζουμε τὴν τάση τῆς πηγῆς ὥστε νὰ φωτίζει κανονικὰ τὸ λαμπάκι καὶ σημειώνουμε τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος (π.χ. $i_0 = 0,4 \text{ A}$). Κατόπιν ἐφαρμόζουμε στὰ ἄκρα τοῦ κυκλώματος ἐναλλασσόμενη ἠλεκτρικὴ τάση μὲ ἐνεργὸ τιμὴ $U_{\text{εν}}$ ἴση μὲ τὴν τάση U_0 ($U_{\text{εν}} = U_0$). Παρατηροῦμε ὅτι τὸ λαμπάκι φωτίζει λιγότερο καὶ ὅτι ἡ ἔνταση $i_{\text{εν}}$

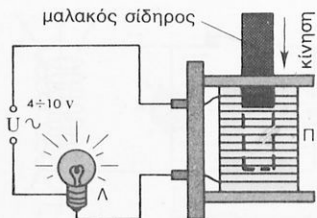


Σχ. 3. Ἡ διακοπὴ τοῦ ρεύματος μεταβάλλει τὴ μαγνητικὴ ροὴ στό πηνίο

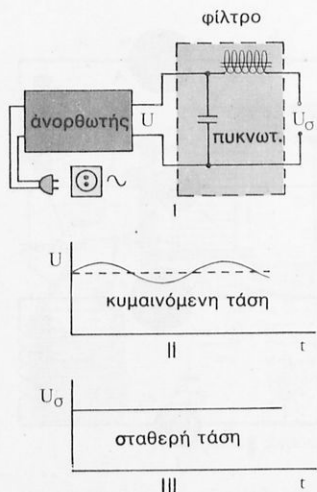


Σχ. 4. I. Στὸ συνεχές ρεῦμα τὸ πηνίο ἔχει μόνο ὠμικὴ ἀντίσταση.

II. Στὸ ἐναλλασσόμενο ἔχει καὶ ὠμικὴ καὶ ἐπαγωγικὴ. ($\Lambda = 3 \div 6 \text{ V}$, $\Pi = 600$)



Σχ. 5. Ένας ροοστάτης κατάλληλος μόνο για έναλασσόμενο ρεύμα.
($\Lambda = 3 \div 6 \text{ V}$, $\Pi = 300 \text{ ή } 600 \text{ σπειρές}$)



Σχ. 6. Ο ανορθωτής μετατρέπει την έναλασσόμενη τάση σε συνεχή (II) και το φίλτρο την κάνει σταθερή (III)

του έναλασσόμενου ρεύματος είναι μικρότερη από την ένταση i_0 του συνεχούς ρεύματος ($i_{\text{εν}} < i_0$). Συνεπώς το πηνίο παρεμβάλλει μεγαλύτερη αντίσταση στο έναλασσόμενο ρεύμα από ό,τι στο συνεχές.

Η αντίσταση, πού παρεμβάλλει ένα πηνίο στο συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, λέγεται **ώμική αντίσταση**. Η **πρόσθετη αντίσταση**, πού παρεμβάλλει το πηνίο στο έναλασσόμενο ρεύμα, λέγεται **έπαγωγική αντίσταση**.

Η ώμική και έπαγωγική αντίσταση μαζί αποτελούν την **ολική αντίσταση*** του πηνίου στο έναλασσόμενο ρεύμα.

Αν τό καλώδιο ενός πηνίου είναι αρκετά χοντρό, ώστε ή ώμική αντίσταση νά είναι άσήμαντη, τότε ή μόνη αντίσταση του πηνίου στο έναλασσόμενο ρεύμα είναι ή έπαγωγική αντίσταση (**ιδανικό πηνίο**). Επομένως, παραλείποντας την ώμική αντίσταση, μπορούμε νά πούμε τό εξής:

Έπαγωγική αντίσταση είναι ή αντίσταση πού παρεμβάλλει ένα ιδανικό πηνίο στο έναλασσόμενο ρεύμα.

Η έπαγωγική αντίσταση οφείλεται στο φαινόμενο της **αυτεπαγωγής**.

β) Παράγοντες από τούς οποίους εξαρτάται ή έπαγωγική αντίσταση.

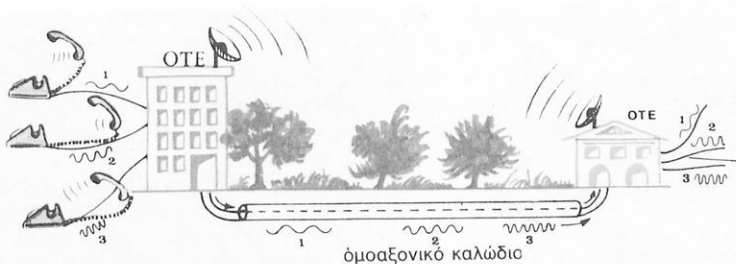
Αν στο πείραμα του Σχ. 4, II αφαιρέσουμε τόν πυρήνα, παρατηρούμε ότι αύξάνεται ή ένταση του ρεύματος, δηλ. μικραίνει ή αντίσταση. Άρα:

Η έπαγωγική αντίσταση ενός πηνίου είναι μεγαλύτερη, όταν στο πηνίο υπάρχει σιδερένιος πυρήνας καί αντίστροφα.

Τήν ιδιότητα αυτή μπορούμε νά την αξιοποιήσουμε στήν κατασκευή π.χ. ενός ροοστάτη, πού είναι κατάλληλος μόνο για τό έναλασσόμενο ρεύμα (Σχ. 5).

Αποδεικνύεται επίσης ότι ή έπαγωγική αντίσταση ενός πηνίου είναι ανάλογη προς τή $\sigma \cdot \omega \cdot \chi$ ν ό τ η τ α του ρεύματος καί εξαρτάται από τόν

*Η ολική αντίσταση βρίσκεται αν προσθέσουμε διανυσματικά τίς δύο αντιστάσεις καί δέ θά μάς άπασχολήσει στο βιβλίο αυτό.



Σχ. 7. Ἡ κάθε συνδιάλεξη μεταφέρεται μέ ἓνα ἐναλλασσόμενο ρεύμα ὑψηλῆς συχνότητας. Ὁ διαχωρισμός τῶν ρευμάτων, ἄρα καί τῶν συνδιαλέξεων, γίνεται στά τηλεφωνικά κέ-

ντρα μέ κατάλληλα φίλτρα. (Τό ὁμοαξονικό καλώδιο Ἀθῆνας - Θεσσαλονίκης σήμερα μεταφέρει μέχρι 2.700 συνδιαλέξεις συγχρόνως)

αριθμό τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου καί ἀπό τίς διαστάσεις του.

γ. Ἐφαρμογές τῆς ἐπαγωγικῆς ἀντιστάσεως

Μία σπουδαία ἐφαρμογή τῆς ἐπαγωγικῆς ἀντιστάσεως συναντᾶται στά φίλτρα (Σχ. 6).

Τά φίλτρα εἶναι συνήθως συστήματα πηνίων καί πυκνωτῶν καί ἔχουν πολλές τεχνικές ἐφαρμογές.

Οἱ γνωστές ἠλεκτρονικές συσκευές (ἐνισχυτές, ραδιόφωνα, τηλεοράσεις κτλ.) χρειάζονται γιά τή λειτουργία τους συνεχές ἠλεκτρικό ρεύμα. Τό ἠλεκτρικό δίκτυο στά σπίτια μας παρέχει, ὅπως εἶναι γνωστό, ἐναλλασσόμενο ρεύμα. Γιά νά βάλουμε ἐπομένως σέ λειτουργία τίς παραπάνω συσκευές, πρέπει πρῶτα νά μετατρέψουμε τό ἐναλλασσόμενο ρεύμα σέ συνεχές, δηλ. νά ἀνορθώσουμε ὅπως συνήθως λέμε. Ἡ μετατροπή αὐτή γίνεται μέ ειδικές συσκευές πού λέγονται ἀνορθωτές, ἀπ' τοὺς ὁποίους ὅμως ἡ τάση δέ βγαίνει σταθερή, ἀλλά κυμαίνουμένη (Σχ. 6, II). Ὅταν μία τέτοια κυμαίνουμένη τάση ὀδηγεῖται στόν ἐνισχυτή ἢ τό ραδιόφωνο, ἀκούγεται στά μεγάφωνα τῆς συσκευῆς ὁ γνωστός ἐνοχλητικός βόμβος. Μέ τή χρησιμοποίηση ὅμως κατάλληλου φίλτρου, ἡ τάση ἐξομαλύνεται καί γίνεται σταθερή (Σχ. 6, III).

Εἰδικά φίλτρα χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης στήν τηλεφωνία γιά τό διαχωρισμό τῶν συνδιαλέξεων πού μεταφέρονται μέ ἓνα καλώδιο (ὁμοαξονικό καλώδιο) (Σχ. 7).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Ἀπό πού προέρχεται ἡ ἐνέργεια πού κάνει τό λαμπάκι νά φωτοβολήσει ζωηρά γιά λίγο, κατά τή διακοπή τοῦ κυκλώματος (Σχ. 2);
2. Σέ ποιά ἀπό τίς ἀκόλουθες περιπτώσεις ἓνα πηνίο ἔχει μεγαλύτερη ἐπαγωγική ἀντίσταση; α) Στό συνεχές ρεύμα; β) Στό ἐναλλασσόμενο μέ μεγάλη συχνότητα; γ) Στό ἐναλλασσόμενο μέ μικρή συχνότητα;
3. Πῶς μεταβάλλεται ἡ ἐπαγωγική ἀντίσταση μέ τή συχνότητα τοῦ ρεύματος; Ἀπό τή σχέση αὐτή νά ἐξηγήσετε γιατί ἡ ἐπαγωγική ἀντίσταση εἶναι μηδέν στό συνεχές ρεύμα.
4. Στήν ἐπαγωγή καί τήν αὐτεπαγωγή ἡ ἐμφάνιση τάσεως στά ἄκρα ἑνός πηνίου εἶναι ἀποτέλεσμα μεταβολῆς τῆς μαγνητικῆς ροῆς. Πότε θά λέμε ὅτι εἶναι ἐπαγωγή καί πότε αὐτεπαγωγή;
5. Μπορεῖ ὁ ροοστάτης τοῦ Σχ. 5 νά χρησιμοποιηθεῖ στό συνεχές ρεύμα;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οί μεταβολές της έντάσεως του ηλεκτρικού ρεύματος σέ ένα πηνίο προκαλούν ηλεκτρικές τάσεις στά άκρα του πηνίου (αυτεπαγωγή). Αποτέλεσμα της αυτεπαγωγής είναι ή επαγωγική αντίσταση των πηνίων πού εμφανίζεται στά εναλλασσόμενα ρεύματα.
2. Τά πηνία μέ χοντρές σπειρες δέν παρουσιάζουν αντίσταση στό συνεχές ρεύμα (ώμική αντίσταση), αλλά μόνο στό εναλλασσόμενο (επαγωγική αντίσταση).
3. Η επαγωγική αντίσταση ενός πηνίου είναι ανάλογη πρός τή συχνότητα του ρεύματος καί εξαρτάται από τό ύλικό του πυρήνα, τόν αριθμό των σπειρών του πηνίου καί τίς διαστάσεις του.
4. Τό πηνίο έχει τήν ιδιότητα νά αποθηκεύει ένα ποσό ηλεκτρικής ενέργειας μέ τή μορφή ενέργειας μαγνητικού πεδίου, όταν αυξάνεται τό ρεύμα, καί νά τό αποδίδει, όταν τό ρεύμα ελαττώνεται.

40η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

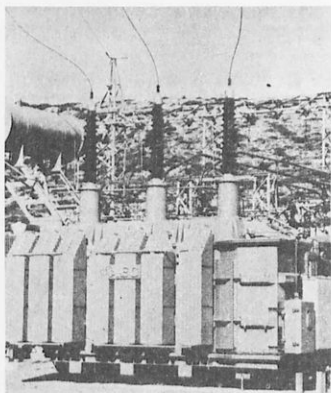
Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τά μεγάλα έργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικά καί θερμοηλεκτρικά) βρίσκονται συνήθως σέ μεγάλες αποστάσεις από τίς περιοχές κατανώσεως (πόλεις, χωριά, βιομηχανίες). Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας συμφέρει νά γίνεται μέ ύψηλή τάση καί μικρή ένταση. Η μετατροπή της σχετικά χαμηλής τάσεως, πού παράγουν οί γεννήτριες των έργοστασίων, σέ ύψηλή γίνεται μέ ειδικές συσκευές πού λέγονται μετασχηματιστές. Έπομένως:

Μετασχηματιστές λέγονται οί συσκευές πού μεταβάλλουν τήν τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος από χαμηλή σέ ύψηλή καί αντίστροφα.

ΙΙ. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

α. Κατασκευή του μετασχηματιστή. Κάθε μετασχηματιστής αποτελείται από δύο πηνία καί έναν κοινό πυρήνα (Σχ. 4). Τά πηνία δέν



Σχ. 1. Μετασχηματιστής ύψηλης τάσεως (ΔΕΗ Μεγαλόπολεως).

έχουν τόν ίδιο αριθμό σπειρών, αλλά τό ένα έχει περισσότερες σπείρες από τό άλλο. Τό πηνίο, πού συνδέουμε μέ τήν τάση πού θέλουμε νά μετασχηματίσουμε, ονομάζεται **πρωτεύων**, καί τό άλλο, από τό όποίο παίρνουμε τή μετασχηματισμένη τάση, ονομάζεται **δευτερεύων**. Κάθε πηνίο μπορεί νά χρησιμοποιηθεί ως πρωτεύων ή δευτερεύων. Αυτό εξαρτάται από τήν απαίτηση πού έχουμε κάθε φορά από τό μετασχηματιστή, άρκει φυσικά νά μήν υπερβαίνουμε τίς τάσεις γιά τίς όποίες προορίζονται τά πηνία.

β. Λειτουργία του μετασχηματιστή.

1. Εύρεση τής τάσεως. Γιά νά καταλάβουμε πώς λειτουργεί ό μετασχηματιστής κάνουμε τό ακόλουθο πείραμα (Σχ. 5). Κατασκευάζουμε μόνοι μας ένα μετασχηματιστή καί συνδέουμε τό πρωτεύων πηνίο μέ μία χαμηλή έναλλασσόμενη τάση U_1 . Στή συνέχεια χρησιμοποιούμε διάφορα δευτερεύοντα πηνία, μετράμε τίς τάσεις U_2 στά άκρα τους καί συμπληρώνουμε έναν πίνακα παρόμοιο μέ τόν πίνακα I.

Από τίς μετρήσεις του πειράματος προκύπτει ότι, όταν ό αριθμός n_2 των σπειρών του δευτερεύοντος πηνίου είναι ίσος μέ τόν αριθμό n_1 των σπειρών του πρωτεύοντος, τότε καί ή τάση U_2 είναι ίση μέ τήν τάση U_1 , δηλ. δέν υπάρχει μετασχηματισμός τάσεως. Ένας τέτοιος μετασχηματιστής δέν έχει πρακτική άξία.

Όταν ό αριθμός n_2 είναι διπλάσιος από τόν αριθμό n_1 , τότε καί ή τάση U_2 είναι διπλάσια από τήν τάση U_1 . Γενικά μπορούμε νά πούμε ότι:

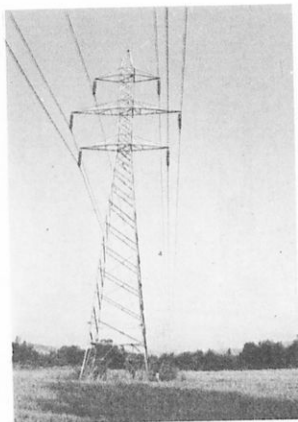
Οί τάσεις στά άκρα των πηνίων ενός μετασχηματιστή είναι ανάλογες μέ τούς αριθμούς των σπειρών των πηνίων.

Η πρόταση αυτή διατυπώνεται καί μέ τήν ακόλουθη σχέση:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Μέ τόν τύπο αυτό μπορούμε νά καθορίζουμε τόν αριθμό των σπειρών, έτσι ώστε νά παίρνουμε στό δευτερεύων πηνίο μικρότερη ή μεγαλύτερη τάση από τό πρωτεύων.

Παρατήρηση. Οί τάσεις στό δευτερεύων πηνίο μπορεί νά παρουσιάσουν μεγάλες αποκλίσεις από αυτές πού περιμένουμε από τόν



Σχ. 2. Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας γιά μεγάλες αποστάσεις. (150.000 V).

ΠΙΝΑΚΑΣ I

$n_1 = 300$		$U_1 = 10V$	
n_2	U_2	$\frac{n_2}{n_1}$	$\frac{U_2}{U_1}$
300	10	1	1
600	20	2	2
1200	40	4	4
Άρα $\frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2}{U_1}$			



Σχ. 3. Μετασχηματιστής χαμηλής τάσεως. Μετατρέπει τα 15.000 V σε 220V και τροφοδοτεί το Στεφανοβίκειο Βόλου

τύπο (1), όταν ο όπλισμός στο Σχ. 5 δεν εφάπτεται καλά στον πεταλοειδή πυρήνα ή όταν αφαιρεθεί τελείως.

2. Εύρεση της ισχύος. Προηγούμενως βρήκαμε τη σχέση που συνδέει τις τάσεις του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος πηνίου, χωρίς να μας ενδιαφέρει αν το δευτερεύον κύκλωμα είναι κλειστό ή ανοικτό. Τώρα θα μελετήσουμε ειδικά την περίπτωση που το δευτερεύον κύκλωμα είναι κλειστό και επομένως καταναλώνει κάποια ενέργεια (Σχ. 6).

Όπως σε κάθε μηχανή έτσι και στους μετασχηματιστές υπάρχουν απώλειες ενέργειας και επομένως η ισχύς, που αποδίδεται στο δεύτερο κύκλωμα, είναι μικρότερη από την ισχύ που δαπανάται στο πρώτο. Στους μετασχηματιστές όμως η απόδοση είναι μεγάλη ($\approx 95\%$), γι' αυτό μπορούμε να δεχτούμε ότι η ισχύς στο δεύτερο κύκλωμα είναι ίση με την ισχύ στο πρώτο. Άρα λοιπόν θα ισχύει:

$$\text{ισχύς πρωτεύοντος} = \text{ισχύς δευτερεύοντος}$$

$$i_1 \cdot U_1 = i_2 \cdot U_2 \quad (2)$$

Η σχέση (2) γράφεται ως εξής:

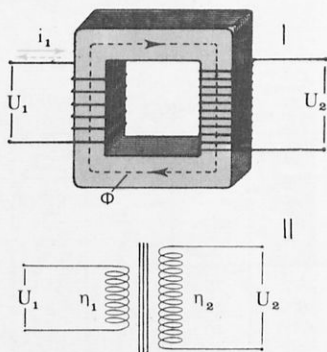
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{i_1}{i_2} \quad (3)$$

Από τις σχέσεις (1) και (3) προκύπτει ότι:

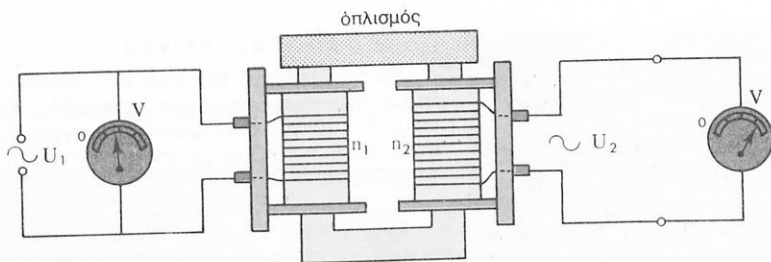
$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Παρατηρούμε ότι οι εντάσεις των ρευμάτων είναι αντιστρόφως ανάλογες προς τους αριθμούς των σπειρών. Έτσι το πηνίο με τις περισσότερες σπείρες διαρρέεται από ρεύμα μικρότερης έντασης και γι' αυτό κατασκευάζεται από λεπτότερο σύρμα.

γ. Πώς εμφανίζεται η τάση στο δευτερεύον πηνίο. Ίσως να γεννηθεί η άπορία. Πώς αναπτύσσεται τάση στο δευτερεύον, αφού τα δύο πηνία δεν έχουν ηλεκτρική επαφή; Η απάντηση είναι απλή και έχει άμεση σχέση με το φαινόμενο της επαγωγής (Σχ. 4, I). Όπως αναφέραμε και πιο πάνω, το πρώτο πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα προκαλεί αδιάκοπη μεταβολή της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του πηνίου, επομένως και στον πυρήνα, που είναι κοινός και για τα δύο πηνία. Έτσι στο εσωτερικό του δεύτερου



Σχ. 4. I. Κατασκευή του μετασχηματιστή. II. Συμβολική παράσταση του μετασχηματιστή



Σχ. 5. Στίς περισσότερες σπείρες αντιστοιχεί μεγαλύτερη τάση

πηνίου θά υπάρχει ή ίδια αδιάκοπη μεταβολή τής μαγνητικής ροής που θά προκαλεί στά άκρα του τάση τής ίδιας συχνότητας. Άρα:

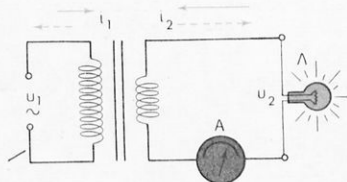
Όταν λειτουργεί ό μετασχηματιστής, στο έσωτερικό του δευτερεύοντος πηνίου υπάρχει διαρκώς μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή, μέ αποτέλεσμα νά εμφανίζεται έναλλασσό-μενη τάση στά άκρα του.

Σημείωση. Κάθε μετασχηματιστής είναι κατασκευασμένος νά λειτουργεί σέ όρισμένα όρια τάσεως καί ισχύος. Τά στοιχεία αυτά είναι γραμμένα πάνω σέ κάθε μετασχηματιστή καί πρέπει νά τηρούνται, γιά νά μήν καταστραφεί από υπερθέρμανση.

III. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όπως θά δούμε στό πιό κάτω παράδειγμα, όι απώλειες σέ ένέργεια είναι μεγάλες, όταν ή τάση μέ τήν όποία μεταφέρεται ή ένέργεια είναι μικρή, ένώ είναι άμελητές όταν ή τάση είναι πολύ μεγάλη. Γιά τό λόγο αυτό ή μεταφορά τής ηλεκτρικής ένέργειας σέ μεγάλες αποστάσεις γίνεται μέ ύψηλή τάση χιλιάδων Volt (Σχ. 2).

Οί μεγάλες όμως τάσεις είναι πολύ επικίνδυνες γιά τόν άνθρωπο καί γι' αυτό ακατάλληλες γιά χρήση σέ σπίτια ή σέ βιομηχανίες. Είναι ανάγκη λοιπόν νά άνυψώνεται ή τάση, όταν πρόκειται νά μεταφερθεί ή ηλεκτρική ένέργεια σέ μεγάλες αποστάσεις καί νά μειώνεται, όταν πρόκειται νά διατεθεί στήν κατανάλωση (Σχ. 3). Κατάλληλο ρεύμα γιά τούς μετασχηματισμούς αυτούς είναι τό έναλλασσόμενο ρεύμα καί γι' αυτό τό χρησιμοποιούμε στή μεταφορά τής ηλεκτρικής ένέργειας.



Σχ. 6. Η ισχύς στό δευτερεύον είναι ίση μέ τήν ισχύ στό πρωτεύον όταν ή απόδοση του μετασχηματιστή είναι 100%.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σέ ποιό φαινόμενο στηρίζεται η λειτουργία του μετασχηματιστή;
2. Μπορεί ένας μετασχηματιστής να μετασχηματίζει συνεχή τάση;
3. Γιατί ανυψώνουν την τάση όταν πρόκειται να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις και τη χαμηλώνουν όταν πρόκειται να διανεμηθεί στα σπίτια;
4. Ένας μετασχηματιστής μετατρέπει την τάση $U_1 = 220V$ του ηλεκτρικού δικτύου σε $U_2 = 12V$. Μπορούμε να συνδέσουμε το μετασχηματιστή ανάποδα στο ηλεκτρικό δίκτυο;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Το πρωτεύον ενός μετασχηματιστή έχει 300 σπείρες και το δευτερεύον 60. Εάν η τάση στο πρωτεύον είναι 220V, πόση θα είναι η τάση στο δευτερεύον πηνίο;
2. Μετασχηματιστής ύψλης τάσεως μετατρέπει τά 10000V που παράγει η γεννήτρια του ηλεκτρικού εργοστασίου σε 150000V. Εάν το δευτερεύον έχει 120 σπείρες, πόσες σπείρες πρέπει να έχει το πρωτεύον;
3. Η ένταση του ρεύματος στο πρωτεύον πηνίο ενός μετασχηματιστή είναι 2A και η τάση $U_1 = 30V$. Να βρεθεί η ένταση στο δευτερεύον πηνίο, εάν η τάση U_2 είναι 120V.

Παράδειγμα

Νά υπολογίσετε την ισχύ που χάνεται ως θερμότητα στους άγωγους μεταφοράς, όταν ισχύς $P = 10KW$ μεταφέρεται με άγωγους αντίστασεως $R = 0,4\Omega$ α) με τάση 200V και β) με τάση 200000V.

ΛΥΣΗ

Σύμφωνα με τον τύπο της ισχύος $P = i \cdot U$, η ένταση του ρεύματος θα δίνεται από τον τύπο:

$$i = \frac{P}{U}$$

α) Όταν η τάση είναι $U_1 = 200V$, τότε το ρεύμα θα είναι:

$$i_1 = \frac{10000W}{200V} = 50A.$$

Η ισχύς που χάνεται στους άγωγους μεταφοράς ως θερμότητα θα είναι: $P_1 = i_1^2 \cdot R \Rightarrow \Rightarrow P_1 = 50^2 \cdot 0,4A^2 \cdot \Omega = 1000W$.

Άρα τό 10% της όλικης ισχύος χάνεται ως θερμότητα.

β) Όταν η τάση είναι $U = 200000V$ τότε:

$$i_2 = \frac{10000W}{200000V} = 0,05A \Rightarrow P_2 = i_2^2 \cdot R = 0,001W$$

Άρα μόνο τό 0,00001% της όλικης ισχύος χάνεται ως θερμότητα με μία τέτοια μεταφορά.

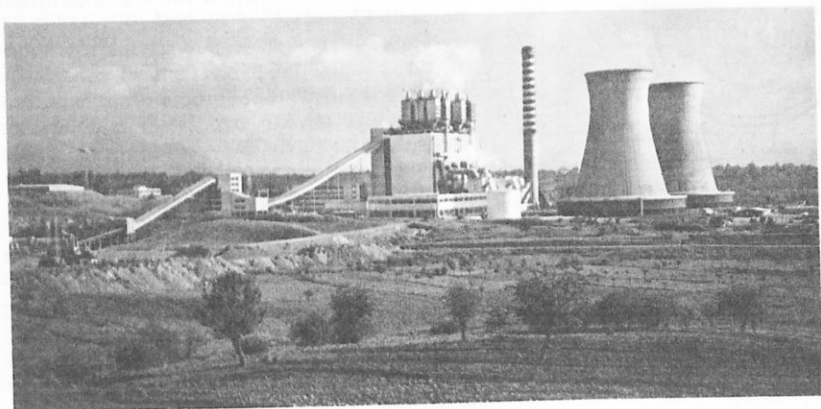
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οι μετασχηματιστές είναι συσκευές που μπορούν να ανυψώνουν ή να χαμηλώνουν έναλλασσόμενες τάσεις.
2. Η αύξηση της τάσεως είναι απαραίτητη για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Οι χαμηλές τάσεις είναι κατάλληλες για χρήση στα σπίτια και στα εργοστάσια γιατί είναι λιγότερο επικίνδυνες.
3. Οι σχέσεις που ισχύουν στην λειτουργία ιδανικών μετασχηματιστών είναι.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \text{ και } i_1 \cdot U_1 = i_2 \cdot U_2$$

4. Η εμφάνιση τάσεως στα άκρα του δευτερεύοντος πηνίου οφείλεται στις μεταβολές της μαγνητικής ροής στον κοινό πυρήνα, οι οποίες προκαλούνται από τό πρωτεύον.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ – ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΡΕΥΜΑ



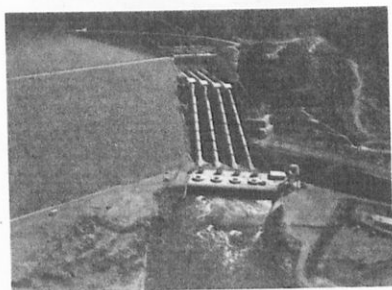
Σχ. 1. Άτμοηλεκτρικός Σταθμός Μεγαλοπόλεως (250 MW)

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

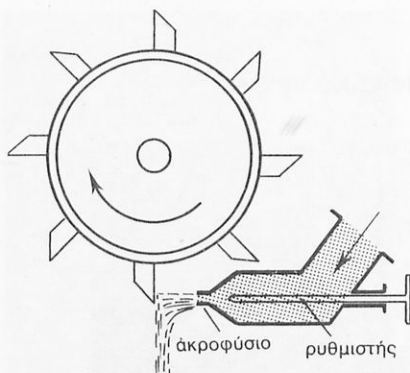
Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι ηλεκτρογεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια. Στις μεγάλες ηλεκτρογεννήτριες των εργοστασίων το μηχανικό έργο είναι δυνατό να προέρχεται είτε από μία θερμική μηχανή, π.χ. ατμοστρόβιλο, είτε από μία υδραυλική μηχανή, π.χ. ύδροστρόβιλο (Σχ. 3). Τα εργοστάσια που χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια για να παράγουν ηλεκτρική ονομάζονται *θερμικά εργοστάσια* και εκείνα που εκμεταλλεύονται την πτώση του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται *υδροηλεκτρικά εργοστάσια* ή *υδροηλεκτρικοί σταθμοί*. Στο βιβλίο αυτό θα περιγράψουμε μόνο τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

II. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατασκευάζονται κοντά σε τεχνητές λίμνες που δημιουργούνται με τη βοήθεια φραγμάτων. Μεγάλοι και άνθεκτικοί άγωγοί (σωλήνες) μεταφέρουν το



Σχ. 2. Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου (320 MW).



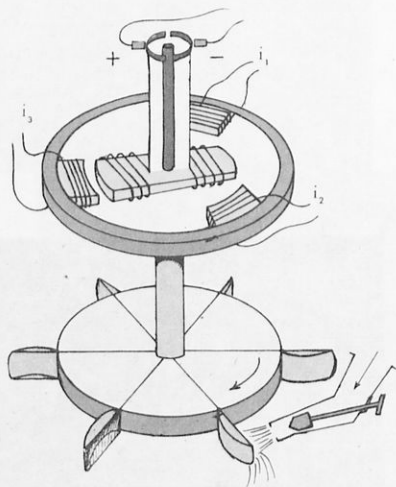
Σχ. 3. Ύδροστρόβιλος (άρχη)

νερό από τη λίμνη στο σταθμό (Σχ. 2). Εκεί το νερό χύνεται με όρμη πάνω στα πτερύγια του ύδροστρόβιλου, ο οποίος στη συνέχεια περιστρέφει το ρώτορα μιᾶς γεννήτριας (Σχ. 4). Έτσι ἡ μηχανικὴ ἐνέργεια τοῦ νεροῦ μετατρέπεται σὲ ηλεκτρικὴ.

Γιὰ νὰ μπορούμε νὰ ρυθμίζουμε τὴν ποσότητα τοῦ νεροῦ ποὺ βγαίνει ἀπὸ τὸ ἀκροφύσιο τοῦ σωλήνα, τοποθετοῦμε στὴν ἄκρη τοῦ σωλήνα μία μεγάλη στρόφιγγα ποὺ λέγεται ρυθμιστής. Έτσι, ἐλέγχοντας τὴν ποσότητα τοῦ νεροῦ ποὺ πέφτει στὰ πτερύγια, οἱ τεχνικοὶ ἐλέγχουν καὶ τὴν ἰσχύ τῆς γεννήτριας.

Ὁ ἐλεγχος τῆς ἰσχύος εἶναι ἀπαραίτητος, γιατί ἡ ζήτηση σὲ ηλεκτρικὴ ἐνέργεια δὲν εἶναι σταθερὴ στὴ διάρκεια τοῦ εικοσιτετραώρου. Εἶναι μεγάλη τὶς πρωινὲς ἐργασίμες ὥρες καὶ τὶς ὥρες μετὰ τὴ δύση τοῦ ἡλίου, ἐνῶ εἶναι πολὺ μικρὴ μετὰ τὰ μεσάνυχτα. Μὲ ἕναν αὐτόματο μηχανισμό, οἱ ρυθμιστὲς ἀφήνουν περισσότερο ἢ λιγότερο νερό, ὥστε οἱ γεννήτριες νὰ καλύπτουν κάθε φορὰ τὴν κατανάλωση.

διέγερση τοῦ ρώτορα



Σχ. 4. Ἀπλὸ σχέδιο ὑδροηλεκτρικῆς γεννήτριας

III. ΤΡΙΦΑΣΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

Ὅλες οἱ γεννήτριες τῶν ηλεκτρικῶν σταθμῶν εἶναι ἔτσι κατασκευασμένες ὥστε νὰ παράγουν ταυτόχρονα τρεῖς ἐναλλασσόμενες τάσεις καὶ συνεπῶς τρία ἐναλλασσόμενα ρεύματα. Τὰ ρεύματα αὐτὰ ἀναπτύσσονται σὲ τρία ἀνεξάρτητα πηνία ποὺ βρίσκονται στὸ στάτορα καὶ ποὺ οἱ ἄξονές τους σχηματίζουν γωνία 120° ὁ ἕνας μὲ τὸν ἄλλο.

Στὸ Σχ. 5 φαίνεται ἡ ἀρχὴ τῆς παραγωγῆς τῶν τριῶν ταυτοχρόνως ρευμάτων ποὺ συνιστοῦν τὸ γνωστὸ τριφασικὸ ρεῦμα. Ἄρα:

Ὅταν λέμε **τριφασικὸ ρεῦμα** ἐννοοῦμε ἕνα σύστημα τριῶν ἐναλλασσόμενων ρευμάτων, ποὺ παράγονται ταυτόχρονα σὲ τρία ἴδια πηνία τοῦ στάτορα ποὺ σχηματίζουν μετὰξὺ τους γωνία 120° .

Ἄν τὰ πηνία ἦταν τελειῶς ἀσύνδετα μετὰξὺ τους, ὅπως στὸ Σχ. 5 καὶ Σχ. 6, I, ἡ μεταφορὰ τῆς ηλεκτρικῆς ἐνέργειας στὴν κατανάλωση θὰ ἀπαιτοῦσε ἕξι ἀγωγούς. Ἄν ὅμως πραγματοποιήσουμε τὴ σύνδεση ποὺ φαίνεται στὸ Σχ. 6, II, ἐνώνοντας τοὺς τρεῖς ἀγωγούς σὲ

έναν κοινό αγωγό AB, αποδεικνύεται ότι χρειάζονται μόνο τέσσερις αγωγοί για τη μεταφορά της ίδιας ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τρεις αγωγοί Φ_1 , Φ_2 και Φ_3 λέγονται τότε **φάσεις** και ο τέταρτος αγωγός, που είναι γειωμένος και κοινός για τα τρία πηνία, λέγεται **ουδέτερος** αγωγός.

Ο ουδέτερος αγωγός είναι λεπτότερος από τις φάσεις, γιατί το όλικό ρεύμα που τον διαρρέει είναι μικρό. Αποδεικνύεται μάλιστα ότι, όταν οι αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3 είναι ακριβώς ίσες, ο ουδέτερος αγωγός δε διαρρέεται καθόλου από ρεύμα και σε μία τέτοια περίπτωση δεν είναι απαραίτητος. Θά πρέπει λοιπόν στη διανομή του ρεύματος να φροντίζουμε ώστε η κάθε φάση να δέχεται περίπου το ίδιο φορτίο.

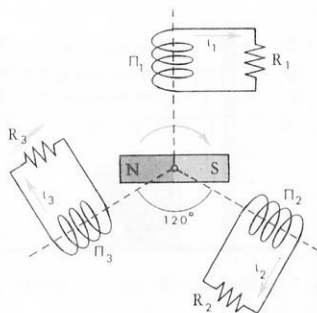
Γιά να πετυχαίνουμε την ισοκατανομή στο φορτίο, συνδέουμε το ένα σπίτι με τη μία φάση, το επόμενο με την άλλη κ.ο.κ. (Σχ. 7). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα τριφασικά ρεύματα δεν είναι διαφορετικά στη φύση τους από τα «μονοφασικά» εναλλασσόμενα ρεύματα, που μελετήσαμε σε προηγούμενη ενότητα. Προτιμούμε όμως το τριφασικό ρεύμα στο Έθνικό δίκτυο της ΔΕΗ, όπως και στα δίκτυα όλων των χωρών του κόσμου, γιατί η **μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με τριφασικό ρεύμα απαιτεί τους μισούς σχεδόν αγωγούς** από όσους θά απαιτούσε η μεταφορά της ίδιας ενέργειας με «μονοφασικό ρεύμα».

Αν λάβουμε υπόψη ότι το Έθνικό δίκτυο της ΔΕΗ συνδέει όλα μαζί τα εργοστάσια του Έλλαδικού χώρου και έχει μήκος χιλιάδες χιλιόμετρα, θά καταλάβουμε καλύτερα πόση οικονομία σε αλουμίνιο ή χαλκό γίνεται με τη μείωση του αριθμού των αγωγών στο μισό περίπου.

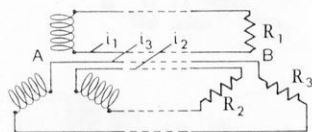
IV. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΠΡΩΤΕΣ ΒΟΗΘΕΙΕΣ

Τό ηλεκτρικό ρεύμα, όταν περάσει μέσα από το ανθρώπινο σώμα, είναι δυνατό να προκαλέσει διάφορες βλάβες, που πιθανό να προξενήσουν τό θάνατο. Αυτό εξαρτάται από την ένταση που έχει τό ρεύμα, όταν περνάει από τό σώμα μας, και από τη διάρκεια διελεύσεως του ρεύματος. Ένταση μεγαλύτερη από 50mA μπορεί να είναι θανατηφόρα.

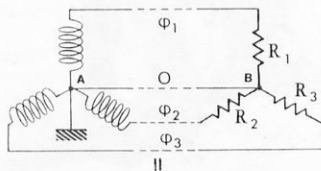
[Η ένταση του ρεύματος που θά περάσει από τό σώμα κανονίζεται από τό νόμο του Ohm



Σχ. 5. Αρχή της παραγωγής τριφασικού ρεύματος

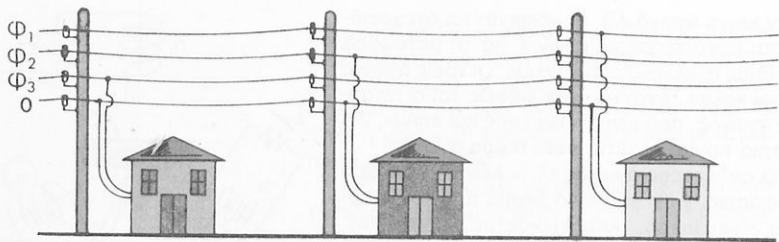


I



II

Σχ. 6. Τό τριφασικό ρεύμα μπορεί να μεταφερθεί με τρεις μόνο αγωγούς που λέγονται φάσεις και ένα τέταρτο λεπτό αγωγό που λέγεται ουδέτερος



Σχ. 7. Τρόπος συνδέσεως τῶν σπιτιῶν μετὸ δίκτυο 220 V



Σχ. 8. Δύο ἀπὸ τοὺς τρόπους πὺν κινδυνεύουμε νὰ πάθουμε θανατηφόρα ἠλεκτροπληξία

καὶ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν τάση, μετὴν ὁποία ἔρχεται σὲ ἐπαφὴ τὸ σῶμα καὶ ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τοῦ σώματος. Ἡ ἀντίσταση αὐτὴ προέρχεται κυρίως ἀπὸ τὴν ἐπιδερμίδα καὶ διαφέρει ἀπὸ ἄνθρωπο σὲ ἄνθρωπο. Χοντρικά κυμαίνεται ἀπὸ 2KΩ (λεπτὴ ἐπιδερμίδα) μέχρι 20KΩ (χοντρή καὶ σκληρὴ ἐπιδερμίδα). Γιά τὸ ἴδιο ἄτομο ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν κατάσταση τοῦ δέρματος (βρεγμένο, στεγνό)].

Γενικά, τάσεις μεγαλύτερες ἀπὸ 40 V μποροῦν νὰ χαρακτηρισθοῦν ὡς ἐπικίνδυνες γιά τὸν ἀνθρώπινο ὄργανισμό.

Ἐκεῖνο πού κυρίως προσβάλλεται σὲ μία ἠλεκτροπληξία εἶναι τὸ **ἀναπνευστικὸ σύστημα**, καὶ ὁ ἄνθρωπος πεθαίνει τελικά ἀπὸ ἀσφυξία. Τὸ πρῶτο πὺν πρέπει νὰ κάνουμε σὲ μία περίπτωση ἠλεκτροπληξίας εἶναι νὰ ἀποσυνδέσουμε γρήγορα τὸν ἄνθρωπο ἀπὸ τὸ ἠλεκτροφόρο καλῶδιο ἢ τὴ συσκευή. Γιά τὸ σκοπὸ αὐτὸ τὸν τραβάμε ἀμέσως ἀπὸ τὰ **ροῦχα του**, φροντίζοντας νὰ μὴν ἀκουμπήσουμε σὲ γυμνὰ μέρη τοῦ σώματός του. Ἄν βρίσκεται ὁ ἄνθρωπος στὸ **λουτρό** ἢ εἶναι βρεγμένο τὰ ροῦχα του, τρέχουμε ἀμέσως στὸ **γενικὸ διακόπτη**, ἢ τὸν τραβάμε μετὴν πλαστικὴ σακούλα καὶ στὴν ἀνάγκη μετὴν δικὰ μας χοντρά – γιά νὰ μὴν προλάβουν νὰ βραχοῦν – ροῦχα. Ἀμέσως μετὰ κάνουμε τεχνητὴ ἀναπνοὴ μετὴν ὁποιοδήποτε τρόπο, ἔστω καὶ ἂν εἴμαστε ἀπειροί, ἐνῶ παράλληλα καλοῦμε κάποιον σὲ βοήθεια γιά νὰ εἰδοποιήσει τὸ γιαντρώ.

Ἡ τεχνητὴ ἀναπνοὴ πρέπει νὰ συνεχισθεῖ ἀδιάκοπα γιά πολλές ὥρες. Παράλληλα ὁ ἠλεκτροπληκτός πρέπει νὰ διατηρεῖται ζεστός μετὴν σκεπάσματα ἢ θερμοφόρες.

ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ
(έτος 1971)
ισχύς σε MW

Κρεμαστά	437
Καστράκι	320
Ταυρωπός (ή Μέγδοβας)	130
Άγρας (Έδεσσα)	50
Λάδων	70

ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ
ΘΕΡΜΙΚΑ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ
(έτος 1976)
ισχύς σε MW

Πτολεμαΐδα	620
Κερατσίνι	480
Λαύριο	450
Άλιβέρι	380
Καρδιά	300
Μεγαλόπολη	250

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

1. Διακρίνουμε δύο ειδών ηλεκτρικά έργαστάσια: τὰ θερμικά καί τὰ ὑδροηλεκτρικά. Τὰ ὑδροηλεκτρικά μετατρέπουν τή μηχανική ἐνέργεια μίας ὕδατοπτώσεως σέ ηλεκτρική.
2. Οἱ γεννήτριες στά ηλεκτρικά ἐργοστάσια παράγουν τριφασικό ρεύμα, δηλ. τρία συγχρόνως ρεύματα σέ τρία πηνία πού βρίσκονται στό στάτορα καί σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120°.
3. Ἡ μεταφορά ηλεκτρικῆς ἐνέργειας μέ τριφασικό ρεύμα συμφέρει οικονομικά, γιατί χρειάζεται λιγότερο καλώδιο ἀπό τή μεταφορά τῆς ἴδιας ἐνέργειας μέ «μονοφασικό» ρεύμα.
4. Κατά τήν ηλεκτροπληξία προσβάλλεται πρῶτα τό ἀναπνευστικό σύστημα, γι' αὐτό οἱ πρῶτες βοήθειες πού πρέπει νά δώσουμε στόν ηλεκτροπληκτο εἶναι ἡ τεχνητή ἀναπνοή.

Ε Ρ Ω Τ Η Σ Ε Ι Σ

1. Πῶς πετυχαίνουμε περίπου ἰσοκατανομή τοῦ φορτίου στίς φάσεις, ὅταν μοιράζουμε τήν ηλεκτρική ἐνέργεια στήν κατανάλωση;
2. Τί περιλαμβάνει σέ γενικές γραμμές μία ὑδροηλεκτρική ἐγκατάσταση;
3. Πῶς ρυθμίζεται ἡ παραγόμενη ἰσχύς τῶν ὑδροηλεκτρικῶν ἐργοστασίων καί γιά ποῖό λόγο εἶναι ἀναγκαῖα ἡ ρύθμιση;
4. Γιατί ἡ ζήτηση σέ ηλεκτρική ἐνέργεια εἶναι μεγάλη τίς ἐσπερινές ὥρες καί μικρή μετά τὰ μεσάνυκτα;
5. Γιατί στά ηλεκτρικά ἐργοστάσια προτιμοῦμε τίς τριφασικές γεννήτριες;

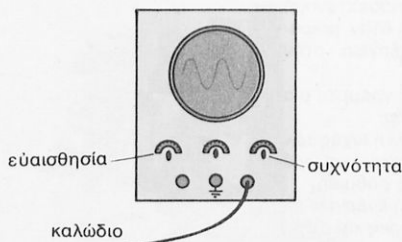


ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Σχ. 1. Δορυφορικός σταθμός εδάφους στις Θερμοπύλες. Ο σταθμός εξασφαλίζει ασύρματη τηλεπικοινωνία της Ελλάδας με άλλες χώρες μέσω τεχνητών δορυφόρων. Η σύνδεση με τους δορυφόρους και τις χώρες γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα



Σχ. 2. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δημιουργούν στο καλώδιο (κεραία) ένα εναλλασσόμενο ρεύμα

Κάθε φορά που ανάβουμε ή σβήνουμε τό φως και έχουμε ανοιγμένο τό ραδιόφωνο, ακούγεται ένας μικρός θόρυβος "γκρρ" στο μεγάφωνο. Παρόμοιοι θόρυβοι (παράσιτα) ακούγονται στο ραδιόφωνο και όταν στην ατμόσφαιρα ξεσπούν ηλεκτρικοί σπινθήρες (άστραπές, κεραυνοί).

Οί θόρυβοι αυτοί στο ραδιόφωνο προκαλούνται από ειδικά κύματα που παράγονται κάθε φορά που ή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλεται και ονομάζονται ήλεκτρομαγνητικά κύματα.

II. ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΙ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ.

Αν κάθε μεταβολή στο ρεύμα δημιουργεί ήλεκτρομαγνητικά κύματα, τότε θά πρέπει στά σπίτια μας, στά έργαστήρια και γενικά όπου υπάρχουν δίκτυα έναλλασσόμενου ρεύματος νά υπάρχουν ήλεκτρομαγνητικά κύματα, γιατί στο έναλλασσόμενο ρεύμα ή ένταση διαρκώς μεταβάλλεται.

Μπορούμε εύκολα νά διαπιστώσουμε την ύπαρξη αυτών των κυμάτων μέ έναν **παλμογράφο** (Σχ. 2). (Ρυθμίζουμε την εύαισθησία του παλμογράφου στο μέγιστο και γυρίζουμε τό κουμπί που ρυθμίζει τή συχνότητα όριζόντιας ταλαντώσεως τής δέσμης του παλμογράφου στην περιοχή $10 \div 100\text{Hz}$.)

Βάζουμε ένα καλώδιο στην είσοδο τής κατακόρυφης αποκλίσεως τής δέσμης του παλμογράφου, φροντίζοντας νά μήν άκουμπάει τό άλλο άκρο του καλωδίου πουθενά. Τότε παρατηρούμε στην οθόνη του παλμογράφου μία ήμιτονοειδή καμπύλη.

Τό καλώδιο στην είσοδο του παλμογράφου λειτουργεί όπως ή κεραία του ραδιοφώνου. Τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα συναντούν τό καλώδιο, βάζουν σέ κίνηση τά ελεύθερα ήλεκτρόνια του και προκαλούν μέ τόν τρόπο αυτό έναλλασσόμενο ρεύμα μέσα στο καλώδιο. Τό ρεύμα αυτό, όπως είναι φυσικό, μεταβάλλεται μέ τόν τρόπο που καθορίζουν τά κύματα. Άρα τά κύ-

ματα πρέπει να έχουν μορφή ήμιτονοειδή εάν αυτή που βλέπουμε στην οθόνη. Έπομένως:

Τό εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί στο γύρω χώρο ηλεκτρομαγνητικά κύματα που έχουν μορφή ήμιτονοειδή.

Με τον παλμογράφο μπορούμε επίσης να μετρήσουμε τη συχνότητα του κύματος που παράγει τό εναλλασσόμενο ρεύμα του ηλεκτρικού δικτύου της ΔΕΗ. Από τη μέτρηση αυτή προκύπτει συχνότητα 50 Hz, δηλ. ίση με τη συχνότητα του ρεύματος της ΔΕΗ.

III. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ

Τό ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως και ή ίδια ή λέξη τό λέει, είναι ένα σύνθετο κύμα που αποτελείται από ένα ηλεκτρικό (Σχ. 3) και ένα μαγνητικό (Σχ. 4) κύμα.

Τό ηλεκτρικό κύμα εκφράζει τίς μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου και τό μαγνητικό κύμα εκφράζει τίς μεταβολές του μαγνητικού πεδίου που εμφανίζονται γύρω από έναν αγωγό, που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Καί τά δύο κύματα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός.

Τά δύο αυτά κύματα είναι άχωριστα μεταξύ τους και αποτελούν τό **ηλεκτρομαγνητικό κύμα** (Σχ. 5).

Τό ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι κύμα **έγκάρσιο**.

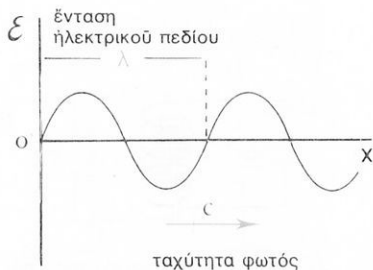
Συχνά για λόγους εύκολιας, όταν παριστάνουμε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, σχεδιάζουμε μόνο τό ηλεκτρικό κύμα.

IV. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΨΙΣΥΧΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Τό εναλλασσόμενο ρεύμα του ηλεκτρικού δικτύου της ΔΕΗ δέν είναι κατάλληλο για την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που χρειάζεται ή τηλεπικοινωνία, γιατί έχει μικρή συχνότητα. Ρεύματα κατάλληλα για την τηλεπικοινωνία είναι όσα έχουν ύψηλές συχνότητες (**ύψισυχνα ρεύματα**).

Ύψισυχνα ρεύματα μπορούν να παραχθούν με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει έναν πυκνωτή και ένα πηνίο (Σχ. 6, I).

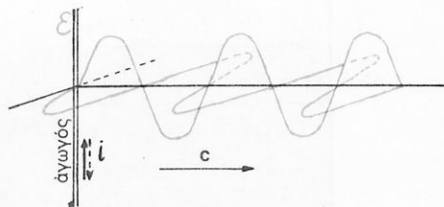
Γιά να γίνει κατανοητή ή λειτουργία ενός τέτοιου κυκλώματος έκτελούμε τό παρακάτω πείραμα (Σχ. 6, II). Φορτίζουμε τόν πυκνωτή με μία ηλεκτρική πηγή και κατόπιν με ένα διακόπτη



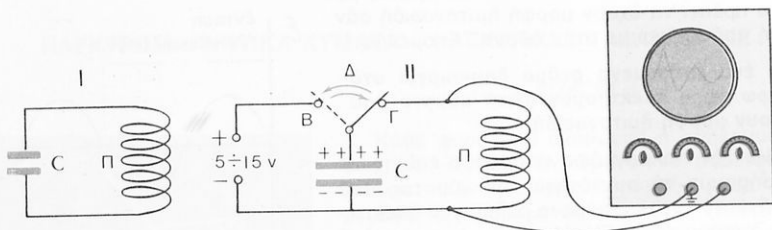
Σχ. 3. Ηλεκτρικό κύμα ($c = \lambda \nu$)



Σχ. 4. Μαγνητικό κύμα ($c = \lambda \nu$)



Σχ. 5. Τό εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα (έγκάρσια κύματα)



Σχ. 6. Τό κύκλωμα «πυκνωτής - πηνίο» κάνει φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση. (Για να φανεί η ταλάντωση γυρίζουμε τό κουμπί τής συχνότητας

του παλμογράφου σέ κατάλληλη περιοχή. π.χ. $10 \div 100 \text{ Hz}$, όταν $c = 20 \mu\text{F}$ καί $\Pi = 600$ σπείρες μέ πυρήνα)

Δ συνδέουμε τόν πυκνωτή μέ τό πηνίο. Μέ τή βοήθεια ενός παλμογράφου διαπιστώνουμε ότι μέσα στό κύκλωμα κυκλοφορεί, γιά μικρό χρονικό διάστημα, έναλλασσόμενο ρεύμα. Ένα τέτοιο έναλλασσόμενο ρεύμα λέγεται ειδικότερα ηλεκτρική ταλάντωση. Άρα:

Ηλεκτρική ταλάντωση λέγεται ένα έναλλασσόμενο ρεύμα πού εμφανίζεται σέ κύκλωμα πού περιλαμβάνει ένα πηνίο καί έναν πυκνωτή.

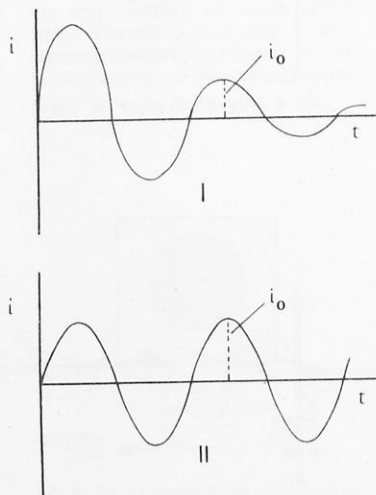
Άν στό παραπάνω πείραμα χρησιμοποιήσουμε διάφορους πυκνωτές καί πηνία, βρίσκουμε ότι ή συχνότητα τής ηλεκτρικής ταλάντωσης εξαρτάται από τόν πυκνωτή καί τό πηνίο.

Μέ μία κατάλληλη έπιλογή πηνίου καί πυκνωτή μπορούμε νά πραγματοποιήσουμε ηλεκτρικές ταλαντώσεις μέ μεγάλη συχνότητα, δηλ. ύψισυχνα ρεύματα. Άρα:

Μέ ένα κύκλωμα πού περιλαμβάνει κατάλληλο πηνίο καί κατάλληλο πυκνωτή μπορούμε νά παράγουμε ύψισυχνα ηλεκτρικά ρεύματα.

V. ΦΘΙΝΟΥΣΑ ΚΑΙ ΑΜΕΙΩΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ

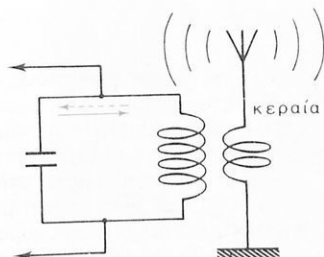
Όπως προκύπτει από τήν εικόνα πού δείχνει ό παλμογράφος στό Σχ. 6, ή ηλεκτρική ταλάντωση του κύκλωματος δέν έχει σταθερό πλάτος. Τό πλάτος μέ τό πέρασμα-του χρόνου μικραίνει καί πολύ γρήγορα μηδενίζεται. Μιά τέτοια ηλεκτρική ταλάντωση λέγεται **φθίνουσα** (Σχ. 7, I). Άντίθετα, αν τό πλάτος μιάς ηλεκτρι-



Σχ. 7. I. Φθίνουσα ηλεκτρική ταλάντωση. II. Άμείωτη ηλεκτρική ταλάντωση

κῆς ταλαντώσεως ἔνεν σταθερό, ἢ ταλάντωση λέγεται **ἀμείωτη** (Σχ. 7, II).

Ἡ ἡλεκτρικὴ ταλάντωση τοῦ κυκλώματος «πηνίο-πυκνωτής» μοιάζει μὲ τὴν ταλάντωση πού κάνει μία χορδὴ. Ὄταν ἐκτρέπουμε τὴ χορδὴ ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας καὶ τὴν ἀφήνουμε ἐλεύθερη, αὐτὴ ταλαντεύεται γύρω ἀπὸ τὴ θέση ἰσορροπίας μὲ πλάτος πού διαρκῶς μικραίνει καὶ γρήγορα γίνεται μηδέν. Ἡ μείωση τοῦ πλάτους ταλαντώσεως τῆς χορδῆς συμβαίνει γιατί ἡ μηχανικὴ τῆς ἐνέργειας μετατρέπεται σὲ **θερμότητα** καὶ σὲ **ἡχητικὴ ἐνέργεια** πού διαδίδεται στὸ περιβάλλον. Στὴν περίπτωση τῆς ἡλεκτρικῆς ταλαντώσεως, ἡ ἐνέργεια πού ἔχει στὴν ἀρχὴ τὸ κύκλωμα (ἀποθηκευμένη στὸν πυκνωτὴ) μετατρέπεται σὲ **θερμότητα** καὶ σὲ **ἡλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία**. Ὅσο διαρκεῖ ἡ ἡλεκτρικὴ ταλάντωση, τόσο διαρκεῖ καὶ ἡ ἡλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία.



Σχ. 8. Πομπὸς ἡλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων (ἀρχή). (Στὴν κεραία δημιουργοῦνται ὑψίσυχνα ρεύματα μὲ ἐπαγωγή)

VI. ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΠΟΜΠΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Στὴ ραδιοφωνία, στὴν τηλεόραση κτλ. τὰ ἡλεκτρομαγνητικὰ κύματα παράγονται μὲ ειδικές συσκευές πού λέγονται **πομποὶ** καὶ ἀκτινοβολοῦνται στὸ γύρω χώρο μὲ τὴ βοήθεια μίας κεραίας. Τὰ κύματα αὐτὰ ἔχουν μεγάλη συχνότητα καὶ παράγονται μὲ ἡλεκτρικὲς ταλαντώσεις. Ἀρα κάθε πομπὸς πρέπει νὰ ἔχει ἓνα κύκλωμα μὲ πηνίο καὶ πυκνωτὴ, τὸ ὁποῖο μὲ κατάλληλο τρόπο νὰ παίρνει ἐνέργεια ἀπὸ μίαν ἡλεκτρικὴ πηγὴ καὶ νὰ ἐκτελεῖ ἔτσι ἀμείωτη ἡλεκτρικὴ ταλάντωση (Σχ. 8).

Τὰ ἡλεκτρομαγνητικὰ κύματα πού ἐκπέμπονται ἀπὸ τὴν κεραία μεταφέρουν μὲ κατάλληλο τρόπο τὴ φωνή, τὴ μουσικὴ ἢ τίς εἰκόνες σὲ μεγάλες ἀποστάσεις ἀπὸ τὸν πομπό.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πότε δημιουργεῖται ἓνα ὁποιοδήποτε ἡλεκτρομαγνητικὸ κύμα καὶ πότε ἓνα ἡμιτονοειδές ἡλεκτρομαγνητικὸ κύμα;
2. Ποῦ ὀφείλονται τὰ παράσιτα πού ἀκούγονται στὸ ραδιόφωνο τὶς μέρες πού ἐκδηλώνονται καταιγίδες;
3. Μποροῦμε νὰ δημιουργήσουμε ἡλεκτρικά κύματα χωρὶς νὰ συνοδεύονται ἀπὸ μαγνητικά;
4. Τί εἶναι καὶ πῶς παράγονται τὰ ὑψίσυχνα ρεύματα;
5. Γιατί ἡ ἡλεκτρικὴ ταλάντωση πού κάνει τὸ κύκλωμα «πηνίο - πυκνωτής» (Σχ. 6) εἶναι φθίνουσα;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ένα σύνθετο κύμα που αποτελείται από δύο αχώριστα μεταξύ τους κύματα, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό κύμα.
2. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα παράγεται κάθε φορά που ή ένταση του ρεύματος σε κάποιον αγωγό μεταβάλλεται. Όταν ή μεταβολή του ρεύματος είναι ήμιτονοειδής, όπως συμβαίνει στο έναλλασσόμένο ρεύμα του ηλεκτρικού δικτύου, τό κύμα έχει ήμιτονοειδή μορφή.
3. Ηλεκτρική ταλάντωση ονομάζεται τό έναλλασσόμένο ρεύμα που έμφανίζεται σε ένα κύκλωμα που περιλαμβάνει ένα πηνίο και έναν πυκνωτή. Μέ ένα τέτοιο κύκλωμα και μέ κατάλληλο πυκνωτή και πηνίο παράγουμε ύψίσυχνα ρεύματα.
4. Η ηλεκτρική ταλάντωση του κυκλώματος «πηνίο-πυκνωτής» είναι φθίνουσα γιατί ή ενέργεια που δίνουμε αρχικά στο κύκλωμα μετατρέπεται σε θερμότητα και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
5. Οι πομποί μέ κατάλληλη διάταξη παράγουν αμείωτες ηλεκτρικές ταλαντώσεις και μέ τη βοήθεια της κεραίας εκπέμπουν στο χώρο ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεγάλης ισχύος.

43η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τηλεπικοινωνία είναι ένας κλάδος της έφαρμοσμένης Φυσικής που ασχολείται μέ τά μέσα εκείνα, που διευκολύνουν τή μεταβίβαση μηνυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Τά μηνύματα αυτά μπορεί νά είναι μουσική, φωνή, εικόνες κτλ. Για τήν πραγματοποίηση αυτού του σκοπού υπάρχει πάντα ένας **πομπός** που στέλνει τό μήνυμα και ένας **δέκτης** που δέχεται τό μήνυμα.

Όταν ή σύνδεση πομπού - δέκτη γίνεται μέ καλώδια, τότε ή τηλεπικοινωνία λέγεται έν-σ ύ ρ μ α τ η (Σχ. 1), ενώ όταν ή σύνδεση γίνεται μέ τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ή τηλεπικοινωνία λέγεται ά σ ύ ρ μ α τ η (Σχ. 2).

Τά μέσα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται είναι πολλών ειδών, ανάλογα μέ τήν πληροφορία που θέλουμε νά μεταφέρουμε. Τό τηλέφωνο, τό τηλέτυπο, τό ραδιόφωνο και ή τηλεόραση είναι μερικά από τά πιό γνωστά.

Σέ προηγούμενα μαθήματα περιγράψαμε τόν τηλέγραφο, τώρα θά περιγράψουμε τό τηλέφωνο και τό τηλέτυπο. Γιά νά καταλάβετε



Σχ. 1. Ένούρματη τηλεπικοινωνία
(Τηλεφ. γραμμές Βόλου - Λάρισας)

καλύτερα τη λειτουργία του τηλεφώνου, πρέπει να γνωρίζετε την κατασκευή και τη λειτουργία του μικροφώνου και του ακουστικού.

II. ΤΟ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ

Τό μικρόφωνο είναι μία συσκευή που χρησιμοποιείται τόσο στα τηλέφωνα όσο και σε πολλές άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μικροφώνων, αλλά τό πιο συνηθισμένο είναι τό **μικρόφωνο μέ κόκκους άνθρακα** που χρησιμοποιείται πολύ στην τηλεφωνία. Αυτό τό μικρόφωνο περιέχει κόκκους άνθρακα, που συγκρατούνται ανάμεσα σε μία βάση από άνθρακα (τόν ύποδοχέα) και μία λεπτή πλάκα επίσης από άνθρακα (Σχ. 3).

"Όταν δέν πέφτει ήχος στή λεπτή πλάκα, μέσα από τό κύκλωμα περνάει συνεχές ρεύμα (Σχ. 4, I). "Όταν όμως πέφτει ήχος πάνω στην πλάκα, τό μικροφωνικό ρεύμα γίνεται μεταβαλλόμενο (Σχ. 4, II).

"Ένα απλό πείραμα, μέ τό οποίο γίνεται αντιληπτή ή άρχή τής λειτουργίας του μικροφώνου, είναι αυτό που φαίνεται στό Σχ. 5. "Όταν φέρνουμε σε έπαφή τά δύο ηλεκτρόδια του άνθρακα (καρβουνάκια από ξηρά ηλεκτρικά στοιχεία), τό λαμπάκι ανάβει. "Αν πιέσουμε τά ηλεκτρόδια, τό φώς γίνεται ζωηρότερο. Αυτό σημαίνει πώς ή ένταση του ρεύματος γίνεται μεγαλύτερη. "Αρα:

"Όταν αύξάνει ή πίεση, τά ηλεκτρόδια του άνθρακα έρχονται σε καλύτερη έπαφή, μικραίνει ή αντίσταση στην έπαφή και τό ρεύμα μεγαλώνει. "Επομένως, άν ή πίεση μεταβάλλεται περιοδικά, τότε και τό ρεύμα θά μεταβάλλεται περιοδικά. Αυτό άκριβώς συμβαίνει στό μικρόφωνο.

Τά κύματα του ήχου πιέζουν την πλάκα και αυτή τούς κόκκους μέ αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ή αντίσταση των κόκκων. "Ετσι παράγεται μεταβαλλόμενο ρεύμα που έχει την ίδια μορφή μέ τόν ήχο.

III. ΤΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟ

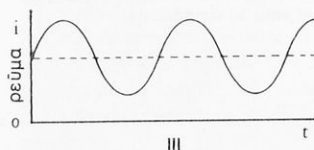
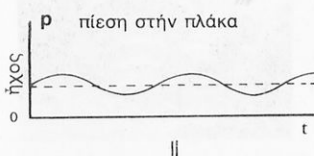
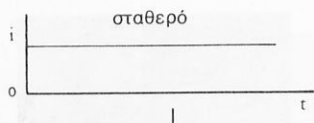
"Όπως είδαμε τό μικρόφωνο μετατρέπει τούς ήχους σε μεταβολές ρεύματος, ενώ ένα ακουστικό κάνει άκριβώς τό αντίστροφο, δηλαδή μετατρέπει τίς μεταβολές του ρεύματος σε ήχο.



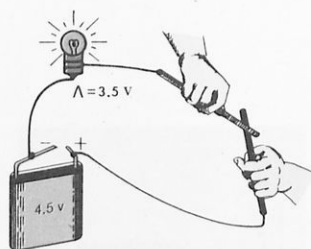
Σχ. 2. Ασύρματη τηλεπικοινωνία (Σταθμός μικροκυμάτων Γερανίων μέ κεραία τηλεοράσεως)



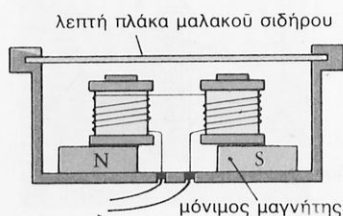
Σχ. 3. Μικρόφωνο μέ κόκκους άνθρακα



Σχ. 4. Το μικροφωνικό ρεύμα i έχει την ίδια μορφή με το ήχητικό κύμα



Σχ. 5. Όταν πιέζουμε τα ηλεκτρόδια άνθρακα, το λαμπάκι ζωηρεύει



Σχ. 6. Άκουστικό

Τα κύρια μέρη του ακουστικού είναι ένας μόνιμος μαγνήτης, δύο πηνία που περιβάλλουν τούς πόλους του μαγνήτη και μία λεπτή πλάκα από μαλακό σίδηρο (Σχ. 6).

Όταν δέν περνάει ρεύμα από τα πηνία, η λευκή πλάκα έλκεται συνέχεια από τό μαγνήτη μέ **σταθερή δύναμη**.

Όταν όμως περνάει τό μικροφωνικό ρεύμα από τά πηνία του ακουστικού, **ή δύναμη** που άσκειται στην πλάκα **μεταβάλλεται** στον ίδιο ρυθμό που μεταβάλλεται καί τό ρεύμα. Έτσι ή λεπτή πλάκα ταλαντεύεται στό ρυθμό του ρεύματος καί αναπαράγεται ήχος όμοιος μέ αυτόν που πέφτει στό μικρόφωνο.

IV. ΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ

Κάθε τηλεφωνική συσκευή διαθέτει ένα μικρόφωνο καί ένα ακουστικό. Γιά νά μεταβιβαστεί ή φωνή από τή μία συσκευή στην άλλη πρέπει νά υπάρχει καί μία πηγή συνεχούς ρεύματος (Σχ. 7) 'Η πηγή αυτή στίς αυτόματες τηλεφωνικές εγκαταστάσεις βρίσκεται στά τηλεφωνικά κέντρα.

V. ΤΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ

Πολλές συσκευές τηλεπικοινωνίας, όπως τό ραδιόφωνο καί ή τηλεόραση, δέ χρησιμοποιούν ακουστικό γιά τήν αναπαραγωγή του ήχου, αλλά megάφωνο.

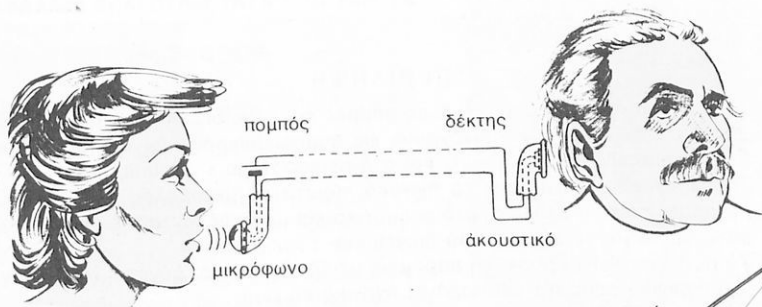
Τό megάφωνο έχει κατασκευή παρόμοια μέ τό ακουστικό. Αποτελείται δηλ. καί αυτό από ένα μόνιμο μαγνήτη, ένα πηνίο καί μία ελαστική μεβράνα από ύφασμα ή χαρτόνι (Σχ. 8). 'Η κορυφή τής μεβράνας είναι στερεωμένη στό πηνίο καί κινείται μαζί του.

Τό μικροφωνικό ρεύμα, αφού ένισχυθεί κατάλληλα μέ έναν **ένισχυτή**, διοχετεύεται στό πηνίο του megάφωνου. Έτσι τό πηνίο μπαίνει σέ ταλάντωση καί ή μεβράνα αναπαράγει τόν ήχο.

Έπειδή ή παλλόμενη επιφάνεια του megάφνου (μεβράνα) είναι μεγαλύτερη από τήν παλλόμενη επιφάνεια του ακουστικού (πλάκα) καί τό ρεύμα ένισχυμένο, ό ήχος του megάφνου είναι πιο ίσχυρός.

VI. ΤΟ ΤΗΛΕΤΥΠΟ (TELEX)

Τά τηλέτυπα είναι συσκευές που μάς έπι-



Σχ. 7. Τηλέφωνο.

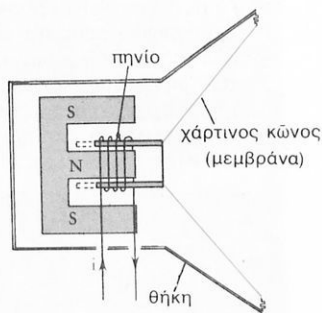
τρέπουν να στέλνουμε γραπτά μηνύματα σε μεγάλες αποστάσεις με την ταχύτητα του φωτός. Ο ρόλος τους επομένως είναι ανάλογος προς τό ρόλο του τηλέγραφου, του οποίου αποτελούν βελτιωμένη μορφή.

Ένα τηλέτυπο μπορεί να είναι ή μόνο πομπός ή μόνο δέκτης ή συχνά και πομπός και δέκτης.

Ο πομπός ενός τηλέτυπου περιλαμβάνει ένα δίσκο επιλογής αριθμών, ένα πληκτρολόγιο (όπως ή γραφομηχανή) και ένα μηχανισμό παραγωγής ηλεκτρικών παλμών.

Ο δίσκος επιλογής αριθμών λειτουργεί όπως και ο αντίστοιχος δίσκος των τηλεφώνων. Με τη βοήθειά του επιλέγουμε τόν αριθμό του τηλέτυπου - δέκτη που θέλουμε να συνδεθεί ο πομπός μας.

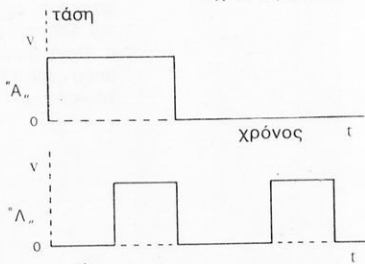
Τό πληκτρολόγιο λειτουργεί σαν μία γραφομηχανή, αλλά κάθε φορά που χτυπάμε ένα πλήκτρο, ένας κατάλληλος μηχανισμός δημιουργεί ηλεκτρικούς παλμούς διαφορετικούς για κάθε γράμμα (Σχ. 10). Όταν οι παλμοί αυτοί φθάνουν στο δέκτη, διεγείρουν τούς ηλεκτρομαγνήτες των πλήκτρων του δέκτη και με τόν τρόπο αυτό γράφονται τά ίδια γράμματα που στείλαμε. (Τά πλήκτρα έλκονται από τούς ηλεκτρομαγνήτες, όπως έλκεται ή γραφίδα του τηλέγραφου). Η σύνδεση πομπού - δέκτη μπορεί να είναι είτε ασύρματη είτε ενσύρματη, όπως και στά τηλεφώνα.



Σχ. 8. Μεγάφωνο



Σχ. 9. Τηλέτυπο



Σχ. 10. Σε κάθε γράμμα αντιστοιχεί και μία μορφή ηλεκτρικών παλμών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Στην τηλεπικοινωνία υπάρχει ένας πομπός και ένας δέκτης. Οι τηλεφωνικές συσκευές λειτουργούν ταυτόχρονα ως πομποί (μικρόφωνο) και ως δέκτες (άκουστικό). Τό ίδιο συμβαίνει και στα περισσότερα τηλέτυπα.
2. Τό μικρόφωνο μετατρέπει τά ήχητικά κύματα σέ μεταβολές ρεύματος. Οι μεταβολές αυτές φτάνουν στό άκουστικό και μετατρέπονται σέ ήχητικά κύματα όμοια μέ τά κύματα πού διεγείρουν τό μικρόφωνο.
3. Τό megάφωνο είναι συσκευή παρόμοια μέ τό άκουστικό. Δέχεται ένισχυμένα μικροφωνικά ρεύματα και παράγει ήχητικά κύματα.
4. Τό τηλέτυπο είναι μία συσκευή πού χρησιμοποιείται γιά τή μεταβίβαση γραπτών μηνυμάτων. Ό ρόλος του είναι ίδιος μέ τό ρόλο ενός τηλέγραφου, αλλά ή λειτουργία του διαφορετική. Γιά τή μεταβίβαση τών γραμμάτων χρησιμοποιείται κώδικας από ηλεκτρικούς παλμούς, πού παράγει τό ίδιο τό τηλέτυπο, ένw στόν τηλέγραφο, οι παλμοί αυτοί παράγονται από τό χειριστή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πού στηρίζεται ή λειτουργία του μικροφώνου μέ κόκκους άνθρακα;
2. Νά παραστήσετε γραφικά τό μικροφωνικό ρεύμα σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο α) όταν δέν πέφτει ήχος στό μικρόφωνο και β) όταν πέφτει άρμονικός (ήμιτονοειδής) ήχος.
3. Από ποιά μέρη αποτελείται ένα άκουστικό και ένα megάφωνο; Νά κάνετε ένα απλό σχέδιο γιά τό κάθε ένα όργανο.
4. Γιά ποιούς λόγους ό ήχος ενός megαφώνου είναι ισχυρότερος από τόν ήχο ενός άκουστικού;
5. Τί από τά επόμενα είναι μία τηλεφωνική συσκευή; α) πομπός β) δέκτης γ) πομπός και δέκτης. δ) Τίποτε από όλα αυτά.
6. Ποιά βασικά μέρη περιλαμβάνει ό πομπός ενός τηλέτυπου και τί λειτουργία έχει τό καθένα;

ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Στό κεφάλαιο αυτό θά μελετήσουμε τό φαινόμενο τής ηλεκτρικής άγωγής τών στερεών, υγρών καί αερίων.

Σέ προηγούμενες ένότητες άναπτύχθηκε μόνο ή άγωγιμότητα τών μετάλλων καί είδαμε ότι όφείλεται σέ ένα μεγάλο πλήθος άπό άδέσμευτα ηλεκτρόνια πού περιπλανιούνται έλεύθερα άνάμεσα στά ίόντα τού μεταλλικού κρυστάλλου (έλεύθερα ηλεκτρόνια).

Στά ηλεκτρολυτικά διαλύματα τό πέρασμα τού ρεύματος όφείλεται σέ θετικά καί άρνητικά ίόντα πού κινούνται έλεύθερα στή μάζα τους καί τέλος στά άέρια ή άγωγιμότητα όφείλεται τόσο σέ θετικά καί άρνητικά ίόντα όσο καί σέ έλεύθερα ηλεκτρόνια.

Τά ηλεκτρόνια, τά θετικά ίόντα καί τά άρνητικά ίόντα, λέγονται μέ μία λέξη φορείς τοϋ ηλεκτρισμοϋ.

Ανάλογα μέ τό πλήθος τών φορέων, τά υλικά παρουσιάζουν διαφορετική άγωγιμότητα μεταξύ τους καί κατατάσσονται σέ τρεις κατηγορίες: Στους άγωγούς, στους ήμιαγωγούς καί στους μονωτές. Οί μονωτές στερούνται τελείως ηλεκτρικών φορέων, ενώ οί ήμιαγωγοί έχουν μικρό άριθμό φορέων καί γι' αυτό έχουν καί μικρή άγωγιμότητα.

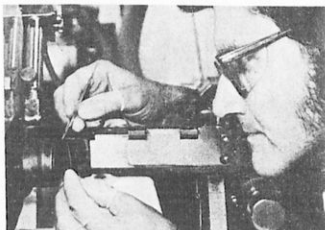
ΙΙ. ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Μερικοί άπό τούς πιο γνωστούς ήμιαγωγούς είναι τό Si (πυρίτιο) καί τό Ge (γερμάνιο) (Σχ. 1 καί Σχ. 2). Τά στοιχεία αυτά άνήκουν στήν τέταρτη ομάδα τού περιοδικού συστήματος καί τά άτομά τους έχουν τέσσερα ηλεκτρόνια στήν έξωτερική τους στιβάδα.

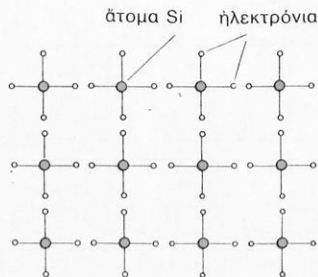
Η άγωγιμότητά τους όταν είναι καθαρά είναι άσήμαντη καί δέν παρουσιάζει πρακτικό ένδιαφέρον. Όταν όμως άναμειγνύονται τά στοιχεία αυτά μέ άλλα στοιχεία (Al, As, κτλ.), αύξάνεται πολύ ή άγωγιμότητά τους καί τότε άποκοϋν πολλές πρακτικές εφαρμογές.



Σχ. 1. Κρύσταλλος καθαρού πυριτίου (Si)



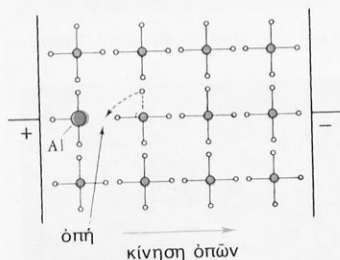
Σχ. 2. Ο κρύσταλλος Si κόβεται μέ διαμάντι σέ λεπτές φέτες καί κατόπιν μέ χημικές μεθόδους εισάγονται στόν κρύσταλλο προσμίξεις άλουμινίου (Al) ή άρσενικού (As)



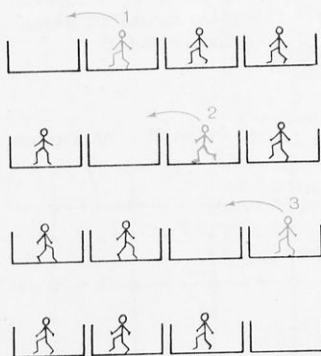
Σχ. 3. Κρυσταλλική δομή καθαρού πυριτίου (Si)



Σχ. 4. Ήμιαγωγός τύπου n



Σχ. 5. Ήμιαγωγός τύπου p



Σχ. 6. Μηχανικό παράδειγμα ανάλογο προς την κίνηση θετικής όπης

α. Ήμιαγωγοί τύπου n

Τά άτομα στον καθαρό κρύσταλλο πυριτίου (ή γερμανίου) είναι κανονικά διαταγμένα, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Κάθε άτομο πυριτίου περιβάλλεται από τέσσερα άλλα άτομα, με τα οποία σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς. Έτσι κάθε άτομο στον κρύσταλλο έχει συμπληρωμένη την εξωτερική του στιβάδα με 8 ηλεκτρόνια.

Ας υποθέσουμε ότι μερικά άτομα Si αντικαθίστανται με άτομα ενός πεντασθενούς στοιχείου, όπως είναι το As (άρσενικό) (Σχ. 4). Τά άτομα του άρσενικού έχουν 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στιβάδα. Από αυτά τα τέσσερα σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γύρω άτομα Si, ενώ τό πέμπτο παραμένει αδέσμευτο. Αυτό τό πέμπτο ηλεκτρόνιο φεύγει από τό άτομο του As καί περιπλανιέται ελεύθερο μέσα στον κρύσταλλο.

Αναμειγνύοντας επομένως καθαρό Si με πεντασθενές στοιχείο, δημιουργούμε μέσα στον κρύσταλλο ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Έτσι ο κρύσταλλος αποκτά αγωγιμότητα. Οι ήμιαγωγοί που προκύπτουν από την ανάμειξη Si ή Ge με ένα πεντασθενές στοιχείο, ονομάζονται **ήμιαγωγοί τύπου n** (negative = αρνητικός).

β. Ήμιαγωγοί τύπου p

Ας υποθέσουμε ότι ο κρύσταλλος του Si ή Ge περιέχει έναν αριθμό ατόμων τρισθενούς στοιχείου π.χ. Al (Σχ. 5). Τό Al έχει στην εξωτερική του στιβάδα 3 μόνο ηλεκτρόνια, τά οποία δέν έπαρκοούν νά συμπληρώσουν τέσσερις χημικούς δεσμούς με τά γειτονικά άτομα του Si. Επομένως, όπου υπάρχουν άτομα τρισθενούς στοιχείου, εκεί υπάρχει καί ένας άσυμπλήρωτος χημικός δεσμός, δηλ. υπάρχει κάποιο «κενό». Αυτό τό κενό ονομάζεται **όπή**, καί χάρη στίς όπές τό ύλικό μπορεί νά άγει τόν ηλεκτρισμό.

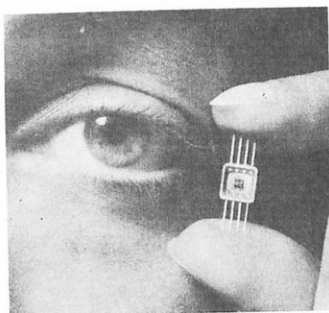
Ένας εύκολος τρόπος νά καταλάβουμε πώς οί όπές εξασφαλίζουν την αγωγιμότητα του κρυστάλλου, είναι νά τίς φανταστούμε «**σάν θετικά φορτία που κινούνται ελεύθερα ανάμεσα από τά άτομα όπως περίπου τά ελεύθερα ηλεκτρόνια**».

Στήν πραγματικότητα όμως συμβαίνει κατί διαφορετικό. Ήλεκτρόνια από διπλανά άτομα κινούνται πρós τίς όπές, αφήνοντας πίσω τους

άλλες όπές κ.ο.κ. (Σχ. 5). Μέ τόν τρόπο αυτό οι όπές κινούνται αντίθετα πρός τά ήλεκτρόνια, δηλ. από τό θετικό πρός τόν άρνητικό πόλο τής πηγής.

Ένα μηχανικό παράδειγμα γιά τήν κατανόηση τής κινήσεως μιås όπής είναι τό ακόλουθο (Σχ. 6). Σέ μία σειρά από καθίσματα ύπάρχει ένα κάθισμα άδειο. Ό άνθρωπος πού κάθεται δίπλα στό άδειο κάθισμα μετακινείται κατά μία θέση, ύστερα ό άλλος κ.ο.κ. Μέ τόν τρόπο αυτό τελικά ή κενή θέση μετατοπίζεται πρός τά δεξιά, δηλ. αντίθετα πρός τήν κίνηση τών ανθρώπων. Έπειδή ή κίνηση τών όπών ίσοδυναμεί μέ κίνηση θετικών φορτίων, οι ήμιαγωγοί τής κατηγορίας αυτής λέγονται **ήμιαγωγοί τύπου p** (positive = θετικός).

Οι ήμιαγωγοί τύπου n καί p χρησιμοποιούνται γιά τήν κατασκευή κρυσταλλολυχνιών (transistors) πού είναι άπαραίτητες σέ όλες τίσ ήλεκτρονικές κατασκευές (ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, υπολογιστήρες κτλ).



Σχ. 7. Η μικρή τετράγωνη κατασκευή λέγεται «όλοκληρωμένο κύκλωμα» καί είναι κατάλληλο γιά ύπολογιστήρες κτλ. Περιλαμβάνει αντιστάσεις, πυκνωτές καί ήμιαγωγούς τύπου p καί η πού σχηματίζουν 50 κρυσταλλολυχνίες

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

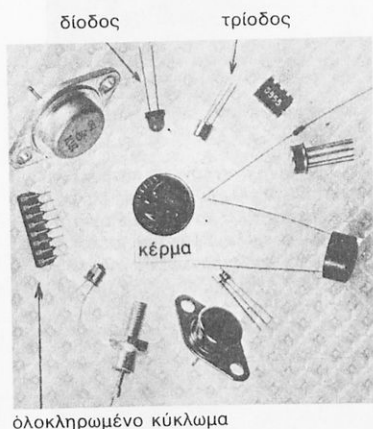
1. Γιά νά άγει ένα ύλικό τόν ήλεκτρισμό πρέπει νά έχει στή μάζα του φορεΐς ήλεκτρικού φορτίου. Στά μέταλλα καί στους ήμιαγωγούς τύπου n, οι φορεΐς αυτοί είναι ελεύθερα ήλεκτρόνια, στους ήμιαγωγούς τύπου p είναι όπές, στά ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι θετικά καί άρνητικά ιόντα καί στά άέρια είναι θετικά καί άρνητικά ιόντα καί ελεύθερα ήλεκτρόνια.
2. Οι ήμιαγωγοί τύπου n παράγονται μέ πρόσμειξη πεντασθενούς στοιχείου, π.χ. As, σέ καθαρό κρύσταλλο Si ή Ge καί οι ήμιαγωγοί p παράγονται μέ πρόσμειξη τρισθενούς στοιχείου, π.χ. Al, σέ καθαρό κρύσταλλο Si ή Ge.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

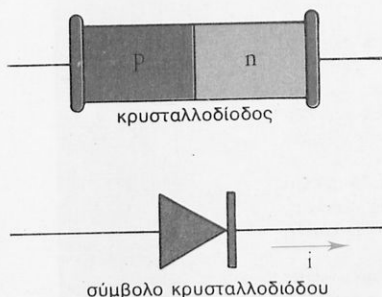
1. Γιά νά έχει άγωγιμότητα ένα σώμα τί πρέπει νά ύπάρχουν στή μάζα του;
2. Τι είδους φορεΐς ήλεκτρικού φορτίου ύπάρχουν στά μέταλλα, στους ήμιαγωγούς τύπου p, στά ηλεκτρολυτικά διαλύματα καί στά άέρια;
3. α) Από πού προέρχονται τά ελεύθερα ήλεκτρόνια στους ήμιαγωγούς τύπου n; β) Πώς εξηγείται ή κίνηση όπών στους ήμιαγωγούς τύπου p;
4. Η κίνηση τών όπών ίσοδυναμεί μέ κίνηση θετικών φορτίων, άρνητικών φορτίων ή τίποτε από αυτά;

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ – ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Ι. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ



Σχ. 1. Κρυσταλλολυχνίες και άλλα εξαρτήματα ηλεκτρονικών συσκευών



Σχ. 2. Συμβολικές παραστάσεις κρυσταλλοδιόδου

Μία σπουδαία εφαρμογή των ημιαγωγών τύπου n και p είναι στην κατασκευή **κρυσταλλοδίων** και **κρυσταλλοτρίοδων**, που αποτελούν τα απαραίτητα εξαρτήματα όλων των ηλεκτρονικών συσκευών (Σχ. 1).

α. Κρυσταλλοδιόδος. Η κρυσταλλοδιόδος αποτελείται από δύο ημιαγωγούς, τον έναν τύπου p και τον άλλο τύπου n , κολλημένους μεταξύ τους (Σχ. 2).

Η κρυσταλλοδιόδος έχει μία σπουδαία ιδιότητα. Επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περνάει μόνο κατά τη μία φορά, ενώ το εμποδίζει κατά την άλλη. Έτσι, όταν η διόδος συνδέεται κατά την **αγώγιμη φορά** (Σχ. 3), περνάει ρεύμα από το κύκλωμα, ενώ όταν συνδέεται ανάποδα δεν περνάει ρεύμα.

Η ιδιότητα της διόδου να επιτρέπει τη μονόδρομη διέλευση του ρεύματος αξιοποιείται στην **ανόρθωση** του εναλλασσόμενου ρεύματος, δηλ. στη μετατροπή του σε συνεχές. Η ανόρθωση είναι απαραίτητη, όταν πρόκειται να πάρουμε ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο, για να τροφοδοτήσουμε ένα ραδιόφωνο, μία τηλεόραση και γενικά μία ηλεκτρονική συσκευή.

Ανόρθωση. Για να αντιληφθούμε τί σημαίνει ανόρθωση του εναλλασσόμενου ρεύματος κάνουμε το ακόλουθο πείραμα. Συνδέουμε μία αντίσταση R με μία πηγή εναλλασσόμενης τάσεως και με έναν παλμογράφο παρατηρούμε τη μορφή της τάσεως που επικρατεί στα άκρα της αντίστασεως (Σχ. 4). Η καμπύλη στον παλμογράφο – όπως άλλωστε περιμέναμε – είναι ήμιτονοειδής, δηλ. η τάση στα άκρα της R είναι εναλλασσόμενη ήμιτονοειδής τάση.

Συνδέουμε κατόπιν σε σειρά με την αντίσταση R μία κρυσταλλοδιόδο και παρατηρούμε ότι η καμπύλη στον παλμογράφο κόβεται στη μέση και απομένουν μόνο τα θετικά τμήματα της ήμιτονοειδούς καμπύλης. Αυτό σημαίνει ότι η τάση στα άκρα της R έπαψε να είναι εναλλασ-

σόμενη. Τό άκρο Α είναι πάντοτε θετικό σέ σχέση μέ τό άκρο Β. Έτσι ή τάση έχει πάντα τήν ίδια φορά, μέ αποτέλεσμα καί τό ρεύμα πού περνάει μέσα από τήν R νά έχει πάντα τήν ίδια φορά (συνεχές ρεύμα), ή έντασή του όμως μεταβάλλεται μέ τό χρόνο. Είναι δηλαδή ένα συνεχές αλλά όχι σταθερό ρεύμα.

β. Κρυσταλλοτρίοδος (transistor)

Η κρυσταλλοτρίοδος ή transistor αποτελείται από τρείς διαδοχικούς ήμιαγωγούς κολλημένους μεταξύ τους καί ανάλογα μέ τή σειρά των ήμιαγωγών διακρίνουμε τήν κρυσταλλοτρίοδο p-n-p καί n-p-n (Σχ. 5).

Η μεγάλη σπουδαιότητα των transistors όφειλεται στήν ιδιότητα πού έχουν νά ένισχύουν μικρές μεταβολές τής τάσεως ή του ρεύματος. Η ιδιότητά τους αυτή βρίσκει έφαρμογή στους ένισχυτές, οί όποιοί αποτελούν βασικό μέρος του κυκλώματος όλων σχεδόν των ηλεκτρονικών συσκευών.

γ. Φωτοστοιχείο

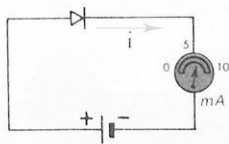
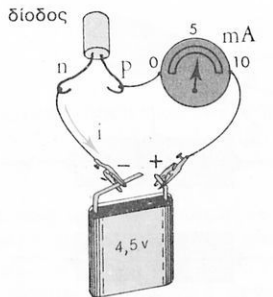
Τό φωτοστοιχείο είναι μία συσκευή πού μετατρέπει τή φωτεινή ένέργεια σέ ηλεκτρική. Τό βασικό μέρος ενός φωτοστοιχείου είναι μία κρυσταλλοδιόδος, τής όποίας ή έπαφή n-p έχει σχετικά μεγάλο έμβαδό γιά νά συλλέγει αρκετό φώς (Σχ. 6). Τό ένα από τά δύο ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένο από λεπτότατο στρώμα μετάλλου, ώστε νά είναι διαφανές στό φώς. Όταν τό φώς πέφτει στό φωτοστοιχείο, αναπτύσσεται ηλεκτρική τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων του καί τό φωτοστοιχείο λειτουργεί ως ηλεκτρική πηγή.

Τά φωτοστοιχεία χρησιμοποιούνται γιά τήν κατασκευή **φωτομέτρων** πού είναι απαραίτητα στή φωτογραφία.

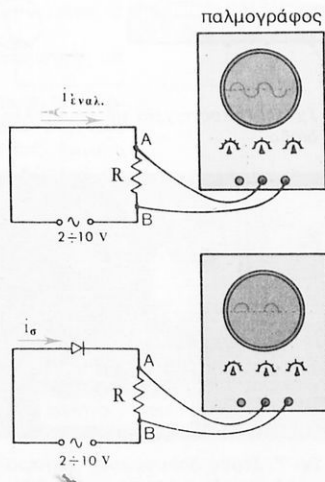
Πολλά μαζί φωτοστοιχεία συνδεδεμένα σέ σειρά αποτελούν τίς **φωτοστήλες** (ή ήλιακές στήλες) πού χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους καί τά διαστημόπλοια γιά τήν τροφοδότησή τους μέ ηλεκτρική ένέργεια (Σχ. 7).

II. ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

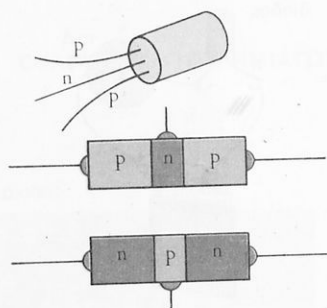
Παίρνουμε δύο διαφορετικά μέταλλα π.χ. χαλκό καί σίδηρο καί συνδέουμε τά δύο μέταλλα όπως φαίνεται στό Σχ. 8. Στή συνέχεια θερμαίνουμε τή μία έπαφή των μετάλλων, ένώ τήν άλλη τήν κρατάμε στή θερμοκρασία του περιβάλλον-



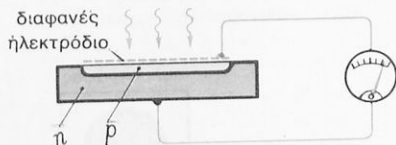
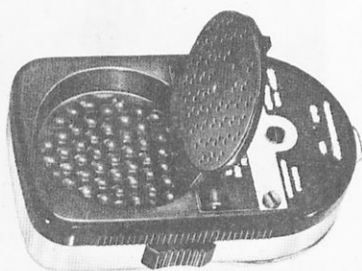
Σχ. 3. Σύνδεση κρυσταλλοδιόδου κατά τήν άγωγήμη φορά



Σχ. 4. Άπλή άνόρθωση του έναλασόμενου ρεύματος (ήμιανόρθωση)



Σχ. 5. Κρυσταλλοτρίοδοι



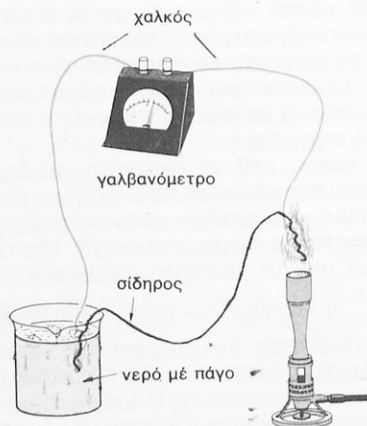
Σχ. 6. Φωτοστοιχείο με κρυσταλλο-
δίοδο



Σχ. 7. Στους δορυφόρους χρησιμοποιούνται ηλιακές στήλες για να λειτουργούν οι ραδιοπομποί και δέκτες τους

ντος ή τη βυθίζουμε μέσα σε δοχείο με πάγο για να διατηρείται σε θερμοκρασία 0°C . Παρατηρούμε ότι η βελόνα του γαλβανόμετρου κινείται. Τό γεγονός αυτό φανερώνει ότι μεταξύ των δύο επαφών που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, αναπτύσσεται μία ηλεκτρική τάση (ηλεκτρεγερτική δύναμη). Τό φαινόμενο αυτό ονομάζεται **θερμοηλεκτρικό φαινόμενο** και παρατηρείται κάθε φορά που οι επαφές δύο διαφορετικών μετάλλων βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία. Η τάση που αναπτύσσεται ανάμεσα στις δύο αυτές επαφές ονομάζεται **θερμοηλεκτρική τάση** και αποδεικνύεται ότι είναι ανάλογη προς τη διαφορά $\Delta\theta$ των θερμοκρασιών των δύο επαφών.

Εφαρμογές 1. Τό σύστημα των δύο σε επαφή μετάλλων είναι ένα είδος ηλεκτρικής πηγής που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική και ονομάζεται **θερμοστοιχείο**. Πολλά μαζί θερμοστοιχεία σε σειρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (θερμοστήλες). **2.** Επειδή η θερμοηλεκτρική τάση συνδέεται άμεσα με τη θερμοκρασία, τό θερμοστοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **θερμόμετρο**, αφού φυσικά βαθμολογηθεί κατάλληλα τό γαλβανόμετρό του, ώστε να δείχνει βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$). Τέτοια θερμοηλεκτρικά θερμόμετρα χρησιμοποιούνται στη μέτρηση της θερμοκρασίας της μηχανής των αυτοκινήτων κτλ.



Σχ. 8. Θερμοηλεκτρικό στοιχείο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

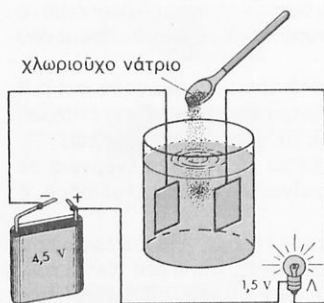
1. Η κρυσταλλοδίοδος αποτελείται από έναν ήμιαγωγό τύπου η και έναν τύπου ρ κολλημένους μεταξύ τους. Η κρυσταλλοδίοδος άγει τό ηλεκτρικό ρεύμα μόνο κατά τή μία φορά και χρησιμοποιείται στήν ανόρθωση του έναλλασσόμενου ρεύματος.
2. Η κρυσταλλοτρίοδος (transistor) αποτελείται από τρείς ήμιαγωγούς ρ-η-ρ ή η-ρ-η κολλημένους μεταξύ τους. Η κρυσταλλοτρίοδος μπορεί νά ένισχύει μικρές μεταβολές του ρεύματος ή τής τάσεως μέ κατάλληλη σύνδεση.
3. Τό φωτοστοιχείο είναι μία συσκευή πού μετατρέπει τή φωτεινή ένέργεια σέ ηλεκτρική. Τό κύριο μέρος ενός φωτοστοιχείου είναι μία κρυσταλλοδίοδος, ή όποία σκεπάζεται μέ διαφανές ηλεκτρόδιο.
4. Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ονομάζεται ή εμφάνιση ΗΕΔ σέ ένα κύκλωμα πού περιλαμβάνει δύο διαφορετικά μέταλλα σέ έπαφή, όταν οι έπαφές των μετάλλων βρίσκονται σέ διαφορετική θερμοκρασία. Τό φαινόμενο αυτό αξιοποιείται στήν κατασκευή θερμοστοιχείων και θερμομέτρων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Τί είναι ή κρυσταλλοδίοδος και τί ή κρυσταλλοτρίοδος; β) Ποιές είναι οι ιδιότητες των λυχνιών αυτών;
2. Τί είναι τό φωτοστοιχείο και ποιά είναι τά κύρια μέρη του;
3. Τί είναι ή φωτοστήλη ή ήλιακή στήλη και πού χρησιμοποιείται;
4. α) Τί είναι τό θερμοστοιχείο; β) "Αν ένώσουμε τίς άκρες δύο συρμάτων ενός από άλουμίνιο και του άλλου από άργυρο (άσήμι) και θερμάνουμε τή μία έπαφή, θά άναπτυχθεί ΗΕΔ στό κύκλωμα;

ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

I. ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗ



Σχ. 1. Τα διαλύματα των ηλεκτρολυτών άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα

Βάζουμε σε ένα ποτήρι αποσταγμένο* νερό και βυθίζουμε σ' αυτό δύο μεταλλικές πλάκες (ηλεκτρόδια) κατασκευασμένες από το ίδιο μέταλλο. Κατόπιν συνδέουμε τα ηλεκτρόδια με μία πηγή, παρεμβάλλοντας και ένα λαμπάκι στο κύκλωμα (Σχ. 1). Παρατηρούμε ότι το λαμπάκι δεν ανάβει, γεγονός που αποδεικνύει ότι το ρεύμα δε διέρχεται από το αποσταγμένο νερό. Εάν στη συνέχεια ρίξουμε στο νερό αλάτι (χλωριούχο νάτριο, NaCl) παρατηρούμε ότι το λαμπάκι φωτοβολεί. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα τώρα περνάει από το υδατικό διάλυμα του χλωριούχου νατρίου. Το ίδιο θα συμβεί αν αντί χλωριούχου νατρίου ρίξουμε στο νερό θειικό οξύ ή υδροχλωρικό οξύ, ενώ δεν παρατηρείται διέλευση του ρεύματος όταν στο νερό διαλύουμε ζάχαρη ή οινόπνευμα.

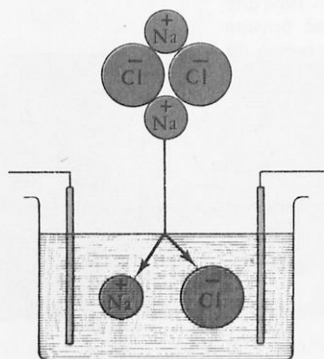
Οι ουσίες εκείνες οι οποίες άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διαλύονται στο νερό, ονομάζονται **ηλεκτρολύτες**.

Τά οξέα, οι βάσεις και τα άλατα είναι ηλεκτρολύτες και τα διαλύματά τους ονομάζονται ηλεκτρολυτικά.

II. ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ

Όπως είναι γνωστό, για να περνάει ηλεκτρικό ρεύμα από ένα υλικό, πρέπει στη μάζα του υλικού να υπάρχουν φορείς ηλεκτρικού φορτίου. Οι φορείς αυτοί για τα μέταλλα και τους ημιαγωγούς τύπου η είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, για τους ημιαγωγούς τύπου ρ είναι οι όπες και για τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι θετικά και αρνητικά ιόντα.

Όταν στο ποτήρι υπάρχει αποσταγμένο νερό δε διέρχεται ρεύμα από το κύκλωμα, ενώ όταν διαλύεται το NaCl στο νερό, τότε διέρχεται ρεύμα. Τα πειράματα αυτά μας πείθουν ότι τα ιόντα δεν προϋπάρχουν στο αποσταγμένο



Σχ. 2. Ηλεκτρολυτική διάσταση

* Σε πρόχειρο πείραμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πόσιμο νερό και δύο κοινά καλώδια για ηλεκτρόδια.

νερό, αλλά σχηματίζονται με τη διάλυση του NaCl .

Για να ερμηνεύσουμε την εμφάνιση των ιόντων στο διάλυμα, δεχόμαστε ότι τα μόρια του NaCl όταν διαλύονται στο νερό χωρίζονται σε δύο μέρη: σε θετικά ιόντα Na^+ και αρνητικά ιόντα Cl^- . Το φαινόμενο αυτό του χωρισμού των μορίων ενός ηλεκτρολύτη σε θετικά και αρνητικά ιόντα με την επίδραση του νερού ονομάζεται **ηλεκτρολυτική διάσπαση** (Σχ. 2).

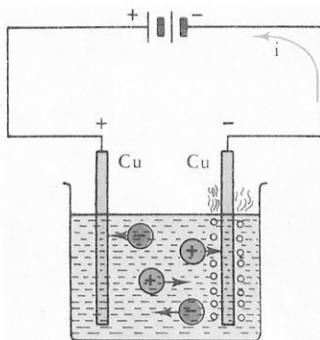
Ηλεκτρολυτική διάσπαση παθαίνουν όλοι οι ηλεκτρολύτες άμέσως μόλις διαλύονται στο νερό, δηλ. ανεξάρτητα από το αν εφαρμόζουμε τάση στα ηλεκτρόδια ή όχι.

Τα ιόντα που προκύπτουν από τη διάσπαση των μορίων μέσα στο διάλυμα κινούνται άτακτα και προς όλες τις κατευθύνσεις. Μόλις όμως συνδέσουμε τα ηλεκτρόδια με τους πόλους μίας πηγής, τα θετικά ιόντα κατευθύνονται προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (**κάθοδος**) και τα αρνητικά ιόντα προς το θετικό ηλεκτρόδιο (**άνοδος**) (Σχ. 3). Έτσι δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα στο διάλυμα. Η παραπάνω θεωρία της διασπάσεως των μορίων των ηλεκτρολυτών και η εξήγηση της αγωγιμότητας των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων διατυπώθηκε από τον **Arrhenius** στο τέλος του 19ου αιώνα.

III. ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΗ

Αφήνουμε να περάσει ρεύμα από το διάλυμα του NaCl και παρατηρούμε ότι στην κάθοδο σχηματίζονται φυσαλίδες (Σχ. 3). Αν τα ηλεκτρόδια είναι από χαλκό, τότε το διάλυμα γύρω από το θετικό ηλεκτρόδιο αρχίζει να βάφεται πράσινο. Οι μεταβολές αυτές φανερώνουν ότι, κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα, συμβαίνουν ορισμένες χημικές αντιδράσεις. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ηλεκτρόλυση**. Παρόμοιες μεταβολές συμβαίνουν και σε τήγματα ηλεκτρολυτών. Οι μεταβολές αυτές, όπως προκύπτει από το πείραμα, δε συμβαίνουν σε όλη την έκταση του ηλεκτρολύτη, αλλά μόνο στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Άρα:

Ηλεκτρόλυση ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζονται χημικές μεταβο-



Σχ. 3. Με το πέρασμα του ηλεκτρικού ρεύματος εμφανίζονται χημικές μεταβολές



Σχ. 4. S. Arrhenius (Άρένιους) (1859-1927)



Σχ. 5. Ήλεκτρολυτικές κυψέλες για την παραγωγή καθαρού αλουμινίου (ήλεκτρόλυση τήγματος Al_2O_3)

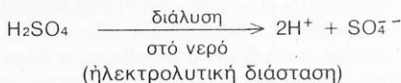
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Νά αναφέρετε παραδείγματα ηλεκτρολυτών.
2. Πώς εξηγείται η αγωγιμότητα των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων;
3. Ποιό ηλεκτρόδιο ονομάζεται άνοδος και ποιό κάθοδος;
4. Γιατί τό υδατικό διάλυμα ζάχαρης δεν άγει τό ηλεκτρικό ρεύμα;
5. Ποιές χημικές μεταβολές συμβαίνουν στην κάθοδο και στην άνοδο κατά την ήλεκτρόλυση διαλύματος $CuSO_4$ με ήλεκτροδια από χαλκό;

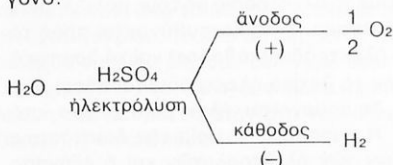
λές, όταν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τούς ήλεκτρολύτες.

Παραδείγματα ήλεκτρολύσεως

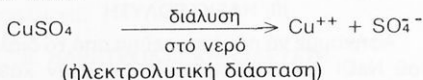
α. Ήλεκτρόλυση υδατικού διαλύματος H_2SO_4 με ήλεκτροδια από λευκόχρυσο. "Όταν τά μόρια του H_2SO_4 διαλύονται στο νερό, παθαίνουν διάσπαση σέ ιόντα υδρογόνου H^+ και θειικά ιόντα SO_4^{2-} .



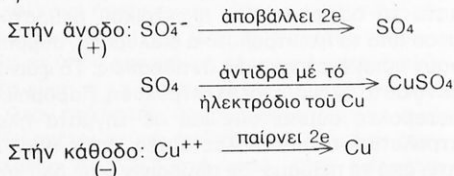
Τά ιόντα αυτά κάνουν τό νερό άγώγιμο. "Ετσι, όταν εφαρμόζουμε τάση στά ήλεκτροδια, διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα με αποτέλεσμα νά διασπάται τελικά τό H_2O σέ υδρογόνο και όξυγόνο:



β. Ήλεκτρόλυση διαλύματος $CuSO_4$ με ήλεκτροδια από χαλκό. Κατά τή διάλυση θειικού χαλκού (γαλαζόπετρας) στο νερό τά μόρια του $CuSO_4$ χωρίζονται σέ ιόντα χαλκού Cu^{2+} και σέ θειικά ιόντα.



Στή συνέχεια άν εφαρμόσουμε τάση στά ήλεκτροδια, τά ιόντα θά κινηθούν πρός τά ήλεκτροδια και θά έχουμε τίς έξής χημικές μεταβολές:



Με τόν τρόπο αυτό τό ήλεκτρόδιο της άνόδου διαρκώς φθείρεται και της καθόδου αύξάνει σέ μάζα. Γίνεται δηλ. μεταφορά χαλκού από τήν άνοδο στην κάθοδο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

1. Ηλεκτρολύτες λέγονται οι ουσίες που όταν διαλύονται στο νερό επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος.
2. Ο χωρισμός των μορίων των ηλεκτρολυτών σε θετικά και αρνητικά ιόντα, όταν οι ηλεκτρολύτες διαλύονται στο νερό, λέγεται ηλεκτρολυτική διάσπαση.
3. Η πρόκληση χημικών αντιδράσεων σε ηλεκτρολυτικά διαλύματα, με τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, λέγεται ηλεκτρόλυση.

47η ΕΝΟΤΗΤΑ

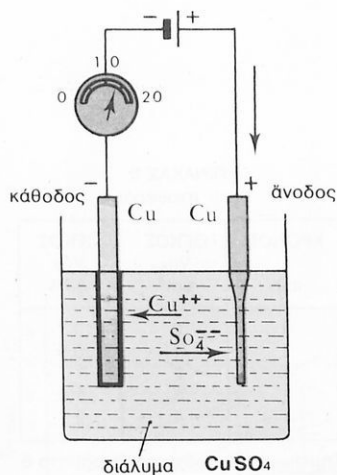
ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΕΩΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ι. ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΕΩΣ

Από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με το φαινόμενο της ηλεκτρολύσεως ήταν ο MICHAEL FARADAY (Φάρανταϊν) που με τα πειράματά του όδγηθήθηκε σε όρισμένα συμπεράσματα που συνοψίζονται στο νόμο της ηλεκτρολύσεως ή **νόμο του FARADAY** όπως αλλιώς λέγεται.

Παίρνουμε δύο πλάκες από χαλκό και τις ζυγίζουμε. Κατόπιν βυθίζουμε τις πλάκες σε υδατικό διάλυμα θειικού χαλκού (γαλαζόπετρας) και συνδέουμε τις πλάκες με τους πόλους μίας πηγής, παρεμβάλλοντας και ένα αμπερόμετρο για να μετράμε την ένταση του ρεύματος (Σχ. 1). Αφήνουμε το κύκλωμα κλειστό για αρκετή ώρα και μετά διακόπτουμε το κύκλωμα και ζυγίζουμε τις πλάκες (ηλεκτρόδια). Παρατηρούμε ότι η μάζα του αρνητικού ηλεκτροδίου έχει αυξηθεί, ενώ του θετικού ηλεκτροδίου έχει ελαττωθεί. Η αύξηση της μάζας του αρνητικού ηλεκτροδίου οφείλεται στα ιόντα του χαλκού που αποφορτίζονται και κολλάνε στο ηλεκτρόδιο.

Με ένα τέτοιο πείραμα αποδεικνύεται ότι η μάζα m των ιόντων του χαλκού, που αποφορτίζονται στην κάθοδο, είναι ανάλογη προς την ένταση i του ρεύματος και ανάλογη προς το



Σχ. 1. Από το θετικό ηλεκτρόδιο μεταφέρεται μάζα στο αρνητικό

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ FARADAY

Στοιχείο ή ión	Σταθερά α	
	σέ gr/Cb	σέ mgr/Cb
H	$0,010 \cdot 10^{-3}$	0,010
O	$0,083 \cdot 10^{-3}$	0,083
Cu	$0,329 \cdot 10^{-3}$	0,329
Ag	$1,118 \cdot 10^{-3}$	1,118
Al	$0,093 \cdot 10^{-3}$	0,093

χρόνο t που διαρκεί ή ηλεκτρόλυση. Γενικά για κάθε είδος íόντων αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$\text{μάζα íόντων που αποφορτίζονται σέ ένα ηλεκτρόδιο} = \text{σταθερά} \times \text{ένταση ρεύματος} \times \text{χρόνο}$$

$$m = a \cdot i \cdot t \quad \text{Νόμος τής ηλεκτρολύσεως}$$

Η σταθερά α εξαρτάται από τό είδος των íόντων που αποφορτίζονται στά ηλεκτρόδια καί έχει για κάθε στοιχείο μία όρισμένη τιμή που δίνεται από πίνακες (ΠΙΝΑΚΑΣ Ι).

Οί μονάδες τής σταθεράς α προκύπτουν από τό νόμο, άν τόν λύσουμε ως πρός α.

$$a = \frac{m}{i \cdot t} = \frac{m}{q}$$

Άρα μονάδες του α θά είναι 1Kgr/Cb ή 1gr/Cb κτλ.

Σύντομη πειραματική επαλήθευση του νόμου. Ένα άπλό καί σύντομο πείραμα, για τήν επαλήθευση του νόμου τής ηλεκτρολύσεως, είναι ή ηλεκτρόλυση νερού μέ ειδική συσκευή που μάς δίνει τή δυνατότητα νά μετράμε τόν όγκο του H_2 που έλευθερώνεται στήν κάθοδο καί του O_2 που έλευθερώνεται στήν άνοδο (Σχ. 2).

1. Έφαρμόζουμε στά ηλεκτρόδια μία σταθερή τάση (π.χ. 4,5 V) καί σημειώνουμε τούς όγκους H_2 καί O_2 κάθε 1 ή 2min. Μέ τόν τρόπο αυτό συμπληρώνουμε έναν πίνακα μετρήσεων (ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
(i = σταθερό)

ΧΡΟΝΟΣ t min	ΟΓΚΟΣ V_{H_2} cm^3	ΟΓΚΟΣ V_{O_2} cm^3
0	0	0
2	1	0,5
4	2	1
6	3	1,5
8	4	2

Σημείωση: Σέ πρόχειρα πειράματα ό όγκος του ύδρογόνου είναι λίγο μεγαλύτερος άπ' τό διπλάσιο του όγκου του όξυγόνου.

Κατόπιν παριστάνουμε γραφικά τόν όγκο των αερίων σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο καί παρατηρούμε ότι προκύπτουν εύθειες γραμμές (Σχ. 3). Άρα ό **όγκος** των αερίων που έλευθερώνονται στά ηλεκτρόδια είναι **ανάλογος** προς τό χρόνο t . Από τή σχέση $m = d \cdot V$ προκύπτει ότι ή **μάζα** είναι **ανάλογη** προς τόν όγκο, άρα θά είναι **ανάλογη** καί προς τό χρόνο t .

2. Αυξάνουμε τήν ένταση i του ρεύματος – αυξάνοντας τήν τάση στά ηλεκτρόδια – καί παρατηρούμε ότι στόν ίδιο χρόνο t παράγεται τώρα περισσότερο άέριο στά ηλεκτρόδια. Άρα ή **μάζα** των αερίων που έλευθερώνονται στά ηλεκτρόδια εξαρτάται από τήν ένταση i του ρεύματος.

3. Τέλος οι ποσότητες των αερίων που παράγονται στα δύο ηλεκτρόδια είναι διαφορετικές. "Αρα η μάζα του στοιχείου που έλευθερώνεται σε ένα ηλεκτρόδιο εξαρτάται από το είδος του στοιχείου.

II. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΣΕΩΣ

Η ηλεκτρόλυση εφαρμόζεται στην επιμετάλλωση, στην γαλβανοπλαστική, στην ηλεκτροχημεία, στη φόρτιση των συσσωρευτών κτλ.

α. Έπιμετάλλωση. "Όταν λέμε επιμετάλλωση, εννοούμε την εργασία που κάνουμε για να καλύψουμε ένα μεταλλικό αντικείμενο με λεπτό στρώμα από άλλο μέταλλο. Μέ την επιμετάλλωση επιδιώκουμε δύο σκοπούς: α) την προστασία του αντικειμένου από την οξείδωση και β) την ωραιότερη εμφάνισή του.

Με επιμετάλλωση κατασκευάζονται επάργυρα και έπιχρυσα κοσμήματα, οικιακά σκεύη κτλ. (Σχ. 4). Με επιμετάλλωση επίσης κατασκευάζονται διάφορα επινικελωμένα ή έπιχρωμωμένα αντικείμενα (προφυλακτήρες αυτοκινήτων, άνοξειδωτες βρύσες κτλ).

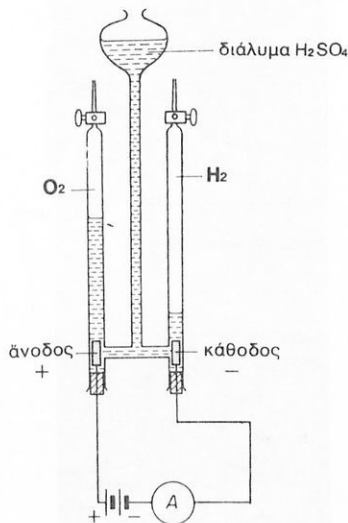
"Όπως φαίνεται και στο Σχ. 4, τα αντικείμενα που θέλουμε να έπιμεταλλωθούν τά συνδέουμε με τόν άρνητικό πόλο της πηγής και ανάλογα με την έπιμετάλλωση χρησιμοποιούμε κατάλληλο ηλεκτρολυτικό διάλυμα και κατάλληλο μέταλλο στην άνοδο.

β. Γαλβανοπλαστική. Στη γαλβανοπλαστική τέχνη έκμεταλλευόμαστε τό φαινόμενο της ηλεκτρόλυσεως για να παράγουμε πιστές μεταλλικές μήτρες (καλούπια) και όμοιώματα (άντίγραφα) διαφόρων αντικειμένων. Μεγάλη έκμετάλλευση της γαλβανοπλαστικής γίνεται από τίς έταιρείες παραγωγής φωνογραφικών δίσκων.

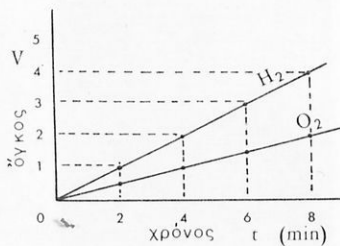
Τά κύρια στάδια παραγωγής δίσκων είναι τά έξης (Σχ. 5):

1) Χάραξη. Με ειδικό μηχάνημα χαράσσεται ή μορφή του ήχου πάνω σε ειδικούς δίσκους από συνθετικό ύλικό.

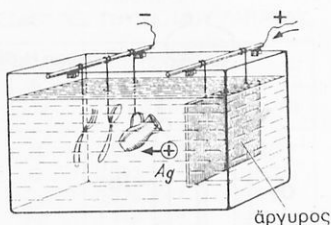
2) Έπιμετάλλωση. Ό δίσκος, που παράγεται με ή χάραξη, σκεπάζεται με λεπτότατο στρώμα άργύρου, με ειδικό ψεκασμό, για να γίνει ή έπι-



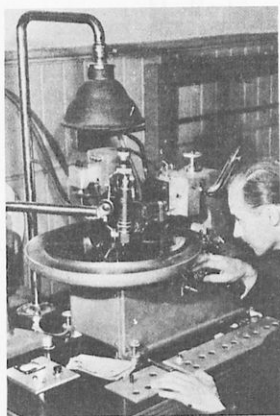
Σχ. 2. Συσκευή ηλεκτρόλυσεως νερού



Σχ. 3.



Σχ. 4. Έπαργύρωση



I



II

φάνειά του αγώγιμη καί κατόπιν επινικελώνεται. Τό στρώμα νικελίου, πού σχηματίζεται μέ τήν επινικέλωση, αποχωρίζεται από τό χαραγμένο δίσκο καί αποτελεί τό ἀρνητικό ἀποτύπωμα του δίσκου (μήτρα).

3) Τύπωση. Οί μήτρες τοποθετούνται σέ κατάλληλη πρέσα καί ανάμεσα στίς μήτρες τοποθετείται μικρή ποσότητα θερμού πλαστικού υλικού. Μέ τή συμπίεση τής πρέσας τό πλαστικό μετατρέπεται σέ δίσκο καί αποτελεί ένα πιστό αντίγραφο του χαραγμένου δίσκου.

γ. Ήλεκτροχημεία. Πολλές χημικές ουσίες (ύδρογόνο, όξυγόνο, χλώριο, νάτριο, αλουμίνιο κτλ.) παράγονται μέ ήλεκτρόλυση. Χωρίς τήν ήλεκτρόλυση τό αλουμίνιο θά ήταν τόσο ακριβό μέταλλο πού δέ θά είχε ίσως χρησιμοποιηθεί από τόν άνθρωπο ακόμα.

Επίσης μέ ήλεκτρόλυση καθαρίζονται τά μέταλλα από τίς προσμίξεις τους, όταν θέλουμε νά παρασκευάσουμε πολύ καθαρά μέταλλα.

δ. Όρισμός τής μονάδας Ampere (1A). "Αν στό πείραμα του Σχ. 1 χρησιμοποιήσουμε ήλεκτρόδια από Ag καί διάλυμα AgNO_3 , τότε στήν κάθοδο θά αποτίθεται άργυρος, πού μπορούμε μέ ένα ζυγό νά βρίσκουμε τή μάζα του.

Από τό νόμο τής ήλεκτρολύσεως $m = a \cdot i \cdot t$, αν βάλουμε $a = 1,118 \text{ mgr/Cb}$ (βλέπε πίνακα), $i = 1 \text{ A}$ καί $t = 1 \text{ sec}$, βρίσκουμε $m = 1,118 \text{ mgr}$.

Τήν ένταση εκείνη του ρεύματος πού αποθέτει $1,118 \text{ mgr}$ άργύρου στήν κάθοδο σέ 1 sec , τήν παίρνουμε ως μονάδα έντάσεως καί τήν ονομάζουμε Ampere.

Η μονάδα Ampere αποτελεί θεμελιώδη μονάδα γιά τό Διεθνές Σύστημα μονάδων (S.I. units).



III



IV

Σχ. 5. I. Χάραξη II. Κατασκευή της μήτρας με ηλεκτρόλυση III. Αποκόλληση της μήτρας από τό χαραγμένο δίσκο IV. Τύπωση δίσκων στην πρέσσα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Η μάζα m των ιόντων που αποτίθεται στην κάθοδο ή στην άνοδο είναι ανάλογη προς την ένταση i του ρεύματος, ανάλογη προς τό χρόνο ηλεκτρολύσεως t και εξαρτάται από τό είδος των ιόντων. $m = a \cdot i \cdot t$ (νόμος της ηλεκτρολύσεως).
2. Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται στην επιμετάλλωση, γαλβανοπλαστική, ηλεκτροχημεία, στή φόρτιση των συσσωρευτών κτλ. Στη γαλβανοπλαστική κατασκευάζουμε με τη βοήθεια της ηλεκτρολύσεως πιστές μήτρες αντικειμένων. Στην ηλεκτροχημεία παρασκευάζουμε διάφορα χημικά στοιχεία ή ενώσεις με ηλεκτρολυτική μέθοδο.
3. Η ένταση του ρεύματος, που αποθέτει στην κάθοδο της συσκευής ηλεκτρολύσεως 1,118 mgr άργύρου σε 1 sec, ορίζεται ως μονάδα έντάσεως του ρεύματος και λέγεται Ampere.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Από τί εξαρτάται ή μάζα ενός στοιχείου που παράγεται στην άνοδο κατά την ηλεκτρόλυση;
2. α) Τί είναι ή γαλβανοπλαστική τέχνη και πού χρησιμοποιείται;
β) Ποιά είναι τά κύρια στάδια παραγωγής ενός φωνογραφικού δίσκου;
3. Πώς ορίζεται τό 1Ampere;
4. Από τί εξαρτάται και τί μονάδες έχει ή σταθερά a του νόμου του FARADAY;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Πόσος χρόνος χρειάζεται για να μαζευτούν στην κάθοδο 32,9gr Cu αν η ένταση του ρεύματος είναι 2A;
(αχαλκού = 0,329 $\frac{\text{mgr}}{\text{Cb}}$)
2. α) Πόση μάζα υδρογόνου παράγεται κατά την ηλεκτρόλυση του νερού, αν η ένταση του ρεύματος είναι $i=0,5\text{A}$ και ο χρόνος $t=2\text{min}$; β) Πόσος είναι ο όγκος του παραγόμενου αερίου αν η πυκνότητα του υδρογόνου μέσα στο σωλήνα της συσκευής είναι $d=0,09 \text{ gr/lit} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ gr/cm}^3$; (αύδρ = 0,01 mgr/cb)
3. Θέλουμε να βαθμολογήσουμε ένα αμπερόμετρο και το συνδέουμε σε σειρά με μία συσκευή ηλεκτρολύσεως διαλύματος AgNO_3 . Παρατηρούμε ότι η βελόνα του οργάνου στη διάρκεια της ηλεκτρολύσεως δείχνει διαρκώς σε μία υποδιαίρεση Γ. Η μάζα του αργύρου που παράγεται στην κάθοδο σε χρόνο $t=100\text{min}$ είναι $m=10,062\text{gr}$. Τί τιμή πρέπει να σημειώσουμε στην υποδιαίρεση Γ; (αργύρου = 1,118 mgr/Cb).

48η ΕΝΟΤΗΤΑ

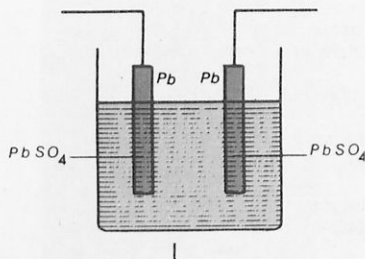
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

I. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ (κ. Μπαταρίες)

α. Έννοια του συσσωρευτή. Παίρνουμε δύο πλάκες από μόλυβδο (Pb) και τις βυθίζουμε σε ένα ποτήρι που περιέχει αραιό διάλυμα θειικού όξενος (H_2SO_4). Ο Pb αντιδρά με το θειικό όξύ και σχηματίζεται στην επιφάνεια των πλακών ένα λεπτό στρώμα PbSO_4 , που εμποδίζει την αντίδραση να προχωρήσει σε βάθος. Έτσι η αντίδραση σταματάει στην επιφάνεια.

Μετράμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλακών και βρίσκουμε ότι αρχικά δέν υπάρχει καμιά τάση. Κατόπιν συνδέουμε τις πλάκες Pb με τους πόλους μιάς ηλεκτρικής στήλης (4,5 V) και αφήνουμε το κύκλωμα κλειστό για λίγη ώρα (π.χ. 10min) (Σχ. 1, II).

Ύστερα αποσυνδέουμε την ηλεκτρική πηγή και μετράμε ξανά τη διαφορά δυναμικού στις δύο πλάκες της συσκευής. Παρατηρούμε ότι τώρα οι πλάκες παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού. "Αν μάλιστα συνδέσουμε ένα μικρό λαμπάκι με τις δύο πλάκες, τό λαμπάκι ανάβει. Αυτό σημαίνει ότι, με την ηλεκτρόλυση, η συσκευή μετατράπηκε σε ηλεκτρική πηγή. Άρα:



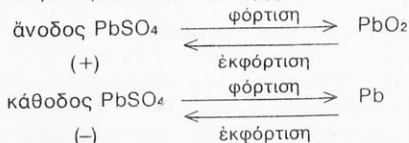
Ἡ ἠλεκτρολυτικὴ συσκευή πού περιλαμβάνει διάλυμα θεικοῦ ὀξέος καὶ ἠλεκτρόδια ἀπὸ μὸλυβδο μετατρέπεται μὲ ἠλεκτρόλυση σὲ ἠλεκτρικὴ πηγὴ καὶ ὀνομάζεται συσσωρευτής.

Ἡ ΗΕΔ κάθε τέτοιου συσσωρευτῆ εἶναι 2V.

β. Φόρτιση καὶ ἐκφόρτιση συσσωρευτῆ. Ἄν προσέξουμε τίς πλάκες Pb, παρατηροῦμε ὅτι μὲ τὴν ἠλεκτρόλυση ἡ πλάκα πού εἶναι συνδεμένη μὲ τὸ θετικὸ πόλο τῆς ἐξωτερικῆς πηγῆς σκεπάζεται μὲ ἓνα λεπτὸ στρώμα πού ἔχει καφέ χρῶμα. Τό καφέ αὐτὸ στρώμα εἶναι PbO₂. Γιά νά σχηματισθεῖ τὸ PbO₂ χρειάζεται ἐνέργεια, πού τὴ χορηγεῖ ἡ ἐξωτερικὴ ἠλεκτρικὴ πηγὴ. Ἄρα κατὰ τὴ **φόρτιση** ἡ ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια μετατρέπεται σὲ χημικὴ καὶ ἀποθηκεύεται («συσσωρεύεται») στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ συσσωρευτῆ.

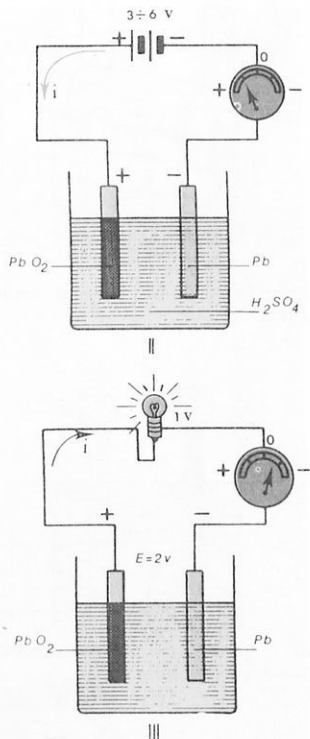
Κατὰ τὴν **ἐκφόρτιση** τοῦ συσσωρευτῆ, ἡ χημικὴ ἐνέργεια μετατρέπεται σὲ ἠλεκτρικὴ καὶ ὁ συσσωρευτὴς λειτουργεῖ ὡς ἠλεκτρικὴ πηγὴ. Ἄν ἐξαντληθεῖ τὸ καφέ στρώμα (PbO₂), παύει ὁ συσσωρευτὴς νά παράγει ἠλεκτρικὸ ρεῦμα.

Ἐπομένως ὁ συσσωρευτὴς ἔχει τὴν ιδιότητα νά μετατρέπει τὴν ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια σὲ χημικὴ καὶ ἀντίστροφα τὴ χημικὴ ἐνέργεια σὲ ἠλεκτρικὴ. Οἱ χημικὲς μεταβολές πού συμβαίνουν στὰ ἠλεκτρόδια εἶναι οἱ ἑξῆς:

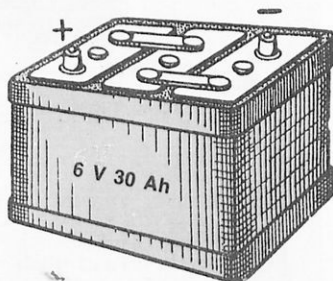


γ. Χαρακτηριστικὰ μεγέθη τῶν συσσωρευτῶν (μπαταρίας). Πάνω στίς μπαταρίες εἶναι γραμμένα συνήθως δύο μεγέθη πού τίς χαρακτηρίζουν: ἡ **ΗΕΔ** καὶ ἡ **χωρητικότητα** τους. Οἱ μπαταρίες ἀποτελοῦνται συνήθως ἀπὸ πολλοὺς συσσωρευτὲς συνδεμένους σὲ σειρά. Ἡ μπαταρία τοῦ Σχ. 2 ἔχει τρεῖς συσσωρευτὲς στὴ σειρά καὶ γι' αὐτὸ ἡ ΗΕΔ εἶναι 6V. Στὰ αὐτοκίνητα ἰδιωτικῆς χρήσεως οἱ μπαταρίες παρέχουν συνήθως τάση 12V.

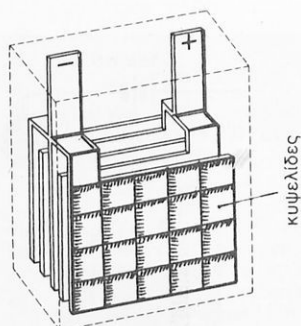
Μὲ τὸν ὅρο **χωρητικότητα** μπαταρίας ἐννοοῦμε τὸ ὅλικο ἠλεκτρικὸ φορτίο πού μπορεῖ νά δώσει μία μπαταρία ὅταν ἐκφορτίζεται. Ἡ μονάδα πού χρησιμοποιεῖται στὴν πράξη γιὰ τὴ μέτρηση τῆς χωρητικότητος μπαταρίας εἶναι ἡ ἄμ-



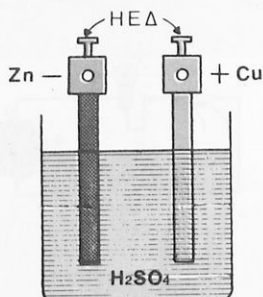
Σχ. 1. I. Ἀφόρτιστος συσσωρευτὴς
II. Φόρτιση τοῦ συσσωρευτῆ
III. Ἐκφόρτιση τοῦ συσσωρευτῆ



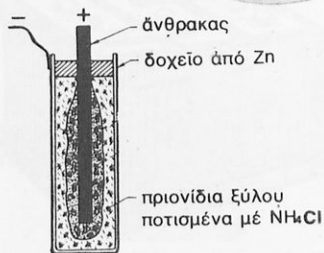
Σχ. 2. Μπαταρία μὲ τρεῖς συσσωρευτὲς στὴ σειρά



Σχ. 3. Τα ηλεκτρόδια έχουν τη μορφή κηρύθρας



Σχ. 4. Μεταξύ χαλκού και ψευδαργύρου εμφανίζεται ΗΕΔ



Σχ. 5. Ξηρό ηλεκτρικό στοιχείο

περώρα (1Ah). Η μονάδα αυτή προκύπτει από το γνωστό τύπο $q = i \cdot t$, αν θέσουμε $i = 1A$ και $t = 1h$.

Η μπαταρία του Σχ. 2 έχει χωρητικότητα 30Ah. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παρέχει ρεύμα π.χ. έντασης 1A για 30h συνεχώς.

Για να είναι μεγάλη η χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει τα ηλεκτρόδια να έχουν μεγάλη επιφάνεια και γι' αυτό κατασκευάζονται με μορφή κηρύθρας (Σχ. 3).

Οι συσσωρευτές των αυτοκινήτων φορτίζονται από μία μικρή γεννήτρια συνεχούς τάσεως. Όταν οι στροφές της μηχανής είναι αρκετές ο συσσωρευτής φορτίζεται. Όταν όμως «πεφτουν» οι στροφές της μηχανής, το ηλεκτρικό κύκλωμα του αυτοκινήτου (φώτα, μπουζί) παίρνει ρεύμα από τη μπαταρία και η μπαταρία εκφορτίζεται.

II. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

α. Έννοια του ηλεκτρικού στοιχείου. Βυθίζουμε δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά μέταλλα (π.χ. Cu και Zn) σε αραιό διάλυμα θειικού οξέος (H_2SO_4) και μετράμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ τους. Παρατηρούμε ότι μεταξύ των ηλεκτροδίων υπάρχει μία ηλεκτρική τάση (Σχ. 4). Μία τέτοια συσκευή που περιλαμβάνει έναν ηλεκτρολύτη και δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά μέταλλα μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα και λέγεται **ηλεκτρικό στοιχείο**.

Τα ηλεκτρικά στοιχεία λειτουργούν μόνο κατά τη μία φορά, δηλ. μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, χωρίς να μπορούν να φορτισθούν, όπως συμβαίνει με τους συσσωρευτές.

β. Ξηρά ηλεκτρικά στοιχεία. Στο εμπόριο κυκλοφορεί μόνο ένα είδος ηλεκτρικών στοιχείων, τα ξηρά στοιχεία, που έχουν ΗΕΔ 1,5V (Σχ. 5). Τα ηλεκτρόδιά τους είναι τό ένα από άνθρακα και τό άλλο από ψευδάργυρο (Zn). Ως ηλεκτρολύτη έχουν χλωριούχο άμμωνιο (NH_4Cl).

Για να μη χύνεται τό διάλυμα του ηλεκτρολύτη, χρησιμοποιείται ένας πολτός από πριονίδια ξύλου, ποτισμένα με πυκνό διάλυμα NH_4Cl .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οί συσσωρευτές (κ. μπαταρίες) κατά τή φόρτισή τους μετατρέπουν τήν ηλεκτρική ενέργεια σέ χημική καί τήν αποθηκεύουν στό έσωτερικό τους. Κατά τήν εκφόρτισή τους μετατρέπουν τή χημική ενέργεια σέ ηλεκτρική. Οί συσσωρευτές μολύβδου περιλαμβάνουν ηλεκτρόδια από πλάκες μολύβδου καί ως ηλεκτρολύτη διάλυμα θειικού όξέος.
2. Χωρητικότητα συσσωρευτή λέγεται τό συνολικό ηλεκτρικό φορτίο πού μπορεί νά δώσει ό συσσωρευτής, όταν εκφορτίζεται. Ή χωρητικότητα μετριέται σέ Ah.
3. Τά ξηρά ηλεκτρικά στοιχεία περιλαμβάνουν ένα ηλεκτρόδιο από άνθρακα καί ένα από ψευδάργυρο (δοχείο). Ής ηλεκτρολύτη έχουν NH_4Cl .

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σέ τί διαφέρουν τά ηλεκτρικά στοιχεία από τούς συσσωρευτές;
2. α) Τι είναι ή άμπεώρα; β) Νά ύπολογίσετε μέ πόσα Cb ίσοῦται αύτή;
3. Γιατί τά ηλεκτρόδια τών μπαταριών έχουν κυψελιδωτή μορφή;
4. Ποιές μεταβολές παθαίνουν οί πλάκες Pb στό πείραμα του Σχ. 1 από τή στιγμή πού βυθίζονται για πρώτη φορά στό διάλυμα του θειικού όξέος μέχρι πού φορτίζεται ό συσσωρευτής;
5. Ποιές μεταβολές παθαίνουν τά ηλεκτρόδια ενός συσσωρευτή κατά τήν εκφόρτιση;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένας συσσωρευτής έχει χωρητικότητα 30Ah. Νά ύπολογισθεί τό όλικό φορτίο σέ Cb πού μπορεί νά δώσει ό συσσωρευτής αν εκφορτισθεί τελείως (άδειάσει ή μπαταρία).

ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ – ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ



Σχ. 1. Υπό όρισμένες συνθήκες ο αέρας γίνεται αγωγός (κατά μήκος της φωτεινής γραμμής)

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

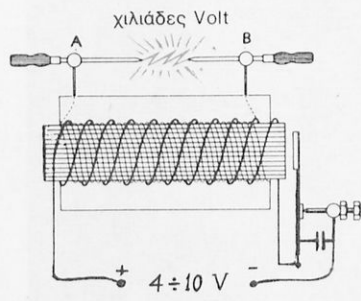
Στή συνηθισμένη ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία και υγρασία, ο αέρας και γενικά όλα τα αέρια δέν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Άλλωστε, αν δέν συνέβαινε αυτό, τότε ανάμεσα στα γυμνά καλώδια μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και ανάμεσα στους πόλους μιās πρίζας, θά υπήρχε αδιάκοπη διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος. Παρ' όλα αυτά, κάτω από όρισμένες συνθήκες μπορούν και τα αέρια νά γίνουν αγωγοί του ηλεκτρισμού (Σχ. 1).

Η λεπτή φλέβα του αέρα κατά μήκος της φωτεινής γραμμής πού σχηματίζει ή άστραπη ή ό κεραυνός, συμπεριφέρεται γιά λίγο σάν αγωγός.

II. ΑΥΤΟΤΕΛΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Σπινθήρες παρόμοιους μέ τόν κεραυνό ή τήν άστραπη, μπορούμε νά δημιουργήσουμε στό έργαστήριο μέ έναν πολλαπλασιαστή (Σχ. 2). Ό πολλαπλασιαστής τάσεως, όπως είναι γνωστό, παίρνει στό πρώτο πηνίο μικρή τάση ($2 \div 10V$) και παράγει στό δεύτερο πηνίο πολύ μεγάλη τάση (χιλιάδες Volt). Έξαιτίας της μεγάλης τάσεως ξεσπάει ανάμεσα στά ηλεκτρόδια ηλεκτρικός σπινθήρας. Γιά νά δημιουργηθεί όμως ηλεκτρικός σπινθήρας, πρέπει στή μάζα του αερίου νά σχηματισθούν φορείς ηλεκτρισμού (έλεύτερα ηλεκτρόνια ή ιόντα). Πρέπει επομένως τό αέριο νά **ιονιστεί**. Ό ιονισμός αυτός γίνεται έξαιτίας της μεγάλης τάσεως πού επικρατεί μεταξύ των ηλεκτροδίων, χωρίς νά υπάρχουν άλλα έξωτερικά αίτια. Στήν περίπτωση αυτή ή αγωγιμότητα του αερίου λέγεται **αὐτοτελής**. Άρα:

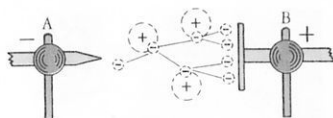
Θά λέμε ότι σέ ένα αέριο πού βρίσκεται ανάμεσα σέ δύο ηλεκτρόδια, υπάρχει **αὐτοτελής αγωγιμότητα**, όταν στή μάζα του σχηματίζονται έλεύτερα ηλεκτρόνια ή ιόντα, έξαιτίας της **μεγάλης τάσεως** πού επικρατεί ανάμεσα στά ηλεκτρόδια.



Σχ. 2. Πολλαπλασιαστής τάσεως

III. ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΥΤΟΤΕΛΟΥΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

“Ας υποθέσουμε ότι ανάμεσα στα ηλεκτρόδια Α και Β του πολλαπλασιαστή υπάρχει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο* (Σχ. 3) και ότι το ηλεκτρόδιο Α είναι αρνητικό. Πάνω στο ηλεκτρόνιο ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις από τα ηλεκτρόδια της συσκευής, που το αναγκάζουν να κινηθεί ταχύτατα προς την άνοδο. Καθώς κινείται προς την άνοδο συγκρούεται με κάποιο άτομο (ή μόριο) του αερίου με όρμη και του αποσπά ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι σχηματίζεται ένα θετικό ιόν και ένα ακόμη ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Στη συνέχεια τα δύο ελεύθερα ηλεκτρόνια γίνονται τέσσερα, τα τέσσερα οκτώ κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό πολύ γρήγορα – σε κλάσμα δευτερολέπτου – παράγονται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια τρισεκατομύρια ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα. Τα θετικά ιόντα κινούνται προς την κάθοδο και τα ηλεκτρόνια προς την άνοδο. Έτσι εξηγείται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τα αέρια στην αυτότελη αγωγιμότητα.

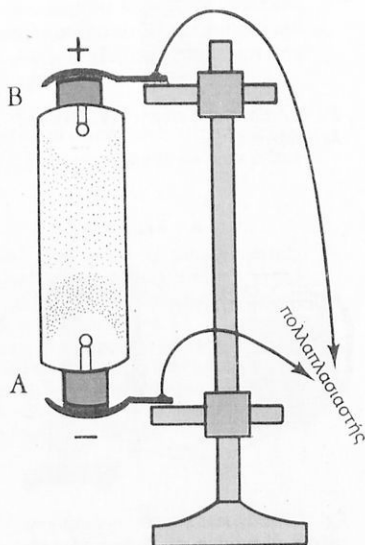


Σχ. 3. Όταν το ηλεκτρόδιο Α είναι αρνητικό τα ηλεκτρόνια κινούνται προς το Β

IV. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

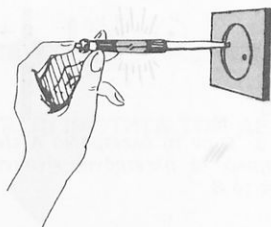
Η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από τη μάζα ενός αερίου ονομάζεται **ηλεκτρική εκκένωση**. Συνήθως οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αναγκάζουν τα αέρια να εκπέμπουν φως και ανάλογα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες παράγονται, εμφανίζονται με τρεις χαρακτηριστικές μορφές: του **σπινθήρα**, της **αίγλης**, και του **τόξου**.

α. Έκκένωση σπινθήρα. Ο κεραυνός, ή αστραπή και ο σπινθήρας του πολλαπλασιαστή που αναφέραμε προηγούμενως είναι ηλεκτρικές εκκενώσεις που λέγονται **σπινθήρες** και έχουν τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά. α) Συνηθισμένη πίεση αέρα και β) λεπτά φωτεινά νήματα. Η τάση για την πραγματοποίηση του σπινθήρα είναι πολύ μεγάλη (περίπου 30.000V για μήκος σπινθήρα 1cm). Μία πρακτική εφαρμογή του ηλεκτρικού σπινθήρα βρίσκουμε στους αναφλεκτήρες (bougie) των αυτοκινήτων.

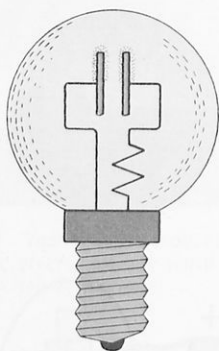


Σχ. 4. Έκκένωση αίγλης

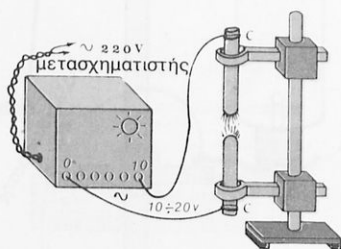
* Μέσα στον αέρα υπάρχουν πάντοτε ελάχιστα ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα χάρη στην ηλιακή ακτινοβολία και σε άλλα εξωτερικά αίτια.



Σχ. 5. Δοκιμαστικό τάσεως



Σχ. 6. Λαμπτήρας αίγλης (ένδεικτικός λειτουργίας)



Σχ. 7. Πραγματοποίηση ηλεκτρικού τόξου. (Φέρουμε σε επαφή τα ηλεκτρόδια και αμέσως τα απομακρύνουμε κατά 2 mm περίπου)

β. Έκκένωση αίγλης. Μπορούμε να διευκολύνουμε το πέρασμα ρεύματος από ένα αέριο αν ελαττώσουμε την πίεσή του. Τότε η ηλεκτρική εκκένωση γίνεται σε χαμηλότερη – συγκριτικά με το σπινθήρα – τάση. Για τό σκοπό αυτό κλείνουμε τό αέριο μέσα σε ένα σωλήνα καί μέ μία άεραντλία ελαττώνουμε τήν πίεσή του μέχρι 10 Torr. Άν στά άκρα ενός τέτοιου σωλήνα εφαρμόσουμε ύψηλή τάση, παρατηρούμε ότι όλόκληρη σχεδόν ή μάζα του αερίου πού ύπάρχει στό σωλήνα άκτινοβολεί ένα διάχυτο φώς (Σχ. 4). Μία τέτοια εκκένωση όνομάζεται **εκκένωση αίγλης**. Η εκκένωση αίγλης βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους σωλήνες φωτεινών διαφημίσεων (σωλήνες ήλιου, νέου κτλ.), σε δοκιμαστικά κατσαβίδια (Σχ. 5), σε λαμπάκια πού δείχνουν τή λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών (κουζίνας, ηλεκτρικού σίδερου κτλ.) (Σχ. 6) καί άλλοι.

γ. Έκκένωση τόξου. Συνδέουμε δύο ηλεκτρόδια από άνθρακα μέ μία χαμηλή τάση (π.χ. μέ τήν έξοδο ενός μετασχηματιστή) (Σχ. 7). Φέρνουμε τά ηλεκτρόδια σε έπαφή καί μετά τά απομακρύνουμε λίγο. Παρατηρούμε ότι τά ηλεκτρόδια καί ό άέρας πού ύπάρχει ανάμεσα σ' αυτά άκτινοβολούν έντονα φώς, δηλ. στό χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων σχηματίζεται ηλεκτρική εκκένωση. Μία τέτοια εκκένωση όνομάζεται **εκκένωση τόξου**. Πρακτικές εφαρμογές τής εκκένωσης τόξου συναντάμε στό τόξο του άνθρακα ή βολταϊκό τόξο (ίσχυροί κινηματογραφικοί προβολείς κτλ.), στις ηλεκτροσυγκολήσεις κ.ά.

V. ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Στήν εκκένωση τόξου ή τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι πολύ χαμηλή καί γι' αυτό δέν είναι άρκετή νά δημιουργήσει φορείς ηλεκτρισμού (έλεύθερα ηλεκτρόνια ή ιόντα) μέ τόν τρόπο πού περιγράψαμε προηγουμένως. Ό σχηματισμός λοιπόν ηλεκτρικών φορέων στήν εκκένωση τόξου πρέπει νά γίνεται διαφορετικά καί, όπως έχει αποδειχθεί, γίνεται μέ έκπομπή ηλεκτρονίων από τήν πολύ θερμή κάθοδο.

Τό φαινόμενο τής έκπομπής ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο (ή τόν άνθρακα), όταν αυτά

βρίσκονται σέ ύψηλή θερμοκρασία, λέγεται θερμική έκπομπή ήλεκτρονίων.

Ή θερμική έκπομπή ήλεκτρονίων από ένα σώμα είναι φαινόμενο παρόμοιο μέ τήν εξάτμιση ενός ύγρου.

Τό φαινόμενο τής θερμικής έκπομπής ήλεκτρονίων βρίσκει εφαρμογή στον καθοδικό σωλήνα, στό σωλήνα παραγωγής ακτίνων Röntgen κτλ.



Σχ. 8. Ήλεκτρικό ή βολταϊκό τόξο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Τά άέρια σέ συνηθισμένες καταστάσεις είναι κακοί άγωγοί του ήλεκτρισμού, δηλ. δέν έχουν φορείς ήλεκτρικού φορτίου. Ύπό όρισμένες συνθήκες (π.χ. μεγάλη τάση ή μεγάλη θερμοκρασία στά ήλεκτρόδια) τά άέρια άποκτούν άγωγιμότητα.
2. Τά γνωρίσματα α) τής έκκενώσεως σπινθήρα είναι συνηθισμένη πίεση και λεπτά φωτεινά νήματα β) τής έκκενώσεως αΐγλης, είναι χαμηλή πίεση και διάχυτη ακτινοβολία από όλη σχεδόν τή μάζα του αερίου και γ) τής έκκενώσεως τόξου είναι συνηθισμένη πίεση, ύψηλή θερμοκρασία στά ήλεκτρόδια και έντονο φώς. Ή τάση πού χρειάζεται για τό σπινθήρα είναι μεγάλη, για τήν αΐγλη μικρότερη και για τό τόξο άκόμη πιό μικρή.
3. Όταν ένα μέταλλο (ή ό άνθρακας) θερμαίνεται, βγαίνουν από τό μέταλλο έλεύθερα ήλεκτρόνια πού σχηματίζουν ένα λεπτό και άόρατο νέφος γύρω του (θερμική έκπομπή ήλεκτρονίων). Μέ τή θερμική έκπομπή ήλεκτρονίων έρμηνεύεται ή άγωγιμότητα στην έκκένωση τόξου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Ποιά είναι τά χαρακτηριστικά γνωρίσματα στίς διάφορες μορφές έκκενώσεως; β) Για τήν ίδια άπόσταση ήλεκτροδίων σέ ποιά έκκένωση χρειάζεται μεγαλύτερη και σέ ποιά μικρότερη τάση;
2. Πώς εξηγείται ό σχηματισμός ιόντων και έλεύθερων ήλεκτρονίων στην αύτοτελή άγωγιμότητα;
3. Τι έκκένωση είναι ό κεραυνός; Σπινθήρα, αΐγλης ή τόξου;
4. Νά άναφέρετε μία πρακτική εφαρμογή από τήν κάθε μορφή έκκενώσεως.
5. Πώς σχηματίζονται τά έλεύθερα ήλεκτρόνια στό χώρο μεταξύ των ήλεκτροδίων κατά τήν έκκένωση τόξου;

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. α) Πόση τάση περίπου ύπάρχει μεταξύ των ήλεκτροδίων Α και Β του πολλαπλασιαστή (Σχ. 2), άν ό σπινθήρας πού σχηματίζεται έχει μήκος 3cm; β) Πόση διαφορά δυναμικού ύπάρχει άνάμεσα σέ ένα νέφος και τό έδαφος άν ό κεραυνός πού σχηματίζεται έχει μήκος 100m; (Δίνεται ότι για σπινθήρα μήκους 1cm χρειάζεται τάση περίπου 30.000 V).

ΑΚΤΙΝΕΣ RÖNTGEN ή ΑΚΤΙΝΕΣ X

I. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΕΣΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Γιά να δημιουργήσουμε ακτίνες Röntgen, χρειάζεται να βρούμε έναν τρόπο παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων.

Στίς αυτοτελείς ηλεκτρικές εκκενώσεις μάθαμε ότι κατά μήκος της στήλης του αερίου, πού υπάρχει ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, κινούνται ηλεκτρόνια και ιόντα. Τά ηλεκτρόνια κινούνται προς την άνοδο και τά θετικά ιόντα προς την κάθοδο. Θά πρέπει λοιπόν μέ κάποιο τρόπο να διαχωρίσουμε τά ηλεκτρόνια από τά θετικά ιόντα. Γιά τό σκοπό αυτό ανοίγουμε μία μικρή όπή ή λεπτή σχισμή στό ηλεκτρόδιο της άνόδου, όποτε πίσω από την άνοδο βγαίνουν ηλεκτρόνια (δέσμη ηλεκτρονίων) (Σχ. 1). Γιά νά κινούνται τά ηλεκτρόνια, όσο τό δυνατό ελεύθερα, άφαιρούμε τόν άέρα μέσα από τό σωλήνα, ώστε ή πίεση νά γίνει πολύ μικρή (π.χ. 0,01 Torr). Μπορούμε νά πάρουμε ισχυρότερη δέσμη ηλεκτρονίων (περισσότερα ηλεκτρόνια) άν μέ κάποιο τρόπο θερμαίνουμε την κάθοδο (θερμική εκπομπή ηλεκτρονίων). "Αρα :

Γιά νά σχηματίσουμε δέσμη ηλεκτρονίων, προκαλούμε ηλεκτρική εκκένωση σέ άρκετά άραιωμένο άέριο ή παράγουμε ηλεκτρόνια θερμαίνοντας την κάθοδο.

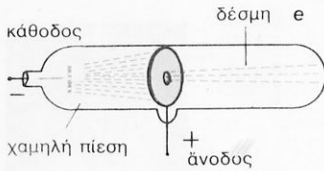
II. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ

Μέ ειδικούς σωλήνες, όπως είναι π.χ. ό σωλήνας του Σχ. 2, μπορούμε νά μελετήσουμε μερικές από τίς κυριότερες ιδιότητες των κινούμενων ηλεκτρονίων, πού είναι οί εξής:

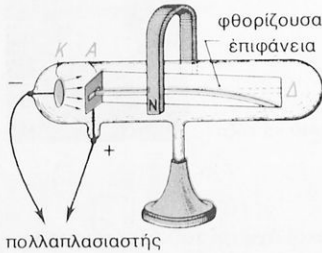
1. Τά κινούμενα ηλεκτρόνια προκαλούν φθορισμό σέ φθορίζουσες ουσίες. "Ετσι, καθώς τά ηλεκτρόνια χτυπούν τη φθορίζουσα επιφάνεια του ηλεκτροδίου της άνόδου, σχηματίζεται μία φωτεινή γραμμή. Στο φθορισμό αυτό όφείλεται και τό φώς πού παράγεται στην όθόνη της τηλεόρασης.

2. Τά ηλεκτρόνια κινούνται ευθύγραμμα, όταν δέν επιδρά σ' αυτά μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο.

3. Έκτρέπονται από την ευθεία πορεία, όταν περνούν μέσα από μαγνητικό πεδίο, γιατί δέ-



Σχ. 1. Παραγωγή δέσμης ηλεκτρονίων



Σχ. 2. Τά κινούμενα ηλεκτρόνια εκτρέπονται από τό μαγνητικό πεδίο



Σχ. 3. Röntgen, Γερμανός φυσικός (1845-1923)



Σχ. 4. Σωλήνας παραγωγής ακτίνων Röntgen (έργαστηριακός)

χονται μαγνητική δύναμη (δύναμη Laplace) από τό πεδίο (Σχ. 2).

4. Έκτρέπονται από την ευθεία πορεία, όταν περνούν μέσα από ηλεκτρικό πεδίο, π.χ. όταν πλησιάζουμε ένα φορτισμένο σώμα.

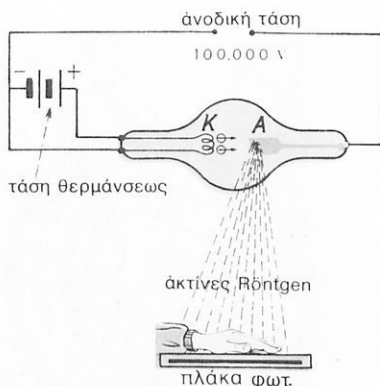
5. Τά ηλεκτρόνια, χτυπώντας με μεγάλες ταχύτητες στην άνοδο ή στα τοιχώματα του σωλήνα, παράγουν μία άορατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Τό φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε γιά πρώτη φορά από τό Γερμανό φυσικό Röntgen καί πρός τιμή του ή ακτινοβολία αυτή λέγεται «**άκτινες Röntgen**». (Ραϊντγκεν).

III. ΑΚΤΙΝΕΣ RÖNTGEN ή ΑΚΤΙΝΕΣ X

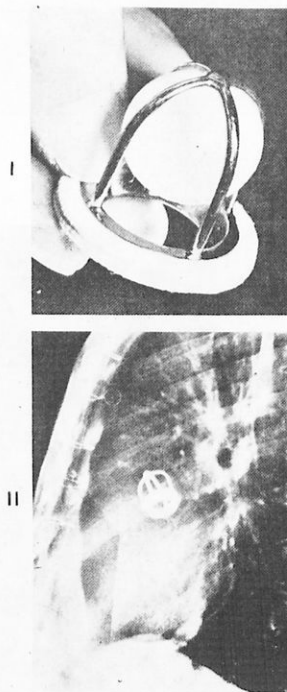
α. Παραγωγή. Οί άκτινες Röntgen παράγονται κάθε φορά πού ηλεκτρόνια με μεγάλες ταχύτητες χτυπούν σέ ένα αντίκειμενο. Γιά νά παράγουμε έπομένως άκτινες Röntgen, χρειαζόμαστε μία δέσμη ηλεκτρονίων καί ύψηλή τάση, ώστε νά αποκτούν τά ηλεκτρόνια της δέσμης μεγάλες ταχύτητες. Γιά πρόχειρα πειράματα οί άκτινες Röntgen παράγονται με **ηλεκτρική εκκένωση** σέ σωλήνα πού περιέχει πολύ άραιό άέριο (Σχ. 4). Γιά θεραπευτικούς, έρευνητικούς κτλ. σκοπούς, οί άκτινες Röntgen παράγονται με άερόκενο σωλήνα (Σχ. 5). Τότε ή δέσμη τών ηλεκτρονίων παράγεται από τήν κάθοδο με **θερμική έκπομπή**. Καί στους δύο σωλήνες τά ηλεκτρόνια κινούνται από τήν κάθοδο πρός τήν άνοδο, αποκτούν μεγάλες ταχύτητες καί χτυπώντας στό ηλεκτρόδιο της άνόδου παράγουν άορατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

β. Ιδιότητες τών άκτινων Röntgen. Οί άκτινες Röntgen είναι άορατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με πολύ μεγάλη συχνότητα καί οί σπουδαιότερες από τίς ιδιότητές τους είναι οί έξής:

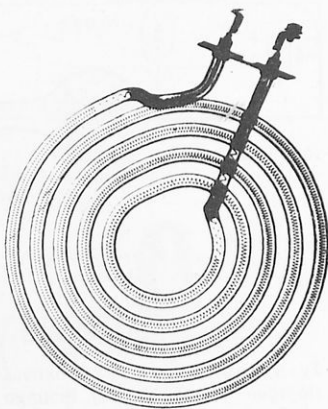
- 1) Προκαλούν φθορισμό σέ φθορίζουσες ουσίες. Τήν ιδιότητα αυτή τήν αξιοποιούμε στήν ακτινοσκόπηση.
- 2) Δέν αλλάζουν πορεία με τήν επίδραση ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου.
- 3) Προσβάλλουν τίς φωτογραφικές πλάκες. Τήν ιδιότητα αυτή τήν εκμεταλλευόμαστε στήν ακτινογράφιση.
- 4) Έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα καί μπορούν νά διαπεράσουν με εύκολία διάφορα



Σχ. 5. Σωλήνας παραγωγής άκτινων Röntgen γιά τήν Ιατρική, Βιομηχανία κτλ



Σχ. 6. I. Τεχνητή βαλβίδα καρδιάς.
II. Ακτινογραφία θώρακα με τήν τεχνητή βαλβίδα στήν καρδιά



Σχ. 7. Έλεγχος θερμαντικού σώματος με ακτίνες Χ. Οι σπείρες δέν πρέπει να παρουσιάζουν πυκνώματα, γιατί το σύρμα θα καεί



Σχ. 8. Άγ. Σεβαστιανός του Francia. Μέ ακτίνες Χ αποκαλύπτεται ο αρχικός σχεδιασμός του κεφαλιού

σώματα. Τά βαριά χημικά στοιχεία (μόλυβδος κτλ.) απορροφούν περισσότερο τις ακτίνες από ό,τι τά ελαφρά στοιχεία (Η, Ο, C, κτλ.).

5) Οι ακτίνες Röntgen παρουσιάζουν έντονα βιολογικά αποτελέσματα. Περνώντας μέσα από τά κύτταρα προκαλούν εγκαύματα καί άλλες χημικές μεταβολές, πού είναι δυνατό νά καταστρέψουν τά κύτταρα. Γιά τό λόγο αυτό επιβάλλεται μεγάλη προσοχή σέ όσους χρησιμοποιούν τις ακτίνες Χ. νά παίρνουν κατάλληλα μέτρα προστασίας. Οι ακτινολόγοι χρησιμοποιούν ειδικές ποδιές πού περιέχουν μόλυβδο, γιά νά απορροφάει τις ακτίνες.

γ. Χρήσεις των ακτίνων Röntgen

Χάρη στις ιδιότητες πού αναφέραμε προηγούμενες οι ακτίνες Röntgen βρίσκουν πολλές εφαρμογές στην Ίατρική, στη Βιομηχανία, στην έπιστημονική έρευνα κ.ά.

1. Στην Ίατρική οι ακτίνες Röntgen χρησιμοποιούνται είτε γιά διάγνωση διαφόρων παθήσεων είτε γιά θεραπεία.

Στή διάγνωση, εκμεταλλευόμαστε τή διαφορετική απορρόφηση πού παθαίνουν οι ακτίνες από τά όστά, τις σάρκες ή άλλα αντικείμενα πού βρίσκονται μέσα στον οργανισμό (Σχ. 6).

Στή θεραπεία εκμεταλλευόμαστε τήν ιδιότητα πού έχουν τά άρρωστα κύτταρα νά καταστρέφονται εύκολότερα από τά υγιή, όταν τό σώμα του άρρώστου δέχεται τήν ακτινοβολία.

2. Στή Βιομηχανία οι ακτίνες Röntgen χρησιμοποιούνται γιά τόν έλεγχο εξαρτημάτων μηχανών ή συσκευών, γιά νά διαπιστωθούν τυχόν ρήγματα, κακές συγκολλήσεις ή κατασκευές κτλ. (Σχ. 7). Τέλος οι ακτίνες Röntgen χρησιμοποιούνται γιά τήν ανεύρεση της δομής των διαφόρων κρυστάλλων, καθώς καί γιά άλλες ποικίλες έρευνες (Σχ. 8).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Μέ ηλεκτρική εκκένωση σέ αραιωμένο αέριο ή μέ θέρμανση του μετάλλου της καθόδου μπορούμε νά σχηματίσουμε δέσμη ηλεκτρονίων μέσα σέ ένα σωλήνα.
2. Όταν ηλεκτρόνια, πού κινούνται μέ μεγάλες ταχύτητες, επιβραδύνονται απότομα (χτυπούν σέ ένα αντικείμενο) παράγεται άόρατη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ακτίνες Röntgen ή X).
3. Οι ακτίνες Röntgen διεισδύουν μέ εύκολία μέσα στην ύλη. Τά βαριά στοιχεία απορροφούν περισσότερο τίς ακτίνες X από ό,τι τά ελαφρά.
4. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στή διάγνωση καί θεραπεία διαφόρων παθήσεων, στόν έλεγχο τών βιομηχανικών προϊόντων καί στήν έπιστημονική έρευνα.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Μέ ποιούς τρόπους μπορούμε νά παράγουμε δέσμη ηλεκτρονίων; β) Γιατί πρέπει ή πίεση του αερίου μέσα στο σωλήνα, πού σχηματίζεται ή δέσμη ηλεκτρονίων, νά είναι πολύ μικρή;
2. Πώς παράγονται οι ακτίνες Röntgen καί γιατί ονομάζονται έτσι;
3. Ποιές ιδιότητες τών ακτίνων Röntgen εκμεταλλευόμαστε στήν ακτινογράφηση του σώματός μας;
4. Γιατί οι ποδιές τών ακτινολόγων περιέχουν μόλυβδο;

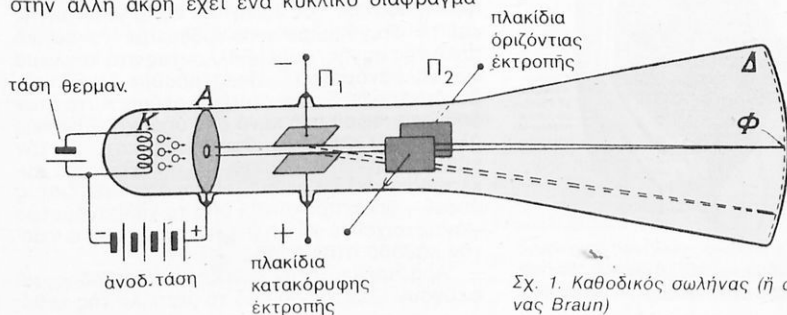
51η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΚΑΘΟΔΙΚΟΣ ΣΩΛΗΝΑΣ

ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Ι. ΚΑΘΟΔΙΚΟΣ ΣΩΛΗΝΑΣ

α. Κατασκευή. Ο καθοδικός σωλήνας είναι ένας αερόκενος σωλήνας πού έχει τή μορφή του Σχ. 1. Στή μία άκρη έχει τήν κάθοδο K καί στήν άλλη άκρη έχει ένα κυκλικό διάφραγμα



Σχ. 1. Καθοδικός σωλήνας (ή σωλήνας Braun)



Σχ. 2. Κινήσεις της δέσμης ηλεκτρονίων για διάφορες τάσεις στα πλακίδια των πυκνωτών, όπως φαίνονται στην οθόνη του σωλήνα



Σχ. 3. Ηλεκτρονικός παλμογράφος

(οθόνη) πού φθορίζει. Ανάμεσα στην κάθοδο και στο διάφραγμα υπάρχει η άνοδος Α και δύο ζευγάρια μεταλλικών πλακών (πυκνωτές).

β. Λειτουργία. Η κάθοδος πυρνώνεται με τη βοήθεια μιάς ηλεκτρικής πηγής χαμηλής τάσεως (τάση θερμάνσεως) και με τόν τρόπο αυτό εκπέμπονται από την κάθοδο ηλεκτρόνια, πού σχηματίζουν ένα ηλεκτρονικό νέφος γύρω της (θερμική έκπομπη).

Η άνοδος έχει μία μικρή όπη στο μέσο, από την οποία περνούν τα ηλεκτρόνια, όταν η άνοδος συνδέεται με τό θετικό πόλο και η κάθοδος με τόν αρνητικό πόλο μιάς πηγής. Έτσι σχηματίζεται μία λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, πού χτυπάει στο φθορίζον διάφραγμα και σχηματίζει φωτεινή κηλίδα (Φ).

Αν τά πλακίδια των πυκνωτών είναι αφόρτιστα τά ηλεκτρόνια κινούνται ευθύγραμμα. Αν εφαρμόσουμε συνεχή τάση στα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισεως Π₁ (τό πάνω πλακίδιο αρνητικό), τότε η φωτεινή κηλίδα Φ μετακινείται προς τό κάτω (Σχ. 2, I). Αν εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη τάση στα ίδια πλακίδια Π₁ τότε η φωτεινή κηλίδα Φ κινείται διαρκώς πάνω κάτω (Σχ. 2, II). Αν εφαρμόσουμε εναλλασσόμενη τάση στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισεως Π₂, τότε η φωτεινή κηλίδα Φ διαγράφει μία οριζόντια γραμμή (Σχ. 2, III).

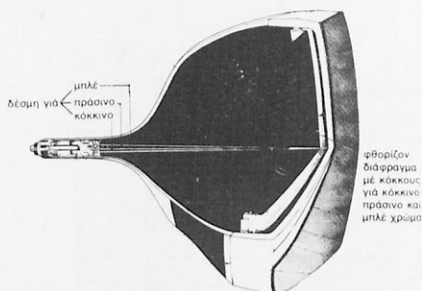
γ. Εφαρμογές. Ο καθοδικός σωλήνας χρησιμοποιείται στους ηλεκτρονικούς παλμογράφους (Σχ. 3), στις τηλεοράσεις (Σχ. 4) στα ραντάρ κτλ.

Με κινήσεις της δέσμης ηλεκτρονίων, παρόμοιες με αυτές πού περιγράψαμε παραπάνω, γίνεται η **σάρωση** της οθόνης στους δέκτες τηλεοράσεως (Σχ. 5).

II. ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

α. Έννοια. Παίρνουμε έναν αερόκενο σωλήνα πού έχει δύο ηλεκτρόδια, ένα πλατύ και ένα στενόμακρο (Σχ. 6). Συνδέουμε τό πλατύ ηλεκτρόδιο με τόν αρνητικό πόλο μιάς πηγής και τό στενόμακρο ηλεκτρόδιο με τό θετικό πόλο της πηγής, παρεμβάλλοντας στο κύκλωμα ένα γαλβανόμετρο Γ. Παρατηρούμε ότι τό γαλβανόμετρο δέ διαρρέεται από ρεύμα. Αυτό ήταν επόμενο, αφού στο κενό δέν υπάρχουν φορείς ηλεκτρικού φορτίου. Φωτίζουμε κατόπιν την κάθοδο και παρατηρούμε ότι στο κύκλωμα κυκλοφορεί κάποιο ρεύμα. Η φορά του ρεύματος αυτού – όπως προκύπτει από τό γαλβανόμετρο – αντιστοιχεί σέ κίνηση ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο.

Αρα πρέπει, όταν φωτίζεται η κάθοδος, νά φεύγουν ηλεκτρόνια από τό μέταλλο της καθό-



Σχ. 4. Καθοδικός σωλήνας εγχρωμής τηλεοράσεως. (Οι άχρωμοι δέκτες έχουν μία μόνο δέσμη ηλεκτρονίων)

δου. Τό φαινόμενο αυτό ονομάζεται **φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** και παρατηρείται κάθε φορά που ένα μέταλλο δέχεται κατάλληλο φώς (άκτινοβολία). "Αρα:

Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ονομάζεται ή **έξοδωγή ηλεκτρονίων** από ένα μέταλλο με την επίδραση κατάλληλης άκτινοβολίας (υπεριώδεις ακτίνες, φώς κτλ.).

β. Νόμοι. Αποδεικνύεται πειραματικά ότι ισχύουν οι έξης νόμοι του φωτοηλεκτρικού φαινομένου:

1. Για νά παρατηρηθεί έκπομπή φωτοηλεκτρονίων πρέπει τό φώς (άκτινοβολία) νά έχει κατάλληλη **συχνότητα**.

Από μία όρική συχνότητα και κάτω, πού είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο, δέ συμβαίνει έκπομπή φωτοηλεκτρονίων.

Τά πολύ δραστικά μέταλλα, όπως καίσιο, κάλιο και νάτριο, δίνουν εύκολα φωτοηλεκτρόνια άκόμη και με όρατή άκτινοβολία (φώς), ενώ άλλα μέταλλα χρειάζονται υπεριώδη άκτινοβολία – πού έχει μεγαλύτερη συχνότητα από τό φώς – για νά δώσουν φωτοηλεκτρόνια. Γι' αυτό ή κάθοδος στά φωτοκύτταρα είναι σκεπασμένη με λεπτό στρώμα δραστικού μετάλλου (π.χ. καλίου ή καΐσιου).

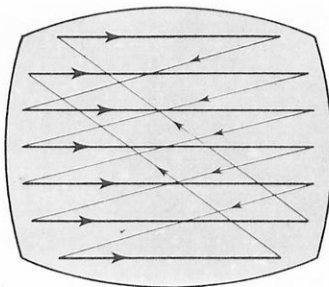
2. Όταν αύξάνει ή συχνότητα του φωτός πού πέφτει στην κάθοδο, αύξάνει και ή **τάχυνση** των φωτοηλεκτρονίων.

3. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλ., ό άριθμός των φωτοηλεκτρονίων στή μονάδα του χρόνου εξαρτάται από τή φωτεινή ενέργεια πού φτάνει στην κάθοδο, στή μονάδα του χρόνου (φωτεινή ροή). Όταν αύξάνει ή φωτεινή ροή, αύξάνει και τό ηλεκτρικό ρεύμα.

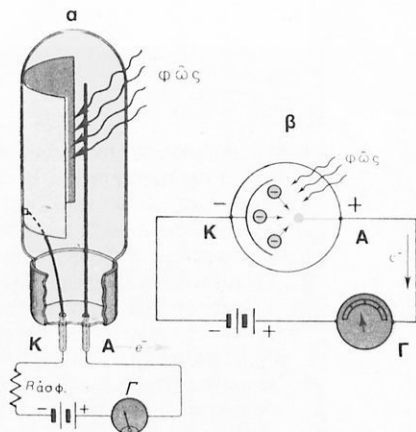
IV. ΦΩΤΟΚΥΤΤΑΡΑ

Τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο βρίσκει εφαρμογές στά φωτοκύτταρα.

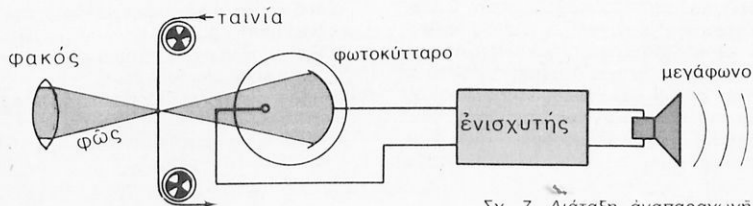
Ό αερόκενος σωλήνας με την κυλινδρική κάθοδο και τή ραβδόμορφη άνοδο, πού περι-



Σχ. 5. Κίνηση τής δέσμης του καθοδικού σωλήνα τηλεόρασης (σάρωση)



Σχ. 6. (α) Φωτοκύτταρο και συνδεσμολογία του. (β) Συμβολική παράσταση φωτοκυττάρου



Σχ. 7. Διάταξη άναπαραγωγής του ήχου στον κινηματογράφο (άρχη)

γράψαμε προηγουμένως, είναι ένα φωτοκύτταρο (Σχ. 6). Τά φωτοκύτταρα χρησιμοποιούνται σε συστήματα ασφάλειας χρηματοκιβωτίων ή άλλων χώρων, στην αυτόματη αρίθμηση αντικειμένων, στον κινηματογράφο για την αναπαραγωγή του ήχου. (Σχ. 7) κτλ.

Κινηματογράφος. Πάνω στην ταινία, και σε μία στενή λουρίδα, είναι άποτυπωμένος ο ήχος με τη μορφή διαδοχικών σκοτεινών γραμμών. Καθώς η ταινία κινείται μπροστά από ένα φωτοκύτταρο, οι σκοτεινές γραμμές διακόπτουν περιοδικά τη δέσμη φωτός που φωτίζει το φωτοκύτταρο. Έτσι μεταβάλλεται περιοδικά η φωτεινή ροή που φτάνει στο φωτοκύτταρο με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται περιοδικά και η ένταση του ρεύματος του φωτοκυττάρου. Το ρεύμα αυτό ενισχύεται με κατάλληλο ενισχυτή και οδηγείται στο μεγάφωνο, όπου αναπαράγεται ο ήχος που είναι άποτυπωμένος στην ταινία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ο καθοδικός σωλήνας είναι ένας αερόκενος σωλήνας με κατάλληλα ηλεκτρόδια για την παραγωγή λεπτής δέσμης ηλεκτρονίων. Η δέσμη των ηλεκτρονίων μπορεί να κινείται πάνω κάτω με τα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως και δεξιά αριστερά με τα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως. Ο καθοδικός σωλήνας χρησιμοποιείται στους παλμογράφους, στην τηλεόραση, στα ραντάρ κτλ.
2. Η εξαγωγή ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο με την επίδραση κατάλληλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ονομάζεται φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Τά πολύ δραστικά μέταλλα παράγουν φωτοηλεκτρόνια και με τό φώς, ενώ τά άλλα πρέπει νά «φωτιστούν» με υπεριώδεις ακτίνες.
3. Τά φωτοκύτταρα είναι αερόκενοι σωλήνες πού λειτουργούν με βάση τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. α) Πώς παράγονται τά ηλεκτρόνια πού κινούνται από την κάθοδο στην άνοδο ενός καθοδικού σωλήνα; β) Πώς τά ηλεκτρόνια αυτά σχηματίζουν λεπτή δέσμη;
2. Τί κίνηση θά κάνει ή φωτεινή κηλίδα Φ στην όθονή του καθοδικού σωλήνα, αν τά πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως συνδεθούν α) με εναλλασσόμενη τάση β) με συνεχή τάση;
3. Πώς κινείται ή δέσμη ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα τηλεόρασεως, όταν σαρώνει την όθονη;
4. α) Τί είναι τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο; β) Ποιοί είναι οί νόμοι του;
5. Τί επίτρωση πρέπει νά έχει τό ηλεκτρόδιο της καθόδου γιά νά παράγει φωτοηλεκτρόνια με όρατή ακτινοβολία;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ: ΠΥΡΗΝΙΚΗ

52η ΕΝΟΤΗΤΑ

ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΡΑΔΙΟΙΣΟΤΟΠΑ

Ι. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο Γάλλος φυσικός Becquerel (Μπεκερέλ) ανακάλυψε τό 1896 ότι τὰ ὄρυκτά τοῦ οὐρανίου ἔχουν τὴν ιδιότητα νὰ ἐκπέμπουν συνεχῶς μιά ἀόρατη ἀκτινοβολία, ἡ ὁποία μαυρίζει τὴ φωτογραφικὴ πλάκα, προκαλεῖ φθορισμό σὲ ὀρισμένα σώματα καὶ ἰονισμό στὰ ἀέρια.

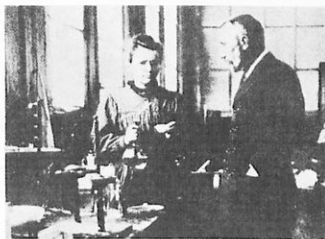
Τό φαινόμενο τῆς ἐκπομπῆς ἀόρατης ἀκτινοβολίας ἀπό διάφορα ὑλικά μελετήθηκε στή συνέχεια ἀπό τὴ Μαρία καὶ τόν Πέτρο Curie, οἱ ὁποῖοι κατόρθωσαν νὰ ἀπομονώσουν ἓνα στοιχεῖο – νέο γιὰ τὴν ἐποχὴ τους – πού παρουσίαζε ἔντονη ἀκτινοβολία. Τό στοιχεῖο αὐτό τό ὀνόμασαν **ράδιο** καὶ τό φαινόμενο **ραδιενέργεια**. Ἄρα:

Ραδιενέργεια ὀνομάζεται τό φαινόμενο τῆς ἐκπομπῆς ἀόρατης ἀκτινοβολίας ἀπό ὀρισμένα στοιχεῖα, πού ὀνομάζονται **ραδιενεργά** στοιχεῖα.

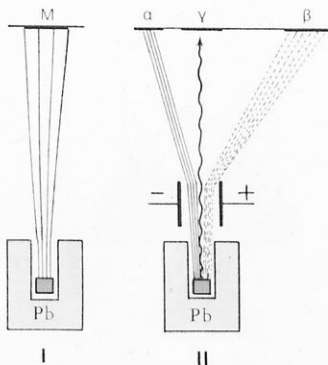
Ἡ ἐκπομπή τῆς ἀκτινοβολίας (ραδιενέργεια) ὀρισμένων στοιχείων ὀφείλεται στήν ἀστάθεια πού ἔχουν οἱ πυρῆνες τους, μέ ἀποτέλεσμα νὰ παθαίνουν **αὐτόματα** μιά μικρὴ διάσπαση. Συνέπεια τῆς διασπάσεως εἶναι ἡ ἐκπομπή μικρῶν σωματιδίων καὶ συγχρόνως ἡλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας μεγάλης συχνότητος (μικροῦ μήκους κύματος).

ΙΙ. ΦΥΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

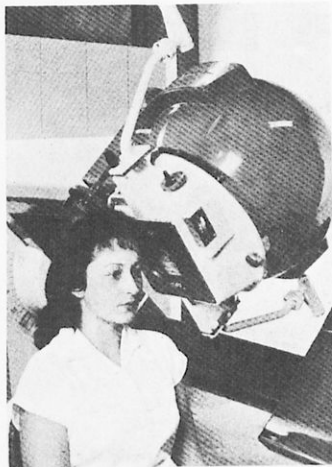
Σέ κομμάτι μολύβδου ἀνοίγουμε μιά στενόμακρη κοιλότητα καὶ στό βάθος τῆς τοποθετοῦμε μικρὴ ποσότητα ραδιενεργῶν ὑλικῶν (Σχ. 2). Κατόπιν τοποθετοῦμε μιά φωτογραφικὴ πλάκα πάνω ἀπὸ τό δοχεῖο καὶ παρατηροῦμε ὅτι σχηματίζεται μιά μελανὴ κηλὶδα Μ. Ἄν ὅμως ἡ ἀκτινοβολία περάσει μέσ ἀπὸ ἡλεκτρικὸ ἢ μαγνητικὸ πεδίο, ἡ φωτογραφικὴ πλάκα μαυρίζει σὲ τρεῖς περιοχές α, β καὶ γ. Ἀπὸ τό πείραμα αὐτό συμπεραίνουμε ὅτι ἡ ἀκτινοβολία τῶν ραδιενεργῶν στοιχείων περιλαμβάνει **τρία** εἴδη



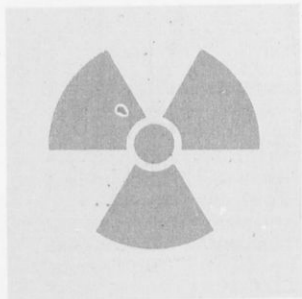
Σχ. 1. Μαρία καὶ Πέτρος Curie



Σχ. 2. Διαχωρισμός τῶν ἀκτίνων α, β, γ



Σχ. 3. Θεραπεία με ακτίνες γ που παράγονται από ραδιενεργό κοβάλτιο



Σχ. 4. Σήμα κινδύνου ραδιενέργειας

ακτίνων, τις ακτίνες α, τις ακτίνες β και τις ακτίνες γ.

Οι **ακτίνες α** είναι σωματίδια, που έχουν την ίδια μάζα και τό ίδιο φορτίο με τούς πυρήνες ήλιου (${}^4\text{He}$). Έχουν δηλ. μάζα τετραπλάσια από τη μάζα ενός πρωτονίου και φορτίο θετικό, αλλά σέ ποσότητα διπλάσιο από τό φορτίο του ηλεκτρονίου ($+2e$). Επίσης κινούνται με μεγάλες ταχύτητες (π.χ. 20000 Km/sec).

Οι **ακτίνες β** είναι σωματίδια που έχουν την ίδια μάζα και τό ίδιο φορτίο με τά ηλεκτρόνια. Είναι με άλλα λόγια ηλεκτρόνια που εκτοξεύονται απ' τόν πυρήνα των ραδιενεργών στοιχείων με μεγάλες ταχύτητες που φθάνουν μέχρι 290000 Km/sec, δηλ. πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός.

Τά σωματίδια α και β έχουν κοινές ιδιότητες. Προκαλούν φθορισμό σέ φθορίζουσες ουσίες, διαδίδονται εύθυγράμματα όταν κινούνται έξω από μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο, εκτρέπονται από την εύθεία πορεία με μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο, μαυρίζουν τή φωτογραφική πλάκα, προκαλούν ιονισμό στά αέρια και έχουν μικρή διεισδυτική ικανότητα.

Οι **ακτίνες γ** είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με πολύ μεγάλη συχνότητα, μεγαλύτερη από τή συχνότητα των ακτίνων Röntgen που χρησιμοποιούνται συνήθως στήν Ιατρική. Έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τις ακτίνες Röntgen. Διαδίδονται εύθυγράμματα, προκαλούν φθορισμό σέ φθορίζουσες ουσίες, προσβάλλουν τή φωτογραφική πλάκα, δέν εκτρέπονται από ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα, προκαλούν ιονισμό στά αέρια και αλλοιώσεις στά κύτταρα των όργανων.

Πρέπει νά σημειώσουμε ότι δέν εκπέμπουν τις ίδιες ακτινοβολίες όλα τά ραδιενεργά στοιχεία. Άλλα εκπέμπουν σωματίδια α και άλλα σωματίδια β. Μερικά όμως εκπέμπουν μαζί με τά σωματίδια α ή με τά σωματίδια β και ακτίνες γ.

III. ΡΑΔΙΟΙΣΟΤΟΠΑ

Έκτός από τά φυσικά ραδιενεργά στοιχεία είναι δυνατό νά παρατηρηθεί ραδιενέργεια (εκπομπή ακτίνων γ, σωματιδίων β κτλ.) και σέ πολλά άλλα στοιχεία που στή φυσική τους κατάσταση δέν είναι ραδιενεργά. Τά στοιχεία αυτά

λέγονται ραδιενεργά ισότοπα ή **ραδιοϊσότοπα**.

Τά ραδιοϊσότοπα είναι ισότοπα μή ραδιενεργών στοιχείων και παρουσιάζουν τις ίδιες χημικές ιδιότητες με αυτά. Μερικά από τά πιό γνωστά είναι ο ραδιενεργός άνθρακας (^{14}C), ο ραδιενεργός φωσφόρος, τό ραδιενεργό ιώδιο κ.ά.

Τά ραδιοϊσότοπα προέρχονται από σταθερά στοιχεία, όταν τά στοιχεία αυτά βομβαρδίζονται μέ σωματίδια, όπως νετρόνια, ηλεκτρόνια, πρωτόνια κ.ά. πού έχουν μεγάλες ταχύτητες (π.χ. ο ραδιοάνθρακας προέρχεται από τό άζωτο μέ άπορρόφηση ενός νετρονίου). Μεγάλες ποσότητες ραδιοϊσοτόπων παρασκευάζονται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Χρήσεις. Τά ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιούνται στην Ίατρική, Βιολογία, Χημεία, Άρχαιολογία κ.ά. Τό ραδιενεργό ιώδιο π.χ. χρησιμοποιείται γιά τήν παρακολούθηση τής καλής λειτουργίας του θυρεοειδούς αδένος.

IV. ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΤΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Οί πυρηνικές άκτινοβολίες, όπως και οί άκτίνες Röntgen, περνώντας από τόν όργανισμό του ανθρώπου ή τών ζώων προκαλούν χημικές αντιδράσεις, ιονισμό στά μόρια τών κυττάρων και έγκαύματα, τά όποια είναι δυνατό νά φέρουν και τό θάνατο. Γιά τό λόγο αυτό πρέπει νά λαμβάνονται κάθε φορά τά άπαραίτητα προστατευτικά μέτρα.

Οί άκτίνες α και β έχουν μικρή διεισδυτική ικανότητα γι' αυτό ή δράση τους περιορίζεται κυρίως στό δέρμα.

Οί άκτίνες γ, όπως και οί άκτίνες Röntgen, έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και γι' αυτό είναι περισσότερο επικίνδυνες από τίς δύο άλλες.

Σέ μεγάλες δόσεις καταστρέφουν τά αίμοποιητικά όργανα και προκαλούν τή **λευχαιμία**. Επίσης, προσβάλλοντας τά γεννητικά κύτταρα, είναι δυνατό νά χαλάσουν τή χημική δομή ενός ή περισσοτέρων γονιδίων μέ άποτέλεσμα νά εμφανιστούν στους απογόνους νέα χαρακτηριστικά (**μετάλλαξη**).

Όταν όμως κάνουμε λογισμένη χρήση τών άκτίνων γ, μπορούμε νά θεραπεύσουμε διάφορες ασθένειες (καρκίνο κτλ.) (Σχ. 3).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Ραδιενέργεια ονομάζεται τό φαινόμενο κατά τό όποίο τά άτομα όρισμένων στοιχείων έκπέμπουν από τόν πυρήνα τους διάφορα σωματίδια ή άκτίνες γ (ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία μεγάλης συχνότητας).
Στή φυσική ραδιενέργεια τά σωματίδια αυτά είναι α (πυρήνες ήλίου) ή β (ήλεκτρόνια).
2. Τά ραδιοϊσότοπα είναι τεχνητά ραδιενεργά στοιχεία καί είναι ισότοπα στοιχείων πού στή φυσική τους κατάσταση δέν είναι ραδιενεργά. Παράγονται από μή ραδιενεργά στοιχεία μέ τήν επίδραση διαφόρων σωματιδίων (ήλεκτρονίων, πρωτονίων, νετρονίων κτλ.).
3. Οί πυρηνικές άκτινοβολίες (κυρίως οί άκτίνες γ) προκαλούν αλλοιώσεις στά κύτταρα, πού μπορούν νά προξενήσουν βλάβες στόν όργανισμό. Τά άρρωστα κύτταρα καταστρέφονται γρηγορότερα από τά ύγιή καί γι' αυτό οί πυρηνικές άκτινοβολίες χρησιμοποιούνται στή θεραπεία όρισμένων παθήσεων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Τί είναι ραδιενέργεια;
2. Ποιά είναι ή φύση των άκτίνων πού έκπέμπονται από φυσικά ραδιενεργά στοιχεία;
3. α) Τί ιδιότητες έχουν οί άκτίνες α καί β; β)
Τί ιδιότητες έχουν οί άκτίνες γ;
4. Τί είναι τά ραδιοϊσότοπα καί πού χρησιμοποιούνται;
5. Τί μπορούν νά προξενήσουν οί άκτίνες γ στόν όργανισμό;
6. Πώς παράγονται τά ραδιοϊσότοπα;

ΠΥΡΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ι. ΣΧΑΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ

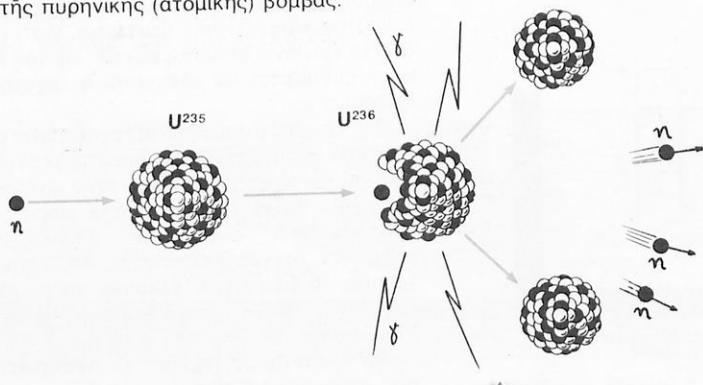
Τό φυσικό οὐράνιο ἀποτελεῖται κυρίως ἀπὸ δύο ἰσότοπα, τὸ ${}^{238}\text{U}$ καὶ τὸ ${}^{235}\text{U}$. Ἀπὸ τὰ δύο αὐτὰ ἰσότοπα τὸ ${}^{238}\text{U}$ εἶναι τὸ κύριο συστατικό τοῦ φυσικοῦ οὐρανίου καὶ μόλις 0,7% τοῦ φυσικοῦ οὐρανίου εἶναι ${}^{235}\text{U}$.

Τὸ ${}^{235}\text{U}$ ἔχει μία σπουδαία ιδιότητα. "Όταν βομβαρδίζεται μὲ νετρόνια, οἱ πυρῆνες του κόβονται περίπου στὴ μέση καὶ σχηματίζονται δύο μικρότεροι πυρῆνες, ἐνῶ συγχρόνως ἐκπέμπονται νετρόνια καὶ ἀκτίνες γ (Σχ. 1).

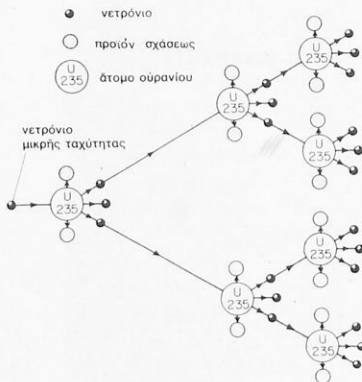
Τὸ φαινόμενο αὐτὸ ὀνομάζεται **σχάση** (σχάζω = σκάζω, σχίζω).

Τὰ κομμάτια (θραύσματα) ποὺ προκύπτουν ἀπὸ τὴ σχάση (πυρῆνες, νετρόνια) κινοῦνται μὲ μεγάλες ταχύτητες, δηλ. ἔχουν μεγάλες κινητικές ἐνέργειες. Ἡ κινητικὴ ἐνέργεια αὐτῶν τῶν θραυσμάτων μαζί μὲ τὴν ἐνέργεια τῶν ἀκτίνων γ ἀποτελεῖ τὴν **πυρηνικὴ ἐνέργεια** ποὺ ἐλευθερώνεται κατὰ τὴ σχάση. Ἡ ἐνέργεια αὕτὴ τελικὰ μετατρέπεται σὲ **θερμότητα**.

Ἡ πυρηνικὴ ἐνέργεια ποὺ παράγεται μὲ τὴ σχάση ἑνὸς πυρήνα ${}^{235}\text{U}$ εἶναι ἑκατομμύρια φορές μεγαλύτερη ἀπὸ τὴ χημικὴ ἐνέργεια ποὺ παράγεται κατὰ τὴ χημικὴ ἔνωση ἑνὸς ἀτόμου μὲ ἄτομα ἄλλου στοιχείου. Στὴν τεράστια αὕτὴ πυρηνικὴ ἐνέργεια ὀφείλεται ἡ καταστρεπτικὴ δύναμη τῆς πυρηνικῆς (ἀτομικῆς) βόμβας.



Σχ. 1. Σχάση τοῦ πυρήνα τοῦ ${}^{235}\text{U}$



Σχ. 2. Άλυσιδωτή αντίδραση

II. ΑΛΥΣΙΔΩΤΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

Τά νετρόνια που ελευθερώνονται από τη σχάση των πυρήνων U^{235} είναι δυνατό – όταν η μάζα του ούρανιου είναι αρκετή – να προκαλέσουν τη σχάση νέων πυρήνων U^{235} .

Με τόν τρόπο αυτό οι πυρηνικές αντιδράσεις, δηλ. οι σχάσεις, συνεχίζονται ή μία μετά την άλλη χωρίς διακοπή. Μία τέτοια αυτοσυντηρούμενη σειρά αντιδράσεων ονομάζεται **άλυσιδωτή αντίδραση** (Σχ. 2).

Όταν αρχίσει μία αλυσιδωτή αντίδραση, συνεχίζεται με ολοένα αυξανόμενο ρυθμό και τελικά οδηγεί σε έκρηξη ολόκληρης της μάζας του U^{235} (πυρηνική βόμβα). Με κατάλληλα όμως υλικά (π.χ. κάδμιο) μπορούμε να ελέγχουμε την αλυσιδωτή αντίδραση και αυτό το εφαρμόζουμε στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

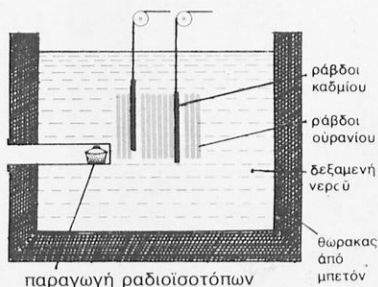
III. ΠΥΡΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμεύουν στην εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας του Κέντρου Πυρηνικών Έρευνών «Δημόκριτος» είναι μία μεγάλη δεξαμενή γεμάτη με νερό (Σχ. 3). Μέσα στο νερό είναι βυθισμένο τό σχάσιμο υλικό (U^{235}) και ανάμεσα στις πλάκες του ούρανιου υπάρχουν οι **ράβδοι ελέγχου**.

Οι **ράβδοι ελέγχου** είναι κατασκευασμένες από κάδμιο, ένα στοιχείο που έχει την ιδιότητα να απορροφάει νετρόνια. Όταν ανεβαίνουν οι ράβδοι, αυξάνεται η ταχύτητα αντιδράσεων, ενώ όταν κατεβαίνουν, μειώνεται, γιατί πολλά από τα νετρόνια απορροφούνται. Με τόν τρόπο αυτό ρυθμίζεται και ελέγχεται η ταχύτητα αντιδράσεως.

Γιά να προστατεύονται οι εργαζόμενοι στους πυρηνικούς αντιδραστήρες από την ακτινοβολία γ και τα νετρόνια, η δεξαμενή είναι κατασκευασμένη με παχιά τοιχώματα από μπετόν, που απορροφούν τις ακτινοβολίες. Στά τοιχώματα υπάρχουν στενές κοιλάδες, όπου τοποθετούνται τα υλικά που θέλουμε να βομβαρδιστούν με νετρόνια, γιά να δημιουργήσουν ραδιοϊσότοπα.

Αντιδραστήρας ισχύος. Ο αντιδραστήρας που περιγράψαμε είναι κατάλληλος γιά πειραματικούς μόνο σκοπούς και γιά τήν παραγωγή



Σχ. 3. Πυρηνικός αντιδραστήρας (άρχη)

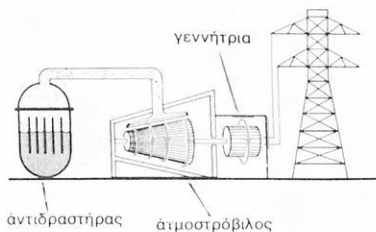
ραδιοϊσοτόπων. "Όταν θέλουμε νά μετατρέψουμε τήν πυρηνική ενέργεια σέ μηχανική ή ηλεκτρική, τότε χρησιμοποιούμε τούς αντιδραστήρες ισχύος πού παρουσιάζουν όρισμένες διαφορές από τούς πειραματικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες (Σχ. 4).

Η χρήση τοῦ πυρηνικοῦ αντιδραστήρα, γιά τήν παραγωγή ηλεκτρικῆς ἐνέργειας, ἔδωσε ἀρχικά στούς ἀνθρώπους τήν ἐντύπωση ὅτι θά ἔλυνε κατὰ κάποιο τρόπο τό ἐνεργειακό πρόβλημα. Οἱ δαπάνες ὅμως ἐγκαταστάσεως τῶν αντιδραστήρων, τὰ ἐξοδα ἐξορύξεως καί ἐπεξεργασίας τοῦ οὐρανίου καί ἡ μόλυνση τοῦ περιβάλλοντος ἀπό τὰ ραδιενεργά κατάλοιπα ἔκαναν τούς ἀνθρώπους ἐπιφυλακτικούς στή χρήση τῆς πυρηνικῆς ἐνέργειας.

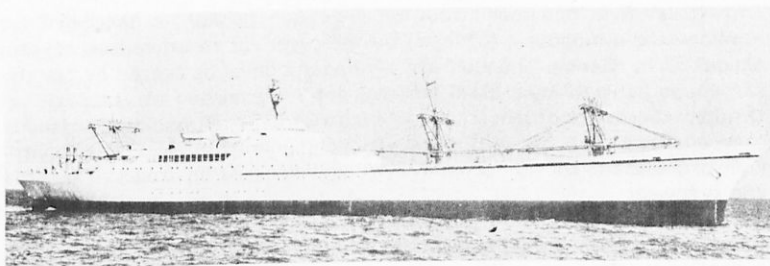
IV. ΣΥΝΤΗΞΗ ΕΛΑΦΡΩΝ ΠΥΡΗΝΩΝ

Στίς προηγούμενες πυρηνικές μεταβολές (ἀντιδράσεις), ὅπως ἡ ἐκπομπή σωματιδίων ἀ ἀπό ραδιενεργούς πυρήνες καί ἡ σχάση τοῦ U^{235} , ὁ πυρήνας πού παθαίνει τή μεταβολή διασπᾶται σέ μικρότερα σωματίδια. Εἶναι ὅμως δυνατό νά συμβεῖ καί τό ἀντίθετο. Δηλ. δύο ἡ περισσότεροι ἑλαφροὶ πυρήνες μπορεῖ νά συνενωθοῦν καί νά ἀποτελέσουν ἕνα βαρύτερο πυρήνα (Σχ. 6). Τό φαινόμενο αὐτό ὀνομάζεται **σύντηξη**.

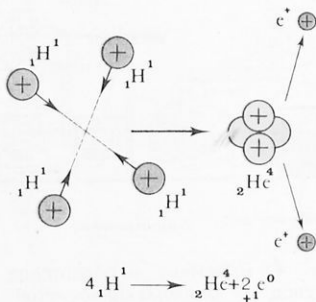
"Όταν τέσσερις πυρήνες ὑδρογόνου συντήκονται, παράγεται ἕνας πυρήνας ἡλίου καί δύο θετικά σωματίδια πού λέγονται **ποζιτρόνια**. (Τά ποζιτρόνια ἔχουν τήν ἴδια μάζα μέ τά ηλεκτρόνια, ἀλλά τό φορτίο τους εἶναι θετικό, δηλ. ἀντί-



Σχ. 4. Πυρηνικός ἀντιδραστήρας ισχύος καί ατμοληλεκτρικὸς σταθμός



Σχ. 5. Τὸ πρῶτο πυρηνοκίνητο ἐμπορικὸ πλοῖο «Savannah». (Σαβάννα)



Σχ. 6. Σύντηξη πυρήνων υδρογόνου

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Πώς γίνεται η σχάση του ${}^{235}\text{U}$ και ποιά είναι τα προϊόντα της;
2. Μέ ποιά μορφή φανερώνεται η πυρηνική ενέργεια κατά τη σχάση του ουρανίου και σε τί μετατρέπεται τελικά;
3. Τι είναι η αλυσιδωτή αντίδραση και πώς ελέγχεται;
4. Τι κάνουμε για να αυξήσουμε την ταχύτητα αντίδρασης σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα;
5. α) Τι είναι η σύντηξη πυρήνων; β) Τι παράγεται κατά τη σύντηξη τεσσάρων πυρήνων υδρογόνου;
6. Πώς εξηγείται η ανεξάντλητη παραγωγή ενέργειας από τον Ήλιο;

θετο προς τό φορτίο των ηλεκτρονίων). Η ενέργεια που έλευθερώνεται από τη σύντηξη τεσσάρων πυρήνων υδρογόνου (πυρηνική ενέργεια) είναι παραπλήσια προς την ενέργεια που παράγεται από τη σχάση ενός πυρήνα ουρανίου, είναι δηλ. εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη χημική ενέργεια που παράγεται όταν καίγεται τό υδρογόνο.

Βόμβα υδρογόνου. Στη βόμβα υδρογόνου παράγεται ενέργεια μέ σύντηξη πυρήνων υδρογόνου. Για νά γίνει όμως η σύντηξη αυτή χρειάζεται πολύ ύψηλή θερμοκρασία ($10000000\text{ }^\circ\text{C}$ περίπου), ή όποια δημιουργείται μέ έκρηξη μιās μικρής πυρηνικής βόμβας. Η πυρηνική βόμβα τότε ενεργεί σάν καπούλι της βόμβας υδρογόνου.

Ήλιακή ενέργεια. Η ανεξάντλητη ενέργεια που ακτινοβολεί διαρκώς ό Ήλιος καθώς και ή ενέργεια των άστεριών όφείλεται σε συντήξεις πυρήνων υδρογόνου. Η μάζα του Ήλιου είναι, κατά τό μεγαλύτερο μέρος της, υδρογόνο και υπολογίζεται ότι τό υδρογόνο αυτό είναι άρκετό για νά κρατήσει τόν Ήλιο πυρακτωμένο για 10000000000 χρόνια άκόμη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. Οί πυρήνες των ατόμων του ουρανίου ${}^{235}\text{U}$ (${}^{235}\text{U}$) έχουν την ιδιότητα νά σχίζονται περίπου στη μέση, όταν βομβαρδίζονται μέ νετρόνια. Τό φαινόμενο αυτό λέγεται σχάση.
2. Όταν τα νετρόνια που προκύπτουν από μία σχάση προκαλούν άλλες σχάσεις, οί πυρηνικές αντιδράσεις (σχάσεις) συνεχίζονται και τό φαινόμενο λέγεται αλυσιδωτή αντίδραση. Η αλυσιδωτή αντίδραση όδηγει σε έκρηξη άν δέν τήν ελέγχουμε μέ κατάλληλα ύλικά (κάδμιο) που άπορροφούν τά νετρόνια.
3. Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι μία εγκατάσταση στην όποία προκαλούμε ελεγχόμενες αλυσιδωτές αντιδράσεις και χρησιμοποιείται τόσο για έρευνητικούς σκοπούς όσο και για τήν παραγωγή μηχανικής (κίνηση πλοίων) ή ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Η συνένωση ελαφρών πυρήνων σε ένα μεγαλύτερο πυρήνα όνομάζεται σύντηξη. Κατά τη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου παράγεται ήλιο και έλευθερώνεται πολλή ενέργεια (πυρηνική ενέργεια). Σύντηξη πυρήνων υδρογόνου συμβαίνει στις βόμβες υδρογόνου και στον Ήλιο.

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ
ΣΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ

(Όσα από τὰ προβλήματα έχουν στὸν αὐ-
ξοντα ἀριθμὸ τους ἕναν ἀστερίσκο – π.χ. 2η
ἐνότητα 1* πρόβλημα – λύνονται ὑποδειγ-
ματικά στὸ τέλος τῶν ἀπαντήσεων).

1η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $\gamma = 6 \text{ m/sec}^2$
- 2*. $u_z = 23 \text{ m/sec}$
3. $\gamma = -3 \text{ m/sec}^2$

2η ΕΝΟΤΗΤΑ

- 1*. $u = 20 \text{ m/sec}$, $s = 40 \text{ m}$
2. $\gamma = 4 \text{ m/sec}^2$
3. $t = 5 \text{ sec}$

3η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $g = 10 \text{ m/sec}^2$
2. $s = 80 \text{ m}$
3. $t = 5 \text{ sec}$

4η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $T = 60 \text{ sec}$, $\nu = 1/60 \text{ sec}^{-1} \approx 0,016 \text{ Hz}$
2. $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{30 \text{ sec}}$, $u = \frac{\pi \text{ cm}}{30 \text{ sec}}$
3. $u \approx 465 \text{ m/sec}$

5η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $\gamma = 6,5 \text{ m/sec}^2$
2. $m = 800 \text{ Kgr}$
3. $\gamma = 1 \text{ m/sec}^2$

6η ΕΝΟΤΗΤΑ

- 2*. $F = 5 \text{ kp}$
3. $F = 60 \text{ N}$

7η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $B = 50 \text{ N}$
2. $B_z = 8 \text{ N}$
3. $F = 33 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

8η ΕΝΟΤΗΤΑ

- 1*. $F_K = 36 \text{ N}$
2. $u = 2 \text{ m/sec}$, $F_K = 20 \text{ N}$

9η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $J_{\text{ολ}} = 10 \text{ Kgr.m/sec}$
2. $m = 6 \text{ Kgr}$
3. $u_{\text{ολ}} = 1,8 \text{ m/sec}$

11η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $T = 0,8\pi \text{ sec} = 2,512 \text{ sec}$
2. $g = 9,33 \text{ m/sec}^2$
3. $l \approx 1,01\text{m}$

13η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $u = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$
2. $v = 375 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$
3. $\lambda = 0,15 \text{ m}$

14η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $\lambda = 0,77 \text{ m}$
2. $\lambda = 3,40 \text{ m}$
3. $\Delta t \approx 33,3 \text{ sec}$

18η ΕΝΟΤΗΤΑ

- 1*. $F = F' = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
2. $E = 2,4 \cdot 10^6 \text{ N/Cb}$
3. $q = 4 \cdot 10^{-10} \text{ Cb}$

19η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $F = 64 \cdot 10^{-9} \text{ N}$
2. $q = 11,2 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$
3. $m = 25,6 \cdot 10^{-24} \text{ gr}$

22η ΕΝΟΤΗΤΑ

- 1*. $q = 180 \text{ Cb}$
2. $W = 310 \text{ Joule}$
3. $q = 72 \text{ Cb}, W = 432 \text{ Joule}$

23η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $U = 1,2 \text{ V}$
2. $i = 0,2 \text{ A}$
3. $R = 40 \Omega$

24η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $R = 15 \Omega$
2. $l = 50 \text{ m}$

25η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $R_{ολ} = 12 \Omega$
2. $i = 0,12 \text{ A}$
3. $R_{ολ} = 12 \Omega$

26η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $i = 4,4 \text{ A}$
2. $t = 8 \text{ h}$
3. $P = 25 \text{ W}$
4. $Q = 2900 \text{ Joule}$

27η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $U = 220 \text{ V}, P = 100 \text{ W}, i \approx 0,45 \text{ A}$
2. $U = 200 \text{ V}$
3. $6,6 \text{ δρχ.}$

33η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $F = 5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
2. $B = 1 \text{ Tesla}$
3. $F = 0,6 \text{ N}$

35η και 36η ΕΝΟΤΗΤΕΣ

1. $U_{\text{ΕΠ}} = 3 \text{ V}$
2. $\Delta\Phi = 16 \cdot 10^{-4} \text{ Weber}$
3. $\Delta t = 8 \text{ sec}$
4. $\Phi_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Weber}, \Phi_2 = 0$

38η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $T = 0,02 \text{ sec}, \nu = 50 \text{ Hz}$
2. $i_{\text{ΕV}} = 0,4 \text{ A}$
3. $U_{\text{ΕV}} = 220 \text{ V}, i_{\text{ΕV}} = 2 \text{ A}$
4. $Q = 360000 \text{ Joule}$

40η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $U_2 = 44 \text{ V}$
2. $n_1 = 8$
3. $i_2 = 0,5 \text{ A}$

47η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $t = 5 \cdot 10^4 \text{ sec}$
2. $m_M = 0,6 \text{ mgr}, V_H = 6,6 \text{ cm}^3$
3. $i = 1,5 \text{ A}$

48η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $q = 108000 \text{ Cb} = 108 \cdot 10^3 \text{ Cb}$

49η ΕΝΟΤΗΤΑ

1. $U_1 = 90000 \text{ V}, U_2 = 3 \cdot 10^8 \text{ V}$

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

1η ΕΝΟΤΗΤΑ, 2* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
$\gamma = 10 \text{ m/sec}^2$	
$u_1 = 3 \text{ m/sec}$	$u_2 = ?$
$\Delta t = 2 \text{ sec}$	

Λύση. Ξέρουμε ότι η επιτάχυνση δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma = \frac{\Delta u}{\Delta t} = \frac{u_2 - u_1}{\Delta t} \Leftrightarrow u_2 - u_1 = \gamma \cdot \Delta t \Leftrightarrow$$

$$u_2 = u_1 + \gamma \cdot \Delta t.$$

Αντικαθιστούμε στον τελευταίο τύπο τα μεγέθη με τις γνωστές τιμές και βρίσκουμε:

$$\begin{aligned} u_2 &= 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}} + 10 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 2 \text{ sec} = \\ &= 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}} + 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}} = 23 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

Απάντηση. Το σώμα μετά 2 sec θά έχει ταχύτητα

$$u_2 = 23 \text{ m/sec}$$

2η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
$\gamma = 5 \text{ m/sec}^2$	$u = ?$
$t = 4 \text{ sec}$	$s = ?$

Λύση: Ξέρουμε ότι η ταχύτητα δίνεται από τον τύπο $u = \gamma \cdot t$. Αντικαθιστούμε τα γνωστά οπότε έχουμε:

$$u = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 4 \text{ sec} = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

Επίσης ξέρουμε ότι το διάστημα s δίνεται από τον τύπο

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

Επομένως:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot (4 \text{ sec})^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \cdot 16 \text{ sec}^2 = 40 \text{ m} \end{aligned}$$

Απάντηση: Το αυτοκίνητο μετά 4 sec θά έχει ταχύτητα

$$u = 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

καί θά απέχει από την άφετηρία απόσταση

$$s = 40 \text{ m}.$$

6η ΕΝΟΤΗΤΑ. 2* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
---------------	----------------

$$B = 5 \text{ Kp}$$

$$F = ;$$

Λύση. Στο σώμα Σ ενεργούν δύο δυνάμεις, ή F και τό βάρος B. Όταν τό σώμα άνεβαίνει ή κατεβαίνει μέ σταθερή ταχύτητα (επιτάχυνση = 0), πρέπει ή συνισταμένη δύναμη $F_{ολ} = F - B$ νά είναι μηδέν. Άρα:

$$F - B = 0 \Leftrightarrow F = B \Rightarrow F = 5 \text{ Kp}$$

Απάντηση. Για νά άνεβαίνει ή νά κατεβαίνει τό σώμα μέ σταθερή ταχύτητα πρέπει νά άσκειται δύναμη

$$F = 5 \text{ Kp}$$

8η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
---------------	----------------

$$m = 2 \text{ Kgr}$$

$$R = 0,5 \text{ m}$$

$$u = 3 \text{ m/sec}$$

$$F_K = ;$$

Λύση. Ή κεντρομόλος δύναμη πού άσκειται στό σώμα δίνεται από τή σχέση:

$$F_K = \frac{mu^2}{R}$$

Αντικαθιστούμε και έχουμε:

$$F_K = 2 \text{ Kgr} \cdot \frac{(3\text{m/sec})^2}{0,5 \text{ m}} =$$

$$= 2 \text{ Kgr} \cdot \frac{9\text{m}^2/\text{sec}^2}{0,5 \text{ m}} =$$

$$= 36 \text{ Kgr} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} = 36 \text{ N}$$

(Στήν ένότητα 5 μάθαμε ότι:

$$1\text{N} = 1 \text{ kgr}\cdot\text{m}/\text{sec}^2,$$

ή, έπειδή όλες οι μονάδες ανήκουν στό σύστημα SI, ή δύναμη θά μετρίεται σε N).

Απάντηση. Ή κεντρομόλος δύναμη πού άσκειται στό σώμα είναι:

$$F_K = 36 \text{ N}$$

18η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
---------------	----------------

$$Q_1 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Cb}$$

$$Q_2 = 6 \cdot 10^{-9} \text{ Cb}$$

$$r = 2 \text{ cm}$$

$$F = ;$$

$$F' = ;$$

Λύση. Γνωρίζουμε ότι ή δύναμη μεταξύ δύο φορτίων Q_1 και Q_2 δίνεται από τόν τύπο:

$$F = K \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$



όπου $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Cb}^2$ και r η μεταξύ των φορτίων απόσταση. Για να αντικαταστήσουμε τα γνωστά μεγέθη με τις τιμές τους πρέπει όλα να εκφράζονται σε μονάδες του συστήματος S.I. Άρα πρέπει να μετατρέψουμε τα cm σε m, δηλ. $r = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Αντικαθιστούμε στον τύπο (1) τα γνωστά μεγέθη με τις τιμές τους και βρίσκουμε:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Cb}^2} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-8} \text{ Cb} \cdot 6 \cdot 10^{-9} \text{ Cb}}{(2 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} \longleftrightarrow$$

$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 6 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Cb}^2}{\text{Cb}^2 \cdot \text{m}^2} =$$

$$= \frac{9 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 10^{-4}} \text{ N} = \frac{270 \cdot 10^{-4}}{4} \text{ N} \longleftrightarrow$$

$$F = 67,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Η δύναμη F' είναι ίση με την F κατά το αξίωμα «δράση = αντίδραση».

Απάντηση. Η δύναμη μεταξύ των φορτίων είναι:

$$F = F' = 67,5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

22η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
$i = 0,5 \text{ A}$	$q = ?$
$t = 6 \text{ min} =$	
$= 6 \cdot 60 \text{ sec} = 360 \text{ sec}$	

Λύση. Γνωρίζουμε ότι το φορτίο συνδέεται με την ένταση και το χρόνο με τη σχέση

$$q = it$$

Αντικαθιστούμε τα i και t με τις τιμές τους, και έχουμε:

$$q = i \cdot t = 0,5 \text{ A} \cdot 360 \text{ sec} = 180 \text{ Cb}$$

($\text{A} \cdot \text{sec} = \text{Cb}$).

Άρα από τη διατομή A διέρχεται φορτίο

$$q = 180 \text{ Cb} \text{ σε } 6 \text{ min.}$$

33η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
$l = 10 \text{ cm}$	
$i = 2,5 \text{ A}$	$F = ?$
$B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Tesla}$	

Λύση: Στο νόμο του Laplace $F = i \cdot l \cdot B$ μάθαμε ότι η δύναμη F μετριέται σε Newton όταν η ένταση i δίνεται σε Ampere, το μήκος l σε μέτρα και η ένταση B του μαγν. πεδίου σε Tesla (μονάδες στο σύστημα S.I.). Πρέπει λοιπόν να εκφράσουμε το μήκος l του αγωγού σε μέτρα. $l = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$.

Αντικαθιστούμε και έχουμε:

$$F = 2,5 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ Tesla} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$$

Απάντηση: Στόν αγωγό ασκείται δύναμη

$$F = 5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

36η ΕΝΟΤΗΤΑ, 1* Πρόβλημα

Γνωστά μεγέθη	Άγνωστα μεγέθη
---------------	----------------

$$n = 300 \text{ σπείρες}$$

$$\Delta\Phi = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Weber}$$

$$\Delta t = 0,2 \text{ sec}$$

$$U_{\text{επαγ}} = ;$$

Λύση. Η επαγωγική τάση $U_{\text{επ}}$ είναι ανάλογη προς την ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής $\Delta\Phi/\Delta t$ και προς τον αριθμό των σπειρών του πηνίου n , δηλ. δίνεται από τον τύπο:

$$U_{\text{επ}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot n$$

Αντικαθιστούμε τα γνωστά μας, μεγέθη
όποτε προκύπτει:

$$U_{\text{επ}} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ Weber}}{0,2 \text{ sec}} \cdot 300 = 3 \cdot \frac{\text{Weber}}{\text{sec}} \longleftrightarrow$$

$$U_{\text{επ}} = 3 \text{ V (Είναι γνωστό ότι } 1 \text{ V} = 1 \text{ Weber/1 sec)}$$

ή, αφού όλες οι μονάδες των μεγεθών είναι στο σύστημα S I., η τάση θα μετριέται σε Volt).

Απάντηση. Στα άκρα του πηνίου αναπτύσσεται τάση

$$U_{\text{επ}} = 3 \text{ V}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ SI

Φυσικό μέγεθος	Σύμβολο	Έξισωση όρισμού	Μονάδες στο SI
Μήκος	l, s	Θεμελιώδες	1 m
Μάζα	m	Θεμελιώδες	1 Kgr
Χρόνος	t	Θεμελιώδες	1 sec
Ένταση ρεύματος	I, i	Θεμελιώδες	1 Ampere (A)
Θερμοκρασία	θ, T	Θεμελιώδες	1 K (kelvin)
Επιτάχυνση	γ	$\gamma = \Delta u / \Delta t$	1 m/sec ²
Δύναμη	F	$F = m \cdot \gamma$	1 Newton = 1 Kgr·m/sec ²
Όρμή	J	$J = m \cdot u$	1 Kgr·m/sec
Συχνότητα	ν	$\nu = 1/T$	1 Hz = 1 sec ⁻¹
Ηλεκτρικό φορτίο	Q, q	$q = i \cdot t$	1 Coulomb = 1 A·sec
Ένταση ηλεκ. πεδίου	$\mathcal{E}$	$\mathcal{E} = F/q$	1 Newton/Coulomb
Έργο, Ενέργεια	W, E	$E = i \cdot U \cdot t$	1 Joule = 1 A·V·sec
Ισχύς (ηλεκτρ)	P	$P = i \cdot U$	1 Watt = 1 A·V
Διαφορά δυναμικού	U	$U = W/q$	1 Volt = 1 Joule/Coulomb
Αντίσταση αγωγού	R	$R = U/i$	1 Ohm = 1 Volt/Amp.
Ειδ. αντίστ. αγωγού	ρ	$\rho = RS/l$	1 Ohm·m
Ένταση μαγνητ. πεδίου	B	$B = F/i \cdot l$	1 Tesla = 1 N/A·m
Μαγνητική ροή	Φ	$\Phi = BS$	1 Weber = 1 Tesla·m ²
Επαγωγική τάση	U, E	$U = n \cdot \Delta \Phi / \Delta t$	1 Volt = 1 Weber/sec

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
ΜΕΡΙΚΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΜΗ
Επιτάχυνση βαρύτητας (45° πλάτος, 0 m ύψος)	g	9,81 m/sec ²
Σταθερά παγκόσμιας έλξεως	k	$6,67 \cdot 10^{-11}$ N·m ² /Kgr ²
Φορτίο ηλεκτρονίου (στοιχειώδες ηλεκ. φορτίο)	e	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Cb
Μάζα ηλεκτρονίου	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$ Kgr
Μάζα πρωτονίου	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27}$ Kgr
Μάζα νετρονίου	m_n	$1,674 \cdot 10^{-27}$ Kgr
Ταχύτητα φωτός στο κενό	c	$3 \cdot 10^8$ m/sec
Ταχύτητα ήχου στον αέρα (0 °C)	u	331 m/sec

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ
ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΩΝ
ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Μαύρο	0	Πράσινο	5
Καφέ	1	Μπλέ	6
Κόκκινο	2	Ίωδες (μώβ)	7
Πορτοκαλί	3	Γκρί	8
Κίτρινο	4	Άσπρο	9

ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

A

Ἀγωγιμότητα 85
 αγωγιμότητα αερίων 171
 αγωγιμότητα ηλεκτρολυτῶν 171
 αγωγιμότητα ἡμαγωγῶν 171
 αγωγιμότητα μετάλλων 85
 ἄγωγοί 85
 ἀδράνεια 27
 ἀεριοθεούμενα ἀεροπλάνα 42
 αἰωρητής 52
 ἀκουστικό 167
 ἀκουστότητα 67
 ἀκτίνες α,β,γ 202
 ἀκτίνες ραίντγκεν 195
 ἀκτίνιο (μονάδα) 20
 ἀλυσιδωτή ἀντίδραση 206
 ἄμπερ (μονάδα) 91, 184
 ἄμπερόμετρο 91, 101
 ἄμπερώρα (μονάδα) 188
 ἀνάκρουση ὅπλου 41
 ἀνόρθωση 174
 ἀνηχείο 71
 ἀντίδραση δυνάμεως 30
 ἀντιδραστήρας 203, 206
 ἀντίσταση ἀγωγού 95, 96, 98
 ἀντιστάτης 95
 ἀσφάλεια (ἡλεκτρ.) 88
 ἀτομικός ἀριθμός 81
 ἄτομο 80
 αὐτεπαγωγή 148
 αὐτοτελής αγωγιμότητα 190

B

Βάρος 32
 βάτ (μονάδα) 106
 βέμπερ (μονάδα) 136
 βόλτ (μονάδα) 92
 βολτόμετρο 93, 102
 βόμβα ὑδρογόνου 208
 βραχυκύκλωμα 88

Γ

Γαλβανόμετρο 102
 γαλβανοπλαστική 183
 γεννήτριες 140
 γεωμαγνητικό πεδίο 123
 γκάους (μονάδα) 131
 γραμμική ταχύτητα 19
 γωνιακή ταχύτητα 20

Δ

Δέσμη ηλεκτρονίων 194
 διαμήκη κύματα 59
 διαφορά δυναμικοῦ 92
 διαχωριστήρας φυγοκεντρικός 37
 διεγέρτης 46
 δίπολο μαγνητικό 125
 δράση - ἀντίδραση 30
 δύναμη ηλεκτρική 77, 82, 113
 δύναμη κεντρομόλος 35
 δύναμη Laplace 129
 δύναμη μαγνητική 113, 129
 δύναμη πυρηνική 82
 δύναμη φυγόκεντρη 36
 δύννη (μονάδα) 25

Ε

Έγκάρσια κύματα 58
εκκένωση αϊγλης 192
εκκένωση σπινθήρα 191
εκκένωση τόξου 192
εκκρεμές απλό 49
εκκρεμές φυσικό 49
εναλλασσόμενο ρεύμα 144
ένέργεια ηλεκτρική 104
ένεργος ένταση 146
ένεργος τάση 146
ένταση ήχου 67
ένταση ηλεκτρ. πεδίου 78
ένταση ηλεκτρ. ρεύματος 90
ένταση μαγνητικού πεδίου 130, 131
έπαγωγή 137
έπαγωγική αντίσταση 150
έπαγωγικό πηνίο 143
έπιβατική άκτινα 20
επιβράδυνση 8
επιμετάλλωση 183
επιτάχυνση 7
επιτάχυνση βαρύτητας 15
εσωτερική αντίσταση 110

Η

Ήλεκτρεγερτική δύναμη 110
ηλεκτρικά έργαστάσια 157
ηλεκτρική δύναμη 77, 82
ηλεκτρική εκκένωση 191
ηλεκτρική κουζίνα 108
ηλεκτρική μηχανή 142
ηλεκτρική πηγή 87
ηλεκτρική ταλάντωση 164
ηλεκτρικό κουδούνι 116
ηλεκτρικό κύκλωμα 88
ηλεκτρικό πεδίο 77
ηλεκτρικό ρεύμα 86
ηλεκτρικό σίδηρο 108
ηλεκτρικό στοιχείο 188
ηλεκτρικό φορτίο 73
ηλεκτρικός κινητήρας 133
ηλέκτριση 73, 84
ηλέκτριση μέ επαφή 75
ηλέκτριση μέ έπαγωγή 75
ηλέκτριση μέ τριβή 75
ηλεκτρόλυση 179
ηλεκτρολύτης 178
ηλεκτρολυτική διάσταση 179
ηλεκτρομαγνήτης 112
ηλεκτρομαγνητικό κύμα 163
ηλεκτρομαγνητικός γερανός 117
ηλεκτρόνιο 80, 127

ήλεκτρονόμος 117
ήλεκτροπληξία 160
ήλεκτροσκόπιο 73
ήλεκτροστατικές γεννήτριες 76
ήλεκτροχημεία 184
ήλιακή ενέργεια 208
ήλιακή στήλη 175
ήμιαγωγοί 171
ήχητικά κύματα 63
ήχητικοί σωλήνες 70
ήχογόνες πηγές 69
ήχος 62

Θ

Θαλής 73
θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής 24
θεμελιώδης τύπος της κυματικής 60
θερμαντικό σώμα 108
θερμική έκπομπή ηλεκτρονίων 192
θερμοηλεκτρικό φαινόμενο 176
θερμοσίφωνας 109
θερμοστοιχείο 176
θερμότητα Τζάουλ 104
θόρυβος 66

Ι

Ίσότοπα 82
ισχύς ηλεκτρ. ρεύματος 106
ισχύς έναλλασ. ρεύμ. 147

Κ

Καθοδικός σωλήνας 197
κεντρομόλος δύναμη 35
κεντρομόλος επιτάχυνση 20
κιλοβάτώρα 106
κiloπόντ 25
Κιουρί 201
Κουλόμπ (μονάδα) 73, 91
κρότος 66
κρυσταλλοδίοδος 174
κρυσταλλοτριοδος 175
κυκλική κίνηση 18
κύμα 54
κύματα έγκάρσια 58
κύματα διαμήκη 59
κύματα ήχητικά 63
κύματα ηλεκτρομαγνητικά 163
κυματομορφή ήχου 66

Λ

Λαμπτήρες αϊγλης 192
λαμπτήρες πυρακτώσεως 109

Μ

Μαγνήτες 111
μαγνητικά υλικά 112
μαγνητική γραμμή 120
μαγνητική δύναμη 113, 129
μαγνητική ροή 136
μαγνητικό δίπολο 125
μαγνητικό πεδίο 119
μαγνητικό πεδίο γής 123
μαγνητικό πεδίο εὐθ. ἀγωγοῦ 123
μαγνητικό πεδίο (ὁμογενές) 121, 131
μαγνητικό πεδίο σωληνοειδοῦς 122
μαγνητικό φάσμα 120
μαγνητικοὶ πόλοι 113
μαγνήτιση 126
μαζικός ἀριθμὸς 81
μεγάφωνο 168
μέση ἰσχὺς 147
μεταβαλλόμενη κίνηση 6
μεταβλητὴ ἀντίσταση 98
μετασχηματιστὴς 152
μῆκος κύματος 60
μικρόφωνο 167
μονωτές 85
μπαταρία 187

Ν

Νετρόνιο 80
Νιούτον (μονάδα) 25
νόμοι ἐκκρεμοῦς 50
νόμος ἐπαγωγῆς 139
νόμος ἡλεκτρολύσεως 182
νόμος Κουλόμπ 77
νόμος Laplace 130
νόμος Νεύτωνα 24
νόμος παγκόσμιας ἐλξεως 33
νόμος Τζάουλ 105
νόμος Ὡμ 95

Ο

Ὀμαλὰ μεταβαλλόμενη κίνηση 6
ὁμαλὰ μεταβαλ. κίνηση (νόμοι) 10
ὁμοαξωνικὸ καλῶδιο 151
ὄρμη 39

Π

Πεδίο ἡλεκτρικὸ 77
πεδίο μαγνητικὸ 119
πεδίο ὁμογενές 78, 121, 131
περιοδικὰ φαινόμενα 44
περίοδος ἐκκρεμοῦς 52

περίοδος ἤχου 64
περίοδος κυκλ. κινήσεως 18
περίοδος κύματος 55
περίοδος ταλαντώσεως 45
πηγές ἡλεκτρικῆς 87
πηγές ἡχογόνες 69
πηνίο 112, 124
πλάτος ἐκκρεμοῦς 50
πλάτος ταλαντώσεως 45
πλάτος τάσεως 145
ποζιτρόνιο 207
πολλαπλασιαστὴς 143
πόλοι 113
πολύμετρα 102
πομπὸς 165
πόντ (μονάδα) 25
πρῶτες βοήθειες 159
πρωτόνιο 80
πτώση τῶν σωμάτων 14
πυκνωτὴς 78
πυξίδα 115
πύραυλος 42
πυρήνας (ἀτόμου) 80
πυρήνας (ἡλεκτρομαγνήτη) 112
πυρηνικὴ ἀντίδραση 206
πυρηνικὴ δύναμη 82
πυρηνικὴ ἐνέργεια 205
πυρηνικὸς ἀντιδραστήρας 203, 206

Ρ

Ραδιενέργεια 201
ράδιο 201
ραδιοϊσότοπα 202
Ραϊντγκεν 195
ράντ (μονάδα) 20
ροοστάτης 99
ρώτορας 134

Σ

Σάρωση 198
στάτορας 134
στιγμιαία τάση 145
στιγμιότυπο κύματος 55
στοιχειώδεις μαγνήτες 125
στροβιλισμὸς ἡλεκτρονίου 127
συλλέκτης 134
σύνδεση ἀντιστάσεων 100
συνεχὴς τάση 145
σύντηξη 207
συντονισμὸς 47
συσσωρευτὴς 187
συχνότητα ἐκκρεμοῦς 50
συχνότητα ἤχου 64

συχνότητα κυκλ. κινήσεως 18
συχνότητα κύματος 55
συχνότητα ταλαντώσεως 45
σχάση 205
σωληνοειδές 122, 124

Ω

Ωμ (μονάδα) 95
ώμική αντίσταση 150

Τ

Ταλάντωση (μηχανική) 45
ταλάντωση (ηλεκτρική) 164
τάση (ηλεκτρική) 92
ταχύμετρο 143
ταχύτητα γραμμική 19
ταχύτητα γωνιακή 20
ταχύτητα ήχου 64
Τέσλα (μονάδα) 131
Τζάουλ (μονάδα) 104
τηλέγραφος 116
τηλεπικοινωνία 166
τηλέτυπο 168, 169
τηλέφωνο 168
τόνος (ήχου) 66
τρανζίστορ 175
τριφασικό ρεύμα 158

Υ

Υδροηλεκτρικά εργοστάσια 157
υπέρηχοι 68
υπόηχοι 68
υψίσυχνα ρεύματα 163, 164
ύψος ήχου 67

Φ

φαρανταίου (νόμος) 182
φίλτρα 151
φθόγγος (ήχου) 66
φορείς ηλεκτρισμού 171
φυγόκεντρη δύναμη 36
φυγόκεντρικός διαχωριστήρας 37
φυσικό έκκρεμές 49
Φών (μονάδα) 67
φωτοηλεκτρικό φαινόμενο 199
φωτοκύτταρα 199
φωτόμετρο 175
φωτοστήλη 175
φωτοστοιχείο 175

Χ

Χέρτζ (μονάδα) 19
χορδές 69
χροιά ήχου 68
χωρητικότητα συσσωρευτή 187

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γενική Φυσική: Ήλεκτρισμός, Κ.Δ. Άλεξοπούλου, 1973
 Γενική Φυσική: Όπτική, Κ.Δ. Άλεξοπούλου, 1966
 Γενική Φυσική: Άτομική καί πυρηνική, Κ.Δ. Άλεξοπούλου 1956
 Γενική Φυσική: Θερμότητα: Κ.Δ. Άλεξοπούλου, 1962
 Φυσική: Τόμος πρώτος (Μηχ.-Άκουστ.-Θερμ.),
 Κ.Δ. Άλεξοπούλου – Δ.Ι. Μαρίνου, 1971
 Φυσική: Τόμος δεύτερος (Όπτ.-Ήλεκ.-Πυρην.)
 Κ.Δ. Άλεξοπούλου – Δ.Ι. Μαρίνου 1976
 Φυσική: Μηχανική - Άκουστική, Άλκ. Μάζη, 1966
 Φυσική: Μαγν. - Ήλεκ. - Πυρην., Άλκ. Μάζη, 1967
 Πειράματα Φυσικής: Βιβλίο πρώτο, Ι.Λ. Μπουρούτη, 1977
 Πειράματα Φυσικής: Βιβλίο Δεύτερο, Ι.Λ. Μπουρούτη, 1977
 Στοιχεία Φυσικής: Τόμοι Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, ΙV, Κουγιουμτζέλη - Περιστεράκη, 1961
 Physics: Kenneth R. Atkins, 1970
 Mechanics: Berkeley Physics course - Volume 1, 1965
 Electricity and magnetism: Berkeley Physics course - Volume 2, 1965
 College Physics: Sears-Zemansky, 1969
 Physical Science Study Committee: Φυσική: Τόμος Ι καί ΙΙ.
 Modern Physics: Williams - Trinklein - Metcalfe 1976
 O. Level Physics: A.F. Abott, 1977
 Earth Science, Brown - Kemper - Lewis, 1973
 Modern Science: Man - Matter - Energy, Blanc - Fischler - Gardner, 1967
 Exploring Physics: Book two, Tom Duncan, 1973
 Science: Understanding your environment (Silver Burdett Element. School Science
 Program 1972)
 Sciences Physiques (Bordas - Paris 1977).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α' ΜΗΧΑΝΙΚΗ

1η	ΕΝΟΤΗΤΑ:	Μεταβαλλόμενη κίνηση – 'Επιτάχυνση – 'Επιβράδυνση	Σελ. 5
2η	»	Ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση (Νόμοι καί γραφικές παραστάσεις)	» 10
3η	»	'Ελεύθερη πτώση των σωμάτων	» 14
4η	»	'Ομαλή κυκλική κίνηση	» 18
5η	»	Θεμελιώδης νόμος της Μηχανικής	» 23
6η	»	'Αδράνεια της ύλης – Δράση – 'Αντίδραση	» 27
7η	»	Βάρος των σωμάτων – Νόμος παγκόσμιας έλξεως	» 32
8η	»	Κεντρομόλος καί φυγόκεντρη δύναμη	» 35
9η	»	'Ορμή – Διατήρηση της όρμης	» 39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β' ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ – ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

10η	»	Ταλαντώσεις – 'Εξαναγκασμένη ταλάντωση – Συντονισμός	» 44
11η	»	'Εκκρεμές – Μέτρηση του χρόνου	» 49
12η	»	'Εννοια του κύματος	» 54
13η	»	'Εγκάρσια καί διαμήκη κύματα – Θεμελιώδης τύπος της κυματικής	» 57
14η	»	'Ο ήχος ως κύμα	» 62
15η	»	Είδη του ήχου – 'Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου	» 65
16η	»	'Ηχογόνες πηγές – 'Αντηχεία	» 69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ' ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

17η	»	'Ηλεκτρικά φορτία – 'Ηλέκτριση – 'Ηλεκτροσκόπιο	» 73
18η	»	Νόμος του Coulomb – 'Ηλεκτρικό πεδίο – Πυκνωτές	» 77
19η	»	Δομή του ατόμου – 'Ισότοπα	» 80
20η	»	'Εξήγηση της ηλεκτρίσεως – 'Αγωγοί καί μονωτές – 'Ηλεκτρικό ρεύμα	» 84
21η	»	'Ηλεκτρικές πηγές – 'Ηλεκτρικό κύκλωμα – 'Αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	» 87
22η	»	'Ενταση του ηλεκτρικού ρεύματος – Διαφορά δυναμικού	» 90
23η	»	Νόμος του Ohm – 'Αντίσταση αγωγού	» 94
24η	»	Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ή αντίσταση αγωγού – Μεταβλητή αντίσταση	» 97
25η	»	Σύνδεση αντιστάσεων – Όργανα ηλεκτρικών μετρήσεων	» 100
26η	»	'Ενέργεια καί ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος	» 103
27η	»	'Εφαρμογές της ηλεκτρικής ενέργειας – ΗΕΔ πηγής	» 108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ' ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

28η	ΕΝΟΤΗΤΑ:	Μαγνήτες – 'Ηλεκτρομαγνήτες	111
29η	»	'Εφαρμογές μαγνητών καί ηλεκτρομαγνητών	» 115
30η	»	Μαγνητικό πεδίο – Μαγνητικό φάσμα	» 119
31η	»	Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς καί ευθύγραμμου αγωγού – Γήινο μαγνητικό πεδίο	» 122
32η	»	'Εξήγηση των μαγνητικών ιδιοτήτων των υλικών	» 125
33η	»	'Επίδραση μαγνητικού πεδίου σέ ηλεκτρικά ρεύματα (Νόμος του Laplace)	» 129
34η	»	'Ηλεκτρικοί κινητήρες ('Εφαρμογή του νόμου Laplace)	» 133

35η, 36η	»	Μαγνητική ροή – Έπαγωγή	»	136
37η	»	Γεννήτριες – Πολλαπλασιαστής – Ταχύμετρο (Έφαρμογές του φαινομένου της έπαγωγής)	»	140
38η	»	Έναλλασσόμενο ρεύμα – Ένεργός ένταση καί τάση – Ίσχύς	»	144
39η	»	Αυτεπαγωγή – Έπαγωγική αντίσταση πηνίου	»	148
40η	»	Μετασχηματιστές – Μεταφορά της ηλεκτρικής ένεργειας	»	152
41η	»	Ηλεκτρικά έργοστάσια – Τριφασικό ρεύμα	»	157
42η	»	Ηλεκτρομαγνητικά κύματα – Ηλεκτρικές ταλαντώσεις	»	162
43η	»	Τηλεπικοινωνία	»	166

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε' ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

44η	»	Ήμιαγωγοί	»	171
45η	»	Έφαρμογές των ήμιαγωγών – Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο	»	174
46η	»	Ηλεκτρόλυση	»	178
47η	»	Νόμος της ηλεκτρολύσεως – Έφαρμογές	»	181
48η	»	Συσσωρευτές – Ηλεκτρικά στοιχεία	»	186
49η	»	Αγωγιμότητα των αερίων – Θερμική έκπομπή ηλεκτρονίων	»	190
50η	»	Ακτίνες Röntgen	»	194
51η	»	Καθοδικός σωλήνας – Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	»	197

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ' ΠΥΡΗΝΙΚΗ

52η	»	Ραδιένεργεια – Ραδιοϊσότοπα	»	201
53η	»	Πυρηνικός αντίδραστήρας – Ήλιακή ένεργεια	»	205

ΕΚΔΟΣΗ Γ' 1981 – ΑΝΤΙΤΥΠΑ 150.000 – ΣΥΜΒΑΣΗ 3467/17.9.80

ΕΚΤΥΠΩΣΗ: ΑΘΗΝΑΪΚΗ ΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ-ΙΩΑΝ. ΚΟΥΣΟΥΛΗΣ
ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ: Δ. ΒΑΣΙΛΑΚΟΣ & ΣΙΑ Ο.Ε.



Ψηφιοποιήθηκε από το Εθνικό Κέντρο
Βιβλιοθηκονομικού Έκπαιδευτικής Πολιτικής

