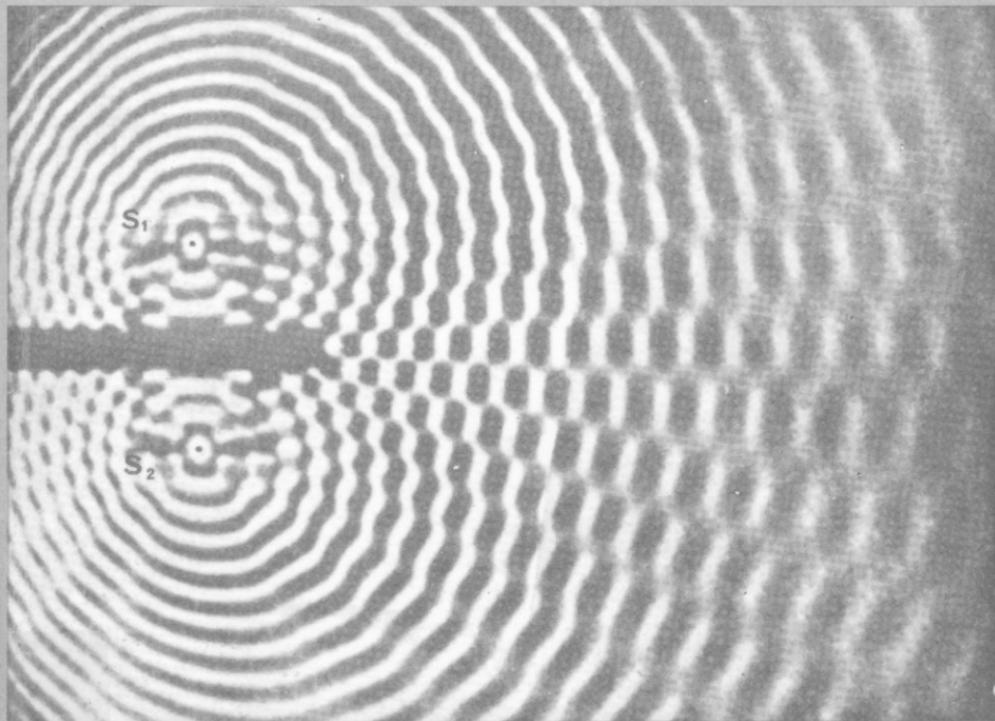


ΑΛΚΙΝΟΟΥ Ε. MAZH

# ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ ΑΘΗΝΑ 1981

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής



19470

# ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΦΥΣΙΚΗ

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ

Μέ απόφαση τής Ἑλληνικῆς Κυβερνήσεως τά διδακτικά βιβλία τοῦ Δημοτικοῦ, Γυμνασίου καὶ Λυκείου τυπώνονται ἀπό τὸν Ὀργανισμό Ἐκδόσεως Διδακτικῶν Βιβλίων καὶ μοιράζονται ΔΩΡΕΑΝ.

ΑΘΗΝΑ 1951

ΕΦΗΡ

ΖΩΛΥΣΠΑΡΑΤΣ

ΦΙΛΙΞΗ

Μέττα προσόντων της Ελληνικής Καρδιάς είναι τα μέττα που αποφέρει η Δημόσια Δικαιοσύνη, η οποία κατατεθεί στην Αρχή της Δικαιοσύνης, η οποία διατάσσεται από την Εγκύρωση της Συνταγματικής Δικαιοδότησης της Ελληνικής Δημοκρατίας.

ΑΛΚΙΝΟΟΥ Ε. ΜΑΖΗ

# ΦΥΣΙΚΗ

Μια μεταλλική φύσιτρη είναι στην πρώτη σειρά κατεξόδου των απομεινάρων δασοφυτών και ιστορικών στη Νέα Α (αρχ. 1). Τέλος, η μετατοποίηση περιβάλλοντο της θάλασσας της, αφείτος, φέρεται να παραπέμψει την θάλασση της Νέας Α και την θάλασσαν της Διαδέρμης. Παρατηρούμε ότι δεν έχει σημειωθεί απόδειξη για την παραπομπή των λυκανοπέδων δασοφυτών που παρατηρούνται. Η παραπομπή φύσιτρης είναι στην πρώτη σειρά της ιστορικής της. Η πλήρης παραπομπή της στη **Γ' ΛΥΚΕΙΟΥ** αρροτρίας της Α δύνομεί-  
ται πάλιας της πανεπιστημίου (ΑΒ = ΑΓ' = α). Αριθτή ή κίνησης της σημετρίας δεσμεύει στην πανεπιστημιακή Γ τον βάρον της σφαίρας και της τάσης των θαλαττηρίων. Σε αύτη στηγάρη ή δίνουμη Γ τίταν νότια ξεναφέρει τη σφαίρα στη Νέα Α ισορροπώντας την.

Γ' ΑΥΚΕΙΟΥ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΑΙΔΑΚΤΙΚΟΝ ΒΙΒΛΙΟΝ

ΑΘΗΝΑ 1981

ΑΒΚΙΝΔΟΥ Ε. ΜΑΣΗ

# ΦΥΣΙΚΗ

L. VAKEIDA

Τό βιβλίο μεταγλωττίστηκε άπό τό συγγραφέα σέ συνεργασία  
μέ τόν κ. Κ. Μικρούδη, Γεν. Έπιθεωρητή Μ. Ε.

## ΜΗΧΑΝΙΚΗ

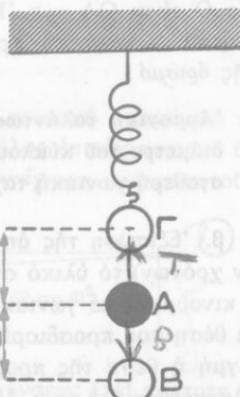
### Άρμονική ταλάντωση

#### I. Άρμονική ταλάντωση μεταλλικής σφαίρας

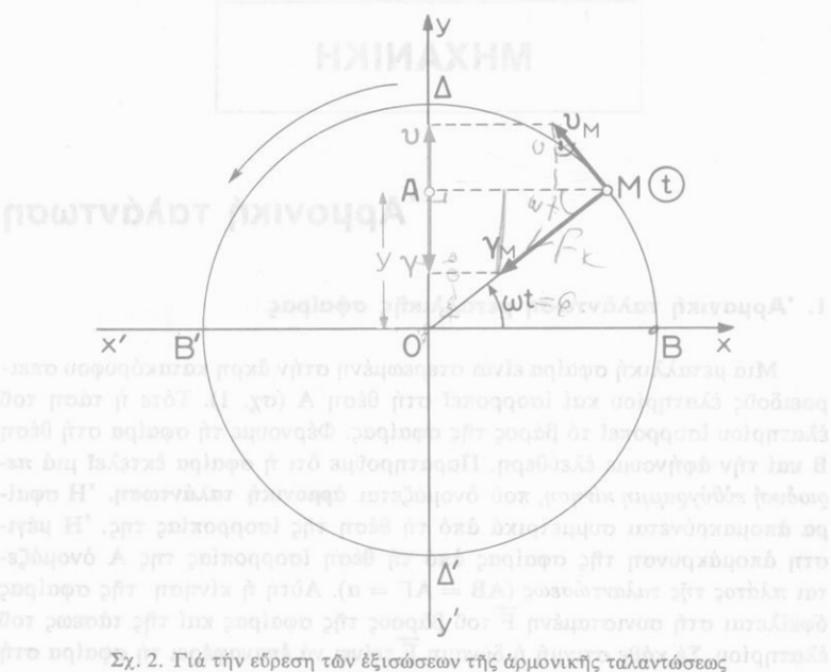
Μιά μεταλλική σφαίρα είναι στερεωμένη στήν ακρη κατακόρυφου σπειροειδούς έλατηρίου και ίσορροπεί στή θέση Α (σχ. 1). Τότε ή τάση του έλατηρίου ίσορροπεί τό βάρος τής σφαίρας. Φέρνουμε τή σφαίρα στή θέση Β και τήν άφήνουμε έλευθερη. Παρατηρούμε δτι ή σφαίρα έκτελεί μιά περιοδική ενδύγραμμη κίνηση, πού δνομάζεται **άρμονική ταλάντωση**. Ή σφαίρα άπομακρύνεται συμμετρικά άπό τή θέση τής ίσορροπίας της. Η μέγιστη άπομάκρυνση τής σφαίρας άπό τή θέση ίσορροπίας της Α δνομάζεται **πλάτος ταλαντώσεως** ( $AB = AG = a$ ). Αυτή ή κίνηση τής σφαίρας δοφείλεται στή συνισταμένη  $\vec{F}$  τον βάρους τής σφαίρας και τής τάσεως του έλατηρίου. Σέ κάθε στιγμή ή δύναμη  $\vec{F}$  τείνει νά έπαναφέρει τή σφαίρα στή θέση ίσορροπίας της.

#### 2. Μελέτη τής άρμονικής ταλαντώσεως

a. **Όρισμός.** Η άρμονική ταλάντωση είναι μιά κίνηση ειδικής μορφής, πού προκύπτει άπό τήν όμαλή κυκλική κίνηση ώς έξης: "Οταν ένα όλικο σημείο  $M$  (σχ. 2) κινείται μέ σταθερή γωνιακή ταχύτητα ( $\omega$ ) πάνω σέ περιφέρεια κύκλου πού έχει άκτινα  $a$ , τότε ή προβολή  $A$  τον κινητού  $M$  πάνω στή διάμετρο  $\Delta\Delta$  έκτελεί άρμονική ταλάντωση, πού έχει πλάτος  $a$  και περίοδο  $T$ , ήση μέ τήν περίοδο τής κινήσεως τον κινητού  $M$ . Στή διάρκεια μιᾶς περιόδου  $T$  τό κινητό  $A$  διατρέχει δύο φορές τή διάμετρο  $\Delta\Delta$ . Ως άρχή τῶν διαστημάτων παίρνουμε τό σημείο  $O$ , δηλαδή τή μέση θέση ίσορροπίας τον κινη-



Σχ. 1. Η σφαίρα έκτελεί άρμονική ταλάντωση.



τοῦ Α. Σέ μιά χρονική στιγμή  $t$  ή  $\dot{\alpha}$  πόσταση τοῦ κινητοῦ Α  $\dot{\alpha}$  τὸ σημεῖο Ο εἶναι  $OA = y$ . Ἡ  $\dot{\alpha}$  πόσταση αὐτῆς ( $y$ ) δυναζεται  $\dot{\alpha}$  πομάχωνη τοῦ κινητοῦ Α κατά τὴ χρονική στιγμή  $t$ . Ἀπό τὰ παραπάνω ἔχουμε τόν ἑξῆς δρισμό :

**Αρμονική ταλάντωση** δυναζεται  $\dot{\alpha}$  κίνηση πού ἐκτελεῖ πάνω στὴ διάμετρο τοῦ κύκλου  $\dot{\alpha}$  προβολή ἐνός ὄλικον σημείου, πού κινεται μὲ σταθερή γωνιακή ταχύτητα πάνω στήν περιφέρεια τοῦ κύκλου.

**Β.** **Ἐξίσωση τῆς  $\dot{\alpha}$  πομακρύνσεως.** Στή χρονική στιγμή  $t = 0$  (ἀρχή τῶν χρόνων) τό ὄλικό σημεῖο Μ βρίσκεται στή θέση Β. Τό ὄλικό σημεῖο Μ κινούμενο μὲ γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  βρίσκεται τή χρονική στιγμή  $t$  σέ μιά θέση πού προσδιορίζεται  $\dot{\alpha}$  προβολής Α τοῦ κινητοῦ Μ προσδιορίζεται  $\dot{\alpha}$  πομάχωνη  $OA = y$ . Ἀπό τό δρθογώνιο τρίγωνο  $OMA$  βρίσκουμε δτί εἶναι:

$$OA = OM \cdot \eta \mu \omega \quad \text{ή} \quad y = a \cdot \eta \mu \omega$$

Τό μέγεθος  $\omega$  δυναζεται φάση τῆς κινήσεως τοῦ κινητοῦ Α. Τό μέ-

γεθος ω δονομάζεται κυκλική συχνότητα του κινητού Α και είναι ίση μέω =  $2\pi/T = 2\pi\nu$ , όπου  $T$  και  $\nu$  είναι άντιστοιχα ή περίοδος και ή συχνότητα της κινήσεως του κινητού Α. Άρα ή απομάκρυνση του κινητού Α δίνεται άπο τήν έξισωση:

$$\text{απομάκρυνση } y = a \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{ή} \quad y = a \cdot \eta \mu \frac{2\pi t}{T} \quad (1)$$

γ) Έξισωση της ταχύτητας. Αποδεικνύεται ότι σε κάθε χρονική στιγμή ή ταχύτητα ( $v$ ) του κινητού Α είναι ίση μέτρη την προβολή της ταχύτητας ( $v_M$ ) του ύλικου σημείου  $M$  πάνω στή διάμετρο Δ'Δ'. Άρα είναι:

$$v = v_M \cdot \sigma \nu \omega t$$

Έπειδή είναι  $v_M = a\omega$ , βρίσκουμε ότι ή ταχύτητα του κινητού Α δίνεται άπο τήν έξισωση;

$$\text{ταχύτητα } v = a\omega \cdot \sigma \nu \omega t \quad \text{ή} \quad v = a\omega \cdot \sigma \nu \frac{2\pi t}{T} \quad (2)$$

δ. Έξισωση της έπιταχύνσεως. Αποδεικνύεται έπισης ότι σε κάθε χρονική στιγμή ή έπιταχυνση ( $\gamma$ ) του κινητού Α είναι ίση μέτρη την προβολή της έπιταχύνσεως ( $\gamma_M$ ) του ύλικου σημείου  $M$  πάνω στή διάμετρο Δ'Δ'. Άρα είναι:

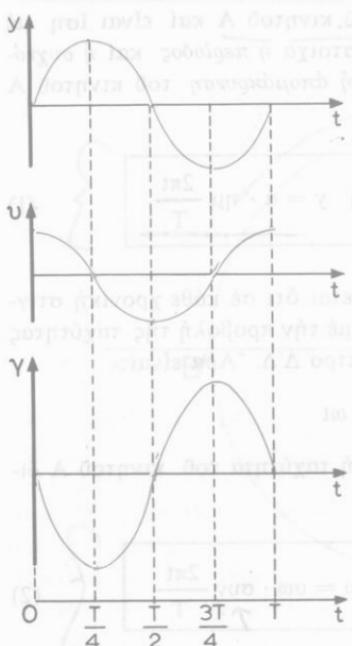
$$\gamma = -\gamma_M \cdot \eta \mu \omega t$$

Τό άρνητικό σημείο φανερώνει ότι κατά τή χρονική στιγμή  $t$  ή φορά του άνυσματος  $\vec{T}$  είναι άρνητική. Η κεντρομόλος έπιταχυνση του ύλικου σημείου  $M$  είναι  $\gamma_M = a\omega^2$ . Έπομένως ή έπιταχυνση του κινητού Α δίνεται άπο τήν έξισωση:

$$\text{έπιταχυνση } \gamma = -a\omega^2 \cdot \eta \mu \omega t \quad \text{ή} \quad \gamma = -\omega^2 \cdot y \quad (3)$$

γιατί είναι  $y = a \cdot \eta \mu \omega t$ . Τό άνυσμα  $\vec{T}$  της έπιταχύνσεως έχει πάντοτε φορά πρός τή μέση  $O$  της διαδρομής του κινητού Α.

Η μεταβολή της απομακρύνσεως ( $y$ ), της ταχύτητας ( $v$ ) και της έπιταχύνσεως ( $\gamma$ ) του κινητού Α σε συνάρτηση μέτρη το χρόνο ( $t$ ) παριστάνονται



Σχ. 3. Γραφική παράσταση των μεταβολών της άπομακρύνσεως ( $y$ ), της ταχύτητας ( $v$ ) και της έπιταχύνσεως ( $\gamma$ ) σε συνάρτηση μέ το χρόνο ( $t$ )

$m \cdot \omega^2$  είναι σταθερό και πάντοτε θετικό. "Αν λάβουμε  $f = m \cdot \omega^2$ , τότε ή έξισωση (4) γράφεται και ως έξης:

$$F = -f \cdot y \quad (5)$$

Τό αρνητικό σημείο στήν έξισωση (5) φανερώνει ότι ή δύναμη  $F$  και ή άπομάκρυνση  $y$  είναι σέ κάθε στιγμή έτεροδημες (σχ. 4). "Η σταθερή  $f$  της κινήσεως κατ' άπόλυτη τιμή είναι ίση μέ τό πηλίκο  $f = F/y$ , δυνάζεται σταθερή έπαναφοράς και έκφραζει τή δύναμη πού ένεργει στό κινητό, δταν ή άπομάκρυνσή του είναι ίση μέ τή μονάδα (γιά  $y = 1$  είναι  $f = F$ ).

(στ.) Περίοδος τής κινήσεως. "Αν στήν έξισωση  $f = m\omega^2$  βάλουμε  $\omega = 2\pi/T$  και λύσουμε τήν έξισωση ως πρός  $T$ , βρίσκουμε ότι ή πε-

γραφικά άπό τήν άντιστοιχη καμπύλη τού σχήματος 3. Παρατηρούμε ότι ή μεταβολή τής άπομακρύνσεως ( $y$ ) παριστάνεται άπό μιά ήμιτονοειδή καμπύλη (σχ. 3) και γι' αυτό ή άρμονική ταλάντωση δονομάζεται και ήμιτονοειδής κίνηση.

(ε.) Έξισωση τής δυνάμεως. Τό κινητό Α έχει μάζα  $m$  και σέ κάθε στιγμή έχει έπιταχυνση  $\ddot{y}$ . "Αρα κάθε στιγμή στό κινητό Α ένεργει μιά δύναμη  $\vec{F}$  πού έχει τή διεύθυνση και τή φορά τής έπιταχύνσεως  $\ddot{y}$  και μέτρο  $F = m \cdot \ddot{y}$ .

"Ωστε στό κινητό Α συνεχῶς ένεργει ή δύναμη  $\vec{F}$ , πού τό μέτρο της δίνεται άπό τήν έξισωση:

$$\text{δύναμη } F = -m \cdot \ddot{y} \quad (4)$$

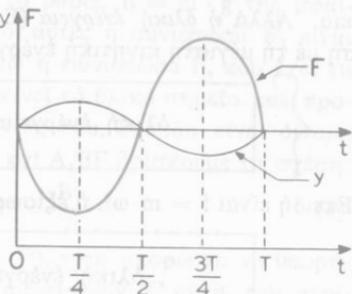
Τό άνυστρα  $\vec{F}$  τής δυνάμεως έχει πάντοτε φορά πρός τήν μέση Ο τής διαδρομής τού κινητού Α και δυναμάζεται δύναμη έπαναφορᾶς, γιατί σέ κάθε στιγμή προσπαθεῖ νά ξαναφέρει τό κινητό Α στή θέση ισορροπίας Ο. Τό γινόμενο

$$F = -f \cdot y \quad (5)$$

ρίοδος της άρμονικής ταλαντώσεως τού κινητού Α δίνεται άπο τήν έξισωση :

$$\text{περίοδος } T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{f}} \quad \left. \right\} (6)$$

ζ. Διερεύνηση τῶν έξισώσεων τῆς άρμονικής ταλαντώσεως. Ας θεωρήσουμε τίς χρονικές στιγμές  $0, T/4, T/2, 3T/4$  καὶ  $T$ . Άν στίς έξισώσεις τῆς άρμονικής ταλαντώσεως ἀντικαταστή σουμε τό  $t$  μέ τίς παραπάνω τιμές τού χρόνου, τότε εύκολα σχηματίζουμε ἔναν πίνακα πού δείχνει ποιά είναι ή μέγιστη τιμή πού λαβαίνει τό κάθε μέγεθος καὶ μέσα σέ ποιά δρια μεταβάλλεται τό κάθε μέγεθος στή διάρκεια μιᾶς περιόδου. Ό πίνακας πού σχηματίζουμε είναι δέξις:



Σχ. 4. Ήμιτονοειδής μεταβολή, τῆς δυνάμεως ἐπαναφορᾶς  $F$  σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο. Σέ κάθε στιγμή ή δύναμη  $F$  καὶ ή ἀπομάκρυνση  $y$  είναι ἑτερόσημες.

Χρόνος $t$	Φάση $\omega t$	Ἀπομάκρυνση $y$	Ταχύτητα $v$	Ἐπιτάχυνση $\gamma$	Δύναμη $F$
0	0	0	—	—	—
$T/4$	$\pi/2$	$a$	—	$-\alpha\omega^2$	$-ma\omega^2$
$T/2$	$\pi$	0	$-\alpha\omega$	—	—
$3T/4$	$3\pi/2$	$-a$	—	$\alpha\omega^2$	$ma\omega^2$
$T$	$2\pi$	0	$\alpha\omega$	—	—

η. Ἐνέργεια τού ύλικοῦ σημείου. Οταν τό ύλικό σημεῖο Α περνάει ἀπό τή θέση τῆς ισορροπίας του ( $y = 0$ ), τότε ή ταχύτητά του ἔχει τή μέγιστη ἀπόλυτη τιμή  $v = a\omega$  (βλ. πίνακα). Εκείνη τή στιγμή τό ύλικό σημεῖο Α ἔχει τή μέγιστη κινητική ἐνέργεια :

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{ἢ} \quad E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot a^2 \cdot \omega^2.$$

Οταν τό ύλικό σημεῖο φτάνει στίς ἀκραίες θέσεις τῆς διαδρομῆς του ( $y = \pm a$ ), τότε ή ταχύτητά του είναι 0 (τού  $v = 0$ ) καὶ ὅλη ή κινητική ἐνέργειά του ἔχει μετατραπεῖ σέ δυναμική ἐνέργεια ( $E_{dyn} = E_{kin}$ ). Σέ κάθε ἄλλη θέση τό ύλικό σημεῖο Α ἔχει κινητική καὶ δυναμική ἐνέρ-

γεια. 'Αλλά ή διλική ένέργεια ( $E_{\text{ol}}$ ) τού ύλικού σημείου Α είναι πάντοτε ίση με τή μέγιστη κινητική ένέργεια τού ύλικού σημείου. "Ωστε είναι:

$$\text{διλική ένέργεια} \quad E_{\text{ol}} = \frac{1}{2} m \cdot a^2 \cdot \omega^2 \quad (7)$$

'Επειδή είναι  $f = m \cdot \omega^2$ , ή έξισωση (7) γράφεται και ώς έξις:

$$\text{διλική ένέργεια} \quad E_{\text{ol}} = \frac{1}{2} f \cdot a^2 \quad (8)$$

'Άπο τά παραπάνω καταλήγουμε στό άκολουθο συμπέρασμα:

'Η διλική ένέργεια ένός ύλικού σημείου πού έκτελεί άρμονική ταλάντωση διατηρείται σταθερή σέ δηλη τή διαδρομή τού ύλικού σημείου και είναι άναλογη με τή σταθερή έπαναφοράς ( $f$ ) και με τό τετράγωνο τού πλάτους ( $a$ ) τής ταλαντώσεως.

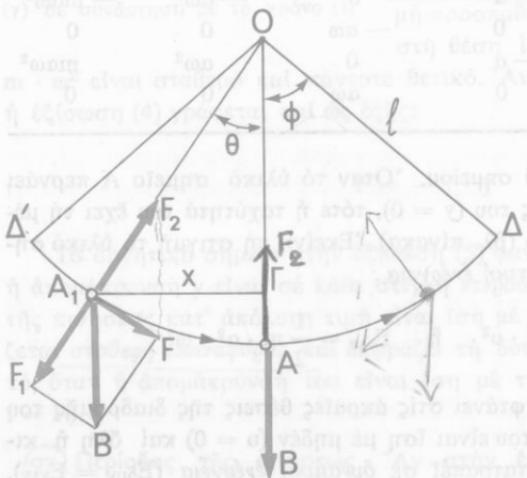
'Εφαρμογή τής άρμονικής ταλαντώσεως έχουμε στό άπλο έκκρεμές.

### 3. Άπλο έκκρεμές

Τό άπλο έκκρεμές είναι μιά ιδανική διάταξη και άποτελεῖται από μιά μικρή σφαίρα (ύλικό σημείο) δεμένη στήν ακρην ένός νήματος. 'Η αλλη

άκρη τού νήματος είναι έτσι στερεωμένη, ώστε τό νήμα μπορεῖ νά στρέφεται χωρίς τριβή γύρω από διριζόντιο άξονα Ο (σχ. 5).

Τό νήμα έχει άσημαντη μάζα σχετικά με τή μάζα της σφαίρας. Τό μήκος  $OA = l$  δονομάζεται μήκος τού έκκρεμούς. 'Απομακρύνουμε τό έκκρεμές από τή θέση ισορροπίας κατά γωνία φ και τό άφηνουμε έλευθερο. Τό έκκρεμές έκτελεί μιά σειρά αλωρήσεων. 'Η γωνία φ δονομάζεται πλάτος τής αιωρήσεως.



Σχ. 5. Άπλο έκκρεμές

Σέ μια δποιαδήποτε θέση άναλύουμε τό βάρος  $\vec{B} = m \cdot \vec{g}$  της σφαίρας στίς δύο συνιστᾶσες  $\vec{F}$  και  $\vec{F}_1$ . Από αυτές ή συνιστώσα  $\vec{F}_1$  είναι άντιθετη μέ την τάση  $\vec{F}_2$  τοῦ νήματος, ένδη ή συνιστώσα  $\vec{F}$ , πού έχει τή διεύθυνση της έφαπτομένης της τροχιάς κινεῖ τό ύλικό σημείο και προσπαθεῖ νά τό ξαναφέρει στή θέση ίσορροπίας του, δηλαδή είναι δύναμη έπαναφορᾶς. Από τά δμοια τρίγωνα  $O A_1 G$  και  $A_1 B F$  βρίσκουμε τή σχέση:

$$\frac{B}{l} = \frac{F}{x} \quad \text{ἄρα} \quad F = \frac{B}{l} \cdot x \quad (1)$$

Άν ή γωνία  $\theta$  είναι πολύ μικρή ( $2^\circ$  ως  $3^\circ$ ), τότε μπορούμε νά θεωρήσουμε δτι ή άπόσταση  $x$  καί τό τόξο  $A_1 A$  συμπίπτουν. Σ' αυτή τήν περίπτωση ή έξισωση (1) δείχνει δτι ή δύναμη έπαναφορᾶς  $F$  είναι άναλογη μέ τήν άπομάκρυνση  $x$  τοῦ ύλικου σημείου άπό τή θέση ίσορροπίας του  $A$ . Ετσι καταλήγουμε στό άκόλουθο συμπέρασμα:

Οταν τό πλάτος της αιωρήσεως τοῦ άπλου έκκρεμοῦς είναι πολύ μικρό, τότε ή κίνηση τοῦ έκκρεμοῦς είναι κατά μεγάλη προσέγγιση άρμονική ταλάντωση.

Έπομένως ή δύναμη έπαναφορᾶς ( $F$ ) κατ' άπόλυτη τιμή δίνεται άπό τήν έξισωση:

$$F = f \cdot x \quad (2)$$

Από τίς έξισώσεις (1) και (2) βρίσκουμε δτι είναι:

$$f = \frac{B}{l} \quad \text{ή} \quad f = \frac{m \cdot g}{l}$$

Η περίοδος τοῦ άπλου έκκρεμοῦς δίνεται άπό τήν έξισωση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{f}}$$

Άν στήν τελευταία έξισωση βάλουμε τήν τιμή τοῦ  $f$ , βρίσκουμε δτι ή περίοδος τοῦ άπλου έκκρεμοῦς δίνεται άπό τήν έξισωση:

$\text{περίοδος άπλου έκκρεμοῦς} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

(3)

#### 4. Άμειωτη καί φθίνουσα ταλάντωση

Όταν ένα ύλικό σημείο έκτελεί άρμονική ταλάντωση πού έχει πλάτος  $a$  καί περίοδο  $T$ , τότε ή δλική ένέργειά του διατηρεῖται σταθερή και ίση μέ  $E_{\text{ολ}} = \frac{1}{2} f \cdot a^2$ . Τό πλάτος  $a$  τής ταλαντώσεως διατηρεῖται σταθερό

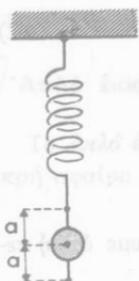
και γι' αυτό ή ταλάντωση δνομάζεται τότε άμειωτη. Άλλά στήν πραγματικότητα κατά τήν κίνηση τοῦ ύλικου σημείου ένεργοιν διάφορες άντιστάσεις, πού στή διάρκεια μιᾶς περιόδου άπορροφοῦν ένα μέρος άπό τήν ένέργεια τοῦ ύλικου σημείου. Έτσι ή ένέργεια τοῦ ύλικου σημείου διαρκεῖς έλαττωνται και ζεπειτα άπό δρισμένο χρόνο γίνεται ίση μέ μηδέν ( $E_{\text{ολ}} = 0$ ). Τότε τό ύλικό σημείο σταματᾷ. Έπειδή ή ένέργεια τοῦ ύλικου σημείου

διαρκῶς ἐλαττώνεται, γι' αὐτό τὸ πλάτος τῆς ταλαντώσεως γίνεται διαρκῶς μικρότερο καὶ τελικά γίνεται ἵσο μὲ μηδέν. Ἡ περίοδος ὅμως Τ τῆς ταλαντώσεως διατηρεῖται σταθερή (\*). Αὐτή ἡ ταλάντωση, πού τὸ πλάτος τῆς διαρκῶς ἐλαττώνεται, δονομάζεται φθίνουσα.

### 5. Ἐλεύθερη καὶ ἔξαναγκασμένη ταλάντωση

a. Ἐλεύθερη ταλάντωση. Ἡ μιά ἄκρη σπειροειδοῦς ἐλατηρίου είναι σταθερά στερεωμένη, ἐνδιά στήν ἄλλη ἄκρη του ὑπάρχει μιά μεταλλική σφαίρα (σχ. 6). Ἀπομακρύνουμε τή σφαίρα κατακόρυφα πρός τά κάτω ἀπό τή θέση ισορροπίας τῆς καὶ τήν ἀφήνουμε ἐλεύθερη. Ἡ σφαίρα ἐκτελεῖ ἀρμονική ταλάντωση. Ἡ συχνότητα ν<sub>0</sub> τῆς ταλαντώσεως είναι σταθερή καὶ δονομάζεται ἴδιοσυχνότητα τοῦ παλλόμενου συστήματος «σφαίρα - ἐλατήριο».

"Οταν ἀπομακρύνουμε τή σφαίρα ἀπό τή θέση ισορροπίας τῆς, τό παλλόμενο σύστημα ἀποκτᾶ ἕνα ἀπόθεμα δυναμικῆς ἐνέργειας. Τό σύστημα, ὅταν τό ἀφήσουμε ἐλεύθερο, κινεῖται ὥσπου νά ἔξαντληθεῖ τό ἀρχικό ἀπόθεμα τῆς δυναμικῆς ἐνέργειας, ἔξαιτίας τῶν ἀντιστάσεων πού δημιουργεῖ τό ἔξωτερικό περιβάλλον. Σ' αὐτή τήν περίπτωση λέμε δτι τό παλλόμενο σύστημα ἐκτελεῖ ἐλεύθερη ταλάντωση. "Ωστε:



Σχ. 6. Τό σύστημα σφαίρα - ἐλατήριο ἐκτελεῖ ἐλεύθερη ἀρμονική ταλάντωση.

"Ἐνα παλλόμενο σύστημα, ὅταν πάρει ἀπέξω μιά ἀρχική ἐνέργεια, ἐκτελεῖ ἐλεύθερη ταλάντωση μέ τή χαρακτηριστική γιά τό σύστημα αὐτό ἴδιοσυχνότητα (ν<sub>0</sub>).

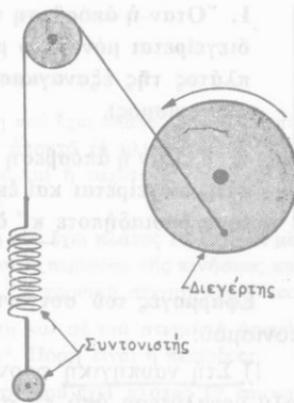
(β) Ἐξαναγκασμένη ταλάντωση. Δένουμε τό ἐλατήριο στή μιά ἄκρη νήματος καὶ τήν ἄλλη ἄκρη τοῦ νήματος τή στερεώνουμε σέ ἕναν τροχό (σχ. 7). "Οταν στρέψουμε τόν τροχό, τότε στό παλλόμενο σύστημα (ἐλατήριο - σφαίρα) περιοδικά ἔξασκεται μιά ἔξωτερική δύναμη μέ συχνότητα ν πού είναι ἵση μέ τή συχνότητα περιστροφῆς τοῦ τροχοῦ. Σ' αὐτή τήν περίπτωση λέμε δτι τό παλλόμενο σύστημα ἐκτελεῖ ἔξαναγκασμένη ταλάντωση. "Ο στρεφόμενος τροχός, πού διεγείρει τό παλλόμενο σύστημα πρός κίνηση, δονομάζεται διεγέρτης καὶ τό σύστημα πού διεγείρεται πρός κίνηση δονομάζεται συντονιστής. "Ωστε:

(\*). Γιατί είναι  $f = m \cdot \omega^2 = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} = \text{σταθ.}$

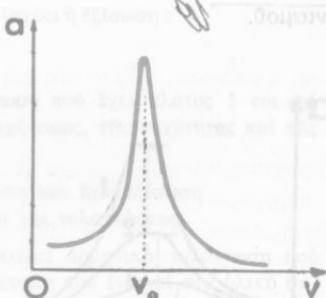
Ένα παλλόμενο σύστημα (συντονιστής) πού έχει ίδιοσυχνότητα  $v_0$ , μπορεί νά έκτελέσει και έξαναγκασμένη ταλάντωση μέ συχνότητα  $v$  ίση μέ τή συχνότητα πού έχει κάθε φορά διεγέρτης.

*S. O. S.*

γ. Συντονισμός. Όταν ή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη (στρεφόμενος τροχός) διαφέρει πολύ από τήν ίδιοσυχνότητα  $v_0$  τού συντονιστή (παλλόμενο σύστημα), τό πλάτος τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως είναι πολύ μικρό. "Άν δώμας ή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη συνεχώς πλησιάζει πρός τήν ίδιοσυχνότητα  $v_0$  τού συντονιστή, τότε τό πλάτος τῶν έξαναγκασμένων ταλαντώσεων τού συντονιστή συνεχώς ανέξαρει και άταν ή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη γίνει ίση μέ τήν ίδιοσυχνότητα  $v_0$  τού συντονιστή, τό πλάτος τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως τού συντονιστή γίνεται μέγιστο. Τότε λέμε δτι διεγέρτης και δ συντονιστής βρίσκονται σέ συντονισμό. "Άν ή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη παίρνει τιμές συνεχώς μεγαλύτερες από τήν ίδιοσυχνότητα  $v_0$  τού συντονιστή, τό πλάτος τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως συνεχώς έλαττωνται. Ή μεταβολή τού πλάτους α τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως σέ συνάρτηση μέ τή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη δείχνεται από τήν καμπύλη συντονισμού (σχ. 8). Παρατηρούμε δτι ή καμπύλη συντονισμού παρουσιάζει αίχμη, δταν ύπάρχει συντονισμός ( $v = v_0$ ). "Ωστε:



Σχ. 7. Τό σύστημα σφαίρα - έλαττηριο έκτελει έξαναγκασμένη ταλάντωση.



Σχ. 8 Μεταβολή τού πλάτους α τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως σέ συνάρτηση μέ τή συχνότητα  $v$ .

Μεταξύ τού διεγέρτη και τού συντονιστή ύπάρχει συντονισμός, δταν ή συχνότητα  $v$  τού διεγέρτη είναι ίση μέ τήν ίδιοσυχνότητα  $v_0$  τού συντονιστή, τότε τό πλάτος τής έξαναγκασμένης ταλαντώσεως τού συντονιστή παίρνει τή μέγιστη τιμή του.

**Έπιδραση της άποσβέσεως τοῦ συντονιστῆ.** "Όταν ὁ συντονιστής (τό παλλόμενο σύστημα) ἐκτελεῖ τὴν ἔξαναγκασμένη ταλαντώση, πάντοτε συμβαίνει ἀπόσβεση τῆς ταλαντώσεως, πού διερίζεται στὴν ἀπώλεια ἐνέργειας ἔξαιτίας τῶν ἀντιστάσεων. Ἡ ἀπόσβεση μπορεῖ νά συμβαίνει γρήγορα ἢ ἀργά, ἀνάλογα μὲ τὶς ἀντιστάσεις πού παρουσιάζει τὸ ἔξωτερικό περιβάλλον. Πειραματικά ἀποδεικνύονται τὰ ἀκόλουθα:

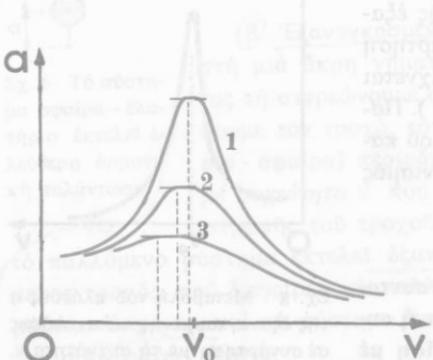
I. "Όταν ἡ ἀπόσβεση τοῦ συντονιστῆ είναι πολὺ μικρή, ὁ συντονιστής διεγίρεται μόνο ἀπό μιά πολὺ μικρή περιοχή συχνοτήτων καὶ τὸ πλάτος τῆς ἔξαναγκασμένης ταλαντώσεως είναι πολὺ μεγάλο (δεξιὸς συντονισμός).

II. "Όταν ἡ ἀπόσβεση τοῦ συντονιστῆ είναι πολὺ μεγάλη, ὁ συντονιστής διεγίρεται καὶ ἐκτελεῖ ἔξαναγκασμένες ταλαντώσεις μικροῦ πλάτους, ὅποιαδήποτε κι' ἂν είναι ἡ συχνότητα ν τοῦ διεγέρτη (σχ. 9 ).

**Έφαρμογές τοῦ συντονισμοῦ.** Αναφέρουμε μερικά παραδείγματα συντονισμοῦ:

1) Στή ναυπηγική φροντίζουμε ἡ ἰδιοσυχνότητα τοῦ σκάφους νά είναι πολὺ μεγαλύτερη ἀπό τή συχνότητα τοῦ κυματισμοῦ τῆς θάλασσας, γιά νά ἀποφεύγεται ὁ μεγάλος κλυδωνισμός τοῦ σκάφους.

2) Στή βιομηχανία γιά τή μέτρηση συχνοτήτων χρησιμοποιοῦμε τά συχνόμετρα, πού ἡ λειτουργία τους στηρίζεται στό φαινόμενο τοῦ συντονισμοῦ.



Σχ. 9. Ἡ καμπύλη συντονισμοῦ, δταν ἡ ἀπόσβεση τοῦ συντονιστῆ είναι μικρή (1), μέτρια (2) ἢ μεγάλη (3).

3) Συντονιστές μέ πολὺ μεγάλη ἀπόσβεση είναι τό τύμπανο τοῦ αὐτιοῦ μας καὶ ἡ μεμβράνη τοῦ ἀκουστικοῦ τοῦ τηλεφώνου, τοῦ μικροφώνου καὶ τοῦ μεγαφώνου.

Αὐτοί οἱ συντονιστές ἔχουν πολὺ μεγάλη ἰδιοσυχνότητα γιά νά διεγίρονται ἀπό μεγάλη κλίμακα συχνοτήτων. Τό πλάτος τῆς ἔξαναγκασμένης ταλαντώσεως είναι μικρό, ἀλλά είναι σχεδόν ἀνεξάρτητο ἀπό τή συχνότητα τοῦ διεγέρτη (σχ. 9 ).

**Παρατήρηση.** Τά φαινόμενα τῶν ἔξαναγκασμένων ταλαντώσεων καὶ τοῦ συντονισμοῦ εἰναι εἰδικά φαινόμενα τῶν ταλαντώσεων, πού ὑμφανίζονται σὲ δρισμένα παλλόμενα μηχανικά συστήματα (μηχανικές ταλαντώσεις) καὶ σὲ δρισμένα ηλεκτρικά κυκλώματα (ηλεκτρικές ταλαντώσεις).

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

• από τον παλαιότερο περιοδικό της τελετελείας της Ελληνικής Έταιρης Φυσικής (Ε.Φ.Φ.) τούτο το θέμα συνέβη να αποτελέσει την τελετελεία της Ε.Φ.Φ. τον Ιανουάριο του 1980. Η λύση της δόθηκε από τον Καθηγητή της Πανεπιστημίου της Αθηνών κ. Λευτέρη Μαραγκόπουλον.

a. **Αρμονική ταλάντωση**

1. "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 20 cm καὶ περίοδο 2 sec. Νά βρεθοῦν: 1) ἡ μέγιστη ταχύτητα πού ἀποκτᾷ τό ύλικό σημείο· 2) ἡ ἀπομάκρυνσή του κατά τή χρονική στιγμή  $t = 0,25$  sec καὶ ἡ ταχύτητα καὶ ἡ ἐπιτάχυνσή του αὐτή τή στιγμή.

(2) "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 10 cm. Ἡ μέγιστη τιμή τῆς ταχύτητάς του εἰναι 1 m/sec. Πόση είναι ἡ περίοδος τῆς κινήσεως και πόση είναι ἡ ἀπομάκρυνσή τοῦ ύλικοῦ σημείου κατά τή χρονική στιγμή  $t = 4$  sec;

✓ 3. "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση καὶ σέ μιά στιγμή ἡ ἀπομάκρυνσή του είναι 1 m καὶ ἡ ἐπιτάχυνση είναι 4 cm/sec<sup>2</sup>. Πόση είναι ἡ περίοδος;

4. "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 10 cm καὶ περίοδο 0,6 sec. Πόση είναι ἡ ταχύτητά του κατά τή στιγμή  $t = 0,525$  sec;

5. Νά βρεθεῖ ἡ περίοδος τῆς άρμονικῆς ταλαντώσεως ἐνός ύλικοῦ σημείου πού ἔχει ἐπιτάχυνση 64 cm/sec<sup>2</sup>, δταν ἡ ἀπομάκρυνσή του είναι 16 cm.

6. Νά αποδειχτεῖ δτι στήν άρμονική ταλάντωση ισχύει ἡ ἔξισωση :

$$v = \omega \sqrt{a^2 - y^2}$$

7. "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 5 cm καὶ περίοδο 2 sec. Νά γραφοῦν οἱ ἔξισώσεις τῆς ἀπομακρύνσεως, τῆς ταχύτητας καὶ τῆς ἐπιτάχυνσεως.

8. "Ενα ύλικό σημείο έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει ἔξισωση  $y = 5 \cdot \eta \cdot t$ . Νά βρεθεῖ ἡ περίοδος καὶ ἡ συχνότητα τῆς ταλαντώσεως.

9. "Ενα ύλικό σημείο ἔχει μάζα 0,1 kgr καὶ έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 0,05 m καὶ περίοδο 2 sec. Νά βρεθεῖ ἡ δύναμη πού ἐνεργεῖ στό ύλικό σημείο, δταν ἡ ἀπομάκρυνσή είναι 0,02 m.

10. "Ενα ύλικό σημείο ἔχει μάζα 0,002 kgr καὶ έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 0,05 m καὶ συχνότητα 10 Hz. Νά βρεθεῖ ἡ μέγιστη τιμή πού ἔχει ἡ δύναμη ἐπαναφορᾶς καὶ πόση είναι κατ' ἀπόλυτη τιμή ἡ δύναμη αὐτή, δταν ἡ ἀπομάκρυνσή είναι 0,01 m.

11. "Ενα ύλικό σημείο ἔχει μάζα  $2 \cdot 10^{-3}$  kgr καὶ έκτελει άρμονική ταλάντωση πού ἔχει πλάτος 0,05 m καὶ συχνότητα 10 Hz. 1) Πόση είναι ἡ μέγιστη κινητική ἐνέργεια πού ἀποκτᾶ τό ύλικό σημείο; 2) Ἡ ταχύτητα σέ συνάρτηση μέ τήν ἀπομάκρυ-

ση δίνεται άπό τήν έξισωση  $v = \omega \sqrt{a^2 - y^2}$ . Πόση είναι ή κινητική και ή δυναμική ένέργεια τού ίδιου σημείου, όταν ή απομάκρυνσή του είναι 0,03 m;

### β. Απλό έκκρεμές

(12) \*Eva άπλο έκκρεμές έχει μήκος 6 m και έκτελει αιωρήσεις σε τόπο, δην είναι  $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ . Πόσες αιωρήσεις έκτελει κατά λεπτό;

(13). \*Eva άπλο έκκρεμές έκτελει 60 αιωρήσεις κατά λεπτό. Κατά πόσα έκατο-στόμετρα πρέπει νά έλαττωθεί τό μήκος του, γιά νά έκτελει 90 αιωρήσεις κατά λεπτό;

(14). \*Eva άπλο έκκρεμές έχει μήκος 98 cm και περίοδο 2 sec. Πόση είναι ή τιμή τού  $g$  στόν τόπο πού βρίσκεται τό έκκρεμές;

(15). Σέ έναν τόπο, δην είναι  $g = 9,80 \text{ m/sec}^2$ , πόσο μήκος πρέπει νά έχει ένα έκκρεμές πού ή περίοδός του είναι 1 min;

(16). \*Eva άπλο έκκρεμές έχει μήκος 1 και περίοδο 2 sec σε έναν τόπο A, δην είναι  $g = 980 \text{ cm/sec}^2$ . Πόση είναι ή περίοδος αύτού τού έκκρεμούς στόν. Ισημερινό ( $g_{\text{σ}} = 978 \text{ cm/sec}^2$ ) και στόν πόλο ( $g_{\text{πόλ}} = 983 \text{ cm/sec}^2$ );

(17). Τό έκκρεμές ένός ρολογιού θεωρείται άπλο έκκρεμές πού έχει περίοδο 2 sec, δην τό έκκρεμές βρίσκεται σε έναν τόπο A, δην είναι  $g_A = 980 \text{ cm/sec}^2$ . Πόσο θά καθυτερεί τό ρολόγι μέσα σε 24 ώρες, αν μεταφερθεί σε έναν τόπο B, δην είναι  $g_B = 974 \text{ cm/sec}^2$ ;

(18). \*Eva άπλο έκκρεμές μήκους 150 cm έκτελει 100 αιωρήσεις μέσα σε 246 sec. Πόση είναι ή τιμή τού  $g$  σ' αύτό τόν τόπο;

## Κύματα

### 6. Διάδοση ένέργειας μέ κύματα

Σέ ένα στερεό έλαστικό σώμα δλα τά ίδια σημεία του, δηλαδή τά μόριά του, είναι δμοια μεταξύ τους και καθένα άπο αύτά συνδέεται μέ δλα τά γύρω του μόρια μέ δυνάμεις έλαστικότητας (μοριακές δυνάμεις). "Αν ένα μόριο Α τού σώματος έκτελει άρμονική ταλάντωση μέ συχνότητα  $v$ , τότε έξαιτίας τῶν συνδέσμων πού υπάρχουν, δλα τά μόρια γύρω άπο τό μόριο Α άναγκάζονται νά έκτελέσουν τήν ίδια άρμονική ταλάντωση πού έκτελει και τό μόριο Α. Καθένα άπο αύτά τά μόρια άναγκάζει τά γειτονικά του μόρια νά κινηθούν και έτσι μέσα στό έλαστικό σώμα συμβαίνει διάδοση μιᾶς ταλαντώσεως άπο τό ένα μόριο στό άλλο. Άλλα κατά τή διάδοση αύτή μεταφέρεται ένέργεια άπο τό ένα στό άλλο μόριο τού σώματος. "Οταν μέσα στό έλαστικό μέσο συμβαίνει μετάδοση ένέργειας άπο τό ένα στό άλλο μόριο μέ τέτοιο τρόπο, τότε λέμε δτι μέσα στό έλαστικό σώμα διαδίδεται ένα κύμα έλαστικότητας ή μηχανικό κύμα. "Η πιό σημαντική κατηγορία κυμά-

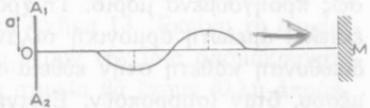
των είναι τά άρμονικά ή ήμιτονοειδή κύματα στά δύο οι όλα τά σημεῖα του έλαστικού μέσου έκτελούν άρμονική ταλάντωση συχνότητας ν. Άπο τά παραπάνω καταλήγουμε στό έξις συμπέρασμα:

**Κύμα δονομάζουμε τό μηχανισμό διαδόσεως μιᾶς ταλαντώσεως μέσα σέ ένα έλαστικό μέσο και μέ αυτό τόν τρόπο γίνεται μεταφορά ένέργειας**

άπο τό ένα στό άλλο σημείο του έλαστικού μέσου (κύμα έλαστικότητας).

## 7. Έγκάρσια καί διαμήκη κύματα

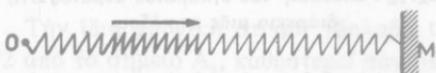
a. Έγκάρσια κύματα. Τή μιά άκρη μακριᾶς χορδῆς άπό καουτσούκ τή στερεώνουμε σταθερά και τήν άλλη άκρη τήν κρατᾶμε μέ τό χέρι μας (σχ. 10). Τεντώνουμε έλαφρά τή χορδή και γρήγορα άναγκάζουμε τήν άκρη Ο τής χορδῆς νά έκτελεσει γιά μιά φορά τή διαδρομή  $OA_1A_2O$ . Παρατηροῦμε δτι κατά μήκος τής χορδῆς διαδίδεται μιά κυματοειδής έλαστική παραμόρφωση. Αύτό συμβαίνει γιατί τά μόρια τής χορδῆς, έχαιτίας τῶν έλαστικῶν συνδέσμων πού ίπάρχουν, άναγκάζονται νά έκτελεσουν διαδοχικά τήν ίδια κίνηση πού έκαμε τό σημείο Ο. "Ωστε κατά μήκος τής χορδῆς διαδίδεται ένα κύμα. Ή διατάραξη προχωρεῖ κατά μήκος τής χορδῆς μέ δρισμένη ταχύτητα (c). Κάθε μόριο τής χορδῆς κινεῖται κάθετα στή διεύθυνση διαδόσεως του κύματος. Σ' αύτή τήν περίπτωση λέμε δτι κατά μήκος τής χορδῆς διαδίδεται έγκάρσιο κύμα. "Ωστε:



Σχ. 10 . Διάδοση έγκάρσιου κύματος

Στά έγκάρσια κύματα τά μόρια του έλαστικού μέσου κινοῦνται κάθετα στή διεύθυνση διαδόσεως του κύματος.

b. Διαμήκη κύματα. Τή μιά άκρη σπειροειδούς έλατηρίου τή στερεώνουμε σταθερά και τήν άλλη άκρη τήν κρατᾶμε μέ τό χέρι μας (σχ. 11). "Όταν διατηροῦμε τό έλατηρίο έλαφρά τεντωμένο, προκαλοῦμε άπότομα συμπίεση και έπειτα άραιώση τῶν πρώτων σπειρῶν. Παρατηροῦμε δτι ή διατάραξη πού προκαλέσαμε στίς πρώτες σπειρες διαδίδεται κατά μήκος του έλατηρίου μέ δρισμένη ταχύτητα (c). Καθεμιά σπείρα διαδοχικά πάλλεται παράλληλα μέ τή διεύθυνση διαδόσεως του κύματος. Σ' αύτή τήν περίπτωση λέμε δτι κατά μήκος του έλατηρίου διαδίδονται διαμήκη κύματα.

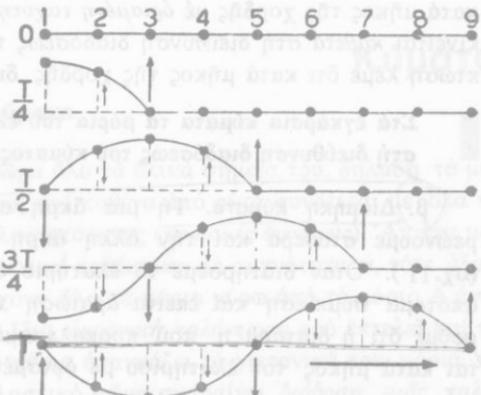


Σχ. 11 . Στό τεντωμένο έλατηρίο διαδίδονται διαμήκη κύματα.

**Στά διαμήκη κύματα τά μόρια τού ἐλαστικοῦ μέσου κινοῦνται παράλληλα μέ τή διεύθυνση διαδόσεως τού κύματος.**

## 8. Μῆκος κύματος

Θεωροῦμε μιά σειρά μορίων τού γραμμικοῦ ἐλαστικοῦ μέσου, πού ἀρχικά ἰσορροποῦν πάνω σέ μιά εὐθεία γραμμή (σχ. 12). Ἐπειδή τά μόρια κάθε σώματος ἔχουν ἀδράνεια, γι' αὐτό πάντοτε μεσολαβεῖ ἕνας ἐλάχιστος χρόνος, ὥσπου νά ἀρχίσει τήν κίνησή του τό ἐπόμενο γειτονικό μόριο. Ἀς ὑποθέσουμε δτι στό ἐλαστικό μέσο πού πήραμε κάθε μόριο ἀρχίζει νά κινεῖται ἀφοῦ περάσει χρόνος  $T/8$  ἀπό τή στιγμή πού ἔκεινης τό ἀμέσως προηγούμενο μόριο. Τή χρονική στιγμή  $t = 0$  τό μόριο 1 ἀρχίζει νά ἐκτελεῖ ἀμείωτη ἀρμονική ταλάντωση πού ἔχει περιόδο  $T$ , πλάτος  $a$  και διεύθυνση κάθετη στήν εὐθεία πού βρίσκονται τά σημεῖα τού ἐλαστικοῦ μέσου, δταν ἰσορροποῦν. Ἐκείνη τή στιγμή (δηλαδή δταν είναι  $t = 0$ ) ἀρχίζει ή διάδοση τής ἀρμονικῆς ταλαντώσεως ἀπό τό ἔνα μόριο στό ἄλλο κατά μῆκος τού ἐλαστικοῦ μέσου. Στή διάρκεια μιᾶς περιόδου  $T$ , δηλαδή τή χρονική στιγμή  $t = T$  ή διάδοση τής ἀρμονικῆς ταλαντώσεως ἔχει φτάσει στό μόριο 9 πού αὐτή τή στιγμή ἀρχίζει νά ἐκτελεῖ τήν πρώτη ταλάντωσή του, ἐνῶ τό μόριο 1 ἀρχίζει νά ἐκτελεῖ τή δεύτερη ταλάντωσή του. Ωστε τή χρονική στιγμή  $t = T$  δλα τά μόρια ἀπό τό 1 ὡς τό 9 κινοῦνται. Ἐκείνη τή στιγμή τό μόριο 3 ἔχει ἐκτελέσει τά τρία τέταρτα τής ταλαντώσεως, τό μόριο 5 ἔχει ἐκτελέσει τή μισή ταλάντωση και τό μόριο 7 ἔχει ἐκτελέσει τό ἔνα τέταρτο τής ταλαντώσεως. Στό σχῆμα 12 τά βέλη δείχνουν τή φορά τής κινήσεως τῶν μορίων και κατά προσέγγιση τό μέγεθος τής ταχύτητάς τους. Παρατηροῦμε δτι στή διάρκεια μιᾶς περιόδου ( $T$ ) ή ἀρμονική ταλάντωση διαδίδεται μέ σταθερή ταχύτητα (c) σέ δρισμένη ἀπόσταση πού ὀνομάζεται μῆκος κύματος ( $\lambda$ ). Ἐτσι ἔχουμε τόν ἔξης δρισμό :



Σχ. 12 . Διάδοση τού ἐγκάρσιου κύματος στή διάρκεια μιᾶς περιόδου.

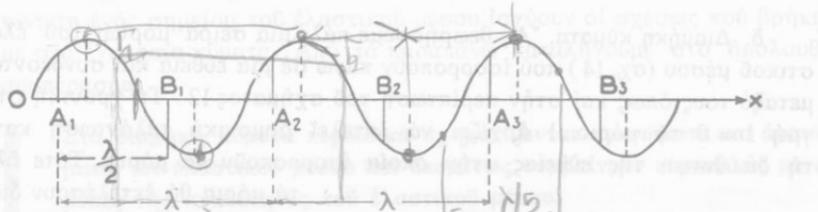
Μήκος κύματος (λ) ονομάζεται ή σταθερή άπόσταση στήν όποια διαδίδεται ή ταλάντωση μέσα σέ μια περίοδο.

$$\text{μήκος κύματος} \quad \lambda = c \cdot T$$

Έπειδή είναι  $T = 1/v$ , από τήν προηγούμενη σχέση βρίσκουμε τή θεμελιώδη έξισωση τῶν κυμάτων :

$$\text{θεμελιώδης έξισωση} \quad c = v \cdot \lambda$$

β. Διαφορά φάσεως μεταξύ δύο σημείων τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου. "Οταν ή πηγή τοῦ κύματος ἐκτελεῖ ἀμείωτη ἀρμονική ταλάντωση, τότε κατά μῆκος τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου διαδίδεται συνεχῶς ἕνα ἐγκάρσιο ἀρμονικό κύμα, πού τή στιγμή  $t = 3T$  ἔχει τή μορφή πού δείχνει τό σχῆμα 13. Εκείνη τή στιγμή τά σημεῖα  $A_1, A_2, A_3$  τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου ἔχουν τήν ἴδια ἀπομάκρυνση. Έπειτα ἀπό δρισμένο χρόνο τά τρία αὐτά σημεῖα θά ἔχουν ἄλλη ἀπομάκρυνση, πού θά είναι διπλάς ή ἴδια καὶ γιά τά τρία σημεῖα. Σ' αὐτή τήν περίπτωση ή κίνηση τῶν σημείων  $A_2$  καὶ  $A_3$  σχετικά μέ τήν κίνηση τοῦ σημείου  $A_1$  παρουσιάζει διαφορά φάσεως ἀντίστοιχα. Ήση μέ φ =  $2\pi$  καὶ φ =  $2(2\pi)$ . Καθεμιά ἀπό τίς δύο ἀποστάσεις  $A_1A_2$  καὶ  $A_2A_3$  είναι Ήση μέ ἔνα μῆκος κύματος λ. Τότε λέμε ὅτι τά τρία σημεῖα  $A_1, A_2$  καὶ  $A_3$  βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως, ἐνῷ τά σημεῖα  $A_1$  καὶ  $B_1$  βρίσκονται σέ ἀντίθεση φάσεως.



Σχ. 13. Τά σημεῖα  $A_1$  καὶ  $A_2$  βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως, ἐνῷ τά σημεῖα  $A_1$  καὶ  $B_1$  βρίσκονται σέ ἀντίθεση φάσεως.

ματος λ. Τότε λέμε ὅτι τά τρία σημεῖα  $A_1, A_2$  καὶ  $A_3$  βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως.

"Ετσι γιά τό μῆκος κύματος μποροῦμε νά δώσουμε τόν έξῆς δρισμό:

Μήκος κύματος (λ) ονομάζεται ή ἀπόσταση μεταξύ τῶν δύο πλησιέστερων σημείων πού βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως.

Τήν ἴδια χρονική στιγμή (δηλαδή  $t = 3T$ ) τό σημεῖο  $B_1$ , πού ἀπέχει  $\lambda/2$  ἀπό τό σημεῖο  $A_1$ , καθυστερεῖ πάντοτε σχετικά μέ τό  $A_1$  κατά μισή περίοδο ( $T/2$ ). "Άρα, κάθε στιγμή οί ἀπομακρύνσεις τῶν σημείων  $A_1$  καὶ  $B_1$

είναι ίσες, άλλα έχουν άντιθετη φορά. Σ' αυτή τήν περίπτωση λέμε ότι τά δύο αυτά σημεία βρίσκονται σέ άντιθεση φάσεως. Τό ίδιο συμβαίνει και μέ τά σημεία  $A_2$  καί  $B_2$ .

Γενικότερα μπορούμε νά διατυπώσουμε τό έξης συμπέρασμα:

"Όταν ή άπόσταση (d) μεταξύ δύο σημείων τού έλαστικού μέσου είναι ίση μέ ακέραιο άριθμό κυμάτων, τότε τά δύο σημεία βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως.

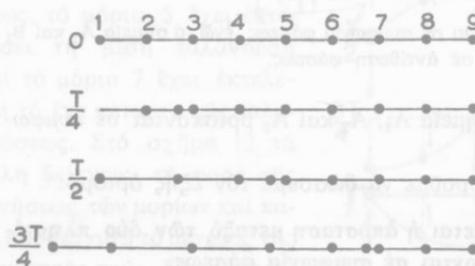
"Όταν ή άπόσταση (d) μεταξύ δύο σημείων τού έλαστικού μέσου είναι ίση μέ περιττό άριθμό ήμικυμάτων, τότε τά δύο σημεία βρίσκονται σέ άντιθεση φάσεως.

$$\left. \begin{array}{l} \text{σέ συμφωνία φάσεως} \\ \varphi = 2\kappa \end{array} \right. \quad d = \kappa \cdot \lambda$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{σέ άντιθεση φάσεως} \\ \varphi = (2\kappa + 1)\pi \end{array} \right. \quad d = (2\kappa + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

δπου κ είναι άκέραιος άριθμός ( $\kappa = 0, 1, 2, 3\dots$ ).

**δ. Διαμήκη κύματα.** "Ας θεωρήσουμε πάλι μιά σειρά μορίων τού έλαστικού μέσου (σχ. 14) πού ίσορροπούν πάνω σέ μιά εύθεια καί συνδέονται μεταξύ τους δύως καί στήν περίπτωση τού σχήματος 12. Τή χρονική στιγμή  $t = 0$  τό μόριο 1 άρχιζει νά έκτελει άρμονική ταλάντωση κατά τή διεύθυνση τής εύθειας στήν δύο άρμονικά στάδια. Τότε δλα



Σχ. 14 . Διάδοση τού διαμήκους κύματος στή διάρκεια μιᾶς περιόδου.

τά μόρια θά έκτελέσουν διαδοχικά τήν ίδια άκριβῶς άρμονική ταλάντωση πού έκαμε τό μόριο 1. Παρατηρούμε δτι κάθε μόριο τού έλαστικού μέσου διαδοχικά πλησιάζει καί άπομακρύνεται άπό τά δύο γειτονικά του μόρια." Ετσι δημιουργούνται πυκνώματα καί άραιώματα τού έλαστικού μέσου πού διαδίδονται κατά μῆκος τού γραμμικού έλαστικού μέσου. Σ' αυτή τήν περί-



Σχ. 15. Η διάδοση των έγκαρσιων και των διαμήκων κυμάτων. Στά διαμήκη κύματα σχηματίζονται διαδοχικά πυκνώματα και άραιώματα.

Στό μέσο δείχνονται τά όλικα σημεία του γραμμικού έλαστικού μέσου, δταν ίσορροπούν.

πτωση ώς μῆκος κύματος λ θεωροῦμε τήν άπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικῶν πυκνωμάτων (ή άραιωμάτων). Τό σχήμα 15 δείχνει τή θέση των μορίων του γραμμικού έλαστικού μέσου τή χρονική στιγμή  $t = 2T$ . Τά βέλη δείχνουν τή φορά τής κινήσεως των μορίων κατά τήν άντίστοιχη χρονική στιγμή. Γιά τή διαφορά φάσεως μεταξύ δύο σημείων και γιά τήν κίνηση ένός σημείου του έλαστικού μέσου ίσχύουν οί σχέσεις πού βρήκαμε στά έγκαρσια κύματα. Από τά παραπάνω καταλήγουμε στό άκολουθο συμπέρασμα:

**Στά διαμήκη κύματα περιοδικά σχηματίζονται πυκνώματα και άραιώματα του έλαστικού μέσου και έπομένως συμβαίνουν περιοδικές μεταβολές τής πυκνότητας του έλαστικού μέσου.**

Τά έγκαρσια και διαμήκη κύματα πού έξετάσαμε παραπάνω δνομάζονται τρέχοντα κύματα.

## 9. Διάδοση των κυμάτων έλαστικότητας μέσα στήν υλη

Τά έγκαρσια και τά διαμήκη κύματα πού έξετάσαμε δφείλονται στίς έλαστικές ίδιότητες τής υλης και γι' αύτό τά κύματα αντά δνομάζονται κύματα έλαστικότητας (ή και μηχανικά κύματα). Στά διαμήκη κύματα διαδίδονται πυκνώματα και άραιώματα του έλαστικού μέσου και έπομένως περιοδικά μεταβάλλεται δ δγκος του έλαστικού σώματος. Ήρα τά διαμήκη κύματα μπορούν νά διαδίδονται μέσα σέ σώματα πού έχουν έλαστικότητα δγκον.

Αύτή τήν ιδιότητα τήν έχουν δλα τά σώματα, στερεά ύγρα και άερια. Στά έγκαρσια κύματα περιοδικά μεταβάλλεται τό σχῆμα τοῦ έλαστικοῦ σώματος και έπομένως τά έγκαρσια κύματα μποροῦν νά διαδίδονται μόνο μέσα σέ σώματα πού έχουν έλαστικότητα σχήματος. Τέτοια σώματα είναι μόνο τά στερεά, γιατί μόνο αυτά έχουν δρισμένο σχῆμα. "Οστε:

**Διαμήκη κύματα έλαστικότητας διαδίδονται μέσα σέ δλα τά σώματα, στερεά, ύγρα και άερια. Έγκαρσια κύματα έλαστικότητας διαδίδονται μόνο μέσα στά στερεά σώματα.**

a. Ταχύτητα διαδόσεως τῶν κυμάτων έλαστικότητας. 'Η ταχύτητα διαδόσεως τῶν κυμάτων έλαστικότητας έξαρταται ἀπό τό είδος τῶν κυμάτων (έγκαρσια ή διαμήκη) και ἀπό τή φύση τοῦ έλαστικοῦ μέσου στό δοιο διαδίδονται τά κύματα.

Στά στερεά όλικά τά διαμήκη κύματα έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα διαδόσεως ἀπό τά έγκαρσια κύματα. Τό συμπέρασμα αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στή Σεισμολογία. "Οταν σέ ένα σημείο τοῦ στερεοῦ φλοιοῦ τῆς Γῆς συμβεῖ μιά διατάραξη τῆς ίσορροπίας τῶν στρωμάτων, τότε ἀπό τό σημείο τοῦ φλοιοῦ τῆς Γῆς (έστια τοῦ σεισμοῦ) φεύγουν διαμήκη και έγκαρσια σεισμικά κύματα πού διαδίδονται μέ διαφορετικές ταχύτητες και έπομένως φτάνουν σέ έναν τόπο σέ δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. "Από αυτή τή χρονική διαφορά συνάγονται πολύτιμα συμπεράσματα.

## 10. Κύματα στό χώρο και στήν έπιφάνεια ύγροῦ

a. Κύματα στό χώρο. "Ενα όλικό σημείο Α ἐκτελεῖ ἀμείωτη ἄρμονική ταλάντωση και περιβάλλεται ἀπό ένα ἀπεριόριστο όμογενές και ίσοτροπο έλαστικό μέσο. Τότε τό σημείο Α είναι πηγή ἄρμονικῶν κυμάτων πού διαδίδονται πρός δλες τίς διευθύνσεις μέ σταθερή ταχύτητα c. Στή διάρκεια δρισμένου χρόνου t ή διάδοση τῆς ταλαντώσεως (δηλαδή τό κύμα) φτάνει σέ δλα τά σημεία τοῦ έλαστικοῦ μέσου πού βρίσκονται σέ ἀπόσταση R = c · t. "Όλα αυτά τά σημεῖα έχουν τήν ίδια φάση και βρίσκονται πάνω σέ μιά σφαιρική έπιφάνεια, πού δνομάζεται έπιφάνεια κύματος\*. "Η έξωτερική έπιφάνεια κύματος ἀποτελεῖ τό μέτωπο κύματος. "Ετσι στό έλαστικό μέσο σχηματίζονται δμόκεντρες σφαιρικές έπιφάνειες και δλα τά σημεῖα μιᾶς τέτοιας έπιφάνειας κινοῦνται μέ τήν ίδια φάση. Σ' αυτή τήν περίπτωση λέμε δτι στό έλαστικό μέσο σχηματίζονται σφαιρικά κύματα. Κάθε εύθεια κάθετη στήν έπιφάνεια κύματος δνομάζεται ἀκτίνα. Σέ μεγάλη ἀπόσταση

(\*) "Η έπιφάνεια κύματος λέγεται και ίσοφασική έπιφάνεια.

ἀπό τήν πηγή τῶν κυμάτων ἔνα μικρό μέρος τῆς σφαιρικῆς ἐπιφάνειας κύματος μποροῦμε νά το θεωρήσουμε ώς ἐπίπεδο καί τότε λέμε δτι σ' αὐτή τήν ἀπόσταση ἔχουμε ἔνα ἐπίπεδο κύμα. Στά σφαιρικά καί στά ἐπίπεδα κύματα ἡ ἀπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικῶν ἐπιφανειῶν κύματος, πού τά σημεῖα τους ἔχουν συμφωνία φάσεως, είναι ἵση μέ ἔνα μῆκος κύματος (λ).

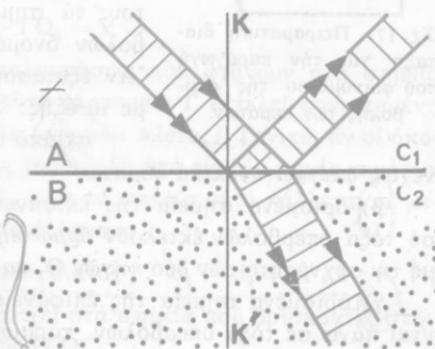
β. Κύματα στήν ἐπιφάνεια ἐνός ύγρου. "Οταν στήν ἐπιφάνεια νεροῦ πού ἡρεμεῖ πέσει μιά πέτρα, τότε στό σημεῖο τῆς ἐπιφάνειας πού ἔπεσε ἡ πέτρα προκαλεῖται μιά διατάραξη τῆς ἐπιφανειακῆς μάζας τοῦ νεροῦ καί στήν ἐπιφάνεια τοῦ νεροῦ σχηματίζονται ὁμόκεντρα ὑψώματα καί κοιλώματα πού διαδίδονται πρός δλες τίς διευθύνσεις. [Τά κύματα, πού σχηματίζονται στήν ἐπιφάνεια ύγρων πού ἡρεμοῦν, ἀποτελοῦν μιά ἰδιαίτερη κατηγορία κυμάτων]. Οπως ξέρουμε ἡ ἐλεύθερη ἐπιφάνεια ἐνός ύγρου πού ἡρεμεῖ, ἔχει ἰδιότητες ἀνάλογες μέ τίς ἰδιότητες μιᾶς τεντωμένης ἐλαστικῆς μεμβράνης. [Ἐτσι δρισμένα ἀπό τά κύματα πού σχηματίζονται στήν ἐπιφάνεια ύγρων δφείλονται στήν ἐπιφανειακή τάση (κύματα ἐπιφανειακῆς τάσεως), ἐνῷ ἄλλα κύματα δφείλονται στή βαρύτητα (κύματα βαρύτητας). Γενικά δ σχηματισμός τῶν κυμάτων στήν ἐπιφάνεια τῶν ύγρων είναι ἔνα πολύπλοκο πρόβλημα.

S.O.S.

### II. 'Ανάκλαση καί διάθλαση τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας

Δύο δμογενή καί ἴστροπα ἐλαστικά μέσα A καί B χωρίζονται τό ἔνα ἀπό τό ἄλλο μέ μιά ἐπιφάνεια ἐπίπεδη ἡ καί καμπύλη (σχ.16). Η ταχύτητα διαδόσεως τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας στά δύο μέσα A καί B είναι ἀντίστοιχα  $c_1$  καί  $c_2$ . Τά κύματα διαδίδονται στό ἐλαστικό μέσο A καί δταν φτάσουν στή διαχωριστική ἐπιφάνεια τῶν δύο διαφορετικῶν ἐλαστικῶν μέσων, τότε συμβαίνουν τά ἔξης:

- ἔνα μέρος τῶν κυμάτων ἀνακλᾶται καί αὐτά τά κύματα ἔξακολουθοῦν νά διαδίδονται στό ἐλαστικό μέσο A κατά μιά νέα διεύθυνση·
- ἔνα ἄλλο μέρος τῶν κυμάτων πού ἔπεσαν πάνω στή διαχωριστική ἐπιφάνεια διαθλᾶται καί αὐτά τά κύματα διαδίδονται στό ἐλαστικό μέσο B, ἄλλα κατά μιά νέα διεύθυνση.



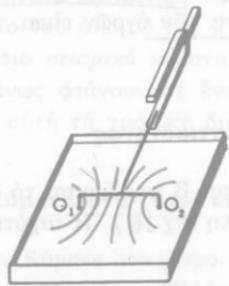
Σχ. 16. 'Ανάκλαση καί διάθλαση ἐπίπεδου κύματος ἐλαστικότητας.

Ή θεωρητική και πειραματική έρευνα άποδεικνύουν ότι γιά τήν άνάκλαση και τή διάθλαση τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας ισχύουν οἱ νόμοι πού ισχύουν και γιά τήν άνάκλαση και τή διάθλαση τοῦ φωτός.

## 12. Συμβολή τῶν κυμάτων

S.O.S.

Στό ἴδιο ἐλαστικό μέσο μπορεῖ νά διαδίδονται δύο κύματα. "Οταν τά κύματα φτάσουν σέ ἔνα ύλικό σημεῖο τοῦ ἐλαστικοῦ μέσου, τότε τό σημεῖο αὐτό ἐκτελεῖ μιά συνισταμένη κίνηση και λέμε ότι στό σημεῖο αὐτό τά δύο κύματα συμβάλλουν. Μέ τό ἀκόλουθο πείραμα μποροῦμε νά παρατηρήσουμε τό φαινόμενο τῆς συμβολῆς δύο κυμάτων πού διαδίδονται στήν ἐπιφάνεια ύγρου. Στό ἔνα σκέλος διαπασῶν είναι στερεωμένο ἔνα στέλεχος ἔτσι, ώστε οἱ δύο ἄκρες του  $O_1$  καὶ  $O_2$  νά μποροῦν νά πάλλονται κατακόρυφα (σχ.17)." Οταν τό διαπασῶν ήρεμει, τά σημεῖα  $O_1$  καὶ  $O_2$  βρίσκονται σέ ἐπαφή μέ τήν ἐλεύθερη ἐπιφάνεια ύδραργύρου (ἢ νεροῦ) πού ήρεμει.



Σχ. 17. Πειραματική διάταξη γιά τήν παραγωγή τοῦ φαινομένου τῆς συμβολῆς τῶν κυμάτων.

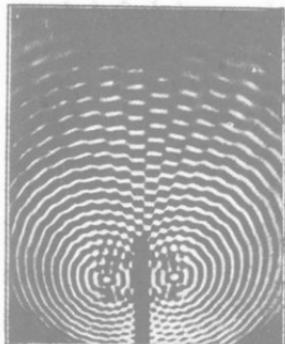
Μέ ἔναν ἡλεκτρομαγνήτη ἀναγκάζουμε τό διαπασῶν νά πάλλεται. Τότε τά σημεῖα  $O_1$  καὶ  $O_2$  ἐκτελοῦν ἀμείωτες ἀρμονικές ταλαντώσεις, πού ἔχουν τήν ἴδια συχνότητα, τό ἴδιο πλάτος και τήν ἴδια φάση. "Ετσι τά σημεῖα  $O_1$  καὶ  $O_2$  είναι δύο σύγχρονες πηγές παραγωγῆς κυκλικῶν κυμάτων πού διαδίδονται στήν ἐπιφάνεια ύγρου. Παρατηροῦμε ότι στήν ἐπιφάνεια τοῦ ύγρου σχηματίζονται τόξα ὑπερβολῶν, πού ἔχουν ώς ἐστίες τους τά σημεῖα  $O_1$  καὶ  $O_2$ . Αὐτά τά τόξα ὑπερβολῶν ὀνομάζονται κροσσοί συμβολῆς (σχ. 17). "Αν ἔξετάσουμε αὐτό τό φαινόμενο διαπιστώνουμε τά ἔξης:

a) ἀπό τίς δύο πηγές κυμάτων  $O_1$  καὶ  $O_2$  συνεχῶς φεύγουν κυκλικά κύματα.

(β) δρισμένα σημεῖα τῆς ἐπιφάνειας τοῦ ύγρου πού βρίσκονται πάνω σέ τόξα ὑπερβολῶν ἐκτελοῦν ἀρμονική ταλάντωση, πού ἔχει συχνότητα ἵση μέ τή συχνότητα τῶν δύο πηγῶν  $O_1$  καὶ  $O_2$ .

(γ) δρισμένα σημεῖα τῆς ἐπιφάνειας τοῦ ύγρου πού και αὐτά βρίσκονται πάνω σέ τόξα ὑπερβολῶν, παραμένουν τελείως ἀκίνητα.

"Εξήγηση τοῦ φαινομένου τῆς συμβολῆς τῶν κυμάτων. Κάθε σύστημα κυκλικῶν κυμάτων διαδίδεται ἀνεξάρτητα ἀπό τό ἄλλο, δηλαδή διαδίδεται σάν νά ἥταν μόνο του. "Ετσι κάθε ύλικό σημεῖο τῆς ἐλεύθερης ἐπιφάνειας τοῦ ύγρου ἐκτελεῖ ταυτόχρονα δύο κατακόρυφες ἀρμονικές ταλαντώσεις.



Σχ. 18. Οι κροσσοί συμβολῆς.

σεις πού έχουν τήν ίδια διεύθυνση, τήν ίδια συχνότητα ( $v$ ) και τότε ίδιο πλάτος  $a$ . "Όπως ξέρουμε, τό πλάτος (A) τής συνισταμένης ταλαντώσεως έξαρται

ἀπό τή διαφορά φάσεως ( $\phi$ ) πού έχουν οι δύο συνιστώσες ταλαντώσεις. "Ας πάρουμε ένα σημείο  $\Gamma$  τής έπιφάνειας τοῦ ύγρου (σχ. 19), πού οι ἀποστάσεις του ἀπό τά σημεία  $O_1$  και  $O_2$  έχουν διαφορά  $\lambda$  μέ τού διαφορά  $\phi$  κυμάτων, δηλαδή είναι :

$$\Gamma O_1 - \Gamma O_2 = \kappa \cdot \lambda$$

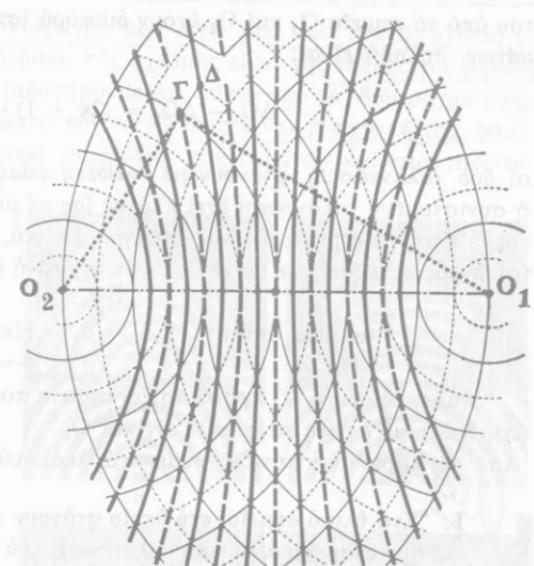
"Επομένως οι δύο άρμονικές ταλαντώσεις πού φτάνουν στό σημεῖο  $\Gamma$  έχουν συμφωνία φάσεως και γι' αὐτό τό σημεῖο  $\Gamma$  ἐκτελεῖ συνισταμένη ταλάντωση, πού έχει πλάτος  $A = 2a$  (μέγιστο πλάτος). Γενικά, ἂν οι ἀποστάσεις ἐνός σημείου τής έπιφάνειας τοῦ ύγρου ἀπό τίς δύο πηγές κυμάτων  $O_1$  και  $O_2$  είναι ἀντίστοιχα  $d_1$  και  $d_2$ , τότε τό σημεῖο αὐτό πάλλεται μέ μέγιστο πλάτος ( $A = 2a$ ), δην ισχύει ή έξισωση:

$$\text{σημεῖα παλλόμενα μέ μέγιστο πλάτος} \quad d_1 - d_2 = \kappa \cdot \lambda \quad (1)$$

Γιά  $\kappa = 0$  ή έξισωση (1) ἀντιστοιχεῖ στά σημεῖα πού βρίσκονται στήν εὐθεία πού είναι κάθετη στό μέσο τής  $O_1O_2$ .

Γιά  $\kappa = 1, 2, 3, \dots$  ή έξισωση (1) ἀντιστοιχεῖ σέ σημεῖα πού βρίσκονται πάνω σέ τόξα ὑπερβολῶν, πού έχουν ως έστιες τίς δύο σύγχρονες πηγές  $O_1$  και  $O_2$ .

Σέ ένα ὅλο σημεῖο  $\Delta$  τής έπιφάνειας τοῦ ύγρου, πού οι ἀποστάσεις



Σχ. 19. Γιά τήν έξηγηση τής συμβολῆς δύο κυμάτων.

του άπό τά σημεία  $O_1$  και  $O_2$  έχουν διαφορά ίση μέ περιττό άριθμό ήμικυνών, δηλαδή είναι:

$$\Delta O_1 - \Delta O_2 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

οι δύο ταλαντώσεις φτάνουν μιές άντιθετη φάση ( $\phi = 180^\circ$ ) και έπομένως ή συνισταμένη ταλάντωση έχει πλάτος ίσο με μηδέν,  $A = 0$  (έλαχιστο πλάτος). Έτσι τό σημείο  $\Delta$  είναι άκινητο. Γενικά, ένα σημείο της έπιφάνειας του ύγρου μένει άκινητο ( $A = 0$ ), δταν ίσχυει ή έξισωση:

$$\text{σημεία άκινητα} \quad d_1 - d_2 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

Και ή έξισωση (2) προσδιορίζει σημεία πού βρίσκονται πάνω σέ τόξα ήπερβολῶν μέ έστιες τά σημεία  $O_1$  και  $O_2$ .

\*Από τά παραπάνω καταλήγουμε στά άκολουθα συμπεράσματα:

I. "Ενα ύλικό σημείο, στό όποιο φτάνουν δύο άρμονικά κύματα, έκτελει συνισταμένη άρμονική ταλάντωση πού έχει τήν ίδια διεύθυνση και τήν ίδια συχνότητα μέ τίς δύο σύγχρονες πηγές τῶν κυμάτων, τό πλάτος δύως της συνισταμένης ταλαντώσεως έξαρται άπό τή διαφορά τῶν άποστάσεων τοῦ θεωρούμενου σημείου άπό τίς δύο πηγές τῶν κυμάτων.

II. Τό πλάτος της συνισταμένης ταλαντώσεως :

— είναι μέγιστο στά σημεία πού ή διαφορά τῶν άποστάσεων τους άπό τίς δύο πηγές τῶν κυμάτων είναι ίση με μηδέν ή είναι ίση με άκεραιο άριθμό μηκῶν κύματος.

— είναι ίσο με μηδέν στά σημεία πού ή διαφορά τῶν άποστάσεων τους άπό τίς δύο πηγές τῶν κυμάτων είναι ίση με περιττό άριθμό ήμικυνών.

III. Τά σημεία πού πάλλονται μέ μέγιστο πλάτος ή μένουν άκινητα διατάσσονται πάνω σέ άντιστοιχα τόξα ήπερβολῶν (κροσσοί συμβολῆς).

"Ολα τά άλλα σημεία, έκτος άπό έκεινα πού πάλλονται μέ μέγιστο πλάτος ή μένουν άκινητα, έκτελούν ταλαντώσεις μέ διάφορα μικρότερα πλάτη.

### 13. Περίθλαση τῶν κυμάτων

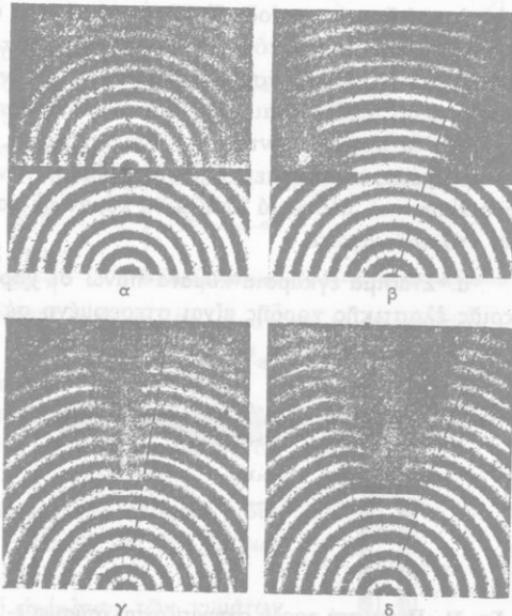
Στήν έπιφάνεια ήδραργύρου δημιουργούμε κυκλικά κύματα μέ διαπασῶν πού πάλλεται μέ τή βοήθεια ένός ήλεκτρομαγνήτη. Κάθετα στήν έπιφάνεια

τοῦ ύδραργύρου ύπάρχει διάφραγμα πού ἔχει μιά πολύ λεπτή σχισμή (η πολύ μικρή τρύπα). Οἱ διαστάσεις τῆς σχισμῆς εἰναι τῆς τάξεως τοῦ μῆκους κύματος (λ) τῶν κυμάτων. Παρατηροῦμε ὅτι πίσω ἀπό τὸ διάφραγμα σχηματίζονται νέα κυκλικά κύματα πού πηγή τους εἰναι ἡ σχισμή (σχ. 20 α). Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται περιθλαση τῶν κυμάτων καὶ παρατηρεῖται καὶ ὅταν τὰ κύματα πέφτουν πάνω σὲ πολύ μικρὰ ἀντικείμενα πού οἱ διαστάσεις τους εἰναι τῆς τάξεως τοῦ μῆκους κύματος (λ) τῶν κυμάτων. Τότε τὰ κύματα διαδίδονται καὶ πίσω ἀπό τὸ ἀντικείμενο (σχ. 20 γ).

Ἄν οἱ διαστάσεις τῆς σχισμῆς ἡ τοῦ ἀντικείμενου εἰναι πολὺ μεγαλύτερες ἀπό τὸ μῆκος κύματος (λ) τῶν κυμάτων, τότε τὸ φαινόμενο τῆς περιθλάσεως τῶν κυμάτων εἰναι ἀσήμαντο. Σ' αὐτή τὴν περίπτωση ἡ διάδοση τῶν κυμάτων γίνεται εὐθύγραμμα καὶ πίσω ἀπό τὸ διάφραγμα σχηματίζεται σκιά (σχ. 20 β). Στά σημεῖα τοῦ χώρου πού σχηματίζεται σκιά φτάνουν κύματα μέ δὲ τίς δυνατές διαφορές φάσεως καὶ ἀπό τὴ συμβολή αὐτῶν τῶν κυμάτων προκύπτει κατάργησή τους. Ἀπό τὰ παραπάνω συνάγεται ὁ ἀκόλουθος νόμος τῆς περιθλάσεως τῶν κυμάτων :

**"Οταν τὰ κύματα πέφτουν πάνω σὲ σχισμή ἡ ἀντικείμενο πού οἱ διαστάσεις τους εἰναι πολὺ μεγαλύτερες ἀπό τὸ μῆκος κύματος (λ) τῶν κυμάτων, τότε πίσω ἀπό τὴ σχισμή ἡ τὸ ἀντικείμενο τὰ κύματα διαδίδονται εὐθύγραμμα.**

**"Αντίθετα, ὅταν οἱ διαστάσεις τῆς σχισμῆς ἡ τοῦ ἀντικείμενου εἰναι τῆς τάξεως τοῦ μῆκους κύματος (λ), τότε συμβαίνει περιθλαση τῶν κυμάτων καὶ πίσω ἀπό τὴ σχισμή ἡ τὸ ἀντικείμενο παρατηροῦνται ἀποκλίσεις ἀπό τὴν εὐθύγραμμη διάδοση τῶν κυμάτων.**



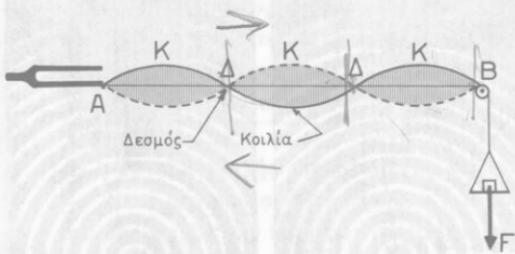
Σχ. 20 . Περιθλαση κυκλικῶν κυμάτων πού πέφτουν πάνω σὲ λεπτή σχισμή ἡ πολύ μικρὸ ἀντικείμενο.

**Παρατήρηση.** Τό φαινόμενο τῆς περιθλάσεως τῶν κυμάτων ἔχει ίδιαίτερη σημασία στήν 'Οπτική καὶ τήν 'Ακουστικήν.

#### 14. Στάσιμα κύματα

Σέ ἔνα ἔλαστικό μέσο διαδίδονται τρέχοντα κύματα (ἔγκαρσια ἢ διαμήκη) πού ἔχουν περίοδο  $T$ . "Οταν τά κύματα φτάνουν στό δριο αὐτοῦ τοῦ τοῦ ἔλαστικού μέσου, τότε τά κύματα ἀνακλῶνται καὶ ἔξακολουθοῦν νά διαδίδονται στό ἴδιο ἔλαστικό μέσο, ἀλλά μέ ἀντίθεση φορά. "Ετσι στό ἔλαστικό μέσο διαδίδονται κατά τήν ἴδια διεύθυνση, ἀλλά μέ ἀντίθετη φορά δύο κύματα, τά προσπίπτοντα καὶ τά ἀνακλώμενα, πού ἔχουν τήν ἴδια πεφίδο. Σέ δρισμένες περιπτώσεις ἀπό τή συμβολή τῶν δύο κυμάτων δημιουργεῖται στό ἔλαστικό μέσο μιά ιδιάζουσα κυματική κατάσταση πού τήν δονομάζουμε στάσιμα κύματα.

a. Στάσιμα ἔγκαρσια κύματα πάνω σέ χορδή. "Η μιά ἄκρη A μιᾶς μακριᾶς ἔλαστικῆς χορδῆς είναι στερεωμένη σέ διαπασῶν πού ἐκτελεῖ ἀμειώτες ἀρμονικές ταλαντώσεις (σχ. 21). "Η χορδή περνάει ἀπό μιά τροχαλία καὶ στήν ἄκρη τής χορδῆς κρέμεται μικρός δίσκος πού πάνω του μπορούμε νά τοποθετοῦμε βάρη, ὥστε νά μεταβάλλουμε τήν τάση τής χορδῆς. Τότε πάνω στή χορδή διαδίδονται ἔγκαρσια κύματα πού προ-



Σχ. 21. Πάνω στή χορδή σχηματίζονται στάσιμα ἔγκαρσια κύματα (ἀνάκλαση σέ ἀνένδοτο ἐμπόδιο).

χωροῦν ἀπό τήν ἄκρη A πρός τήν ἄκρη B τής χορδῆς. "Η τροχαλία ἀποτελεῖ ἔνα ἀνένδοτο ἐμπόδιο στή διάδοση τῶν κυμάτων. "Εκεὶ τά κύματα ἀνακλῶνται καὶ διαδίδονται ἀπό τήν ἄκρη B πρός τήν ἄκρη A τής χορδῆς. "Ετσι σέ κάθε σημεῖο τής χορδῆς φτάνουν συνεχῶς τά προσπίπτοντα καὶ τά ἀνακλώμενα κύματα, τά δοποῖα συμβάλλονταν. Γιά μιά δρισμένη τάση τής χορδῆς παρατηροῦμε δτι πάνω στή χορδή σχηματίζεται δρισμένος ἀριθμός ἀτράκτων πού ἔχουν τό ἴδιο μῆκος. "Η ἐμφάνιση τῶν ἀτράκτων δοφείλεται στό μεταίσθημα.

"Αν πάρουμε φωτογραφίες τής παλλόμενης χορδῆς κατά πολὺ μικρά χρονικά διαστήματα, παρατηροῦμε τά ἔξης:

1. Οι δύο ἄκρες τής χορδῆς (A καὶ B) καθώς καὶ οἱ ἄκρες κάθε ἀτράκτου παραμένουν τελείως ἀκίνητες. Τά σημεῖα αὐτά δονομάζονται δεσμοί.

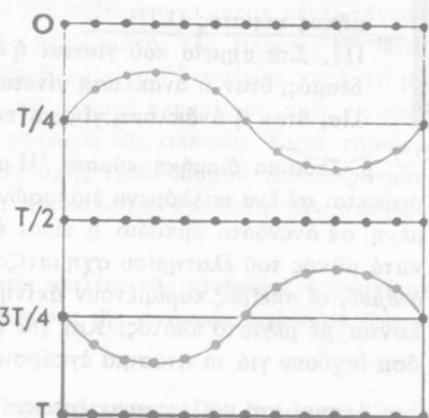
2. Τό μέσο κάθε άτρακτου πάλλεται μέ μέγιστο πλάτος. Τά σημεῖα αυτά δονομάζονται **κοιλίες**.
3. "Όλα τά σημεῖα τής χορδῆς, ἐκτός ἀπό τούς δεσμούς, πάλλονται μέ τήν ΐδια συχνότητα ἵση μέ τή συχνότητα τής πηγῆς τῶν κυμάτων.
4. Τά σημεῖα πού είναι μεταξύ δύο διαδοχικῶν δεσμῶν κινοῦνται μέ τήν ΐδια φορά και βρίσκονται πάντοτε σέ **συμφωνία φάσεως**.
5. Τά σημεῖα πού είναι ἀπό τό ένα και ἀπό τό ἄλλο μέρος ἐνός δεσμοῦ κινοῦνται μέ ἀντίθετη φορά και βρίσκονται πάντοτε σέ **ἀντίθεση φάσεως**.
6. "Όλα τά κινούμενα σημεῖα περνοῦν ταυτόχρονα ἀπό τή θέση τής ισορροπίας τους και ἀποκτοῦν ταυτόχρονα τή μέγιστη ἀπομάκρυνσή τους (σχ. 22).
7. 'Η ἀπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικῶν δεσμῶν ή δύο διαδοχικῶν κοιλιῶν είναι σταθερή και ἵση μέ μισό μῆκος κύματος ( $\lambda/2$ ).
8. Στό σημεῖο πού γίνεται ἡ ἀνάκλαση τῶν κυμάτων σχηματίζεται **δεσμός**.

Τό φαινόμενο πού παρατηροῦμε πάνω στή χορδή δονομάζεται στάσιμα **ἐγκάρσια κύματα**.

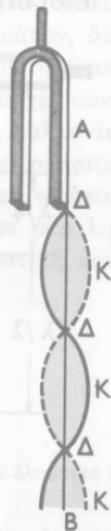
Στάσιμα **ἐγκάρσια κύματα** σχηματίζονται και δταν ἡ ἀνάκλαση γίνεται πάνω σέ κινητό ἐμπόδιο π.χ. στόν ἀέρα (σχ. 23). 'Αλλά τότε στό σημεῖο πού γίνεται ἡ ἀνάκλαση τῶν κυμάτων σχηματίζεται **κοιλία**.

'Από τά παραπάνω συνάγονται τά ἀκόλουθα συμπεράσματα:

I. "Οταν κατά τήν ΐδια διεύθυνση, ἀλλά μέ ἀντίθετη φορά, διαδίδονται δύο **ἐγκάρσια κύματα**, πού ἔχουν τό ΐδιο μῆκος κύματος ( $\lambda$ ) και τό ΐδιο πλάτος ταλαντώσεως (a), τότε ἀπό τή συμβολή τῶν δύο κυμάτων σχηματίζονται **στάσιμα κύματα**.



Σχ. 22. 'Η κίνηση τῶν ὀλικῶν σημείων στά στάσιμα ἐγκάρσια κύματα.



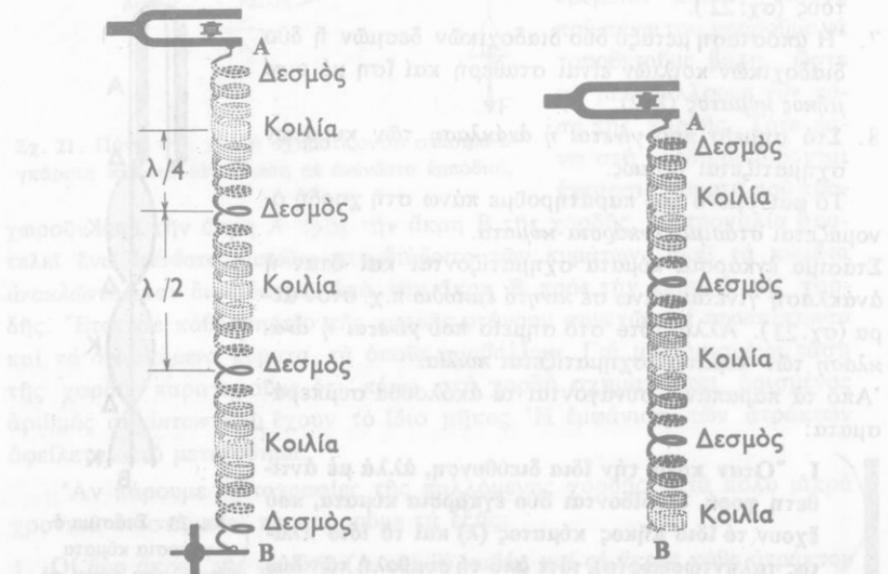
Σχ. 23. Στάσιμα **ἐγκάρσια κύματα** (ἀνάκλαση πάνω σέ κινητό ἐμπόδιο).

**II.** Ἡ ἀπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικῶν δεσμῶν ή δύο διαδοχικῶν κοιλιῶν είναι σταθερή (μῆκος τοῦ στάσιμου κύματος) καὶ ἵστη μέσον μῆκος κύματος ( $\lambda/2$ ).

**III.** Στό σημεῖο πού γίνεται ἡ ἀνάκλαση τῶν κυμάτων σχηματίζεται δεσμός, ὅταν ἡ ἀνάκλαση γίνεται πάνω σὲ ἀνένδοτο ἐμπόδιο, καὶ κοιλία, ὅταν ἡ ἀνάκλαση γίνεται πάνω σὲ κινητό ἐμπόδιο.

**β.** Στάσιμα διαμήκη κύματα. Ἡ μιὰ ἄκρη σπειροειδοῦς ἐλατηρίου στερεώνεται σέ ἓνα παλλόμενο διαπασῶν, ἐνῷ ἡ ἄλλη ἄκρη του εἶναι στερεωμένη σέ ἀνένδοτο ἐμπόδιο ἢ εἶναι ἐλεύθερη (σχ. 24). Παρατηροῦμε ὅτι κατά μῆκος τοῦ ἐλατηρίου σχηματίζονται στάσιμα διαμήκη κύματα. Στοὺς δεσμούς οἱ σπείρες παραμένουν ἀκίνητες, ἐνῷ στίς κοιλίες οἱ σπείρες πάλλονται μὲν μιέγιστο πλάτος. Καὶ γιά τά στάσιμα διαμήκη κύματα ἰσχύουν ὅσα ἰσχύουν γιά τά στάσιμα ἐγκάρσια κύματα.

**Δεσμοί καὶ κοιλίες συμπιέσεως.** Ἡ σπείρα πού ἀποτελεῖ τήν κοιλία τοῦ στάσιμου κύματος ἐκτελεῖ ταλάντωση πού ἔχει μέγιστο πλάτος. Ἀπό τό ἓνα καὶ ἀπό τό ἄλλο μέρος αὐτῆς τῆς σπείρας οἱ γειτονικές σπείρες κινοῦνται πάντοτε μέ τήν ἴδια φορά καὶ ἐκτελοῦν ταλαντώσεις πού τό πλάτος τους πρακτικά εἶναι. Ἰσο μέ τό πλάτος ταλαντώσεως τῆς κοιλιακῆς σπείρας. Ἐτσι στήν περιοχή τῆς κοιλίας ἡ ἀπόσταση τῆς μιᾶς σπείρας ἀπό τήν



Σχ. 24. Στάσιμα διαμήκη κύματα (ἀνάκλαση πάνω σὲ ἀνένδοτο καὶ σὲ κινητό ἐμπόδιο).

ἄλλη διατηρεῖται σταθερή καὶ ἐπομένως δέν παρατηρεῖται οὔτε πύκνωση, οὔτε ἀραιότητα τῶν σπειρῶν.

‘Η σπείρα πού ἀποτελεῖ τό δεσμό τοῦ στάσιμου κύματος μένει πάντοτε ἀκίνητη. Ἀπό τό ἔνα καὶ ἀπό τό ἄλλο μέρος αὐτῆς τῆς σπείρας οἱ γειτονικές σπείρες κινοῦνται πάντοτε μέδια ἀντίθετη φορά. Ἐπομένως κατά τή μιά ἡμιπερίοδο οἱ σπείρες τῆς περιοχῆς τοῦ δεσμοῦ πλησιάζουν πρός τή σπείρα τοῦ δεσμοῦ καὶ ἔτσι προκαλεῖται πύκνωση τῶν σπειρῶν. Κατά τήν ἐπόμενη ἡμιπερίοδο οἱ σπείρες τῆς περιοχῆς τοῦ δεσμοῦ ἀπομαργύρονται ἀπό τή σπείρα τοῦ δεσμοῦ καὶ ἔτσι προκαλεῖται ἀραιότητα τῶν σπειρῶν. Ουτε :

**Στά στάσιμα διαμήκη κύματα στίς κοιλίες τῆς κινήσεως ή συμπίεση διατηρεῖται σταθερή, ἐνώ στούς δεσμούς τῆς κινήσεως περιοδικά γίνεται πύκνωση καὶ ἀραιότητα.**

γ. Γενικές παρατηρήσεις γιά τά στάσιμα κύματα. Τά στάσιμα κύματα είναι μιά περίπτωση τοῦ φαινομένου τῆς συμβολῆς τῶν κυμάτων καὶ ἀποτελοῦν μιά ἐφαρμογή τοῦ φαινομένου τοῦ συντονισμοῦ. Γιατί τό διαπασῶν, πού χρησιμοποιήσαμε γιά τήν παραγωγή τῶν στάσιμων κυμάτων πάνω στή χορδή ή στό σπειροειδές ἐλατήριο, είναι ἔνας διεγέρητος καὶ ή χορδή ή τό σπειροειδές ἐλατήριο είναι ἔνας συντονιστής. Στή χορδή ή στό σπειροειδές ἐλατήριο σχηματίζεται σταθερό σύστημα στάσιμων κυμάτων, δταν ή τάση τῆς χορδῆς ή τοῦ ἐλατήριου είναι τόση, ώστε ή ίδιοσυχνότητά τους νά είναι ίση μέ τή συχνότητα τοῦ διαπασῶν, δηλαδή δταν ίδια συχνότητα συντονισμός. Στίς ἐφαρμογές στάσιμα κύματα ἐμφανίζονται, δταν πάλλονται οἱ ἀπό μπετόν δοκοί τῶν οἰκοδομῶν, οἱ γέφυρες, τά βάθρα πού στηρίζονται μηχανές. “Οταν διαμορφώνουμε ἔνα λιμάνι, λαβαίνουμε υπόψη τά ἀποτελέσματα πού θά ἔχει ο σχηματισμός στάσιμων κυμάτων μέσα στό λιμάνι. Σημαντική ἐφαρμογή ἔχουν τά στάσιμα κύματα στήν Ἀκουστική καὶ τόν Ἡλεκτρισμό.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

19. Μιά ταλάντωση πού ἔχει συχνότητα  $75 \text{ Hz}$  διαδίδεται μέσα σέ ἐλαστικό όλικό μέ ταχύτητα  $300 \text{ m/sec}$ . Πόσο είναι τό μήκος κύματος;

20. ‘Η συχνότητα μιᾶς ταλαντώσεως είναι  $2500 \text{ Hz}$  καὶ τό μήκος κύματος είναι  $2 \text{ cm}$ . Πόση είναι ή ταχύτητα διαδόσεως τοῦ κύματος;

21. ‘Η ταχύτητα διαδόσεως ἐνός κύματος είναι  $300\,000 \text{ km/sec}$  καὶ τό μήκος κύματος είναι  $400 \text{ m}$ . Πόση είναι ή συχνότητα σέ μεγάκυκλους τό δευτερόλεπτο;

(22). Από την άκρη Α μιάς εύθειας AB μήκους 10 m φεύγει ένα κύμα πού έχει μήκος κύματος 40 cm. Μέ πόσα μήκη κύματος είναι ίση ή εύθεια AB και μέσα σέ πόσες περιόδους τό κύμα φτάνει στην άκρη B της εύθειας;

(23). Μέσα σέ ένα έλαστικό ύλικό διαδίδεται ένα κύμα μέ ταχύτητα 5000 m/sec και μέ μήκος κύματος 2 m. Πόση είναι ή συχνότητα ν και ή κυκλική συχνότητα ω της κινήσεως ένός μορίου τού έλαστικού ύλικού;

(24). Κατά μήκος ένός σπειροειδούς έλατηρίου διαδίδονται διαμήκη κύματα μέ ταχύτητα 4 m/sec. Τό μήκος κύματος είναι 80 cm και τό πλάτος της ταλαντώσεως κάθε σπείρας είναι 3 mm. 1) Πόση είναι ή μέγιστη ταχύτητα πού άποκτά κάθε σπείρα; 2) Πόση είναι (σε Joule) ή μέγιστη κινητική ένέργεια πού άποκτά μιά στοιχειώδης μάζα τού έλατηρίου ίση μέ 0,016 gr;

στο αριθμού που διατίθεται, όπουφα ποιοι αδιάληξταί στον οργανισμό μας στοιχεία πλαστικού μέταλλου που θέλουμε να συντηρήσουμε. Έτσι για παράδειγμα ένας ανθρώπος που έχει έναν πλαστικό λεβητώνα που έχει συντηρήσει για πολλά χρόνια, θα πρέπει να πάρει μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να τη συντηρήσει. Η πρώτη πράγμα που θα πρέπει να πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η δεύτερη πράγμα που θα πρέπει να πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η τρίτη πράγμα που θα πρέπει να πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα.

## A.2 Κοιλιά

Δευτέρη

## Δεύτερος ΑΤΑΜΗΛΑΒΟΡΙΤ

Κοιλιά

διπλό διάτοπο ή το πλάι προβλέπει την έξι περιόδους πού θα πάρει μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η πρώτη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η δεύτερη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η τρίτη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα.

Δεύτερος πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η πρώτη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η δεύτερη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα. Η τρίτη πράγμα που θα πάρει ο ανθρώπος είναι μεγάλη ποσότητα ανθρώπινης ενέργειας για να πάρει την πλαστική λεβητώνα.

## ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

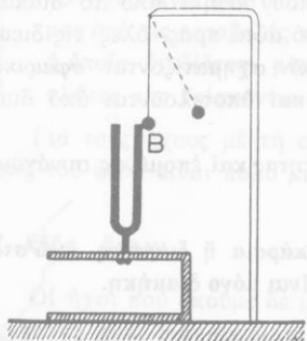
### ‘Ηχητικά κύματα

#### 15. Παραγωγή τοῦ ήχου

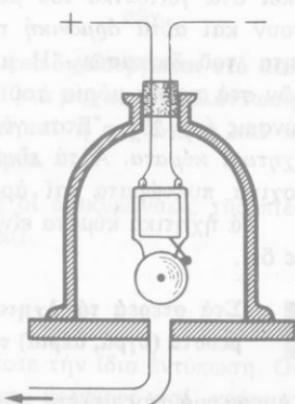
Τό φυσικό αίτιο πού διεγείρει τό αιθητήριο δργανο τῆς άκοης μας τό δνομάζουμε γενικά ήχο. Μιά μικρή σφαίρα ἀπό χάλυβα κρέμεται μέ νήμα ἀπό σταθερό σημεῖο καὶ βρίσκεται σέ ἐπαφή μέ διαπασῶν πού ήρεμεῖ (σχ. 25). “Αν χτυπήσουμε ἐλαφρά τό διαπασῶν, τότε ἀκοῦμε ήχο καὶ ταυτόχρονα βλέπουμε ὅτι η σφαίρα ἀναπηδᾶ κάθε φορά πού ἔρχεται σέ ἐπαφή μέ τό διαπασῶν.” Ωστε, ὅταν τό διαπασῶν ἐκτελεῖ ταλάντωση, τότε τό διαπασῶν παράγει ήχο. Εὔκολα διαπιστώνουμε ὅτι πηγές ήχων μπορεῖ νά είναι διάφορα στερεά πού πάλλονται (χορδές, πλάκες, μεμβράνες) η μάζες ἀερίων πού πάλλονται (δ ἄερας μέσα σέ πνευστό δργανο).” Ωστε:

‘Ηχος παράγεται ἀπό ἕνα σῶμα πού ἐκτελεῖ ταλαντώσεις.

Μιά ήχητική πηγή παράγει ἀκονστό ήχο, ὅταν η συχνότητα καὶ τό



Σχ. 25 . Τό παλλόμενο διαπασῶν παράγει ήχο.



Σχ. 26 . Ο ήχος δέ διαδίδεται μέσα στό κενό.

πλάτος τῆς ταλαντώσεως τῆς πηγῆς βρίσκονται μέσα σέ δρισμένα όρια πού τά καθορίζει ή φυσιολογική λειτουργία τοῦ αὐτοῦ μας.

## 16. Διάδοση τοῦ ἥχου

Ο ἥχος δφείλει τή γένεσή του στήν ταλάντωση πού ἐκτελεῖ μιά ἡχητική πηγή. Ή μετάδοση δμως ἐνέργειας ἀπό τήν ἡχητική πηγή στό αὐτή μας δφείλεται στή διάδοση τῆς ταλαντώσεως, διά μέσου ἐνός ἐλαστικοῦ ύλικοῦ πού πρέπει νά ὑπάρχει μεταξύ τῆς ἡχητικῆς πηγῆς και τοῦ αὐτοῦ μας. Αὐτό ἀποδεικνύεται μέ τό ἀπλό πείραμα πού δείχνει τό σχῆμα 26. "Οταν μέσα στό δοχεῖο ὑπάρχει ἀέρας, ἀκοῦμε τόν ἥχο πού παράγει τό κουδούνι. "Αν δμως μέ τήν ἀεραντλία ἀφαιρέσουμε ἀπό τό δοχεῖο τόν ἀέρα, τότε δέν ἀκοῦμε ἥχο, ἀν και βλέπουμε δτι τό σφαιρίδιο τοῦ κουδουνιοῦ ἔξακολουθει νά κινεῖται κανονικά και νά χτυπάει πάνω στήν καμάνα. "Ωστε:

{ Ο ἥχος διαδίδεται μόνο μέσα στά ύλικά σώματα (στερεά, ὑγρά, ἀερία). Στό κενό ὁ ἥχος δέ διαδίδεται.

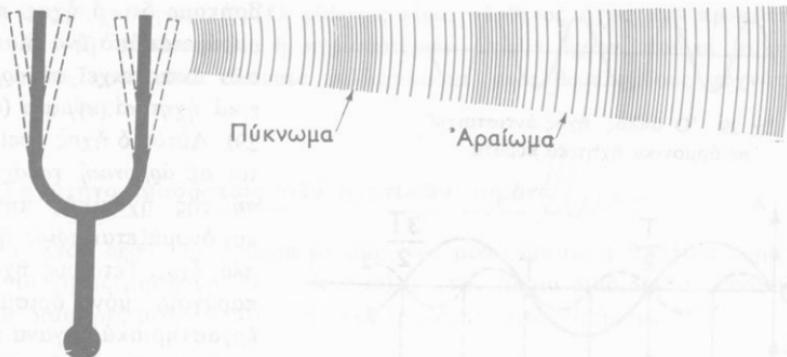
α. **Ἡχητικά κύματα.** Ξέρουμε (§ 6) δτι ή διάδοση μιᾶς ἀρμονικῆς ταλαντώσεως σέ ἔνα ἐλαστικό μέσο είναι μετάδοση ἐνέργειας ἀπό τό ἔνα μόριο στό ἄλλο. Αὐτή ή διάδοση ἐνέργειας διά μέσου ἐνός ἐλαστικοῦ ύλικοῦ γίνεται μέ ἐγκάρσια ή διαμήκη κύματα.

"Οταν ἔνα διαπασῶν πάλλεται μέσα στόν ἀέρα, τότε τό διαπασῶν ἔξασκει στά γειτονικά του μόρια μιά ὠθηση και τά ἀναγκάζει νά ἐκτελέσουν και αὐτά ἀρμονική ταλάντωση τῆς ἴδιας συχνότητας μέ τή συχνότητα τοῦ διαπασῶν. Ή μηχανική ἐνέργεια πού δόθηκε ἀπό τό διαπασῶν στά πρῶτα μόρια τοῦ ἀέρα διαδίδεται ἀπό αὐτά πρός δλες τίς διευθύνσεις (σχ. 27). "Ετσι γύρω ἀπό τό διαπασῶν σχηματίζονται σφαιρικά ἡχητικά κύματα. Αὐτά είναι διαμήκη κύματα και ἀποτελοῦνται ἀπό διαδοχικά πυκνώματα και ἀραιώματα.

Τά ἡχητικά κύματα είναι κύματα ἐλαστικότητας και ἐπομένως συνάγονται δτι.

{ Στά στερεά τά ἡχητικά κύματα είναι ἐγκάρσια ή διαμήκη, ἐνώ στά ρευστά (ὑγρά, ἀερία) τά ἡχητικά κύματα είναι μόνο διαμήκη.

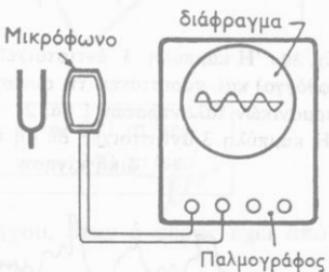
Σήμερα γιά τήν μελέτη τῶν ἡχητικῶν κυμάτων χρησιμοποιοῦμε τόν ἡλεκτρονικό παλμογράφο (τή λειτουργία του θά τή μάθουμε στόν Ἡλεκτρισμό). Τά ἡχητικά κύματα πού φτάνουν στό μικρόφωνο δημιουργοῦν μέσα σέ ἔνα



Σχ. 27. Τό παλλόμενο διαπασῶν δίνει ένέργεια στά μόρια του ἀέρα πού βρίσκονται σέ έπαφή μαζί του και τότε μέσα στόν ἀέρα διαδίδονται διαδοχικά πυκνώματα και ἀραιώματα.

ειδικό κύκλωμα ἡλεκτρικές ταλαντώσεις. Αύτές προκαλοῦν μετακινήσεις μιᾶς φωτεινῆς κηλίδας πάνω στό διάφραγμα (δόθονη) τού παλμογράφου και τότε βλέπουμε μιά καμπύλη γραμμή πού ἔχει τήν ἴδια μορφή, τήν ἴδια περίοδο και πλάτος ἀνάλογο μέ τή μηχανική ταλάντωση πού δημιουργοῦν στό μικρόφωνο τά ἡχητικά κύματα πού φτάνουν σ' αὐτό (σχ. 28 ).

β. Ὁρισμός τοῦ ἥχου. Ἀπό ὅσα ἀναφέραμε παραπάνω μποροῦμε νά δώσουμε γιά τόν ἥχο τόν ἔξῆς ὀρισμό :



Σχ. 28 . Ἡ καμπύλη πού βλέπουμε στόν παλμογράφο ἀντιστοιχεῖ στή μηχανική ταλάντωση τοῦ διαπασῶν.

**Ο ἥχος είναι μιά ύποκειμενική ἐντύπωση πού δημιουργεῖται στό αὐτί μας ἀπό τίς μεταβολές πιέσεως πού προκαλεῖ μιά μηχανική ταλάντωση, ἡ ὁποία διαδίδεται μέσα σέ ἐλαστικό όλικό και ἡ συχνότητα και τό πλάτος τῆς βρίσκονται μέσα σέ ὄρισμένα δρια.**

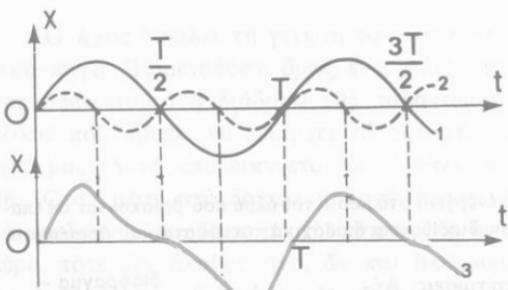
Γιά τούς ἥχους μέ τή συνηθισμένη ἔνταση οι διακυμάνσεις τῆς πιέσεως τοῦ ἀέρα είναι πολύ μικρές ( $10^{-6}$  ώς  $10^{-7}$  at).

## 17. Εἰδη ἥχων

Οι ἥχοι πού ἀκοῦμε δέ μᾶς προκαλοῦν πάντοτε τήν ἴδια ἐντύπωση. Οι ἀκουστοί ἥχοι διακρίνονται σέ τόνους, φθόγγους, θορύβους και κρότους. Στά ἔργαστήρια μέ κατάλληλες διατάξεις (π.χ. μέ τόν παλμογράφο) καταγράφουμε τά ἡχητικά κύματα πού ἀντιστοιχοῦν στό κάθε είδος ἥχου. "Ετσι

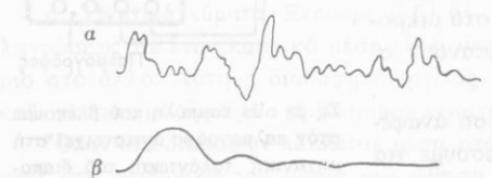


Σχ. 29. 'Ο άπλος ήχος άντιστοιχεί σε άρμονικά ηχητικά κύματα.



Σχ. 30. 'Η καμπύλη 3 άντιστοιχεί σε σύνθετο ήχο (φθόγγο) και παριστάνει τη συνισταμένη δύο άπλων άρμονικών ταλαντώσεων 1 και 2.

'Η καμπύλη 3 άντιστοιχεί σε μή ήμιτονοειδή περιοδική κίνηση.



Σχ. 31. Καταγραφή θορύβου (α) και κρότου (β).

τήν πρόσθεση άπλων ήχων μέσει συχνότητες οι διοικητές είναι άκανόνιστα ηχητικά κύματα που δέν παρουσιάζουν καμιά περιοδικότητα (σχ. 31 α). Τέλος ο κρότος άντιστοιχεί σε μια άποτομη και ισχυρή δύνηση του άέρα, όπως π.χ. συμβαίνει, όταν ένα σπλούσιο έκπυρσοκροτεῖ (σχ. 31 β).

- 'Από τά παραπάνω καταλήγουμε στά έξης:
- I. Οι ήχοι που μᾶς ένδιαφέρουν περισσότερο είναι ο τόνος και ο φθόγος.
  - II. 'Ο τόνος η άπλος ήχος διείλεται σε άρμονική ταλάντωση δρισμέ-

βρήκαμε ότι ο ήχος που παράγεται άπο τόνος διαπασῶν άντιστοιχεί σε άρμονικά ηχητικά κύματα (σχ. 29). Αυτός ο ήχος διείλεται σε άρμονική ταλάντωση της ηχητικής πηγής και δονομάζεται τόνος η άπλος ήχος. Τέτοιους ήχους παράγουν μόνο δρισμένα έργα στηριακά όργανα π.χ. τά διαπασῶν. Οι ήχοι που παράγονται άπο τά συνηθισμένα μουσικά όργανα άντιστοιχούν σε περιοδική κίνηση, η διοίκηση δέν είναι άρμονική ταλάντωση. Αύτοι οι ήχοι δονομάζονται φθόγγοι. Στό σχήμα 30 η καμπύλη 3 άντιστοιχεί σε φθόγγο. Η ταλάντωση 3 στό σχήμα είναι συνισταμένη τών δύο άρμονικών ταλαντώσεων 1 και 2, που οι συχνότητές τους άντιστοιχα είναι  $v_1$  και  $v_2 = 2v_1$ . 'Ωστε, ο φθόγγος είναι σύνθετος ήχος που άποτελείται άπο

νης συχνότητας (ν). Ο φθόγγος είναι σύνθετος ήχος και προκύπτει από τή σύνθεση δύο ή περισσότερων άπλων ήχων, που οι συχνότητές τους είναι δικέραια πολλαπλάσια μιας θεμελιώδους συχνότητας (ν).

### 18. Ταχύτητα διαδόσεως τῶν ήχητικῶν κυμάτων

α. Στόν άέρα. Στόν άέρα διαδίδονται μόνο διαμήκη ήχητικά κύματα και γιά τή μέτρηση τής ταχύτητας (c), μέ τήν όποια διαδίδονται, έφαρμόζουμε διάφορες μεθόδους (άμεσες και έμμεσες). Ετσι βρήκαμε ότι:

Η ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ήχου στόν άέρα είναι άνεξάρτητη από τή συχνότητα τοῦ ήχου και τήν άτμοσφαιρική πίεση, και ανξάνει όταν ανξάνει ή θερμοκρασία τοῦ άέρα.

Από τίς μετρήσεις βρίσκουμε ότι είναι:

ταχύτητα τοῦ ήχου στόν άέρα	σέ $0^{\circ}$ C	$c_0 \approx 331$ m/sec
	σέ $15^{\circ}$ C	$c \approx 340$ m/sec

Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα (c) τοῦ ήχου, όταν ό άέρας έχει απόλυτη θερμοκρασία T, δίνεται από τήν έξισωση:

ταχύτητα τοῦ ήχου στόν άέρα σέ $T^{\circ}$ K	$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273}}$	(1)
---	--------------------------------	-----

ὅπου  $1/273$  grad $^{-1}$  είναι ο θερμικός συντελεστής τῶν άεριων. Η έξισωση (1) φανερώνει ότι:

Η ταχύτητα τοῦ ήχου στόν άέρα είναι άναλογη μέ τήν τετραγωνική ρίζα τῆς απόλυτης θερμοκρασίας τοῦ άέρα.

Απόδειξη τῆς έξισώσεως (1). Στά άέρια τά διαμήκη κύματα διαδίδονται μέ ταχύτητα (c) που δίνεται από τήν έξισωση:

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p}{\rho}} \quad (2)$$

ὅπου  $p$  είναι η πυκνότητα τοῦ άεριου,  $p$  η πίεσή του και  $\gamma$  είναι ο λόγος τῶν δύο ειδικῶν θερμοτήτων τοῦ άεριου ( $\gamma = c_p/c_v$ ).

Έπειδή σέ δρισμένη θερμοκρασία ή πυκνότητα ( $\rho$ ) τοῦ ἀερίου είναι ἀνάλογη μὲ τὴν πίεσή του ( $p$ ), ἀπό τὴν ἔξισωση (2) συμπεραίνουμε ὅτι ἡ ταχύτητα ( $c$ ) διαδόσεως τοῦ ἥχου στὸν ἄέρα είναι ἀνεξάρτητη ἀπό τὴν πίεση. Ἀν δὲ ἀέρας βρίσκεται σέ κανονικές συνθῆκες, δηλαδή ἔχει πίεση  $p_0 = 76 \text{ cm Hg}$  καὶ θερμοκρασία  $\theta = 0^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 273^\circ\text{K}$ ), τότε ἔχει πυκνότητα  $\rho_0$  καὶ ἡ ταχύτητα ( $c_0$ ) τοῦ ἥχου στὸν ἄέρα δίνεται ἀπό τὴν ἔξισωση:

$$c_0 = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} \quad \begin{cases} p_0 \text{ σέ N/m}^2, \rho_0 \text{ σέ kg/m}^3 \\ v_0 \text{ σέ m/sec} \end{cases} \quad (3)$$

Από τὴν ἔξισωση (3) βρίσκουμε  $c_0 = 331 \text{ m/sec}$ . Η πυκνότητα  $\rho$  τοῦ ἄερα σέ θερμοκρασία  $T$  καὶ πίεση  $p$  δίνεται ἀπό τὴν ἔξισωση:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{273}{T} \quad \text{ἄρα} \quad \frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \cdot \frac{T}{273} \quad (4)$$

Αν στὴν ἔξισωση (2) ἀντικαταστήσουμε τὸ  $p/\rho$  ἀπό τὴν ἔξισωση (4) ἔχουμε :

$$c = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p_0}{\rho_0} \cdot \frac{T}{273}} \quad \text{ἄρα} \quad c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273}}$$

\* **Ταχύτητα τοῦ ἥχου στά ἄλλα ἀέρια.** Ένα ἀέριο (ὑδρογόνο, δευτερογόνο, διοξείδιο τοῦ ἄνθρακα κ.λ.) ἔχει σχετικὴ πυκνότητα δὲ ως πρός τὸν ἄέρα καὶ τὴν ἴδια θερμοκρασία ( $T$ ) μὲ τὸν ἄέρα. Αποδεικνύεται ὅτι ἡ ταχύτητα τοῦ ἥχου στό ἀέριο δίνεται ἀπό τὴν ἔξισωση:

$$c_{\text{ἀέριο}} = \frac{c_{\text{ἀέρας}}}{\sqrt{\delta}}$$

β. Στά ύγρά καὶ στά στερεά. Αποδεικνύεται (πειραματικά καὶ θεωρικά) ὅτι:

 \* **Η ταχύτητα τοῦ ἥχου στά ύγρα είναι μεγαλύτερη ἀπό τὴν ταχύτητα τοῦ ἥχου στά ἀέρια καὶ στά στερεά είναι μεγαλύτερη ἀπό τὴν ταχύτητα τοῦ ἥχου στά ύγρα.**

Σέ θερμοκρασία  $20^\circ\text{C}$  ἡ ταχύτητα τοῦ ἥχου είναι στό νερό  $1457 \text{ m/sec}$  καὶ στό χάλυβα  $5100 \text{ m/sec}$ .



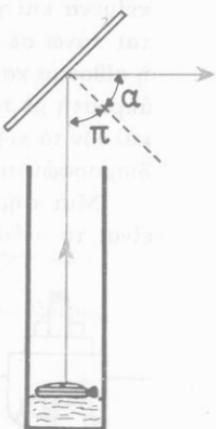
## 19. Ανάκλαση τῶν ἡχητικῶν κυμάτων

Τά ἡχητικά κύματα ἔχουν γενικά δλες τίς γνωστές ιδιότητες τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας. Οταν λοιπόν τά ἡχητικά κύματα πέσουν πάνω σέ κατάλληλα ἐμπόδια, ἀνακλῶνται σύμφωνα μὲ τοὺς νόμους τῆς ἀνα-

κλάσεως τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας (§ 14). Πειραματικά ἡ ἀνάκλαση τῶν ἡχητικῶν κυμάτων δείχνεται μέ τό ἔξῆς πείραμα: Στόν πυθμένα ἐνός κυλινδρικοῦ δοχείου βάζουμε βαμβάκι καὶ πάνω του τοποθετοῦμε ἔνα συνηθισμένο ρολόγι (σχ. 32). Ἀν στό στόμιο τοῦ δοχείου φέρουμε πλάγια μιὰ γυάλινη πλάκα, τότε ἀκοῦμε καθαρά τοὺς χτύπους τοῦ ρολογιοῦ μόνο κατά μιὰ ὄρισμένη διεύθυνση, γιὰ τὴν δοπία ἵσχει ἡ γνωστή σχέση ὅτι ἡ γωνία ἀνακλάσεως εἶναι ἵση μὲ τὴ γωνία προσπτώσεως.

a. Ἡχώ καὶ μετήχηση. Τά ἡχητικά κύματα ἀνακλῶνται καὶ ὅταν πέσουν πάνω σέ ἀκανόνιστα ἐμπόδια πού ἔχουν μεγάλες διαστάσεις (τοῖχος, λόφος, συστάδα ἀπό δέντρα κ.λ.). Ἀν ἔνας παρατηρητής πυροβολήσει καὶ σέ ἀρκετή ἀπόσταση ἀπό αὐτὸν ὑπάρχει ἔνα ἐμπόδιο, τότε ὁ παρατηρητής ἀκούει νά ἐπαναλαμβάνεται ὁ κρότος τοῦ πυροβολισμοῦ. Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται ἡχώ καὶ τό ἀντιλαμβανόματε, ἂν ἡ ἀπόστασή μας ἀπό τό ἐμπόδιο εἶναι μεγαλύτερη ἀπό 17 m. Αὐτό ἔξηγεται ὡς ἔξῆς: "Οταν τό αὐτί μας δέχεται ἔναν πολὺ σύντομο ἡχητικό ἐρεθισμό, ἡ ἐντύπωση πού προκλήθηκε παραμένει 1/10 τοῦ δευτερολέπτου. Ἐπομένως δύο ἥχοι προκαλοῦν δύο χωριστούς ἐρεθισμούς, ὅταν μεταξύ αὐτῶν τῶν δύο ἥχων μεσολαβεῖ χρονικό διάστημα ἴσο μέ 1/10 sec. Σ' αὐτό τό χρονικό διάστημα τά ἡχητικά κύματα διατρέχουν ἀπόσταση 34 m. Ἀρα, γιά νά ἀκούσουμε τὴν ἡχώ, πρέπει ὁ δρόμος πού διατρέχουν τά κύματα γιά νά πᾶνε στό ἐμπόδιο καὶ νά ἐπιστρέψουν στόν παρατηρητή νά εἶναι περίπου 34 m. Ἀν τό ἐμπόδιο ἀπέχει ἀπό τὸν παρατηρητή λιγότερο ἀπό 17 m, τότε τά ἀνακλώμενα κύματα φτάνουν στόν παρατηρητή πρίν τελειώσει ἡ ἐντύπωση τοῦ πρώτου ἥχου καὶ ἔτσι παρατείνεται ἡ διάρκεια τῆς ἐντυπώσεως πού προκάλεσε ὁ πρῶτος ἥχος. Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται μετήχηση. Σέ μερικές περιπτώσεις τά ἡχητικά κύματα ἀνακλῶνται διαδοχικά πάνω σέ περισσότερα ἐμπόδια καὶ τότε ὁ παρατηρητής ἀκούει νά ἐπαναλαμβάνεται πολλές φορές ὁ ἴδιος ἥχος. Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται πολλαπλή ἡχώ.

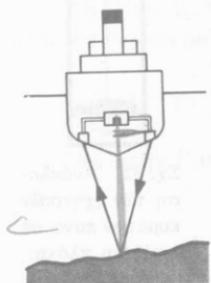
β. Ἐφαρμογές τῆς ἀνακλάσεως τῶν ἡχητικῶν κυμάτων. Τό φαινόμενο τῆς ἀνακλάσεως τῶν ἡχητικῶν κυμάτων ἰδιαίτερα τό ὑπολογίζουμε, ὅταν διαμορφώνουμε μεγάλες αἴθουσες (θεάτρου, κοινοβουλίου, συναυλιῶν, διαλέξεων). "Οταν μέσα σέ μιὰ μεγάλη αἴθουσα μιὰ ἡχητική πηγή παράγει ἡχητικά κύματα, τότε ὁ ἀκροατής πού βρίσκεται μέσα στήν αἴθουσα δέχεται: a) ἡχητικά κύματα μέ ἀπευθείας διάδοση, β) ἡχητικά κύματα ἀπό τή διάχυση (δηλ. τὴν ἀκανόνιστη ἀνάκλαση) πού προκαλοῦν διάφορα ἀντι-



Σχ. 32. Ἀνάκλαση τῶν ἡχητικῶν κυμάτων πάνω σέ γυάλινη πλάκα.

κείμενα και γ) ήχητικά κύματα άπό τήν «κανονική» άνακλαση, που γίνεται πάνω σέ διάφορα έμπόδια (τοῖχοι, δροφή, κολῶνες κ.λ.). Γιά νά έχει ή αιθουσα καλή «άκουστική», πρέπει τά ήχητικά κύματα που φτάνουν στόν άκροατή μέ τους δύο τελευταίους τρόπους νά ένισχύουν τόν ήχο που προκαλοῦν τά κύματα που φτάνουν άπευθείας στόν άκροατή. Γι' αύτό τό σκοπό διαμορφώνεται κατάλληλα ή αιθουσα.

Μιά σημαντική έφαρμογή τής άνακλάσεως τών ήχητικών κυμάτων είναι τό βυθόμετρο, που τό χρησιμοποιούμε γιά νά μετράμε τό βάθος τής θάλασσας.



Σχ. 33. Βυθόμετρο

Στά ψφαλα τοῦ σκάφους υπάρχει ένας πομπός ήχητικών κυμάτων μεγάλης συχνότητας. Αυτός έκπεμπει ένα ήχητικό σήμα, δηλαδή ένα συρμό ήχητικών κυμάτων, που άνακλωνται πάνω στό βυθό και έπιστρέφουν σέ ένα δέκτη, που βρίσκεται και αυτός στά ψφαλα τοῦ σκάφους (σχ. 33). Ή άναχώρηση τών κυμάτων άπό τόν πομπό και ή έπιστροφή τους στό δέκτη καταγράφονται αυτόματα και έτσι είναι άμεσως γνωστή ή διάρκεια τής διαδρομῆς τών ήχητικών κυμάτων. Άν c είναι ή ταχύτητα διαδόσεως τών ήχητικών κυμάτων στή θάλασσα, τότε τό βάθος s είναι  $s = c \cdot t/2$ .

503

## 20. Διάθλαση τών ήχητικών κυμάτων

Όταν τά ήχητικά κύματα περνοῦν άπό τήν έπιφάνεια που διαχωρίζει δύο διαφορετικά έλαστικά μέσα, τότε τά ήχητικά κύματα διαθλώνται σύμφωνα μέ τους νόμους τής διαθλάσεως τών κυμάτων έλαστικότητας (§ 14).

Η διάθλαση τών ήχητικών κυμάτων δφείλεται στό δτι ή ταχύτητα διαδόσεώς τους είναι διαφορετική στά δύο έλαστικά μέσα. Διάθλαση, τών ήχητικών κυμάτων μπορεί νά παρατηρηθεί και στήν άτμοσφαιρα, γιατί τά στρώματα τοῦ άέρα έχουν διαφορετική θερμοκρασία και έπομένως ή ταχύτητα διαδόσεως τών ήχητικών κυμάτων στά διάφορα στρώματα τοῦ άέρα είναι διαφορετική. Συνήθως τά στρώματα τοῦ άέρα που βρίσκονται κοντά στήν έπιφάνεια τοῦ έδαφους είναι θερμότερα άπό τά άλλα στρώματα που βρίσκονται πιό ψηλά. Μιά ήχητική άκτινα που διευθύνεται πλάγια πρός τά πάνω μπαίνει άπό θερμότερα σέ ψυχρότερα στρώματα άέρα, δηλαδή μπαίνει σέ στρώματα άέρα στά όποια ή ταχύτητα τών ήχητικών κυμάτων γίνεται διαρκώς μικρότερη (σχ. 34). Τότε ή γωνία διαθλάσεως είναι μικρότερη άπό τή γωνία προσπτώσεως. Έτσι ή ήχητική άκτινα μεταβάλλεται σέ καμπύλη γραμμή. Σέ μερικές δημοσιευμένες περιπτώσεις και κυρίως τή νύχτα μπορεί τά στρώματα τοῦ άέρα, που βρί-

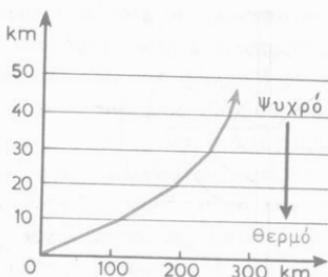
σκονται κοντά στό ξδαφος, νά γίνουν ψυχρότερα άπο τά αλλα στρώματα που βρίσκονται πιο ψηλά. Τότε ή ήχητική άκτινα μπαίνει άπο ψυχρότερα σέ θερμότερα στρώματα και ή γωνία διαθλάσεως είναι μεγαλύτερη άπο τή γωνία προσπτώσεως (σχ.35). Ή ήχητική άκτινα μπορεί σέ όρισμένο υψος νά πάθει δλική άνακλαση και τότε άκολουθώντας μιά συμμετρική πορεία ξαναγυρίζει στό ξδαφος "Ετσι έξηγεται γιατί σέ μερικές περιπτώσεις ο ήχος που παράγεται άπο μιά Ισχυρή έκρηξη

μπορεί νά γίνει άκουστος σέ τόπους που βρίσκονται σέ πολύ μεγάλη άπόσταση (ώς 500 km) άπο τό τόπο τής έκρηξεως, ένω δέν είναι άκουστος σέ άλλους τόπους που βρίσκονται πιο κοντά στόν τόπο τής έκρηξεως.

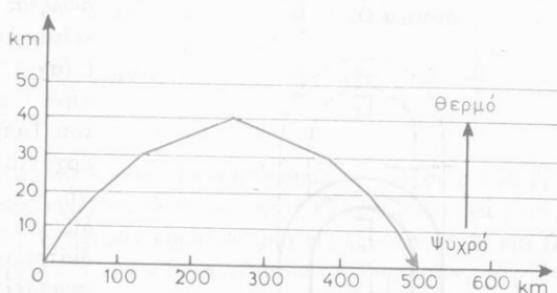
3.0.8

## 21. Περιθλαση τῶν ήχητικῶν κυμάτων

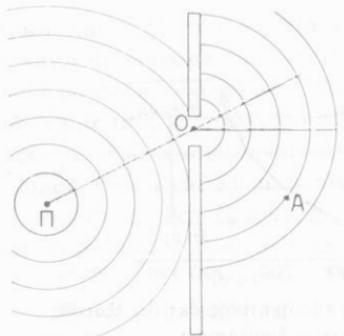
Τά φαινόμενα τῆς περιθλάσεως τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας ἐμφανίζονται, δταν τά κύματα συναντοῦν ἀντικείμενα ή ἀνοίγματα που οι διαστάσεις τους είναι τής τάξεως τοῦ μήκους κύματος (άπο λ/10 ώς καί 10λ). Γιά τήν οδιλία και τή μουσική τό μήκος κύματος τῶν ήχητικῶν κυμάτων είναι άπο 30 cm ώς 3 m. Τόσες είναι και οι διαστάσεις που έχουν τά ἀντικείμενα και τά ἀνοίγματα που στήν καθημερινή ζωή συναντοῦν στό δρόμο τους τά ήχητικά κύματα (πόρτες, παράθυρα, ἔπιπλα, στύλοι κ.λ.). Τό φαινόμενο τῆς περιθλάσεως τῶν ήχητικῶν κυμάτων μᾶς ἐπιτρέπει νά άκουμε ἀρκετά



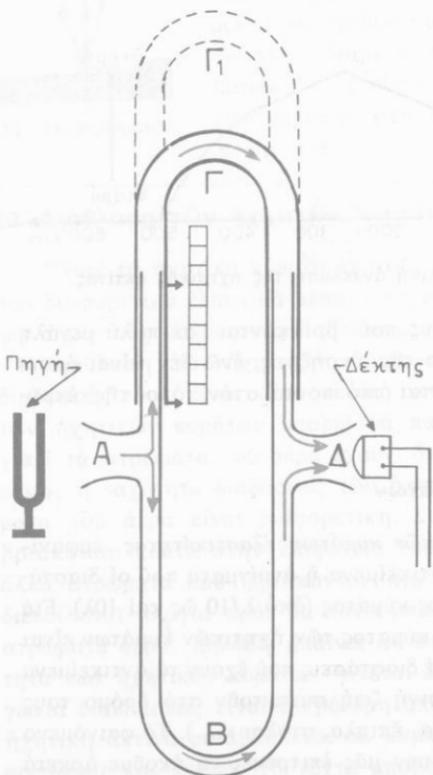
Σχ. 34 . Καμπύλωση τῆς ήχητικῆς άκτινας ἔξαιτίας διαδοχικῶν διαθλάσεων.



Σχ. 35 . Όλικη άνακλαση τῆς ήχητικῆς άκτινας.



Σχ. 36 . 'Ο παρατηρητής Α ἀκούει τόν ἡχο τῆς πηγῆς Π ἐπειδὴ τά ἡχητικά κύματα παθαίνουν περίθλαση στό ἄνοιγμα Ο.



Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

καθαρά μιά ἡχητική πηγή, χωρίς νά φτάνουν ἀπευθείας σέ μᾶς οι ἡχητικές ἀκτίνες πού φεύγουν ἀπό τήν ἡχητική πηγή (σχ. 36).

## ~~SOS~~ 22. Συμβολή τῶν ἡχητικῶν κυμάτων

Τά ἡχητικά κύματα προκαλοῦν φαινόμενα συμβολῆς. Θά ἔξετασουμε αὐτά τά φαινόμενα μέ μιά διάταξη, πού δνομάζεται σωλήνας τοῦ Koenig και ἀποτελεῖται ἀπό δύο σωλήνες Β και Γ (σχ. 37). Ἀνυψώνοντας τό σωλήνα Γ μεταβάλλουμε τό μῆκος του. Τά ἡχητικά κύματα πού προέρχονται ἀπό μιά ἡχητική πηγή, π.χ. ἔνα διαπασῶν, διακλαδίζονται στό σημεῖο Α καί, ἀφοῦ διατρέξουν τούς δύο σωλήνες, συμβάλλουν στό σημεῖο Δ, ὅπου ὑπάρχει ἔνας δέκτης τῶν ἡχητικῶν κυμάτων (τό αὐτί μας ἡ μικρόφωνο πού συνδέεται μέ παλμογράφο). Οι ἀρμονικές ταλαντώσεις πού ἔκτελεῖ τό διαπασῶν ἔχουν συχνότητα ν. "An c εἰναι ή ταχύτητα διαδόσεως τῶν ἡχητικῶν κυμάτων στόν ἀέρα, τότε τό μῆκος κύματος τῶν ἡχητικῶν κυμάτων στόν ἀέρα τῶν σωλήνων εἰναι  $\lambda = c/v$ . "Οταν οἱ δύο δρόμοι ΑΒΔ και ΑΓΔ τῶν ἡχητικῶν κυμάτων πού διαδίδο-

Σχ. 32 . Σωλήνας τοῦ Koenig. Τά δύο ἡχητικά κύματα πού φεύγουν ἀπό τό σημεῖο Α συμβάλλουν στό σημεῖο Δ.

νται μέσα στούς δύο σωλήνες, είναι *ἴσοι*, τότε τά δύο κύματα φτάνουν στό δέκτη μέ τήν *ΐδια* φάση. Σ' αὐτή τήν περίπτωση τό πλάτος τής συνισταμένης ταλαντώσεως είναι μέγιστο καὶ ἀκοῦμε *ένα δυνατό ήχο*. *Άνυψωνοντας σιγά-σιγά* τό σωλήνα  $\Gamma$  κάνουμε *άνισους* τούς δύο δρόμους πού διατρέχουν τά κύματα μέσα στούς δύο σωλήνες. "Οταν ή διαφορά (d) τῶν δύο δρόμων  $A\Gamma\Delta - A\Delta\Gamma$  γίνει *ίση* μέ *περιττό* *ἀριθμό* *ήμικυμάτων*, τότε τά *ήχητικά κύματα* φτάνουν στό δέκτη μέ *ἀντίθετη* φάση. Σ' αὐτή τήν περίπτωση τό πλάτος τής συνισταμένης ταλαντώσεως είναι *ίσο* μέ *μηδέν* καὶ *συμβαίνει κατάργηση τοῦ ήχου*. *"Αν* *άνυψωνοντας* τό σωλήνα  $\Gamma$  κάνουμε τή διαφορά (d) τῶν δρόμων τῶν δύο κυμάτων *ίση* μέ *ένα μῆκος κύματος* ( $\lambda$ ), τότε στό σημεῖο  $\Delta$  τής συμβολῆς τῶν δύο κυμάτων δημιουργεῖται πάλι μέγιστο πλάτος τής συνισταμένης ταλαντώσεως, δηλαδή *ἀκοῦμε* πάλι δυνατό ήχο. *"Ωστε,* στό σημεῖο  $\Delta$  πού συμβάλλουν τά δύο *ήχητικά κύματα* *έχουμε:*

$$\text{μέγιστο τοῦ ήχου,} \quad \left. \begin{array}{l} \text{σταν είναι} \\ \text{δ} = \kappa \cdot \lambda \end{array} \right\} \quad (1)$$

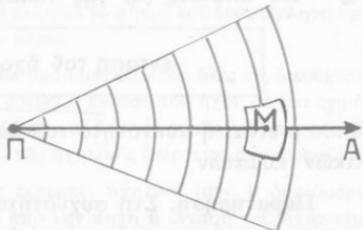
$$\text{κατάργηση τοῦ ήχου,} \quad \left. \begin{array}{l} \text{σταν είναι} \\ \text{δ} = (2\kappa + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \end{array} \right\} \quad (2)$$

ὅπου  $\kappa$  είναι  $0, 1, 2, 3, \dots$

"Ετσι μέ τό σωλήνα τοῦ *Köning* *έπαληθεύουμε* τίς σχέσεις πού βρήκαμε γιά τή συμβολή τῶν κυμάτων *έλαστικότητας* καὶ μποροῦμε νά *βροῦμε τό μῆκος κύματος*  $\lambda$  τῶν *ήχητικῶν* κυμάτων *ἀπό* τίς *έξισώσεις* (1) καὶ (2). *"Αν* είναι *γνωστή* η *συχνότητα*  $v$  τῶν *ταλαντώσεων* τοῦ *διαπασῶν*, τότε *ἀπό τήν έξισωση*  $c = v \cdot \lambda$  *ύπολογίζουμε* *τήν ταχύτητα*  $c$  *διαδόσεως* τῶν *ήχητικῶν* κυμάτων στόν *άέρα*.

## 23. "Ενταση τοῦ ήχου

**α. Όρισμός.** Μιά σημειακή *ήχητική πηγή* πού *έκτελεί* *άμείωτες* *ταλαντώσεις* *ἐκπέμπει* *μηχανική* *ίσχυ*. Αὐτή *μεταφέρεται* *ἀπό* τά *ήχητικά κύματα* πού *διαδίδονται* μέσα στόν *άέρα* *πρός* *ὅλες* τίς *διευθύνσεις* *γύρω* *ἀπό* τήν *ήχητική πηγή*. Σέ *ένα σημεῖο*  $M$  τής *ήχητικῆς* *άκτινας* *ΠΑ* (σχ. 38) καὶ *κάθετα* σ' αὐτή *τοποθετοῦμε* *μιά* *μικρή* *ἐπιφάνεια* πού *έχει* *κέντρο* *τό σημεῖο*  $M$  καὶ *έμβαδό*  $S$ . *"Από* αὐτή τήν *ἐπιφάνεια* *περνάει* *μηχανική* *ίσχυ*  $P$ . *Tότε* *έχουμε* *τόν* *έξης* *όρισμό*:



Σχ. 38. Στό σημεῖο  $M$  ή *ένταση* τοῦ ήχου είναι  $I = P/S$ .

**Σ** "Ενταση τοῦ ήχου (I) σὲ ἔνα σημεῖο μιᾶς ηχητικῆς ἀκτίνας δυνομάζεται τό πηλίκο τῆς μηχανικῆς ίσχύος (P), πού περνάει ἀπό μιά ἐπιφάνεια κάθετη στήνη ηχητική ἀκτίνα, διά τοῦ ἐμβαδοῦ (S) τῆς ἐπιφάνειας.

$$\text{ενταση τοῦ ήχου} \quad I = \frac{P}{S}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P \text{ σέ } W, S \text{ σέ } m^2 \\ I \text{ σέ } W/m^2 \end{array} \right.$$

Στό σύστημα MKS μονάδα ἐντάσεως τοῦ ήχου είναι τό 1 Watt/m<sup>2</sup>. Στήν πράξη ώς μονάδα ἐντάσεως τοῦ ήχου παίρνουμε συνήθως τό 1 W/cm<sup>2</sup>.

β. Μεταβολή τῆς ἐντάσεως τοῦ ήχου μέ τήν ἀπόσταση ἀπό τήν ηχητική πηγή. Μιά ηχητική πηγή, πού γιά εὐκολία τή θεωροῦμε ώς ύλικό σημεῖο, ἐκπέμπει όμοιόμορφα πρός δλες τίς διευθύνσεις μηχανική ίσχυ P<sub>oλ</sub> καὶ ὑποθέτουμε δτι ή ίσχυς αὐτή διαδίδεται μέσα στόν δέρα χωρίς καμιά ἀπώλεια. Γύρω ἀπό τήν πηγή σχηματίζονται σφαιρικά κύματα. Σ' ἔνα σημεῖο M, πού βρίσκεται σέ ἀπόσταση R ἀπό τήν ηχητική πηγή, ή ἐπιφάνεια κύματος ἔχει ἐμβαδό S = 4πR<sup>2</sup> καὶ ἐπομένως στό σημεῖο M ή ἐνταση (I) τοῦ ήχου είναι:

$$\text{ενταση τοῦ ήχου} \quad I = \frac{P_{oλ}}{4\pi R^2}$$

Παρατηροῦμε δτι:

**Σ** "Η ενταση (I) τοῦ ήχου μεταβάλλεται ἀντιστρόφως ἀνάλογα μέ τό τετράγωνο τῆς ἀποστάσεως (R) ἀπό τήν ηχητική πηγή.

γ. Σχέση μεταξύ τῆς ἐντάσεως τοῦ ήχου καὶ τοῦ πλάτους τῆς ταλαντώσεως. Σέ ἔνα σημεῖο M μέσα στόν ἀέρα ή ενταση τοῦ ήχου είναι I καὶ ή συχνότητα ν τῶν ηχητικῶν κυμάτων είναι σταθερή. Άποδεικνύεται δτι :

**Σ** "Η ενταση (I) ἐνός ήχου (v = σταθ.) είναι ἀνάλογη μέ τό τετράγωνο τοῦ πλάτους (a) τῆς ταλαντώσεως.

$$\text{ενταση τοῦ ήχου} \quad I = 2\pi^2 \cdot \rho \cdot a^2 \cdot v^2 \cdot c$$

ὅπου ρ είναι ή πυκνότητα τοῦ ἀέρα καὶ c ή ταχύτητα διαδόσεως τῶν ηχητικῶν κυμάτων.

**Παρατήρηση.** Στή συχνότητα v = 3000 Hz τό αὐτί πολλῶν ἀνθρώπων, ἀκούει ἔναν ήχο πού ἔχει ίσχυ I = 10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>. "Αν τό ηχητικό κύμα διαδίδεται μέσα στόν ἀέρα πού είναι σέ κανονικές συνθῆκες (0<sup>0</sup> C, 1 Atm), τότε ἀπό τήν παραπάνω ἔξισωση βρίσκουμε δτι τό πλάτος τῆς ταλαντώσεως

πού διαδίδεται μέ τό ήχητικό κύμα είναι  $a = 3,6 \cdot 10^{-10}$  cm. Αύτό τό πλάτος είναι περίπου τό ένα έκαποστό της διαμέτρου του άτομου ( $10^{-8}$  cm). Από τό παράδειγμα αυτό φαίνεται ή έξαιρετική εύαισθησία του αντιού μας



## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

25. Σέ θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$  ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα είναι 331 m/sec. Σέ ποιά θερμοκρασία του άέρα ή ταχύτητα του ήχου είναι 350 m/sec;

(26) Σέ θερμοκρασία  $15^{\circ}\text{C}$  ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα είναι 340 m/sec. Πόση είναι ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα, όταν ή θερμοκρασία του είναι  $10^{\circ}\text{C}$ .

27. Ένας ήχος συχνότητας 400 Hz διαδίδεται μέσα στόν άέρα και μέσα σέ μια ράβδο άπό χάλυβα. Ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα είναι 340 m/sec και στό χάλυβα είναι 5000 m/sec Πόσο είναι τό μήκος κύματος μέσα σ' αυτά τά δύο υλικά;

28. Νά μετρηθεί τό μήκος μιᾶς εύθειας AB = 10 m σέ μήκη κύματος ένός ήχου πού έχει συχνότητα 440 Hz και διαδίδεται στόν άέρα μέ ταχύτητα 340 m/sec.

# 29. Γιά τόν ξηρό άέρα είναι  $\gamma = 1,41$ . Στή θερμοκρασία  $T_0 = 273^{\circ}\text{K}$  ( $0^{\circ}\text{C}$ ) ή πυκνότητα του άέρα είναι  $p_0 = 1,293 \text{ kg/m}^3$ . Ή κανονική πίεση  $p_0 = 76 \text{ cm Hg}$  είναι  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Πόση είναι ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα;

30. Ένας παρατηρητής βρίσκεται μέσα σέ μια κοιλάδα πού τή σχηματίζουν δύο παράλληλα βουνά μέ άπότομες πλαγιές. Ό παρατηρητής πυροβολεῖ καί άκούει μιά πρώτη ήχω 0,5 sec μετά τόν πυροβολισμό και μιά δεύτερη ήχω 1 sec μετά τόν πυροβολισμό. 1) Πόση είναι ή άπόσταση μεταξύ τών δύο βουνών; 2) Μπορεί ό παρατηρητής νά άκουσει και τρίτη ήχω; Ταχύτητα του ήχου στόν άέρα 340 m/sec.

31. Ένα πλοίο σέ καιρό ομίχλης βρίσκεται έμπρος άπό μιά βραχώδη άκτη και έκπεμπει πρός τήν άκτη ήνα ήχητικό σήμα. Άπο τήν άνάκλαση του ήχου πάνω στήν άκτη φτάνουν στό πλοίο δύο ήχοι πού χρονικά άπέχουν μεταξύ τους 13 sec. Ή ταχύτητα του ήχου στόν άέρα είναι 340 m/sec και στή θάλασσα 1440 m/sec Πόση είναι ή άπόσταση τού πλοίου άπό τήν άκτη;

32. Γιά νά μετρήσουμε τήν ταχύτητα του ήχου στόν άέρα μέ τό σωλήνα του König, χρησιμοποιούμε ήχητική πηγή πού έχει συχνότητα  $v = 262 \text{ Hz}$ . Γιά νά άντιληφθούμε δύο διαδοχικές καταργησεις του ήχου, πρέπει νά ανέχηθει τό μήκος του ένός σωλήνα κατά 130 cm. Πόση είναι ή ταχύτητα του ηχου στόν άέρα;

33. Μιά πολύ μικρή ήχητική πηγή έκπεμπει διοιδόμορφα πρός δλες τίς διευθύνσεις ήχητική ίσχυ μέ σταθερό ρυθμό  $P = 1,5 \text{ W}$ . Νά βρεθεί ή ένταση του ηχου σέ ένα σημείο πού άπεχει 25 m άπό τήν πηγή στίς έξης περιπτώσεις : α) δταν δέ συμβαίνει άπορρόφηση ήχητικής ένέργειας, και β) δταν κάθε 5 m τά 2 % τής ήχητικής ένέργειας άπορροφούνται.

34. Ηχητική πηγή μέ μικρές διαστάσεις έκπεμπει ήχητική ίσχυ  $P$  διοιδόμορφα πρός δλες τίς διευθύνσεις. Σέ άπόσταση 100 m άπό τήν πηγή ή ένταση του ηχου είναι  $I = 5 \cdot 10^{-8} \text{ W/cm}^2$ . Άν δέ συμβαίνει άπορρόφηση τής ήχητικής ένέργειας, πόση είναι ή ήχητική ίσχυς πού έκπεμπει ή πηγή; Πόση ήχητική ένέργεια (E) έκπεμπει ή πηγή μέσα σέ χρονικό διάστημα  $t = 10 \text{ sec}$ ;

## Φυσιολογικά χαρακτηριστικά τοῦ ἥχου

### 24. Φυσιολογικά χαρακτηριστικά τῶν μουσικῶν ἥχων

Οἱ τόνοι ἡ ἀπλοὶ ἥχοι καὶ οἱ φθόγγοι ἡ σύνθετοι ἥχοι προέρχονται ἀπό περιοδικές κινήσεις καὶ δονομάζονται μουσικοὶ ἥχοι. Αὐτοὶ παράγονται ἀπὸ διάφορα μουσικά ὅργανα ἡ ἀπὸ τὰ φωνητικά ὅργανα τοῦ ἀνθρώπου καὶ προκαλοῦν στὸ αὐτὶ μας μιὰ δομοιόμορφη ἐντύπωση.

Τά ἡχητικά κύματα ὑπάρχουν ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὸ αὐτὶ μας ποὺ εἰναι ἔνας δέκτης τῶν ἡχητικῶν κυμάτων. Στούς μουσικούς ἥχους ποὺ ἀκούμε, διακρίνουμε δρισμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, μέ τά ὅποια ἔχωριζουμε τούς διάφορους ἥχους μεταξύ τους. Αὐτά τά γνωρίσματα εἰναι ὑποκειμενικά καὶ χαρακτηρίζουν τά αἰσθήματα πού προκαλοῦν σέ μᾶς οἱ διάφοροι ἥχοι. "Ετσι σέ κάθε μουσικό ἥχο ἀναγνωρίζουμε τά ἔξῆς τρία ὑποκειμενικά γνωρίσματα: ὑψος, ἀκουστότητα καὶ χροιά.

Τό ὑψος εἰναι ἔνα γνώρισμα τοῦ ἥχου πού μᾶς ἐπιτρέπει νά χαρακτηρίζουμε ἔναν ἥχο ως ψηλό ἢ βαρό.

"Η ἀκουστότητα ἡ ἔνταση τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος (\*) εἰναι ἔνα γνώρισμα τοῦ ἥχου πού μᾶς ἐπιτρέπει νά χαρακτηρίζουμε ἔναν ἥχο ως ἵσχυρό ἢ ἀσθενή.

"Η χροιά εἰναι ἔνα γνώρισμα τοῦ ἥχου πού μᾶς ἐπιτρέπει νά διακρίνουμε μεταξύ τους δύο ἥχους πού ἔχουν τό ἴδιο ὑψος καὶ τήν ἴδια ἀκουστότητα, ἀλλά παράγονται ἀπὸ δύο διαφορετικές ἡχητικές πηγές.

Καθένα ἀπὸ τά τρία ὑποκειμενικά γνωρίσματα, πού τό αὐτὶ μας ἀναγνωρίζει σέ ἔναν ἥχο, ἀντιστοιχεῖ σέ ἔνα ἀντικειμενικό γνωρίσμα τῶν ἡχητικῶν κυμάτων, πού εἰναι ἔνα δρισμένο φυσικό μέγεθος. Αὐτό τό μέγεθος μποροῦμε νά τό μετρήσουμε. Θά ἔξετάσουμε ποιά σχέση ὑπάρχει μεταξύ ἔνός ὑποκειμενικοῦ γνωρίσματος τοῦ ἥχου καὶ τοῦ ἀντιστοιχοῦ ἀντικειμενικοῦ γνωρίσματος τῶν ἡχητικῶν κυμάτων.

### 25. "Υψος τοῦ ἥχου

Γιά νά βροῦμε σέ ποιο φυσικό μέγεθος ἀντιστοιχεῖ τό ὑποκειμενικό γνώρισμα τοῦ ἥχου, πού τό δονομάζουμε ὑψος τοῦ ἥχου, χρησιμοποιοῦμε

(\*) Loudness, intensité physiologique, Lautstärke.

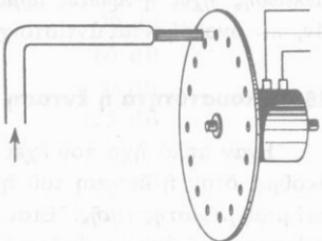
τή σειρήνα (σχ. 39). Αύτή άποτελείται από ένα μεταλλικό δίσκο πού έχει μικρές τρύπες σέ λεσες άποστάσεις από τόν αξονα περιστροφής και σέ λεσες άποστάσεις μεταξύ τους. 'Ο δίσκος μπορεί νά στρέφεται δυμαλά μέ έναν κινητήρα. 'Από ένα λεπτό σωλήνα πού καταλήγει έμπρος από τίς τρύπες διαβιβάζουμε λισχυρό ρεύμα άέρα κάθετα στό έπιπεδο του δίσκου. "Όταν ο δίσκος στρέφεται όμαλά, ή ροή τού άέρα μέσα από τίς τρύπες τού δίσκου καταργείται ρυθμικά και έτσι κοντά στό δίσκο προκαλοῦνται περιοδικές μεταβολές τής πιέσεως τού άέρα. Τότε η σειρήνα παράγει ένα μουσικό ήχο. Τά ήχητικά κύματα πού δημιουργούνται έχουν συχνότητα  $v$ , ίση μέ τόν άριθμό τῶν διαταράξεων τού ρεύματος τού άέρα κατά δευτερόλεπτο, δηλαδή είναι τόση, δεσες είναι οι τρύπες πού περνοῦν κατά δευτερόλεπτο έμπρος από τήν ακρη τού λεπτού σωλήνα. "Αν ο δίσκος έχει κ τρύπες και έκτελει  $N$  στροφές στό δευτερόλεπτο, τότε η συχνότητα ν τῶν ήχητικῶν κυμάτων είναι  $v = N \cdot \kappa$ . "Αν αὐξάνουμε τή συχνότητα  $N$  τής περιστροφής τού δίσκου, ή συχνότητα ν τῶν ήχητικῶν κυμάτων αὐξάνει και ο ήχος πού άκουμε γίνεται διαρκῆς πιό ψηλός. "Αντίθετα, δταν έλαττώνουμε τή συχνότητα  $N$  τής περιστροφής τού δίσκου, ο ήχος γίνεται διαρκῆς πιό βαρύς. "Έτσι καταλήγουμε στό έξης συμπέρασμα:

**Τό ύψος ένός ήχου είναι άναλογο μέ τή συχνότητα (v) τής ταλαντώσεως πού παράγει τόν ήχο.**

"Ωστε, η συχνότητα ν τής ταλαντώσεως πού έκτελει η ήχητική πηγή είναι τό άντικειμενικό γνώρισμα πού χαρακτηρίζει τό ύψος τού ήχου (ύποκειμενικό γνώρισμα). Γι' αύτό συνήθως τό ύψος τού ήχου έκφραζεται μέ τή συχνότητα ν τής ταλαντώσεως τής ήχητικής πηγής.

**α.** "Ορια τῶν άκουστων ήχων. Τό αύτη μας άντιλαμβάνεται μόνο τούς ήχους πού έχουν συχνότητα από 16 Hz ώς 20 000 Hz. Αύτά ομως τά ορια τῶν άκουστων ήχων διαφέρουν από τό ένα απομό στό άλλο. Οι ήχοι πού έχουν συχνότητα μικρότερη από 16 Hz δνομάζονται ύπόηχοι, ένω οι ήχοι πού έχουν συχνότητα μεγαλύτερη από 20 000 Hz δνομάζονται ύπερηχοι και έχουν σημαντικές έφαρμογές, γιατί έχουν όρισμένες ιδιότητες.

**β.** "Άρμονικοί ήχοι. "Έχουμε μιά σειρά από άπλούς ήχους, πού έχουν συχνότητες  $v$ ,  $2v$ ,  $3v$ ,  $4v$ , ..., δηλαδή οι συχνότητές τους είναι άκεφαλα πολλαπλάσια τής συχνότητας  $v$ . "Ο ήχος μέ τή συχνότητα  $v$  δνομάζεται θε-



Σχ. 39. 'Η σειρήνα προκαλεῖ περιοδικές μεταβολές τής πιέσεως τού άέρα.

μελιώδης ήχος ή πρῶτος ἀρμονικός, ἐνῷ οἱ ήχοι μὲ τίς συχνότητες 2v, 3v, 4v, .... δονομάζονται ἀντίστοιχα δεύτερος, τρίτος, τέταρτος ἀρμονικός κ.ο.κ.

## 26. 'Ακουστότητα ή ἔνταση τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος

"Ἐναν ἄπλο ήχο πού ἔχει δρισμένη συχνότητα (π.χ.  $v = 1000$  Hz) τὸν ἀκοῦμε, ὅταν ή ἔνταση τοῦ ήχου περιλαμβάνεται μεταξύ μιᾶς ἐλάχιστης καὶ μιᾶς μέγιστης τιμῆς. "Ἐτσι γιά κάθε συχνότητα ὑπάρχει ἕνα πεδίο ἀκουστότητας πού ἀρχίζει ἀπό μιά ἐλάχιστη ἔνταση ήχου, η δοποία δονομάζεται κατώφλι ἀκουστότητας, καὶ τελειώνει σέ μιά μέγιστη ἔνταση ήχου, η δοποία δονομάζεται ὅριο πόνου. "Οταν ή ἔνταση τοῦ ήχου είναι μικρότερη ἀπό τὸ κατώφλι ἀκουστότητας, τό αὐτί μας δέν ἀκούει τὸν ήχο. "Οταν ή ἔνταση τοῦ ήχου είναι μεγαλύτερη ἀπό τὸ ἀνώτατο ὅριο ἀκουστότητας, δηλαδή τό ὅριο πόνου, τότε ή ἀκρόαση αὐτοῦ τοῦ ήχου γίνεται ἀφόρητη. "Η μεγαλύτερη ἔκταση τοῦ πεδίου ἀκουστότητας ἀντίστοιχεῖ στίς συχνότητες γύρω ἀπό τὰ 1000 Hz.

"Η ἔνταση τοῦ ήχου είναι ἀντικειμενικό γνώρισμα ἐνός ήχου, ἐνῷ ή ἔνταση τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος, πού προκαλεῖ ὁ θεωρούμενος ήχος, είναι ὑποκειμενικό γνώρισμα τοῦ ήχου, πού ἔξαρταται ἀπό τὴ φυσιολογική λειτουργία τοῦ αὐτοῦ. "Ωστε:

**Γιά τὴν ἴδια ἔνταση ήχου ή ἀκουστότητα ή ἔνταση τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος μεταβάλλεται πολὺ μέ τή συχνότητα τοῦ ήχου. Σέ κάθε συχνότητα ἀντίστοιχεῖ ἕνα κατώφλι ἀκουστότητας καὶ ἕνα ὅριο πόνου (\*).**

Σχέση μεταξύ τῆς ἔντάσεως τοῦ ήχου καὶ τῆς ἔντάσεως τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος. Μεταξύ τῆς ἔντάσεως τοῦ ήχου (ἀντικειμενικό γνώρισμα) καὶ τῆς ἔντάσεως τοῦ ἀκουστικοῦ αἰσθήματος (ὑποκειμενικό γνώρισμα) ὑπάρχει δρισμένη σχέση πού τὴν ἐκφράζει ὁ ἐξῆς νόμος Weber - Fechner:

"Η ἔνταση τοῦ ὑποκειμενικοῦ αἰσθήματος μεταβάλλεται ἀνάλογα μέ τό λογάριθμο τῆς ἔντάσεως τοῦ ἔξωτερικοῦ ἐρεθισμοῦ.

Μονάδα ἀκουστότητας. Στήν Τεχνική ως μονάδα ἀκουστότητας χρησιμοποιοῦμε τό 1 decibel (1 dB) πού είναι τό δέκατο τῆς μονάδας Bel. "Η κλίμακα decibel βασίζεται στό νόμο Weber - Fechner. Στόν παρακάτω πίνακα ἀναφέρονται μερικά παραδείγματα ἀκουστότητας (σέ decibel).

(\*) Γιά τή συχνότητα  $v = 1000$  Hz τό κατώφλι ἀκουστότητας ἀντίστοιχεῖ σέ ἔνταση ήχου  $10^{-16}$  W/cm<sup>2</sup> καὶ τό ὅριο πόνου σέ ἔνταση ήχου  $10^{-4}$  W/cm<sup>2</sup>.

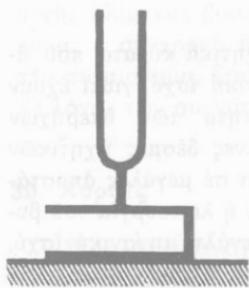
Κατώφλι άκουστοτητας	0 dB
Ψίθυρος, κήπος ήρεμος	20 dB
Συνηθισμένη δύμιλία	60 dB
Κομπρεσέρ	100 dB
Απογείωση άεριωθούμενου (σε απόσταση 100 m)	125 dB
"Οριο πόνου	140 dB

## 27. Χροιά τοῦ ήχου

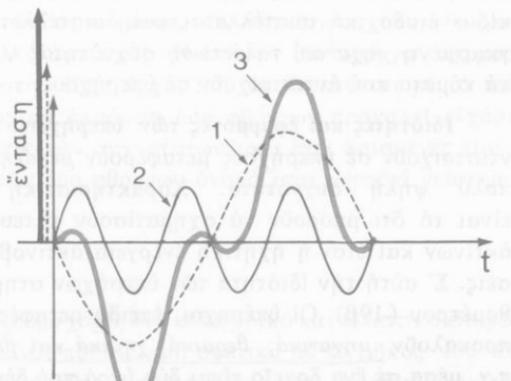
Ένα διαπασῶν παράγει ήχο πού έχει όρισμένη συχνότητα ν (σχ. 40). Άν εξετάσουμε αὐτό τὸν ήχο μὲ ἔνα ηλεκτρονικό παλμογράφο, ὅταν τὸ διαπασῶν δέ στηρίζεται στὸ ἀντηχεῖο τοῦ, βλέπουμε μιά ήμιτονειδή καμπύλη. Ο ήχος τοῦ διαπασῶν εἰναι ἔνας ἀπλός ήχος πού γιά τὸ αὐτί μας εἰναι ἄχρωμος, οὔτε δυσάρεστος, οὔτε εὐχάριστος. Αὐτός δ ἡχος δφείλεται σέ ήμιτονειδή κίνηση τῆς ήχητικῆς πηγῆς. Άν στηρίξουμε τὸ διαπασῶν στὸ ἀντηχεῖο του (σχ.41) βλέπουμε στὸν παλμογράφο μιά καμπύλη πού ἀντιστοιχεῖ σέ περιοδική μῆ ήμιτονειδή κίνηση (σχ. 42). Ο ήχος πού παράγει τώρα τὸ σύστημα διαπασῶν - ἀντηχεῖο εἰναι σύνθετος ήχος, δηλαδὴ φθόγγος. έχει συχνότητα ν καὶ γιά τὸ αὐτί μας έχει τὸ γνώρισμα τῆς χροιᾶς. Η περιοδική κίνηση τῆς



Σχ. 40 . Τὸ διαπασῶν παράγει ἀπλὸ ήχο.



Σχ. 41 . Τὸ διαπασῶν πού στηρίζεται στὸ ἀντηχεῖο του παράγει φθόγγο (σύνθετο ήχο).



Σχ. 42 . Ο φθόγγος προκύπτει ἀπό τὴ σύνθεση ἀπλῶν ήχων. Στὸ σχῆμα δ φθόγγος (3) προκύπτει ἀπό τὴ σύνθεση τοῦ πρώτου (1) καὶ τοῦ τρίτου ἀρμονικοῦ (2).

ήχητικής πηγής πού παράγει τό σύνθετο ήχο είναι συνισταμένη ήμιτονειδών ταλαντώσεων, πού οι συχνότητές τους είναι άκεραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας ν. Ό απλός ήχος μέ τη μικρότερη συχνότητα ν δονομάζεται θεμελιώδης ή πρώτος άρμονικός και οι άπλοι ήχοι μέ τις συχνότητες 2ν, 3ν, 4ν.... δονομάζονται άντιστοιχα δεύτερος, τρίτος, τέταρτος, άρμονικός κ.ο.κ. Έπομένως ό σύνθετος ήχος πού παράγει τό σύστημα διαπασών - άντηχει προέρχεται άπό τήν πρόσθεση δρισμένων άπλων ήχων πού είναι άρμονικοί ένός θεμελιώδους ηχου συχνότητας ν. Ετσι γιά τό φυσικό αίτιο στό δριστικό διαπάσονται στό θεμελιώδη.

Η χροιά ένός σύνθετου ηχου έξαρταται άπό τόν άριθμό και τή σχετική ένταση τῶν άρμονικῶν ηχων πού προσθέτονται στό θεμελιώδη.

## 28. Υπέρηχοι

Η συχνότητα τῶν μουσικῶν ηχων πού άκουμε συνήθως δέν ύπερβαινει τίς 5000 Hz. Η συχνότητα ὅμως τῶν άκουστων ηχων μπορεῖ νά φτάσει ώς 20 000 Hz. Πάνω άπό αύτό τό δριο τῆς άκουστης συχνότητας ύπάρχει ή περιοχή τῶν υπερήχων πού ή συχνότητά τους μπορεῖ νά φτάσει ώς 5·10<sup>8</sup> Hz (δηλαδή 500 MHz).

{ Σήμερα γιά τήν παραγωγή τῶν υπερήχων έκμεταλλευόμαστε τό πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Στίς δύο άπεναντι έδρες ένός πλακιδίου άπό χαλαζία είναι στερεωμένα δύο μεταλλικά πλακιδια (ήλεκτρόδια). Οταν στά δύο ήλεκτρόδια έφαρμόσουμε έναλλασσόμενη τάση συχνότητας ν, τό πλακίδιο διαδοχικά συστέλλεται και διαστέλλεται, δηλαδή έκτελει έξαναγκασμένη μηχανική ταλάντωση συχνότητας ν και έτσι δημιουργεῖ ήχητικά κύματα πού άντιστοιχούν σέ ύπερηχους.

Ίδιότητες και έφαρμογές τῶν υπερήχων. Τά ήχητικά κύματα πού άντιστοιχούν σέ ύπερηχους μεταφέρουν μεγάλη μηχανική ίσχυ, γιατί έχουν πολύ ψηλή συχνότητα. Χαρακτηριστική ίδιότητα τῶν υπερήχων είναι τό δτι μποροῦν νά σχηματίσουν κατευθυνόμενες δέσμες ήχητικῶν άκτινων και έτσι ή ήχητική ένέργεια άκτινοβολεῖται σέ μεγάλες άποστασεις. Σ' αύτή τήν ιδιότητα τῶν υπερήχων στηρίζεται ή λειτουργία τού βυθομέτρου (19β). Οι ύπερηχοι, έπειδή μεταφέρουν μεγάλη μηχανική ίσχυ, προκαλούν μηχανικά, θερμικά, χημικά και βιολογικά άποτελέσματα. Άν π.χ. μέσα σέ ένα δοχείο είναι δύο ύγρα πού δέν άνακατεύονται (π.χ. ίδραργυρος και νερό), τότε μέ τήν έπιδραση τῶν υπερήχων γίνεται μιά τέλεια άναμιξη τῶν δύο ύγρων (γαλάκτωμα). Τό φαινόμενο αύτό τό έκμεταλλευόμαστε γιά νά παρασκευάζουμε γαλάκτωμα (φωτογραφικά φίλμ, φάρμακα,

καλλυντικά κ.λ.). Οἱ ὑπέρηχοι διώχνουν τά ἀέρια πού ὑπάρχουν μέσα σέ ἔνα ὑγρό. Αὐτή τήν ἴδιότητα τήν ἐκμεταλλεύμαστε γιά τήν παραγωγή ἀνώτατης ποιότητας γυαλιοῦ γιά τά ὅπτικά ὅργανα καθώς καὶ γιά τή βελτίωση τῆς ποιότητας πολλῶν ὄντων. Οἱ ὑπέρηχοι προκαλοῦν δξειδώσεις, διαχωρίζουν τίς πολυμερεῖς ἐνώσεις, διασποῦν τούς δισακχαρίτες σέ μονόσακχαρίτες.

Οἱ ὑπέρηχοι διαμελίζουν τά κύτταρα τῶν μοκοκύτταρων ὅργανισμῶν καὶ μποροῦν νά προκαλέσουν τό θάνατο ἢ προσωρίνη παράλυση σέ μικρούς πολυκύτταρους ὅργανισμούς (ψάρια, γυρίνοι). Σήμερα στήν Ἱατρική οἱ ὑπέρηχοι χρησιμοποιοῦνται γιά θεραπευτικούς καὶ γιά διαγνωστικούς σκοπούς. Γενικά οἱ ὑπέρηχοι ἔχουν πολλές ἐνδιαφέρουσες ἐφαρμογές.

## Πηγές τῶν μουσικῶν ἥχων

### 29. Μουσικοί ἥχοι

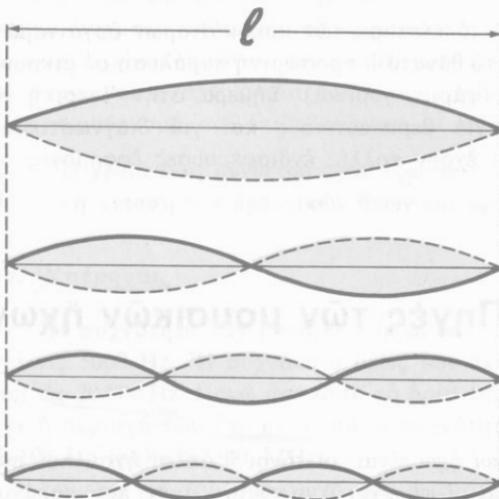
Ξέρουμε ὅτι μουσικοί ἥχοι εἰναι οἱ τόνοι ἢ ἀπλοί ἥχοι πού παράγονται ἀπό τά διαπασῶν καὶ οἱ φθόγγοι ἢ σύνθετοι ἥχοι πού παράγονται ἀπό τά μουσικά ὅργανα καὶ τό φωνητικό σύστημα τοῦ ἀνθρώπου. Ἐνας φθόγγος χαρακτηρίζεται μέ τή συχνότητα τοῦ θεμελιώδους ἥχου. Στή Μουσική δέ χρησιμοποιοῦνται ὅλοι οἱ ἀκουστοί ἥχοι, ἀλλά μόνο μιά σειρά φθόγγων πού δονομάζεται **μούσικη κλίμακα**. Οἱ συχνότητες τῶν φθόγγων τῆς κλίμακας αὐξάνονται, ἀλλά ἀσυνεχῶς. Ἡ ἐκλογή τῶν φθόγγων τῆς μουσικῆς κλίμακας βασίζεται στήν ἔξης ἀρχή, πού ἀποδεικνύεται μέ τό πείραμα: ἡ σύγχρονη ἢ διαδοχική ἀκρόαση δύο φθόγγων προκαλεῖ εὐχάριστο συναίσθημα, δταν δ λόγος τῶν συχνοτήτων τους ἔχει δρισμένες τιμές. Ὁ λόγος τῶν συχνοτήτων τῶν δύο φθόγγων δονομάζεται **μουσικό διάστημα**.

### 30. Χορδές

Στήν Ἀκουστική δονομάζουμε **χορδή** ἔνα κυλινδρικό καὶ ἐλαστικό στερεό σῶμα πού ἡ διάμετρός του εἰναι πολύ μικρή σχετικά μέ τό μῆκος του. Οἱ δύο ἄκρες τῆς χορδῆς εἰναι σταθερά στερεωμένες καὶ ἡ χορδή διατηρεῖται πολύ τεντωμένη. Οἱ χορδές πού χρησιμοποιοῦμε στά μουσικά ὅργανα εἰναι μεταλλικές ἢ ἔχουν ζωϊκή προέλευση. Ἀν ἀπομακρύνουμε ἀπό τή θέση ἵστορροπίας του ἔνα σημεῖο τῆς χορδῆς, τότε αὐτό τό σημεῖο



Σχ. 43. Διάδοση δύο έγκαρσιων κυμάτων πάνω στή χορδή.



Σχ. 44. Η χορδή δίνει όλους τούς άρμονικούς τού θεμελιώδους ήχου.

μῆκος κύματος ( $\lambda/2$ ), συνάγεται ότι σέ μια χορδή πού έχει μῆκος  $l$  σχηματίζεται πάντοτε ἀκέραιος ἀριθμός ( $k$ ) στάσιμων κυμάτων και ισχύει η σχέση:

$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{ὅπου } k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

Παραγωγή ήχου ἀπό τή χορδή. Η παλλόμενη χορδή χτυπάει περιοδικά τόν ἀέρα πού βρίσκεται σέ έπαφή μαζί της και έτσι δημιουργούνται στόν ἀέρα ήχητικά κύματα. Αύτά ἀντιστοιχούν σέ έναν ήχο, πού έχει συχρότητα ν ίση μέ τή συχνότητα ταλαντώσεως ν τής χορδῆς. Άν η χορδή έχει μάζα  $m$ , η γραμμική πυκνότητα της είναι  $\mu = m/l$ . Αποδεικνύεται οτι γιά τόν παραγόμενο ήχο ισχύουν οι έξης νόμοι τῶν χορδῶν :

I. Η συχνότητα ( $v_1$ ) τοῦ θεμελιώδους ήχου πού παράγει η χορδή είναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη μέ τό μῆκος ( $l$ ) τής χορδῆς, ἀνάλογη μέ τήν τετραγωνική ρίζα τής δυνάμεως ( $F$ ) πού τείνει τή χορδή καὶ

έκτελεῖ φθίνουσα ταλάντωση, γιατί οι ἐλαστικές δυνάμεις δημιουργούν δύναμη ἐπαναφορᾶς πού προσπαθεῖ νά ξαναφέρει τό σημείο στή θέση ισορροπίας του. Πάνω στή χορδή διαδίδονται τότε κατ' ἀντίθετη φορά δύο έγκαρσια κύματα πού ἀνακλώνται στίς δύο σταθερές ἄκρες τῆς χορδῆς (σχ.43). "Οταν ή δύναμη  $F$  πού τείνει τή χορδή έχει μιά κατάλληλη τιμή, τά δύο κύματα πού διαδίδονται πάνω στή χορδή συμβάλλουν και έτσι δημιουργούνται στάσιμα έγκαρσια κύματα (σχ. 44). Οι δύο σταθερές ἄκρες τῆς χορδῆς είναι πάντοτε δεσμοί. Έπειδή ή ἀπόσταση μεταξύ δύο διαδοχικῶν δεσμῶν είναι ίση μέ μισό

ἀντιστρόφως ἀνάλογη μὲ τὴν τετραγωνική ρίζα τῆς γραμμικῆς πυκνότητας (μ) τῆς χορδῆς.

$$\boxed{\text{συχνότητα θεμελιώδους ἥχου} \quad v_1 = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \left\{ \begin{array}{l} l \text{ σέ m, } F \text{ σέ N} \\ \mu \text{ σέ kgr/m} \\ v_1 \text{ σέ Hz} \end{array} \right. \quad (2)}$$

**II. Μιά χορδή μπορεῖ νά δώσει ὅλη τή σειρά τῶν ἀρμονικῶν τοῦ θεμελιώδους ἥχου ( $v = 2v_1, 3v_1, \dots$ ).**

$$\boxed{\text{συχνότητα ἀρμονικῶν ἥχων} \quad v = \frac{k}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (3)}$$

ὅπου  $k = 1, 2, 3, \dots$ . Γιά  $k = 1$  στή χορδή σχηματίζεται ἕνα στάσιμο κύμα (σχ. 44) και ἡ χορδή παράγει τό θεμελιώδη ἥχο (ἢ πρῶτο ἀρμονικό). Γιά  $k = 2$  σχηματίζονται δύο στάσιμα κύματα και ἡ χορδή παράγει τό δεύτερο ἀρμονικό κ.ο.κ. "Ωστε ὁ ἀκέραιος ἀριθμός  $k$  φανερώνει πόσα στάσιμα κύματα σχηματίζονται πάνω στή χορδή και τή σειρά τοῦ ἀρμονικοῦ ἥχου πού παράγει ἡ χορδή." Αν  $\rho$  είναι ἡ πυκνότητα τῆς χορδῆς και  $2r$  ἡ διάμετρος τῆς τομῆς της, τότε ἡ γραμμική πυκνότητα τῆς χορδῆς είναι  $\mu = \pi r^2 \cdot \rho$  και ἡ ἔξισωση (3) γράφεται ὡς ἔξῆς:

$$v = \frac{k}{2l \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

**Εὕρεση τῆς ἔξισώσεως (3).** Η ταχύτητα c διαδόσεως τῶν κυμάτων ἐλαστικότητας πάνω στή χορδή δίνεται ἀπό τήν ἔξισωση:

$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (4)$$

ὅπου  $F$  είναι ἡ δύναμη πού τείνει τή χορδή και  $\mu$  είναι ἡ γραμμική πυκνότητα τῆς χορδῆς.

"Από τήν ἔξισωση  $c = v \cdot \lambda$  και τήν ἔξισωση (1) βρίσκουμε:

$$c = v \cdot \frac{2l}{k} \quad (5)$$

"Από τίς ἔξισώσεις (4) και (5) ἔχουμε:  $v = \frac{k}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

**Παρατήρηση.** "Ολα τά συνηθισμένα μουσικά ὅργανα παράγουν σύνθετους ἥχους (φθόγγους). Ως συχνότητα ν τοῦ ἥχου πού παράγει ἕνα μουσικό ὅργανο θεωροῦμε τή συχνότητα τοῦ θεμελιώδους πού ἀντιστοιχεῖ σ' αὐτό τό σύνθετο ἥχο.

### 31. Συντονισμός δύο ήχητικών πηγών. 'Αντηχεία

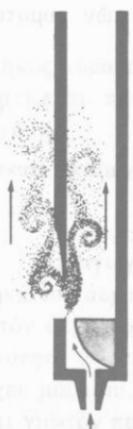
Δύο δημοια διαπασῶν Α και Β έχουν τήν *ΐδια ίδιουσχνότητα* ( $v_0$ ) και έπομενως παράγουν τόν *ΐδιο άπλο ήχο* (π.χ. τό  $la_3$ ). Τά δύο διαπασῶν είναι τό *ένα λίγο μακρύτερα* από τό *ἄλλο*. "Αν χτυπήσουμε έλαφρά τό διαπασῶν Α, αυτό παράγει ήχο. Τότε και τό διαπασῶν Β διαγείρεται και παράγει τόν *ΐδιο ήχο*, γιατί μεταξύ τῶν δύο διαπασῶν *ύπάρχει συντονισμός*." Αν άκουμπητο συντονισουμε τό δάχτυλο μας στό διαπασῶν Α, αυτό παύει νά πάλλεται και άκουμε μόνο τόν ήχο που παράγει τό διαπασῶν Β.

Στό φαινόμενο τοῦ συντονισμοῦ στηρίζεται ή χρήση τῶν *άντηχείων*. Αυτά είναι κιβώτια (ἀπό ξύλο ή μέταλλο) που σχηματίζουν κοιλότητες γεμάτες μέ *άέρα*. "Ολα τά *έγχορδα* δργανα έχουν ειδικά *άντηχεία*, που συντονίζονται μέ τίς παλλόμενες χορδές και παράγουν ήχο που έχει χαρακτηριστική χροιά.

### 32. 'Ηχητικοί σωλήνες

Στήν *'Ακουστική* δονομάζουμε *ήχητικό σωλήνα* *έναν κυλινδρικό ή πρισματικό σωλήνα* (ἀπό ξύλο ή μέταλλο) που περιέχει μιά *στήλη άέρα*. Μέσα σ' αυτό τόν *άέρα* μποροῦν νά διαδοθοῦν *ήχητικά κύματα*. Τά *τοιχώματα* τοῦ σωλήνα έχουν *άρκετό πάχος*, γιά νά μή πάλλονται. Η διέγερση τής στήλης τοῦ *άέρα* γίνεται μέ μιά *ειδική διάταξη*, που κοντά στή μιά *άκρη* τοῦ

*σωλήνα* προκαλεῖ *περιοδικές μεταβολές* τής *πιέσεως* τοῦ *άέρα*. Συνήθως ή διέγερση τοῦ *ήχητικού σωλήνα* γίνεται μέ *στόμιο* (σχ. 45). Τό *ρεῦμα* τοῦ *άέρα* που διοχετεύουμε στό *στόμιο* σπάζει πάνω σέ μιά *λεπτή αίχμη* και τότε σχηματίζονται δύο *συστήματα στροβίλων* τοῦ *άέρα*. Τό *σύστημα* που σχηματίζεται μέσα στό *σωλήνα* δημιουργεῖ *διαμήκη κύματα*, που διαδίδονται μέσα στή *στήλη* τοῦ *άέρα*. Η *άκρη* τοῦ *σωλήνα* που είναι *άπεναντι* από τό *στόμιο* είναι *κλειστή ή άνοιχτή*. "Ετσι οι *ήχητικοί σωλήνες* διακρίνονται σέ *κλειστούς* και *άνοιχτούς σωλήνες*.

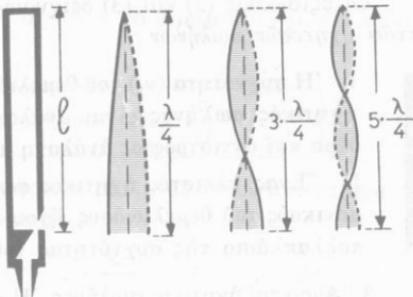


Σχ. 45. Διέγερση ήχητικού σωλήνα μέσα στόμιο.

a. *Κλειστοί ήχητικοί σωλήνες*. Μέσα στόν *άέρα* τοῦ *σωλήνα* δημιουργοῦνται *διαμήκη κύματα* που *άνακλῶνται* στήν *κλειστή άκρη* τοῦ *σωλήνα* (άκινητο *έμποδιο*). "Οταν *ύπάρχουν* οι *κατάλληλες συνθήκες* (μῆκος τοῦ *σωλήνα*, *συχνότητα διεγέρσεως*), τότε από τή *συμβολή* τῶν δύο κυμάτων που διαδίδονται μέ *άντιθετη φορά*, σχηματίζονται μέσα στό *σωλήνα* *στάσιμα*



Σχ. 46 . Μέσα στό σωλήνα σχηματίζονται διαμήκη κύματα. Στήν κλειστή ακρη σχηματίζεται δεσμός.



Σχ. 47 . Ο κλειστός ηχητικός σωλήνας δίνει μόνο τους περιττής τάξεως άρμονικούς τούθεμελιώδους ήχου.

**διαμήκη κύματα** (σχ. 46). Στήν κλειστή ακρη τοῦ σωλήνα σχηματίζεται δεσμός, ἐνῶ κοντά στό στόμιο τοῦ σωλήνα σχηματίζεται κοιλία (σχ.47). "Όταν αὐξάνει ή ταχύτητα τοῦ ρεύματος τοῦ ἀέρα πού διοχετεύουμε στό στόμιο, αὐξάνει ό ἀριθμός τῶν στάσιμων κυμάτων. Τό μῆκος ἐνός στάσιμου κύματος είναι  $\lambda/2$ . "Αρα, ὅταν σχηματίζονται στάσιμα κύματα μέσα σέ ἓναν κλειστό ηχητικό σωλήνα πού ἔχει μῆκος  $l$ , ισχύει ή σχέση:

$$l = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{4} \quad (\text{ὅπου } k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

"Αν c είναι ή ταχύτητα τοῦ ήχου στόν ἀέρα καὶ v ή συχνότητα τοῦ ήχου πού παράγει ό σωλήνας, τότε ἀπό τήν έξισωση  $c = v \cdot \lambda$  καὶ τήν έξισωση (1) βρίσκουμε:

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{4l}{(2k - 1)} \quad \text{ἄρα} \quad v = (2k - 1) \cdot \frac{c}{4l} \quad (2)$$

Γιά k = 1 ό κλειστός ηχητικός σωλήνας δίνει τό θεμελιώδη ήχο (ή πρώτο άρμονικό) πού ἔχει συχνότητα:

$$\boxed{\text{συχνότητα θεμελιώδους ήχου} \quad v_1 = \frac{c}{4l}} \quad (3)$$

Γιά k = 2, k = 3 ό κλειστός ηχητικός σωλήνας δίνει ἀντίστοιχα τόν τρίτο άρμονικό ( $v_3$ ), τόν πέμπτο άρμονικό ( $v_5$ ):

$$\text{τρίτος άρμονικός} \quad v_3 = 3 \cdot \frac{c}{4l} \quad \text{ἢ} \quad v_3 = 3v_1$$

$$\text{πέμπτος άρμονικός} \quad v_5 = 5 \cdot \frac{c}{4l} \quad \text{ἢ} \quad v_5 = 5v_1$$

Οι έξισώσεις (2) και (3) δείχνουν ότι ισχύουν οι έξης νόμοι τῶν κλειστῶν ηχητικῶν σωλήνων:

I. "Η συχνότητα ( $v_1$ ) τοῦ θεμελιώδους ήχου πού παράγει ἕνας κλειστός ηχητικός σωλήνας εἶναι ἀνάλογη μέ τήν ταχύτητα (c) τοῦ ήχου στόν ἀέρα καὶ ἀντιστρόφως ἀνάλογη μέ τό μῆκος ( $l$ ) τοῦ σωλήνα.

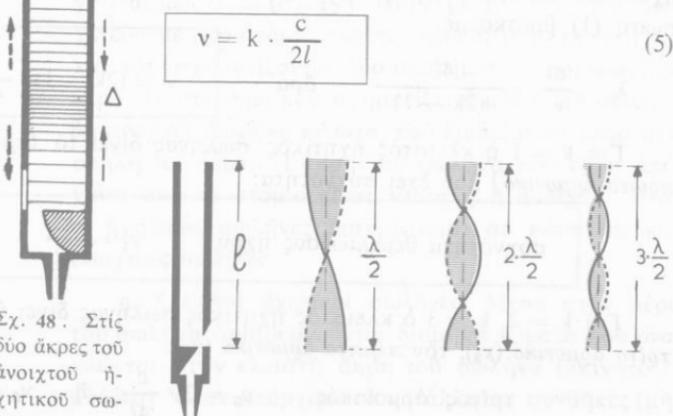
II. "Ἐνας κλειστός ηχητικός σωλήνας μπορεῖ νά δώσει μόνο τούς ἀρμονικούς τοῦ θεμελιώδους ήχου, πού οἱ συχνότητές τους εἶναι περιττό πολλαπλάσιο τῆς συχνότητας τοῦ θεμελιώδους ( $v = 3v_1, 5v_1, 7v_1, \dots$ ).

β. 'Ανοιχτοί ηχητικοί σωλήνες. 'Η στήλη τοῦ ἀέρα πού εἶναι μέσα στούς ἀνοιχτούς ηχητικούς σωλήνες συγκοινωνεῖ ἐλεύθερα μέ τήν ἀτμόσφαιρα καὶ ή ἀνάλαση τῶν κυμάτων (σχ. 48) γίνεται στήν ἀνοιχτή ἄκρη τοῦ σωλήνα (κινητό ἐμπόδιο). 'Επομένως καὶ στίς δύο ἄκρες τοῦ ἀνοιχτοῦ ηχητικοῦ σωλήνα σχηματίζονται δύο κοιλίες (σχ. 49). Τό μῆκος τοῦ σωλήνα εἶναι  $l$  καὶ τό μῆκος ἐνός στάσιμου κύματος εἶναι  $\lambda/2$ . 'Άρα, ὅταν σχηματίζονται στάσιμα κύματα μέσα σέ ἔναν ἀνοιχτό σωλήνα, ισχύει ἡ σχέση:

$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (\text{ὅπου } k = 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

'Από τήν ἔξισωση  $c = v \cdot \lambda$  καὶ τήν ἔξισωση (4) βρίσκουμε:

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{2l}{k} \quad \text{ἄρα}$$



Σχ. 48. Στίς δύο ἄκρες τοῦ ἀνοιχτοῦ ηχητικοῦ σωλήνα σχηματίζονται κοιλίες.

Σχ. 49. 'Ο ἀνοιχτός ηχητικός σωλήνας δίνει δῆλη τή σειρά τῶν ἀρμονικῶν τοῦ θεμελιώδους ήχου.

Γιά  $k = 1$  ό ανοιχτός ηχητικός σωλήνας δίνει τό θεμελιώδη ήχο (ή πρώτο άρμονικό), που έχει συχνότητα:

$$\text{συχνότητα θεμελιώδους ήχου } v_1 = \frac{c}{2l} \quad (6)$$

Γιά  $k = 2$ ,  $k = 3$  ό ανοιχτός ηχητικός σωλήνας δίνει αντίστοιχα τό δεύτερο άρμονικό ( $v_2$ ), τόν τρίτο άρμονικό ( $v_3$ ):

$$\text{δεύτερος άρμονικός } v_2 = 2 \cdot \frac{c}{2l} \quad \text{ή } v_2 = 2v_1$$

$$\text{τρίτος άρμονικός } v_3 = 3 \cdot \frac{c}{2l} \quad \text{ή } v_3 = 3v_1$$

Οι έξι σώσεις (5) και (6) δείχνουν ότι ισχύουν οι έξης νόμοι των ανοιχτών ηχητικών σωλήνων :

I. 'Η συχνότητα ( $v_1$ ) τού θεμελιώδους ήχου πού παράγει ανοιχτός ηχητικός σωλήνας είναι άναλογη μέ τήν ταχύτητα (c) τού ήχου στόν άέρα και αντιστρόφως άναλογη μέ τό μήκος (l) τού σωλήνα.

II. 'Ενας ανοιχτός ηχητικός σωλήνας μπορεί νά δώσει ολη τή σειρά των άρμονικών τού θεμελιώδους ήχου ( $v = 2v_1, 3v_1, 4v_1, \dots$ ).

### ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

35. 'Ο δίσκος μιᾶς σειρήνας έχει 10 τρύπες και έκτελει 26 στροφές τό δευτερόλεπτο. Πόση είναι ή συχνότητα τού παραγόμενου ήχου;

36. Οι δίσκοι δύο σειρήνων A και B έχουν αντίστοιχα 50 και 80 τρύπες. 'Ο δίσκος τής σειρήνας A έκτελει 8 στροφές τό δευτερόλεπτο. Πόσες στροφές πρέπει νά έκτελει ο δίσκος τής σειρήνας B, ώστε δ ήχος πού παράγει αυτή ή σειρήνα νά είναι ο δεύτερος άρμονικός τού ήχου πού παράγει ή σειρήνα A;

37. 'Ο δίσκος μιᾶς σειρήνας έχει δύο όμοκεντρες σειρές άπό τρύπες. 'Η έσωτερη σειρά έχει 40 τρύπες. Πόσες τρύπες πρέπει νά έχει ή έσωτερη σειρά, ώστε οι συχνότητες των δύο ήχων πού άκονμε νά έχουν λόγο 3/2;

38. 'Η συχνότητα ένός φθόγγου είναι  $v_1 = 440$  Hz. Πόση είναι ή συχνότητα  $v_2$  ένός άλλου φθόγγου, ἀν οι συχνότητες των δύο φθόγγων έχουν λόγο  $v_2/v_1 = 1,122$ ;

39. Μιά χορδή έχει μήκος 1 m, μάζα  $8 \cdot 10^{-3}$  kgr και τείνεται άπό δύναμη 500 N. 1) Πόση είναι ή συχνότητα ( $v_1$ ) τού θεμελιώδους ήχου πού παράγει ή χορδή; 2) Μέ πόση δύναμη πρέπει νά τείνεται ή χορδή, γιά νά δώσει ως θεμελιώδη τόν τέταρτο άρμονικό ( $v_4 = 4v_1$ );

40. Μιά χορδή έχει μήκος 2 m, μάζα  $2 \cdot 10^{-2}$  kgr και τείνεται άπό δύναμη 1600 N.

1) Μέ πόση ταχύτητα διαδίδονται τά έγκαρσια κύματα πάνω στή χορδή; 2) Μέ πόση δύναμη πρέπει νά τείνεται ή χορδή, γιά νά διπλασιαστεί ή ταχύτητα διαδόσεως τῶν κυμάτων; 3) Υπάρχει σχέση μεταξύ τῆς συχνότητας τοῦ ήχου πού παράγει ή χορδή και τῆς ταχύτητας διαδόσεως τῶν κυμάτων πάνω στή χορδή;

41. Μιά χορδή έχει μήκος 1 m, μάζα 5 gr και πάλλεται ἔτσι, ώστε σχηματίζεται ἕνα στάσιμο κύμα. Ό παραγόμενος ήχος έχει συχνότητα 130,5 Hz. Μέ πόση δύναμη τείνεται ή χορδή;

42. Μιά χορδή έχει μήκος 80 cm, μάζα 4 gr και δίνει τόν τέταρτο άρμονικό, πού έχει συχνότητα 400 Hz. 1) Πόσοι δεσμοί και πόσα στάσιμα κύματα σχηματίζονται πάνω στή χορδή; 2) Μέ πόση δύναμη τείνεται ή χορδή;

43. Μιά χορδή έχει μήκος 1 m, διάμετρο 1 mm, πυκνότητα  $8 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> και τείνεται ἀπό δύναμη 500 N. Πόση είναι η συχνότητα τοῦ θεμελιώδους ήχου πού παράγει ή χορδή;

44. Μιά χορδή A έχει μήκος  $l$ , γραμμική πυκνότητα  $\mu$  και σταν τείνεται ἀπό μιά δύναμη F, παράγει τό θεμελιώδη ήχο πού έχει συχνότητα  $v_1 = 440$  Hz. Γιά νά φέρουμε τή χορδή A σε όμοφωνία μέ μια ἄλλη χορδή B, αὐξάνουμε τή δύναμη F κατά 9/4 φορές και ἐλαττώνουμε τό μήκος της στό μισό. Νά βρεθεῖ η συχνότητα  $v_2$  τοῦ ήχου πού παράγουν οι δύο χορδές.

45. Σέ ἔνα μουσικό δργανο δύο χορδές A και B έχουν τό ίδιο μήκος  $l$ , είναι ἀπό τό ίδιο οὐλικό, τείνονται ἀπό τήν ίδια δύναμη F και δίνουν τούς θεμελιώδεις ήχους, πού οι συχνότητές τους είναι ἀντίστοιχα  $v_1$  και  $v_2$  και έχουν λόγο  $v_1/v_2 = 3/2$ . 1) "Αν η διάμετρος τῆς χορδῆς A είναι  $\delta_1 = 0,4$  mm, πόση είναι η διάμετρος  $\delta_2$  τῆς χορδῆς B; 2) "Αν είναι  $v_1 = 440$  Hz, πόση είναι η συχνότητα  $v_2$ ;

46. Σέ ἔνα βιολί μιά χορδή του έχει μήκος  $l_1 = 33$  cm και δίνει τό θεμελιώδη ήχο συχνότητας  $v_1 = 440$  Hz (τό la<sub>2</sub>). Σέ πόση ἀπόσταση ἀπό τήν ἀνώτερη ἄκρη τῆς χορδῆς πρέπει δι βιολιστῆς νά πιέσει μέ τό δάχτυλό του τή χορδή, ώστε τό υπόλοιπο τμῆμα τῆς χορδῆς νά δίνει θεμελιώδη ήχο συχνότητας  $v_2$  και νά ισχύει η σχέση  $v_2/v_1 = 3/2$ ; Πόση είναι η συχνότητα  $v_2$ ;

47. "Ενας κλειστός ηχητικός σωλήνας έχει μήκος 68 cm. Ή ταχύτητα τοῦ ήχου στόν ἀέρα είναι 340 m/sec. 1) Πόση είναι η συχνότητα  $v_1$  τοῦ θεμελιώδους ήχου; 2) Πόσο πρέπει νά γίνει τό μήκος τοῦ σωλήνα ώστε ό θεμελιώδης ήχος πού παράγεται νά έχει συχνότητα  $v_2$  και νά ισχύει η σχέση  $v_1/v_2 = 3/2$ .

48. "Ενας κλειστός ηχητικός σωλήνας δίνει θεμελιώδη ήχο πού έχει συχνότητα  $v_0 = 400$  Hz, σταν μέσα στό σωλήνα υπάρχει ἀέρας μέ θερμοκρασία 0° C. Πόση είναι η συχνότητα  $v_1$  τοῦ θεμελιώδους ήχου, σταν διέρας πού είναι μέσα στό σωλήνα έχει θερμοκρασία 37° C; Τό μήκος τοῦ σωλήνα δέ μεταβάλλεται.

49. "Ενας κλειστός ηχητικός σωλήνας δίνει θεμελιώδη ήχο συχνότητας  $v_5$ , σταν, ή θερμοκρασία τοῦ ἀέρα είναι 5° C. Πόση πρέπει νά είναι η ψυστή Δθ τῆς θερμοκρασίας ώστε ό σωλήνας νά δίνει θεμελιώδη ήχο συχνότητας  $v_θ$  και νά ισχύει η σχέση  $v_θ/v_5 = 1,059$ ; Τό μήκος τοῦ σωλήνα διατηρεῖται σταθερό.

50. "Ενας μακρύς γυάλινος σωλήνας διατηρεῖται κατακόρυφος και ή μια ἄκρη του είναι βυθισμένη μέσα σέ νερό. Έμπρός ἀπό τήν ἄλλη ἄκρη τοῦ σωλήνα πάλλεται ἔνα διαπασῶν πού παράγει ήχο συχνότητας 512 Hz. Παρατηροῦμε δτι υπάρχει συντονισμός τοῦ ηχητικοῦ σωλήνα μέ τό διαπασῶν, σταν τό τμῆμα τοῦ σωλήνα πού είναι ξέω ἀπό τό

νερό έχει μήκος 51 cm και έπειτα όταν έχει μήκος 85 cm. Σέ καμιά άλλη ένδιαμεση τιμή του μήκους του σωλήνα δέν παρατηρείται συντονισμός. Νά βρεθεί ή ταχύτητα του ήχου στόν σωλήνα.

51. Νά βρεθεί τό μήκος  $l_k$  ένός κλειστού και  $l_A$  ένός άνοιχτου σωλήνα οι όποιοι παράγουν τόν ίδιο θεμελιώδη ήχο συχνότητος  $v = 174$  Hz, όταν ού αέρας μέσα στούς δύο σωλήνες έχει θερμοκρασία  $0^\circ C$  και ή ταχύτητα του ήχου στόν αέρα είναι 331 m/sec.

52. "Ενας άνοιχτός και ένας κλειστός σωλήνας έχουν τόν ίδιο μήκος  $l = 85$  cm και παράγουν τό θεμελιώδη ήχο, όταν ή ταχύτητα του ήχου στόν αέρα είναι 340 m/sec. 1) Αν νκ και νA είναι οι συχνότητες των δύο ήχων, νά βρεθεί ο λόγος νκ/νA. Ποιό γενικό συμπέρασμα βγαίνει για τούς κλειστούς και τούς άνοιχτούς σωλήνες; 2) Πόσο πρέπει νά είναι τό μήκος  $l_k$  του κλειστού σωλήνα, ώστε αύτός νά δίνει τόν ίδιο θεμελιώδη ήχο πού δίνει και ο άνοιχτός σωλήνας;

53. "Ενας κλειστός ήχητικός σωλήνας έχει μήκος 1,5 m και παράγει τόν πέμπτο άρμονικό, όταν ή ταχύτητα του ήχου στόν αέρα είναι 342 m/sec. 1) Νά βρεθούν οι άποστάσεις των κοιλιών άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα. 2) Νά έξετασθεί τό ίδιο θέμα, αν ο σωλήνας είναι άνοιχτός και έχει τό ίδιο μήκος μέ τόν κλειστό σωλήνα.

54. "Ενας μακρύς σωλήνας ΒΓ είναι κλειστός στή μιά ακρη του Γ και περιέχει ένα αέριο, στό όποιο ή ταχύτητα του ήχου είναι 547 m/sec. Στήν άλλη ακρη Β του σωλήνα ένταρχει μιά ήχητική πηγή πού παράγει ήχο συχνότητας  $v$ . Μέσα στό σωλήνα σχηματίζονται στάσιμα κύματα και ή άποσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών είναι  $14/3$  m. 1) Πόση είναι η συχνότητα την ήχου; 2) Τό πλάτος τής ταλαντώσεως τής ήχητικής πηγής είναι  $a = 5$  mm. Πόσο είναι τό πλάτος Α της ταλαντώσεως ένός λεπτού στρώματος άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα ίση μέ  $d = 0$  m,  $7/3$  m και  $14/3$  m; 3) Πόση είναι η μέγιστη κινητική ένέργεια πού έχει μιά μάζα  $m = 1$  gr τού άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d = \lambda/4$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα;

55. Ένας μακρύς σωλήνας ΒΓ είναι κλειστός στή μιά ακρη του Γ και περιέχει ένα αέριο, στό όποιο ή ταχύτητα του ήχου είναι 547 m/sec. Στήν άλλη ακρη Β του σωλήνα ένταρχει μιά ήχητική πηγή πού παράγει ήχο συχνότητας  $v$ . Μέσα στό σωλήνα σχηματίζονται στάσιμα κύματα και ή άποσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών είναι  $14/3$  m. 1) Πόση είναι η συχνότητα την ήχου; 2) Τό πλάτος τής ταλαντώσεως τής ήχητικής πηγής είναι  $a = 5$  mm. Πόσο είναι τό πλάτος Α της ταλαντώσεως ένός λεπτού στρώματος άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα ίση μέ  $d = 0$  m,  $7/3$  m και  $14/3$  m; 3) Πόση είναι η μέγιστη κινητική ένέργεια πού έχει μιά μάζα  $m = 1$  gr τού άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d = \lambda/4$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα;

56. Ένας μακρύς σωλήνας ΒΓ είναι κλειστός στή μιά ακρη του Γ και περιέχει ένα αέριο, στό όποιο ή ταχύτητα του ήχου είναι 547 m/sec. Στήν άλλη ακρη Β του σωλήνα ένταρχει μιά ήχητική πηγή πού παράγει ήχο συχνότητας  $v$ . Μέσα στό σωλήνα σχηματίζονται στάσιμα κύματα και ή άποσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών είναι  $14/3$  m. 1) Πόση είναι η συχνότητα την ήχου; 2) Τό πλάτος τής ταλαντώσεως τής ήχητικής πηγής είναι  $a = 5$  mm. Πόσο είναι τό πλάτος Α της ταλαντώσεως ένός λεπτού στρώματος άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα ίση μέ  $d = 0$  m,  $7/3$  m και  $14/3$  m; 3) Πόση είναι η μέγιστη κινητική ένέργεια πού έχει μιά μάζα  $m = 1$  gr τού άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d = \lambda/4$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα;

57. Ένας μακρύς σωλήνας ΒΓ είναι κλειστός στή μιά ακρη του Γ και περιέχει ένα αέριο, στό όποιο ή ταχύτητα του ήχου είναι 547 m/sec. Στήν άλλη ακρη Β του σωλήνα ένταρχει μιά ήχητική πηγή πού παράγει ήχο συχνότητας  $v$ . Μέσα στό σωλήνα σχηματίζονται στάσιμα κύματα και ή άποσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δεσμών είναι  $14/3$  m. 1) Πόση είναι η συχνότητα την ήχου; 2) Τό πλάτος τής ταλαντώσεως τής ήχητικής πηγής είναι  $a = 5$  mm. Πόσο είναι τό πλάτος Α της ταλαντώσεως ένός λεπτού στρώματος άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα ίση μέ  $d = 0$  m,  $7/3$  m και  $14/3$  m; 3) Πόση είναι η μέγιστη κινητική ένέργεια πού έχει μιά μάζα  $m = 1$  gr τού άεριου πού βρίσκεται σέ άποσταση  $d = \lambda/4$  άπό τήν κλειστή ακρη του σωλήνα;

## ΟΠΤΙΚΗ

### Κυματική φύση τοῦ φωτός

#### 33. Φυσική 'Οπτική

Στή Γεωμετρική 'Οπτική έξετάσαμε διάφορα διπλικά φαινόμενα, χωρίς νά είναι άπαραίτητο νά ξέρουμε ποιά είναι ή φύση τοῦ φωτός. Άλλα γιά νά έξηγήσουμε πολλά άλλα διπλικά φαινόμενα, πρέπει πρώτα νά διατυπώσουμε μιά θεωρία γιά τή φύση τοῦ φωτός. Κατά τό δέκατο έβδομο αιώνα διατυπώθηκαν οι πρώτες φυσικές θεωρίες γιά τό φῶς καιί διαμορφώθηκε ή Φυσική 'Οπτική πού έξετάζει δλα γενικά τά διπλικά φαινόμενα μέ βάση μιά θεωρία γιά τή φύση τοῦ φωτός.

#### 34. Η φύση τοῦ φωτός

a. Κυματική φύση τοῦ φωτός. Ό Νεύτωνας διατύπωσε τή θεωρία δτι τό φῶς άποτελεῖται άπό σωματίδια, ένω άντιθετα ό Huygens διατύπωσε τή θεωρία δτι τό φῶς είναι κύματα, πού διαδίδονται στό ύποθετικό έλαστικό μέσο, πού δνομάστηκε αιθέρας. Πολλά φαινόμενα (δπως ή συμβολή, ή περίθλαση, ή πόλωση τοῦ φωτός) άπεδειξαν δριστικά δτι τό φῶς είναι έγκάρσια κύματα καιί βοήθησαν ώστε άπό τή γενική έξίσωση τῶν κυμάτων  $c = v \cdot \lambda$  νά ύπολογιστεῖ τό μῆκος κύματος λ τῶν όρατῶν άκτινοβολιῶν. Αργότερα ό Maxwell (1865) άπεδειξε δτι τό φῶς είναι ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία, δηλαδή είναι διάδοση ήλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου, ή όποια δέν έχει άνάγκη άπό τόν παράδοξο ύποθετικό αιθέρα. Έτσι άποδείχτηκε δτι:

Τό φῶς είναι έγκάρσια ήλεκτρομαγνητικά κύματα (κυματική φύση τοῦ φωτός).

S.D.S. β. Θεωρία τῶν κβάντα. Τό φῶς έκπεμπεται καιί άπορροφᾶται άπό τά άτομα τῆς ςλης. Άπο τήν παρατήρηση καταλήγουμε στό συμπέρασμα δτι τά άτομα έκπεμπουν καιί άπορροφοῦν τίς άκτινοβολίες συνεχῶς. Αύτή δμως ή άντιληψη γιά τήν έκπομπή καιί τήν άπορρόφηση τῶν άκτινοβολιῶν δέν μπορεῖ νά έξηγήσει όρισμένα φαινόμενα πού παρατηροῦμε, δταν συμβαίνει κάποια δράση μεταξύ τῆς άκτινοβολίας καιί τῆς ςλης, δπως π.χ. συμβαίνει στό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο πού θά γνωρίσουμε στόν Ήλεκτρι-

σμό. 'Ο Planck (1900) γιά νά έξηγήσει μερικά ἀπό τά παραπάνω φαινόμενα διατύπωσε τή θεωρία τῶν κβάντα, τήν δόποια ἀργότερα γενίκευσαν δέ Einstein, δέ Bohr καὶ ἄλλοι. 'Η θεωρία τῶν κβάντα ἀποδείχτηκε δτι εἰναι μιά ἀπό τίς ώραιότερες κατακτήσεις τοῦ ἀνθρώπινου πνεύματος.

Σύμφωνα μέ τή θεωρία τῶν κβάντα τό ἄτομο ἐκπέμπει τή φωτεινή ἐνέργεια ἀσυνεχῶς, δηλαδή ἐκπέμπει ξεχωριστές ποσότητες ἐνέργειας, πού δονομάζονται κβάντα ή φωτόνια. 'Από τό ἄτομο δέ φεύγουν συνεχῶς κύματα, ἀλλά διαδοχικά ἐκπέμπονται διάδεξ κυμάτων (κυματοσυνομοί), πού καθεμιά ἀπό αὐτές ἀποτελεῖ ἓνα φωτόνιο καὶ κλείνει μέσα τῆς ὁρισμένης ἐνέργεια E. 'Οταν ή φωτεινή ἀκτινοβολία πέφτει πάνω στήν ӯλη, τό κάθε ἄτομο ἀπορροφᾶ ἀσυνεχῶς τήν ἀκτινοβολία, δηλαδή ἀπορροφᾶ ξεχωριστά φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μιᾶς ἀκτινοβολίας, πού ἔχει συχνότητα ν, κλείνει μέσα του ἐνέργεια E πού εἰναι ἵση μέ:

$$\text{ἐνέργεια φωτονίου } E = h \cdot v$$

ὅπου h εἰναι μιά σταθερή, πού δονομάζεται σταθερή τοῦ Planck καὶ εἰναι ἵση μέ:

$$\text{σταθερή τοῦ Planck } h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$$

'Η θεωρία τῶν κβάντα δέχεται τήν κυματική φύση τοῦ φωτός, δπως τή διατύπωσαμε παραπάνω καὶ ἐρμηνεύει πᾶς τά ἄτομα τῆς ӯλης ἐκπέμπουν καὶ ἀπορροφοῦν τήν ἡλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία. "Ωστε:

I. 'Η θεωρία τῶν κβάντα δέχεται δτι τά ἄτομα τῆς ӯλης ἐκπέμπουν καὶ ἀπορροφοῦν τήν ἀκτινοβολία μέ τή μορφή φωτονίων.

II. Κάθε φωτόνιο εἰναι μιά διάδεξ κυμάτων πού διαδίδονται μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός.

III. Τό φωτόνιο μιᾶς μονοχρωματικής ἀκτινοβολίας μεταφέρει ἐνέργεια (E) ἀνάλογη μέ τή συχνότητα (v) τῆς ἀκτινοβολίας καὶ ἵση μέ  $E = h \cdot v$ .

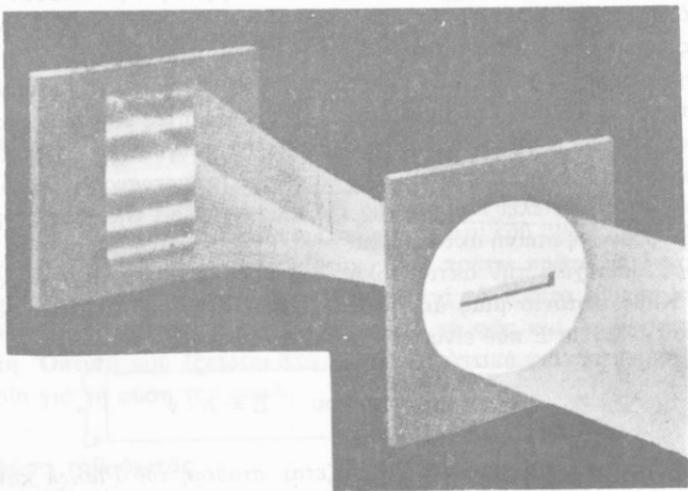
Στά δόπτικά φαινόμενα πού θά έξετάσουμε παρακάτω θεωροῦμε μόνο δτι τό φῶς εἰναι ἔγκαρδσια κύματα. Τά φωτόνια θά τά συναντήσουμε σέ ἄλλα φαινόμενα (\*).

**Παράδειγμα:** 'Η ἐρυθρή ἀκτινοβολία ἔχει συχνότητα  $v = 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

"Αρα κάθε φωτόνιο αὐτῆς τῆς ἀκτινοβολίας μεταφέρει ἐνέργεια:

$$E = h \cdot v = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec} \cdot 4 \cdot 10^{14} \text{ sec}^{-1}$$

$$\text{καὶ } E = 26,5 \cdot 10^{-20} \text{ Joule}$$



Σχ. 50. Περίθλαση τοῦ φωτός πού προκαλεῖται ἀπό λεπτή σχισμή.

### 35. Περίθλαση τοῦ φωτός

Ἄφοῦ τὸ φῶς εἶναι κύματα, πρέπει νά παρουσιάζεται καὶ τό φαινόμενο τῆς περιθλάσεως τῶν φωτεινῶν κυμάτων. Τό φαινόμενο αὐτό τό παρατηροῦμε μέ τό ἔξῆς πείραμα: Πάνω σέ μιά πολύ λεπτή σχισμή πέφτει δέσμη ἀπό παράλληλες ἀκτίνες μονοχρωματικῆς ἀκτινοβολίας (σχ. 50). Τότε πάνω στό διάφραγμα σχηματίζεται ἔνα κεντρικό φωτεινό εἰδώλο τῆς σχισμῆς καὶ ἀπό τή μιά καὶ τήν ἄλλη μεριά αὐτοῦ τοῦ εἰδώλου σχηματίζονται συμμετρικά φωτεινές καὶ σκοτεινές ραβδώσεις. Τό φαινόμενο αὐτό διφείλεται στήν περίθλαση τῶν φωτεινῶν κυμάτων πού πέφτουν πάνω στή λεπτή σχισμή. Φαινόμενα περιθλάσεως παρατηροῦμε καὶ δταν τό φῶς πέφτει πάνω σέ πολύ μικρά ἀντικείμενα ἢ πολύ λεπτές ἀκμές.

"Αν στήν πολύ λεπτή σχισμή πέσει μιά δέσμη ἀπό παράλληλες ἀκτίνες λευκοῦ φωτός, τότε πάνω στό διάφραγμα σχηματίζεται ἔνα κεντρικό λευκό εἰδώλο τῆς σχισμῆς καὶ ἀπό τή μιά καὶ τήν ἄλλη μεριά τοῦ εἰδώλου σχηματίζονται συμμετρικά φάσματα τοῦ λευκοῦ φωτός, πού χωρίζονται μεταξύ τους μέ σκοτεινές ραβδώσεις. Αὐτά τά φάσματα τά δονομάζονται φάσματα ἀπό περίθλαση, γιά νά τά διακρίνουμε ἀπό τά φάσματα πού παίρνουμε μέ τά πρόσματα. "Ωστε γιά τήν περίθλαση τῶν φωτεινῶν κυμάτων καταλήγουμε στά ἔξῆς συμπεράσματα:

$$\sin \alpha = \frac{c_1}{c_2} \quad c_1, c_2 = \text{ταχύτητα φωνής}$$

I. Περίθλαση τοῦ φωτός συμβαίνει, όταν τὸ φῶς πέφτει πάνω σὲ ἀνοίγματα ἡ ἀντικείμενα πού οἱ διαστάσεις τους εἰναι τῆς τάξεως τοῦ μῆκους κύματος τοῦ φωτός.

II. Τὸ λευκό φῶς, ἔξαιτιας τῆς περιθλάσεως, ἀναλύεται στίς ἀκτινοβολίες τοῦ φάσματος καὶ τότε σχηματίζεται φάσμα ἀπό περίθλαση.

Αποτελέσματα τῆς περιθλάσεως τοῦ φωτός. Πολλές φορές γύρω ἀπό τό δίσκο τοῦ Ἡλίου ἡ τῆς Σελήνης βλέπουμε ὅτι σχηματίζονται διμόκεντροι ἔγχρωμοι δακτύλιοι. Αὐτό τὸ φαινόμενο δύναμέται ἀλλας καὶ δφείλεται στήν περίθλαση πού συμβαίνει, όταν τὸ ἥλιακό ἡ τὸ σεληνιακό φῶς πέφτει πάνω σὲ ἕνα στρῶμα ἀπό μικρές σταγόνες νεροῦ ἡ μικρούς κρυστάλλους πάγου.

Τό φαινόμενο τῆς περιθλάσεως τοῦ φωτός ἔχει ἐπίδραση στίς παρατηρήσεις πού κάνουμε μέ τά διάφορα ὄπτικά ὅργανα. Αποδεικνύεται ὅτι εἰναι ἀδύνατο νά παρατηρήσουμε ως ἔχει ωριστά δύο σημεῖα, όταν ἡ μεταξύ τους ἀπόσταση είναι μικρότερη ἀπό τὸ μῆκος κύματος τοῦ φωτός πού χρησιμοποιούμε γιά τήν παρατήρηση. "Ετσι ἡ περίθλαση τοῦ φωτός καθορίζει ἔνα ὅριο στή διαχωριστική ἴκανότητα τῶν ὄπτικῶν ὅργάνων.

Φράγματα περιθλάσεως. Τά εἰδωλα τῆς σχισμῆς πού σχηματίζονται ἀπό τήν περίθλαση τοῦ φωτός εἰναι πολύ φωτεινότερα, ἀν ἀντί γιά μιά σχισμή χρησιμοποιήσουμε σύστημα ἀπό πολλές δμοιες σχισμές πού βρίσκονται στό ἶδιο ἐπίπεδο καὶ σέ πολύ μικρές καὶ ἵσες μεταξύ τους ἀπόστασεις. Αὐτό τό σύστημα δύναμέται φράγμα περιθλάσεως καὶ χρησιμοποιεῖται πολύ στήν Ὀπτική. Τέτοιο φράγμα περιθλάσεως σχηματίζεται, ἀν πάνω σέ μιά γυάλινη πλάκα χαράξουμε μέ διαμάντι λεπτές παράλληλες γραμμές σέ ἵσες ἀπόστασεις (500 ὥς 1000 γραμμές κατά ἑκατοστόμετρο).

55. Στόν ἀέρα τό μῆκος κύματος μιᾶς ἀκτινοβολίας είναι  $\lambda_0 = 6000 \text{ Å}$ . 1) Πόση είναι ἡ συχνότητα  $v_0$  αὐτῆς τῆς ἀκτινοβολίας;  $c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$ . ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ). 2) Πόσο είναι τό μῆκος κύματος  $\lambda_F$  αὐτῆς τῆς ἀκτινοβολίας μέσα στό γυαλί, ἀν ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ γυαλιοῦ γι' αὐτή τήν ἀκτινοβολία είναι  $n = 1,747$ ;

56. Μιά ἀκτινοβολία ἔχει στόν ἀέρα μῆκος κύματος  $\lambda_0 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Νά μετρηθεῖ σέ μήκη κύματος αὐτῆς τῆς ἀκτινοβολίας μῆκος 1 m μέσα στόν ἀέρα καὶ μῆκος 1 m μέσα στό γυαλί, ἀν ὁ δείκτης διαθλάσεως τοῦ γυαλιοῦ ως πρός τόν ἀέρα είναι  $n = 3/2$ .

57. Πόση ἐνέργεια μεταφέρει ἔνα φωτόνιο τῆς ἐρυθρῆς ἡ ἔνα φωτόνιο τῆς λέωνος ἀκτινοβολίας, ἀν τά ἀντίστοιχα μήκη κύματος είναι  $\lambda_E = 8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  καὶ  $\lambda_L = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$ .

58. Τό φωτόνιο μιᾶς υπεριάδους άκτινοβολίας μεταφέρει ένέργεια  $E = 198,6 \cdot 10^{-20}$  Joule. Πόσο είναι τό μήκος κύματος τῆς άκτινοβολίας;  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

59. Τό κάθε φωτόνιο μιᾶς ιώδους άκτινοβολίας μεταφέρει ένέργεια  $E_I = 5 \cdot 10^{-19}$  Joule. Πόσα φωτόνια αντής τῆς άκτινοβολίας μεταφέρουν τήν ένέργεια  $E$ , πού χρειάζεται νά γίνεται άνυψωθεῖ μιά μάζα  $m = 10^{-3}$  gr στέ ύψος  $h = 1$  mm;  $g = 10$  m/sec<sup>2</sup>.

## S.O.S - Φάσματα έκπομπῆς καί ἀπορροφήσεως

### 36. Φάσματα έκπομπῆς

Μέ τό φασματοσκόπιο ἔξετάζουμε τό φάσμα τοῦ φωτός πού ἔκπεμπουν οἱ διάφορες φωτεινές πηγές. Τά φάσματα αντά δονομάζονται φάσματα έκπομπῆς. "Ετσι βρίσκουμε ὅτι τό φῶς πού ἔκπεμπει ἔνα διάπτυχο στερεό η ύγρος σῶμα σχηματίζει ἔνα συνεχές φάσμα πού ἀποτελεῖται ἀπό μιά συνεχή σειρά δρατῶν άκτινοβολίων χωρὶς καμία διακοπή. Τέτοιο φάσμα δίνουν π.χ. τό διάπυρο σύρμα τοῦ ἡλεκτρικοῦ λαμπτήρα, τό ἡλεκτρικό τόξο, ή φλόγα ένός κεριοῦ κ.λ. (βλ. ἔγχρωμη εἰκόνα ἐκτός κειμένου). Γιά νά πάρουμε τό φάσμα έκπομπῆς πού δίνουν οἱ διάπυροι ἀτμοί τῶν μετάλλων, βάζουμε

μέσα στή φλόγα τοῦ λύχνου Bunsen ἔνα μικρό κομμάτι ἀπό τό μέταλλο η ἀπό ἔνα ἄλας αὐτοῦ τοῦ μετάλλου. "Ετσι π.χ. βρίσκουμε ὅτι οἱ διάπτυχοι ἀτμοί νατρίου δίνουν ἔνα φάσμα έκπομπῆς πού ἀποτελεῖται μόνο ἀπό δύο κίτρινες γραμμές, πού είναι η μιά πολὺ κοντά στήν ἄλλη καί ἀντιστοιχον σέ δύο άκτινοβολίες πού ἔχουν ορισμένο μήκος κύματος. Αύτό τό φάσμα έκπομπῆς είναι χαρακτηριστικό τῶν διάπυρων ἀτμῶν νατρίου.

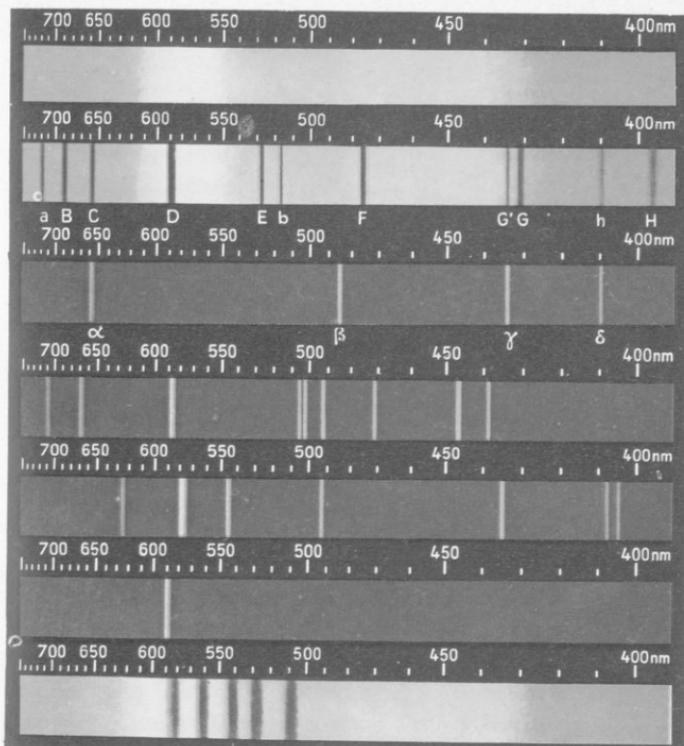


Σχ. 51 Σωλήνας Geissler γιά τή διέγερση τῆς φωτοβολίας ἀερίων.

{ Σωλήνας Geissler (σχ. 51). Αύτός είναι γυάλινος σωλήνας, πού στίς δύο ἄκρες του ἔχει δύο ἡλεκτρόδια καί περιέχει ἀέριο μέ μικρή πίεση. "Οταν μέσα στό σωλήνα παράγονται ἡλεκτρικές ἐκκενώσεις, τότε τό ἀέριο

ἔκπεμπει φῶς καί ιδιαίτερα φωτοβολεῖ τό ἀέριο πού είναι στό στενότερο τμῆμα τοῦ σωλήνα. "Ετσι βρίσκουμε ὅτι τό φάσμα έκπομπῆς τοῦ θύρων ἀποτελεῖται μόνο ἀπό τέσσερις φωτεινές γραμ-

### A. Φάσμα πού δίνει τό πρίσμα



Φάσματα έκπομπής και ἀπορροφήσεως.

Οι διαιρέσεις τῆς κλίμακας δείχνουν τά μήκη κύματος ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )



μές, πού άντιστοιχούν σέ τέσσερις δρισμένες άκτινοβολίες (\*). Αυτό τό φάσμα έκπομπής είναι χαρακτηριστικό του ύδρογόνου. Παρατηροῦμε ότι τό φάσμα έκπομπής τών άτμων και τών άερίων άποτελείται μόνο άπό δρισμένες γραμμές, δηλαδή είναι άσυνεχές φάσμα ή άλλιδς γραμμικό φάσμα. Άπο τά παραπάνω καταλήγουμε στά έξης συμπεράσματα γιά τά φάσματα έκπομπής :

I. Τά φάσματα έκπομπής διακρίνονται σέ συνεχή φάσματα και γραμμικά φάσματα.

II. Τά διάπυρα στερεά και υγρά σώματα δίνουν συνεχή φάσματα και έπομένως τό φῶς πού έκπεμπουν αύτά τά σώματα άποτελείται άπό άκτινοβολίες, πού άντιστοιχούν σέ όλα τά μήκη κύματος τών όρατων άκτινοβολιῶν.

III. Τά άερια και οι άτμοι, δταν έχουν μικρή πίεση και φωτοβολούν, δίνουν γραμμικά φάσματα και έπομένως τό φῶς πού έκπεμπουν άποτελείται μόνο άπό δρισμένες άκτινοβολίες, πού είναι χαρακτηριστικές γιά τό ίδιο τού καθενός στοιχείου.

### 37. Φάσματα άπορροφήσεως

Μόνο τό κενό είναι τελείως διαφανές και έπομένως τό φῶς διαδίδεται μέσα στό κενό χωρίς καμιά άπορρόφηση. Αντίθετα, δλα τά διαφανή ύλικά πάντοτε άπορροφούν δρισμένες άκτινοβολίες. Εύκολα μποροῦμε νά δούμε ποιές άκτινοβολίες άπορροφά ένα διαφανές ύλικό. Μέ τό φασματοσκόπιο παρατηροῦμε τό συνεχές φάσμα τού λευκού φωτός πού έκπεμπει τό ήλεκτρικό τόξο. "Αν αυτό τό λευκό φῶς, πρίν μπει στό φασματοσκόπιο, περάσει μέσα άπό μιά γυάλινη πλάκα μέ βαθύ κόκκινο χρῶμα, παρατηροῦμε ότι άπό τό προηγούμενο συνεχές φάσμα άπομένει μόνο τό τμῆμα μέ τό βαθύ κόκκινο χρῶμα. "Ολο τό υπόλοιπο τμῆμα τού συνεχούς φάσματος λείπει, γιατί δλες οι άντιστοιχες άκτινοβολίες άπορροφήθηκαν άπό τό γυαλί. Σ' αύτή τήν περίπτωση τό φάσμα πού παρατηροῦμε είναι ένα φάσμα άπορροφήσεως (βλ. έγχρωμη είκόνα έκτος κειμένου). "Από τή μελέτη τών φασμάτων άπορροφήσεως καταλήξαμε στό έξης συμπέρασμα:

Στή συνηθισμένη θερμοκρασία κάθε διαφανές ύλικο άπορροφά δρισμένες άκτινοβολίες, πού είναι χαρακτηριστικές γιά τό κάθε διαφανές ύλικο.

(\*) Τά μήκη κύματος τών τεσσάρων άκτινοβολιῶν πού ίπάρχουν στό φάσμα έκπομπής τού ύδρογόνου είναι:

0,658 μμ 0,486 μμ 0,434 μμ 0,410 μμ

**a.** Νόμος τοῦ Kirchhoff. Μέ τό φασματοσκόπιο παρατηροῦμε πάλι τό συνεχές φάσμα τοῦ λευκοῦ φωτός πού ἐκπέμπει τό ἡλεκτρικό τόξο. Στήν πορεία τοῦ λευκοῦ φωτός βάζουμε μιά μή φωτεινή φλόγα φωταερίου, καὶ μέσα σ' αὐτή τή φλόγα εἰσάγουμε ἔνα κομμάτι ἀπό ἄλας τοῦ νατρίου. Ἡ φλόγα ἀποκτᾶ τό ζωηρό κίτρινο χρῶμα τῶν ἀτμῶν τοῦ νατρίου. Τώρα τό λευκό φῶς τοῦ ἡλεκτρικοῦ τόξου, πρίν μπεῖ στό φασματοσκόπιο, περνάει μέσα ἀπό τούς διάπτυχοντας ἀτμούς νατρίου. Παρατηροῦμε ὅτι στό συνεχές φάσμα ἐμφανίζονται δύο λεπτές σκοτεινές γραμμές στήν ἵδια ἀκριβῶς θέση πού πρέπει νά σχηματίζονται οἱ δύο χαρακτηριστικές κίτρινες γραμμές τῶν ἀτμῶν τοῦ νατρίου. Τό φαίνομενο αὐτό εἶναι γενικό καὶ δονομάζεται ἀντιστροφή τῶν φασματικῶν γραμμῶν. Τό φάσμα πού παρατηροῦμε σ' αὐτή τήν περίπτωση εἶναι ἔνα φάσμα ἀπορροφήσεως, πού εἶναι χαρακτηριστικό γιά τούς ἀτμούς τοῦ νατρίου. Ἀποδεικνύεται ὅτι γενικά ισχύει ὁ ἔξῆς νόμος τοῦ Kirchhoff:

"Ενα διάπυρο ἀέριο (ἢ ἀτμός) ἀπορροφᾷ μόνο ἐκεῖνες τίς ἀκτινοβολίες πού εἶναι ἀκριβῶς ἵδιες μέ τίς ἀκτινοβολίες τίς ὅποιες αὐτό τό ἀέριο ἐκπέμπει.

**b.** Ηλιακό φάσμα. Μέ τό φασματοσκόπιο παρατηροῦμε τό φάσμα τοῦ ἡλιακοῦ φωτός. Τότε βλέπουμε ὅτι τό ἡλιακό φάσμα εἶναι ἔνα ἀσυνεχές φάσμα στό ὅποιο ὑπάρχουν πάρα πολλές σκοτεινές γραμμές (βλ. ἔγχρωμη εἰκόνα ἐκτός κειμένου). "Ωστε τό ἡλιακό φάσμα εἶναι ἔνα φάσμα ἀπορροφήσεως. Μερικές ἀπό τίς σκοτεινές γραμμές τοῦ ἡλιακοῦ φάσματος ὀφείλονται στό ὅτι ἡ ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς ἀπορροφᾷ ὀρισμένες ἀκτινοβολίες τοῦ ἡλιακοῦ φωτός. Αὐτές οἱ σκοτεινές γραμμές εἶναι ζωηρότερες, ὅταν ὁ "Ηλιος βρίσκεται στόν δρίζοντα καὶ ἔξασθενίζουν, ὅσο ὁ "Ηλιος πλησιάζει πρός τό ζενίθ. Τίς ἵδιες σκοτεινές γραμμές παρατηροῦμε καὶ στό φάσμα τοῦ φωτός πού ἐκπέμπει ἔνας φάρος πού βρίσκεται σέ μεγάλη ἀπόσταση ἀπό μᾶς.

Οἱ περισσότερες ὅμως σκοτεινές γραμμές τοῦ ἡλιακοῦ φάσματος διατηροῦν σταθερή ἔνταση, ἀνεξάρτητα ἀπό τήν τροχιά πού διατρέχει τό ἡλιακό φῶς μέσα στήν ἀτμόσφαιρα τῆς Γῆς. "Αρα ἡ ἀπορρόφηση τῶν ἀκτινοβολιῶν πού λείπουν ἀπό τό ἡλιακό φῶς συμβαίνει πάνω στόν "Ηλιο. Πολλές ἀπό τίς σκοτεινές γραμμές τοῦ ἡλιακοῦ φάσματος βρίσκονται ἀκριβῶς στή θέση τῶν φωτεινῶν γραμμῶν πού δίνουν ὀρισμένα διάπυρα ἀέρια. "Ἐτσι π.χ. στό ἡλιακό φάσμα ὑπάρχουν δύο σκοτεινές γραμμές, πού ἀντιστοιχοῦν στίς δύο ἀκτινοβολίες πού ἐκπέμπουν οἱ διάπυροι ἀτμοί τοῦ νατρίου. Ἐπίσης ὑπάρχουν τέσσερις σκοτεινές γραμμές, πού ἀντιστοιχοῦν στό φάσμα ἐκπομπῆς τοῦ ὑδρογόνου. Ἀπό τή μελέτη τοῦ ἡλιακοῦ φάσματος κατέλη-

ξαν στό συμπέρασμα ότι στόν "Ηλιο πρέπει νά διακρίνουμε δύο περιοχές πού άντιστοιχα δονομάζονται φωτόσφαιρα και χρωμόσφαιρα. 'Η φωτόσφαιρα άποτελεῖ τό εσωτερικό τμῆμα τοῦ 'Ηλιού και έκπεμπει δλη τή σειρά τῶν ἀκτινοβολιῶν τοῦ συνεχοῦς φάσματος, πού άντιστοιχεῖ στό λευκό φῶς. 'Η χρωμόσφαιρα περιβάλλει τή φωτόσφαιρα και άποτελεῖ τήν ἀτμόσφαιρα τοῦ 'Ηλιού. Αυτή είναι ένα στρῶμα ἀπό ἀέρια πού ἔχουν πολὺ ψηλή θερμοκρασία. Σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ Kirchhoff τό λευκό φῶς πού έκπεμπει ή φωτόσφαιρα, καθώς περνάει μέσα ἀπό τή χρωμόσφαιρα, χάνει δρισμένες ἀκτινοβολίες, γιατί τίς ἀπορροφοῦν τά ἄτομα τῶν στοιχείων πού βρίσκονται στή χρωμόσφαιρα. "Ετσι στό φάσμα τοῦ ἡλιακοῦ φωτός πού φτάνει σέ μᾶς, ἐμφανίζονται σκοτεινές γραμμές. 'Επειδή στό ἡλιακό φάσμα ἀναγνωρίζουμε τό χαρακτηριστικό φάσμα ἀπορροφήσεως ἐνός στοιχείου (π.χ. τοῦ νατρίου ή τοῦ ὑδρογόνου), συμπεράνουμε δτι στή χρωμόσφαιρα ὑπάρχουν ἄτομα αὐτοῦ τοῦ στοιχείου. "Ετσι ἀπό τή συστηματική μελέτη τοῦ ἡλιακοῦ φάσματος βρήκαμε δτι στή χρωμόσφαιρα τοῦ 'Ηλιού ὑπάρχουν μέ τή μορφή ἐλεύθερων ἀτόμων δλα τά γνωστά μας στοιχεῖα. Και μάλιστα μερικά στοιχεῖα, ὅπως π.χ. τό ἥλιο, πρῶτα ἀνακαλύψαμε ἀπό τό χαρακτηριστικό τους φάσμα ἀπορροφήσεως δτι ὑπάρχουν στόν "Ηλιο και ἔπειτα βρήκαμε δτι ὑπάρχουν και στή Γῆ. "Ωστε:

Τό ἡλιακό φάσμα είναι ένα φάσμα ἀπορροφήσεως, στό ὅποιο ὑπάρχουν τά χαρακτηριστικά φάσματα ἀπορροφήσεως πού άντιστοιχοῦν στά ἄτομα ὅλων τῶν γνωστῶν στοιχείων.

### 38. 'Η φασματοσκοπική ἔρευνα

Τά φάσματα έκπομπής και άπορροφήσεως προσφέρουν μεγάλες ὑπηρεσίες. 'Η χημική ἀνάλυση, γιά νά προσδιορίσει τήν παρουσία ἐνός στοιχείου; χρησιμοποιει πολλές φορές τή φασματοσκοπική ἀνάλυση, πού είναι πολύ πιό εύαίσθητη ἀπό τίς χημικές μεθόδους. Γιά νά ἐμφανιστεῖ π.χ. ή διπλή κίτρινη γραμμή τοῦ νατρίου ἀρκεῖ μά μάζα νατρίου μικρότερη ἀπό τό δισεκατομμυριοστό τοῦ γραμμαρίου.

'Η μελέτη τῶν φασμάτων μᾶς ἀνοιξε τό δρόμο πρός τήν 'Ατομική Φυσική και τήν 'Αστροφυσική.

## Φωταύγεια. Χρώμα τοῦ οὐρανοῦ

### 39. Τρόποι παραγωγῆς φωτός

Από τήν καθημερινή ζωή ξέρουμε ότι οἱ συνηθισμένες φωτεινές πηγές είναι σώματα πού έχουν ψηλή θερμοκρασία. Τό φῶς πού ἐκπέμπουν αὐτές οἱ φωτεινές πηγές προέρχεται ἀπό τή μετατροπή θερμικῆς ἐνέργειας σὲ φωτεινή ἐνέργεια. Ή παραγωγή φωτός μέ αὐτό τὸν τρόπο δονομάζεται σταθερή, τό σῶμα ἀδιάκοπα ἐκπέμπει φῶς. Σέ δρισμένες δόμως περιπτώσεις μερικά σώματα ἐκπέμπουν φῶς, γιατὶ μιά ἄλλη μορφή ἐνέργειας, διαφορετική ἀπό τή θερμότητα, μετατρέπεται σέ φωτεινή ἐνέργεια. Αὐτός ὁ τρόπος παραγωγῆς φωτός δονομάζεται φωταύγεια. "Ωστε:

Υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγῆς φωτός, ή θερμική παραγωγή φωτός καὶ ή φωταύγεια.

### 40. Φωταύγεια

Μερικά ἄτομα ἡ μόρια, ὅταν ἀπορροφήσουν δρισμένη ἐνέργεια ΔΕ, πού τούς προσφέρεται ἀπέξω, τότε ἀποκτοῦν μιά ἀσταθή ἐνεργειακή κατάσταση πού δονομάζεται διέγερση τοῦ ἀτόμου ἡ τοῦ μορίου. Ή διέγερση μπορεῖ νά προκληθεῖ ἀπό ἡλεκτρομαγνητικές ἀκτινοβολίες. (π.χ. ὑπεριώδεις ἀκτινοβολίες, ἀκτίνες Röntgen, ἀκτίνες γ) ἡ καὶ ἀπό σωματιδιακές ἀκτινοβολίες (καθοδικές καὶ θετικές ἀκτίνες, σωματίδια κ.ἄ.) Ἐπίσης μπορεῖ νά προκληθεῖ στή διάρκεια μερικῶν μηχανικῶν, χημικῶν, ήλεκτρικῶν καὶ βιολογικῶν φαινομένων.

Τό ἄτομο ἡ τό μόριο πού βρίσκεται σέ διέγερση, ὅταν ξαναγυρίζει στήν κανονική κατάστασή του, ἀποβάλλει ἔνα μέρος ἀπό τήν ἐνέργεια πού πήρε μέ τή μορφή φωτονίου. Αὐτός ὁ τρόπος παραγωγῆς φωτός δονομάζεται φωταύγεια.

Οἱ πιό ἐνδιαφέρουσες μορφές φωταύγειας είναι ὁ φθορισμός καὶ ὁ φωσφορισμός.

Ⓐ Φθορισμός καὶ φωσφορισμός. Όρισμένα σώματα (π.χ. τό φθοριοῦ χο ἀσβέστιο, ὁ κυανιοῦχος βαριολευκόχρυσος, τό διάλυμα θειικῆς κινίνης, τά πετρέλαια κ.ἄ.), ὅταν πάνω τους πέφτει μιά κατάλληλη ἡλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία ἡ σωματιδιακή ἀκτινοβολία ἐκπέμπουν χαρακτηριστικές δόσατές ἀκτινοβολίες. Ή ἐκπομπή τοῦ φωτός παύει, μόλις καταργηθεῖ ἡ ἀκτινοβολία πού προκαλεῖ τή διέγερση. Αὐτή ἡ μορφή φωταύγειας δονομάζε-

ται φθορισμός. Το φαινόμενο του φθορισμού τό έκμεταλλευόμαστε σέ πολλές έφαρμογές π.χ. στό λαμπτήρα φθορισμοῦ, στό φθοροσκόπιο τῶν ἀκτινολόγων, στήν ὅθονη τῆς τηλεοράσεως, τοῦ παλμογράφου, τοῦ ραντάρ.

Ορισμένα ἄλλα σώματα (π.χ. ὁ θειοῦχος ψευδάργυρος, τά θειοῦχα ἄλλα τοῦ βαρίου καὶ τοῦ στροντίου, τό διαμάντι κ.ἄ.), δταν πάνω τους πέφτει μιά κατάλληλη ἀκτινοβολία ἐκπέμπον χαρακτηριστικές δρατές ἀκτινοβολίες. Ή ἐκπομπή τοῦ φωτός διαφορεῖ γιά ἀρκετό χρονικό διάστημα μετά τήν κατάργηση τῆς ἀκτινοβολίας πού προκάλεσε τή διέγερση. Αὐτή ἡ μορφή φωταύγειας δονομάζεται φωσφορισμός καὶ παρατηρεῖται πάντοτε σέ στερεά σώματα.

Γενικά γιά τό φθορισμό καὶ τό φωσφορισμό ίσχυει ὁ ἀκόλουθος νόμος τοῦ Stokes :

**Οἱ ἡλεκτρομαγνητικές ἀκτινοβολίες πού σέ ἔνα σῶμα προκαλοῦν τό φθορισμό ἡ τό φωσφορισμό μετατρέπονται ἀπό τό σῶμα σέ ἡλεκτρομαγνητικές ἀκτινοβολίες μέ μεγαλύτερο μῆκος κύματος.**

**β.** "Αλλες μορφές φωταύγειας. "Οταν συντρίβονται δρισμένα σώματα (π.χ. ἡ ζάχαρη) ἐμφανίζεται ἡ τριβοφωταύγεια. Στή διάρκεια δρισμένων χημικῶν ἀντιδράσεων (π.χ. κατά τήν δξείδωση τοῦ φωσφόρου) ἐμφανίζεται ἡ χημικοφωταύγεια. "Οταν συμβαίνει ἡλεκτρική ἐκκένωση μέσα σέ ἀέριο, ἐμφανίζεται ἡ ἡλεκτροφωταύγεια. Σέ δρισμένους δργανισμούς (πυγολαμπίδα, ἀβυσσικοί δργανισμοί) ἐμφανίζεται ἡ βιοφωταύγεια.

#### 41. Τό χρῶμα τοῦ οὐρανοῦ

"Ολα τά ἔτερόφωτα σώματα ἐκπέμπουν φῶς, μόνο δταν πέσει πάνω τους τό φῶς μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς. Τότε κάθε σημεῖο τῆς ἐπιφάνειας τοῦ σώματος ἐκπέμπει πρός δλες τίς διευθύνσεις ἔνα μέρος τοῦ φωτός πού ἔλαβε καὶ ἔτσι τό ἔτερόφωτο σῶμα γίνεται μιά δευτερεύουσα φωτεινή πηγή. Αὐτό τό φαινόμενο δονομάζεται διάχυση τοῦ φωτός.

Διάχυση τοῦ φωτός προκαλοῦν καὶ τά μόρια τῶν ἀερίων καὶ γενικότερα τά μικρότατα ἄχρωμα σωματίδια πού είναι ἄτακτα διασκορπισμένα μέσα σέ ἔνα διαφανές δλικό, π.χ. μέσα στόν ἀτμοσφαιρικό ἀέρα. Πειραματικά βρήκαμε δτι σ' αὐτή τήν περίπτωση ίσχυει ὁ ἔξης νόμος τοῦ Rayleigh :

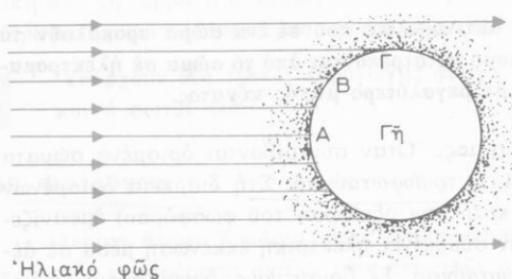
**Η ἔνταση (I) τοῦ φωτός πού διαχέεται ἀπό μικρότατα αἰωρούμενα σωματίδια είναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη μέ τήν τέταρτη δύναμη τοῦ μήκους κύματος (λ) τῆς ἀκτινοβολίας πού πέφτει πάνω στά σωματίδια.**

$$\text{νόμος του Rayleigh} \quad I = A \cdot \frac{1}{\lambda^4}$$

ὅπου  $A$  είναι μιά σταθερή, πού ἔξαρταται ἀπό τή φύση τῶν σωματιδίων.

Τό κναρό χρῶμα τοῦ οὐρανοῦ διφείλεται στή διάχυση τοῦ ἡλιακοῦ φωτός, πού τήν προκαλοῦν τά μόρια τῶν συστατικῶν τῆς ἀτμόσφαιρας καὶ τά μικρότατα ἄχρωμα σωματίδια πού αἰωροῦνται μέσα σ' αὐτή. "Οταν δὲ Ἡλιος βρίσκεται ψηλά σχετικά μέ τὸν ὁρίζοντα, τότε ἡ ἐνταση τῶν ἀκτινοβολιῶν πού διαχέονται είναι πολὺ μεγαλύτερη γιά τίς κυανές καὶ τίς ιώδεις ἀκτινοβολίες (σχ. 52). "Ετσι στό φῶς πού διαχέεται ἀπό τήν ἀτμόσφαιρα

ἐπικρατεῖ τό κναρό χρῶμα. Κατά τήν ἀνατολή καὶ τή δύση τοῦ Ἡλίου τό ἡλιακό φῶς, γιά νά φτάσει σέ μᾶς, διατρέχει μεγαλύτερο διάστημα μέσα στό κατώτερο στρῶμα τῆς ἀτμόσφαιρας πού είναι τό πυκνότερο καὶ πλουσιότερο σέ αἰωρούμενα σωματίδια. Τό ἡλιακό φῶς περνώντας μέσα ἀπό αὐτό τό στρῶμα χάνει,



Σχ. 52 . Τά μόρια τοῦ ἀέρα καὶ τά αἰωρούμενα μέρα σ' αὐτόν μικρά σωματίδια προκαλοῦν ισχυρότερη διάχυση τῆς κυανῆς ἀκτινοβολίας πού ἔχει μικρότερο μῆκος κύματος.

ἔξαιτιας τῆς διαχύσεως, τό μεγαλύτερο μέρος ἀπό τίς κυανές καὶ τίς ιώδεις ἀκτινοβολίες του. "Ετσι τό φῶς πού φτάνει σέ μᾶς ἔχει ἑνα ἐρυθροκίτρινο χρῶμα, πού διφείλεται στήν ἀνάμιξη τῶν ὑπόλοιπων ἀκτινοβολιῶν τοῦ ἡλιακοῦ φωτός. "Ωστε:

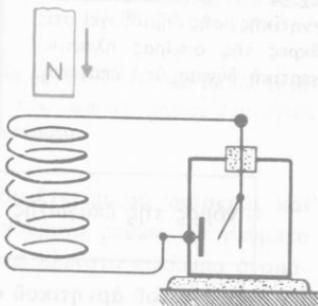
Τό κυανό χρῶμα τοῦ οὐρανοῦ κατά τήν ἡμέρα καὶ οἱ ἐρυθροκίτρινες ἀποχρώσεις τοῦ οὐρανοῦ κατά τήν ἀνατολή καὶ τή δύση τοῦ Ἡλίου διφείλονται στήν ισχυρότερη διάχυση πού παθαίνουν μέσα στήν ἀτμόσφαιρα οἱ κυανές καὶ οἱ ιώδεις ἀκτινοβολίες τοῦ ἡλιακοῦ φωτός, γιατί ἔχουν τά μικρότερα μῆκη κύματος.

## ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

### Επαγωγικά ρεύματα

#### 42. Επαγωγή

Τίς δύο άκρες ένός πηνίου μέ πολλές σπεῖρες τίς συνδέουμε μέ εύαισθητο ήλεκτρόμετρο (σχ. 53). Έτσι σχηματίζεται ένα άνοιχτό κύκλωμα. Πλησιάζουμε γρήγορα πρός τό πηνίο τό βόρειο πόλο ένός μαγνήτη. Παρατηροῦμε δτι τό ήλεκτρόμετρο δείχνει μιά διαφορά δυναμικού, πού έξαφανίζεται, μόλις σταματήσει ή κίνηση τού μαγνήτη. Τό ίδιο φαινόμενο παρατηροῦμε, ἀν ἀπομακρύνουμε γρήγορα τό μαγνήτη ἀπό τό πηνίο. Ή ἀνάπτυξη διαφορᾶς δυναμικού στίς άκρες ένός άγωγού μέ τόν τρόπο πού έξετάσαμε παράπονω δύναμάζεται έπαγωγή.

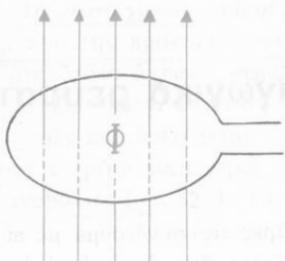


Σχ. 53. Στίς άκρες τού πηνίου ἀναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό έπαγωγή.

α. Έξηγηση τοῦ φαινομένου τῆς έπαγωγῆς. Είναι φανερό δτι αἰτία τοῦ φαινομένου τῆς έπαγωγῆς είναι ή κίνηση τού μαγνήτη σχετικά μέ τό πηνίο. Τότε μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή ( $\Phi$ ) πού περνάει ἀπό τίς σπεῖρες τοῦ πηνίου. Σ' αὐτή τήν περίπτωση ἀποδεικνύεται δτι τό μετακινούμενο μαγνητικό πεδίο ἀναπτύσσει σέ κάθε ἐλεύθερο ήλεκτρόνιο τοῦ άγωγού μιά ηλεκτρομαγνητική δύναμη ( $F$ ) πού φέρνει τό ήλεκτρόνιο στή μιά άκρη τοῦ άγωγού. Έτσι τά ἐλεύθερα ήλεκτρόνια τοῦ άγωγού συγκεντρώνονται στή μιά άκρη του και ἐπομένως στίς δύο άκρες τοῦ άγωγού ἐμφανίζεται διαφορά δυναμικοῦ ἀπό έπαγωγή ( $U_{\text{επαγγ}}$ ) ή ἀλλιῶς έπαγωγική τάση.

"Οσο χρόνο διαρκεῖ ή μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς, τό πηνίο συμπεριφέρεται σάν γεννήτρια. Αὐτή δέν δίνει ρεῦμα στό κύκλωμα, ἀλλά διατηρεῖ μεταξύ τῶν δύο πόλων της μιά διαφορά δυναμικοῦ ( $U_{\text{επαγγ}}$ ), πού είναι ίση μέ τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς ( $E_{\text{επαγγ}}$ ), ή δποία χαρακτηρίζει αὐτή τή γεννήτρια. "Ωστε:

Όταν μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή πού περνάει από ένα πηνίο, τότε συμβαίνει μετακίνηση των έλενθερων ήλεκτρονίων μέσα στόν άγωγό και έτσι στίς δύο ακρες του πηνίου δημιουργείται ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγής, πού διαρκεί όσο διαρκεί και ή μεταβολή της μαγνητικής ροής.



Σχ. 54 . 'Η μεταβολή της μαγνητικής ροής δημιουργεί στίς ακρες της σπείρας ήλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή.

β. Νόμος της έπαγωγής. "Ας θεωρήσουμε έναν άγωγό πού δέν είναι κλειστός (σχ. 54). Στη διάρκεια του έλλαχιστου χρόνου  $\Delta t$  ή μαγνητική ροή πού περνάει από τόν άγωγό μεταβάλλεται κατά  $\Delta\Phi$ . Σέ όλη τη διάρκεια του χρόνου  $\Delta t$  στίς δύο ακρες του άγωγού αναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγής (Επαγγ.), για την δροία ίσχυει ό ύξης νόμος της έπαγωγής :

Τη ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγής, ή όποια αναπτύσσεται στίς ακρες άγωγού πού άποτελεί μιά σπείρα, είναι ανάλογη με τήν ταχύτητα μεταβολής της μαγνητικής ροής.

$$\text{νόμος της έπαγωγής} \quad E_{\text{επαγ}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\Phi \text{ σε Wb} \\ \Delta t \text{ σε sec} \\ E \text{ σε V} \end{array} \right. \quad (1)$$

Τή σημασία του άρνητικού σημείου θά μάθουμε παρακάτω. "Αν ένα πηνίο έχει n σπείρες, τότε ό νόμος της έπαγωγής δίνεται από τήν έξισωση:

$$\text{νόμος της έπαγωγής} \quad (γιά πηνίο) \quad E_{\text{επαγ}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot n$$

**Παρατήρηση** Συνήθως μᾶς ένδιαφέρει τό μέτρο της έπαγωγικής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως, γι' αυτό τό άρνητικό σημείο μπορούμε νά τό παραλείπουμε.

γ. Μονάδα μαγνητικής ροής. "Από τήν έξισωση (1) έχουμε:

$$\Delta\Phi = E_{\text{επαγ}} \cdot \Delta t \quad \text{άρα}$$

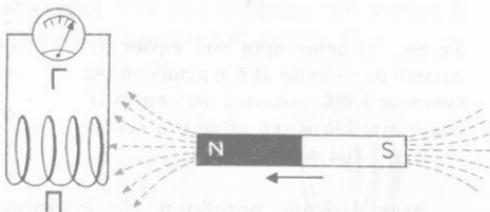
$$1 \text{ Weber} = 1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ sec} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{sec}$$

"Ωστε γιά τή μονάδα μαγνητικής ροής στό σύστημα MKSA ίσχυε ό ύξης ορισμός :

1 Weber είναι ή μαγνητική ροή ή όποια, όταν περνάει από μιά σπείρα και μέσα σέ 1 δευτερόλεπτο έλαττώνεται όμοιόμορφα ως τήν τιμή μηδέν, άναπτύσσει ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγής ίση με 1 Volt.

### 43. Επαγωγικά ρεύματα

Τίς δύο άκρες ένός πηνίου τις συνδέουμε μέ ξνα εύπαθές γαλβανόμετρο (σχ. 55). "Ετσι σχηματίζεται ξνα κλειστό κύκλωμα, άλλα στό κύκλωμα αυτό δέν υπάρχει γεννήτρια. Στή μιά άκρη τοῦ πηνίου πλησιάζουμε γρήγορα τό βόρειο πόλο εύθυγραμμου μαγνήτη. Παρατηροῦμε ότι τό κύκλωμα διαρρέεται από ρεῦμα, πού διαρκεῖ οσο διαρκεῖ και ή κίνηση τοῦ μαγνήτη. "Αν τώρα απομακρύνουμε γρήγορα τό βόρειο πόλο τοῦ μαγνήτη από τό πηνίο, τό κύκλωμα διαρρέεται πάλι από ρεῦμα, πού έχει μικρή διάρκεια και φορά άντιθετη μέ τή φορά πού είχε τό προηγούμενο ρεῦμα. Τά ρεύματα πού παράγονται μέ αυτό τόν τρόπο μέσα σέ ξνα κλειστό κύκλωμα δύνομάζονται έπαγωγικά ρεύματα.

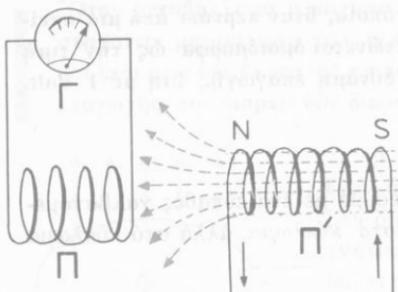


Σχ. 55. Η κίνηση τοῦ μαγνήτη σχετικά μέ τό πηνίο δημιουργεῖ μέσα στό κύκλωμα τοῦ πηνίου έπαγωγικά ρεύματα.

a. Αίτια παραγωγῆς τῶν έπαγωγικῶν ρευμάτων. "Οταν ο μαγνήτης πλησιάζει στό πηνίο ή απομακρύνεται από αυτό, τότε μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή πού περνάει από τίς σπείρες τοῦ πηνίου και έπομένως στίς άκρες τοῦ πηνίου άναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή (Ε<sub>παγγ</sub>). "Επειδή τό κύκλωμα είναι κλειστό, γι' αυτό μέσα στό κύκλωμα κυκλοφορεῖ ξνα έπαγωγικό ρεῦμα. "Ωστε τό έπαγωγικό ρεῦμα είναι αποτέλεσμα τοῦ φαινόμενον τής έπαγωγῆς. Σχετικά λοιπόν μέ τήν παραγωγή τῶν έπαγωγικῶν ρευμάτων μποροῦμε νά διατυπώσουμε τό έξης συμπέρασμα :

"Οταν μέ όποιοδήποτε τρόπο μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή πού περνάει από ξνα κλειστό κύκλωμα, τότε παράγονται μέσα στό κύκλωμα έπαγωγικά ρεύματα, πού διαρκοῦν οσο διαρκεῖ και ή μεταβολή τής μαγνητικῆς ροής.

β. Τρόποι παραγωγῆς έπαγωγικῶν ρευμάτων. Η μαγνητική ροή πού περνάει από τίς σπείρες τοῦ πηνίου Π (σχ. 55) μπορεῖ νά μεταβληθεῖ μέ τούς έξης τρόπους:



Σχ. 56. 'Η μετακίνηση τοῦ πηνίου Π' σχετικά μέ τό πηνίο Π ἡ μεταβολή τῆς ἐντάσεως I τοῦ ρεύματος στό πηνίο Π' δημιουργεῖ ἐπαγωγικό ρεῦμα στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π.

1. Πλησιάζουμε στό πηνίο Π ἡ ἀπομακρύνουμε ἀπό αὐτό ἔνα εὐθύγραμμο μαγνήτη ἡ ἔνα ἄλλο πηνίο Π' πού διαρρέεται ἀπό ρεῦμα (σχ. 56). Τό πηνίο Π' ίσοδυναμεῖ μέ εὐθύγραμμο μαγνήτη. Και στίς δύο περιπτώσεις μέσα στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π παράγονται ἐπαγωγικά ρεύματα.

2. Τά δύο πηνία Π καὶ Π' είναι ἀκίνητα καὶ τό ἔνα κοντά στό ἄλλο. Τότε τό πηνίο Π βρίσκεται μέσα στό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ τό πηνίο Π', ἐπειδή αὐτό τό πηνίο διαρρέεται ἀπό ρεῦμα ἐντά-

- σεως I. Κάθε μεταβολή τῆς ἐντάσεως I τοῦ ρεύματος στό πηνίο Π' προκαλεῖ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς (B) τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου καὶ, ἐπομένως, προκαλεῖ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνάει ἀπό τό πηνίο Π. Ἐτσι κάθε μεταβολή τῆς ἐντάσεως I τοῦ ρεύματος στό πηνίο Π' δημιουργεῖ ἐπαγωγικό ρεῦμα στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π.
3. Διατηροῦμε ἀκίνητο τό πηνίο Π (σχ. 55) καὶ περιστρέφουμε τόν εὐθύγραμμο μαγνήτη γύρω ἀπό ἔναν ἄξονα πού είναι κάθετος στόν ἄξονα τοῦ μαγνήτη καὶ περνάει ἀπό τό κέντρο τοῦ μαγνήτη. Τότε ἡ μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό τό πηνίο Π μεταβάλλεται διαδοχικά μεταξύ μιᾶς μέγιστης τιμῆς καὶ τῆς τιμῆς μηδέν.

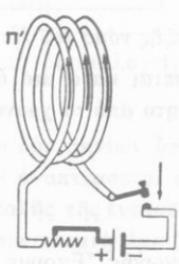
γ. Φορά τοῦ ἐπαγωγικοῦ ρεύματος. Στή μιά ἄκρη τοῦ πηνίου Π (σχ. 55) πλησιάζουμε τό βόρειο πόλο (N) τοῦ μαγνήτη. Τότε τό ἐπαγωγικό ρεῦμα μέσα στό πηνίο Π ἔχει τέτοια φορά, ὥστε σ' αὐτή τήν ἄκρη τοῦ πηνίου ἐμφανίζεται βόρειος πόλος. Ἀντίθετα, δταν ἀπομακρύνουμε τό βόρειο πόλο (N) τοῦ μαγνήτη, τό ἐπαγωγικό ρεῦμα ἔχει τέτοια φορά, ὥστε σ' αὐτή τήν ἄκρη τοῦ πηνίου ἐμφανίζεται νότιος πόλος. Στήν πρώτη περίπτωση ὁ βόρειος πόλος τοῦ πηνίου ἀπωθεῖ τό βόρειο πόλο (N) τοῦ μαγνήτη καὶ τόν ἐμποδίζει νά πλησιάσει στό πηνίο. Στή δεύτερη περίπτωση ὁ νότιος πόλος τοῦ πηνίου ἔλκει τό βόρειο πόλο (N) τοῦ μαγνήτη καὶ τόν ἐμποδίζει νά ἀπομακρυνθεῖ ἀπό τό πηνίο. Και στίς δύο περιπτώσεις τό μαγνητικό πεδίο τοῦ ἐπαγωγικοῦ ρεύματος ἀντιδρᾶ στήν αἰτία πού προκαλεῖ τή μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς, δηλαδή ἀντιδρᾶ στό πλησίασμα ἡ τήν ἀπομάκρυνση τοῦ μαγνήτη. Γενικά ἡ φορά τοῦ ἐπαγωγικοῦ ρεύματος προσδιορίζεται ἀπό τόν ἔξις νόμο τοῦ Lenz :

Τό έπαγωγικό ρεῦμα ἔχει τέτοια φορά, ώστε τό μαγνητικό πεδίο του νά ἀντιδρᾶ στήν αἰτία πού προκαλεῖ τήν παραγωγή τοῦ έπαγωγικοῦ ρεύματος.

Σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ Lenz, ὅταν κλείνουμε τό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π' (σχ.57) ή ὅταν αὐξάνουμε τήν ἐνταση I τοῦ ρεύματος πού διαρρέει αὐτό τό κύκλωμα, τότε στό γειτονικό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π παράγεται έπαγωγικό ρεῦμα ἀντίρροπο μέ τό ρεῦμα τοῦ πηνίου Π'. Ἀντίθετα, ὅταν ἀνοίγουμε τό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π' (σχ. 58) η ὅταν ἐλαττώνουμε τήν ἐνταση I τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τό κύκλωμα, τότε στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π παράγεται έπαγωγικό ρεῦμα ὁμόρροπο μέ τό ρεῦμα τοῦ πηνίου Π'.



Σχ. 57. Ἀποκατάσταση ή αύξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος δημιουργεῖ ἀντίρροπο έπαγωγικό ρεῦμα.



Σχ. 58. Διακοπή ή ἐλάττωση τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος δημιουργεῖ ὁμορροπο έπαγωγικό ρεῦμα.

**Παρατήρηση.** Στήν ἑξίσωση  $E_{\text{επαγ}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  τό ἀρνητικό σημεῖο

φανερώνει ὅτι ή ἡλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς δημιουργεῖ στό κύκλωμα ρεῦμα πού ἔχει τέτοια φορά, ώστε τό μαγνητικό πεδίο του νά ἀντιδρᾶ στήν αἰτία πού προκαλεῖ τήν παραγωγή τοῦ έπαγωγικοῦ ρεύματος.

#### 44. "Ενταση τοῦ έπαγωγικοῦ ρεύματος

"Ἐνα κλειστό κύκλωμα, π.χ. τό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π στό σχῆμα 70, ἔχει ἀντίσταση R. Στή διάρκεια τοῦ χρόνου Δt ή μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό τό πηνίο μεταβάλλεται κατά ΔΦ. Τότε σ' αὐτό τό κύκλωμα ἀναπτύσσεται ἡλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς πού κατ' ἀπόλυτη τιμή ἔχει μέτρο

$$E_{\text{επαγ}} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ Ohm ή ἐνταση I τοῦ ρεύματος εἶναι:

$$I = \frac{E_{\text{επαγγ}}}{R} \quad \text{ή} \quad I = \frac{\Delta \Phi}{R \cdot \Delta t}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta \Phi \text{ σέ Wb} \\ R \text{ σέ } \Omega, \Delta t \text{ σέ sec} \\ I \text{ σέ A} \end{array} \right\}$$

#### 45. Ήλεκτρικό φορτίο άναπτυσσόμενο άπό έπαγωγή

Τό έπαγωγικό ρεύμα διαρρέει τό κύκλωμα έπι χρόνο  $\Delta t$  και μεταφέρει ήλεκτρικό φορτίο  $Q$ . Αυτό τό φορτίο άναπτύχθηκε στό κύκλωμα άπό τό φαινόμενο τής έπαγωγής και είναι ίσο μέ

$$Q = I \cdot \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R \cdot \Delta t} \cdot \Delta t \quad \text{άρα}$$

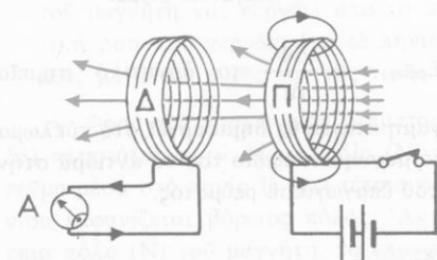
$$Q = \frac{\Delta \Phi}{R} \quad \left. \begin{array}{l} \Delta \Phi \text{ σέ Wb} \\ R \text{ σέ } \Omega \\ Q \text{ σέ Cb} \end{array} \right\}$$

Η εξίσωση πού βρήκαμε έκφραζει τόν έξης νόμο του Neumann:

Τό ηλεκτρικό φορτίο πού άναπτυσσεται κατά μιά όρισμένη μεταβολή τής μαγνητικής ροής είναι άνεξάρτητο άπό τό χρόνο πού διαρκει αυτή ή μεταβολή τής μαγνητικής ροής.

#### 46. Άμοιβαία έπαγωγή

α. Τό φαινόμενο τής άμοιβαίας έπαγωγής. Έχουμε δύο γειτονικά κυκλώματα (σχ. 59). Τό κύκλωμα τού πηνίου  $\Pi$  διαρρέει άπό ρεύμα έντάσεως  $I$ , ένω στό κύκλωμα τού πηνίου  $\Delta$  δέν ίνπάρχει γεννήτρια. "Αν στό πηνίο  $\Pi$  μεταβληθει ή ένταση τού ρεύματος κατά  $\Delta I$ , μεταβάλλεται και ή μαγνητική έπαγωγή ( $B$ ) τού μαγνητικού πεδίου τού πηνίου  $\Pi$ . Τότε στό πηνίο  $\Delta$  μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή κατά  $\Delta \Phi$  και έπομένως στίς άκρες τού πηνίου  $\Delta$  άναπτυσσεται ήλεκτρογερετική δύναμη έπαγωγής ( $E_{\text{επαγγ}}$ ). Αυτό τό φαινόμενο δυνομάζεται άμοιβαία έπαγωγή. Σ' αυτή τήν περίπτωση λέμε ότι μεταξύ τών δύο πηνίων ( $\Pi$  και  $\Delta$ ) ίνπάρχει έπαγωγική σύζευξη.



Σχ. 59. Πειραματική άποδειξη τής άμοιβαίας έπαγωγής.

β. Ήλεκτρεγερτική δύναμη άμοιβαίας έπαγωγής. Ή μεταβολή  $\Delta \Phi$  τής μαγνητικής ροής στό πηνίο  $\Delta$  είναι άναλογη μέ τή μεταβολή  $\Delta I$  τής έντάσεως τού ρεύματος στό πηνίο  $\Pi$ , δηλαδή ίσχυει ή σχέση:

$$\Delta \Phi = M \cdot \Delta I \quad (1)$$

δου Μ είναι ένας συντελεστής άναλογίας πού δονομάζεται συντελεστής άμοιβαίας έπαγωγῆς και έχαρταται από τό σχῆμα και τή σχετική θέση τῶν δύο κυκλωμάτων καθώς και από τή μαγνητική διαπερατότητα τοῦ περιβάλλοντος. Ο συντελεστής Μ μετριέται μέ τή μονάδα Henry (1 H), μέ τήν όποια μετριέται και δ συντελεστής αύτεπαγωγῆς L ένός άγωγοῦ. Στίς ακρες τοῦ πηνίου Δ άναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς πού είναι:

$$E_{\text{επαγ}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Από τίς έξισώσεις (1) και (2) βρίσκουμε :

ήλεκτρεγερτική δύναμη  
άμοιβαίας έπαγωγῆς

$$E_{\text{επαγ}} = - M \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

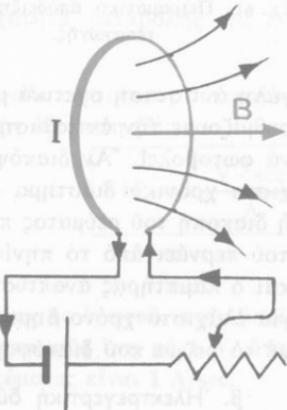
$\Delta I$ σέ A, $\Delta t$ σέ sec $M$ σέ H $E$ σέ V	(3)
--	-----

Τό άρνητικό σημείο δικαιολογεῖται από τό νόμο τοῦ Lenz. Ή έξισωση (3) φανερώνει ότι:

"Οταν μεταξύ δύο πηνίων ύπάρχει σύζευξη, ή ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς πού άναπτύσσεται στό ένα πηνίο είναι άναλογη μέ τήν ταχύτητα μεταβολῆς τής έντασεως τοῦ ρεύματος στό άλλο πηνίο και άναλογη μέ τό συντελεστή άμοιβαίας έπαγωγῆς (M)."

**Παρατήρηση.** "Αν στήν έξισωση (3) είναι  $\Delta I = 1 \text{ A}$  και  $\Delta t = 1 \text{ sec}$ , τότε έχουμε:

$|E_{\text{επαγ}}| = M$ . "Αρα δ συντελεστής άμοιβαίας έπαγωγῆς M έκφραζει τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγῆς πού άναπτύσσεται στίς ακρες τοῦ πηνίου Δ, σταν στό άλλο πηνίο Π η ταχύτητα μεταβολῆς τής έντασεως τοῦ ρεύματος είναι  $1 \text{ A/sec}$ .



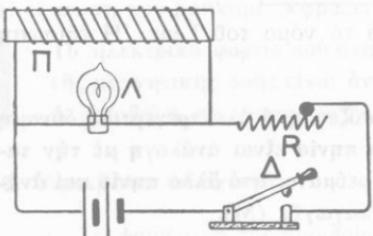
## 47. Αύτεπαγνή

α. Τό φαινόμενο τής αύτεπαγωγῆς. "Ένας κυκλικός άγωγός άποτελεῖ μιά σπείρα και διαρρέεται από ρεῦμα έντασεως I (σχ. 60). Γύρω από τόν άγωγό δημιουργεῖται μαγνητικό πεδίο και από τήν έπιφάνεια τοῦ άγωγοῦ περνάει μαγνητική ροή Φ, πού διφείλεται στό μαγνητικό πεδίο τοῦ ρεύματος. "Αν μεταβληθεῖ ή έγταση τοῦ ρεύματος κατά  $\Delta I$ , τότε με-

σχ. 60. "Η μεταβολή τής έντασεως I τοῦ ρεύματος προκαλεῖ μεταβολή τής μαγνητικῆς έπαγωγῆς B και έτοι δημιουργεῖται μεταβολή τής μαγνητικῆς ροής πού περνάει από τή σπείρα.

ταβάλλεται ή μαγνητική έπαγωγή (B) τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου καὶ, ἐπομένως, ή μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἀγωγοῦ μεταβάλλεται κατά ΔΦ. Ἐτσι μέσα στών ἵδιο τὸν ἀγωγό ἀναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη ἐπαγωγῆς. Αὐτό τὸ φαινόμενο δονομάζεται αὐτεπαγωγή.

Ἐξαιτίας τῆς αὐτεπαγωγῆς δημιουργοῦνται μέσα στὸν ἀγωγό ρεύματα, πού δονομάζονται ρεύματα αὐτεπαγωγῆς καὶ διαρκοῦν δσο διαρκεῖ ή μεταβολὴ τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τὸν ἀγωγό. Σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ Lenz, δταν αδεξάνει ή ἐνταση τοῦ ρεύματος, τὸ ρεῦμα αὐτεπαγωγῆς εἶναι ἀντίρροπο μέ τὸ κύριο ρεῦμα καὶ προσπαθεῖ νά ἐμποδίσει τήν αὔξηση τῆς ἐντάσεως τοῦ κύριου ρεύματος. Ἀντίθετα, δταν ἐλαττώνεται ή ἐνταση τοῦ ρεύματος, τὸ ρεῦμα αὐτεπαγωγῆς εἶναι ὅμορροπο μέ τὸ κύριο ρεῦμα καὶ προσπαθεῖ νά ἐμποδίσει τήν ἐλαττώση τῆς ἐντάσεως τοῦ κύριου ρεύματος.



Σχ. 61. Πειραματική ἀπόδειξη τῆς αὐτεπαγωγῆς.

γάλη ἀντίσταση σχετικά μέ τήν ἀντίσταση τοῦ πηνίου. Μέ ἔνα ροοστάτη ρυθμίζουμε τήν ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος ἔτσι, ώστε ὁ λαμπτήρας μόλις νά φωτοβολεῖ. "Αν διακόψουμε ἀπότομα τὸ ρεῦμα, ὁ λαμπτήρας γιά ἐλάχιστο χρονικό διάστημα φωτοβολεῖ πολὺ δυνατά. Αὐτό συμβαίνει, γιατί ή διακοπή τοῦ ρεύματος προκαλεῖ ἀπότομη μεταβολὴ τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνάει ἀπό τό πηνίο. Ἐτσι στό κύκλωμα πού ἀποτελοῦν τό πηνίο καὶ ὁ λαμπτήρας ἀναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη αὐτεπαγωγῆς, πού γιά ἐλάχιστο χρόνο δημιουργεῖ ἔνα ισχυρό ρεῦμα αὐτεπαγωγῆς, δομόρροπο μέ τὸ ρεῦμα πού διακόψαμε.

β. Ηλεκτρεγερτική δύναμη αὐτεπαγωγῆς. Ή μεταβολή ΔΦ τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνάει ἀπό τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἀγωγοῦ εἶναι ἀνάλογη μέ τή μεταβολή ΔΙ τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος, δηλαδή ίσχυει ή σχέση:

$$\Delta\Phi = L \cdot \Delta I \quad (1)$$

δπου L είναι ἔνας συντελεστής ἀναλογίας, πού δονομάζεται συντελεστής αὐτεπαγωγῆς τοῦ ἀγωγοῦ καὶ ἔξαρτᾶται ἀπό τό σχῆμα τοῦ ἀγωγοῦ καὶ

τηή μαγνητική διαπεραστήτητα του περιβάλλοντος. Στίς ακρες του άγωγου άναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη πού είναι:

$$E_{\text{ευτεπ}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Από τίς έξισώσεις (1) και (2) βρίσκουμε:

$\text{ήλεκτρεγερτική δύναμη}$ $\text{αύτεπαγωγής}$	$E_{\text{ευτεπ}} = - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$	$\left\{ \begin{array}{l} \Delta I \text{ σε A, } \Delta t \text{ σε sec} \\ L \text{ σε H} \\ E \text{ σε V} \end{array} \right.$
--	--	--

Τό άρνητικό σημείο δικαιολογείται από τό νόμο του Lenz. Ή έξισωση (3) φανερώνει ότι:

Η ήλεκτρεγερτική δύναμη αύτεπαγωγής πού άναπτύσσεται στίς ακρες άγωγου είναι άνάλογη μέ τήν ταχύτητα μεταβολής τής έντασεως του ρεύματος πού διαρρέει τόν άγωγό και άνάλογη μέ τό συντελεστή αύτεπαγωγής ( $L$ ) τού άγωγού.

**Παρατήρηση.** Αν στήν έξισωση (3) είναι  $\Delta I = 1 \text{ A}$  και  $\Delta t = 1 \text{ sec}$ , έχουμε  $|E_{\text{ευτεπ}}| = L$ . Άρα ό συντελεστής αύτεπαγωγής  $L$  τού άγωγου ίσοδιται άριθμητικά μέ τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη αύτεπαγωγής πού άναπτύσσεται στίς ακρες του άγωγου, δταν η ταχύτητα μεταβολής τής έντασεως του ρεύματος είναι  $1 \text{ A/sec}$ .

Μονάδα συντελεστή αύτεπαγωγής. Ή μονάδα συντελεστή αύτεπαγωγής ονομάζεται Henry (1 H) και δρίζεται από τήν έξισωση (3):

$$L = \frac{E_{\text{ευτεπ}} \cdot \Delta t}{\Delta I} \quad \text{άρα} \quad 1 \text{ H} = \frac{1 \text{ V} \cdot 1 \text{ sec}}{1 \text{ A}} \quad \text{και} \quad 1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{sec}}{\text{A}}$$

Έτσι έχουμε τόν έχης όρισμό :

1 Henry (1 H) είναι ό συντελεστής αύτεπαγωγής άγωγού, στόν όποιο άναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη αύτεπαγωγής ίση μέ 1 V, δταν η ταχύτητα μεταβολής τής έντασεως του ρεύματος είναι  $1 \text{ A/sec}$ .

Στήν πράξη χρησιμοποιούμε συνήθως τά ύποπολλαπλάσια τής μονάδας Henry:

1 millihenry:  $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$  και 1 microhenry:  $1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$

Μέ τή μονάδα Henry μετριέται και ό συντελεστής άμοιβαίας έπαγωγής M.

δ. Συντελεστής αύτεπαγωγής πηνίου. "Ενα πηνίο έχει μήκος  $l$  και άποτελείται από  $N$  σπείρες, που καθεμά έχει έμβαδο  $S$ . Αποδεικνύεται ότι διανυτελεστής αύτεπαγωγής  $L_0$  του πηνίου δίνεται από την έξισωση:

$$\text{συντελεστής αύτεπαγωγής πηνίου χωρίς πυρήνα} \quad L_0 = \mu_0 \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

"Αν τό πηνίο ἔχει πυρήνα ἀπό μαλακό σίδηρο, πού ἔχει μαγνητική διαπερατότητα μ., τότε ὁ συντελεστής αὐτεπαγωγῆς  $L$  τοῦ πηνίου είναι  $L = \mu \cdot L_0$

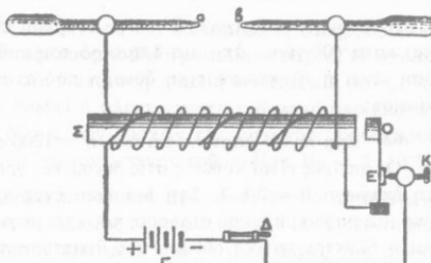
Τό φαινόμενο της αύτεπαγωγῆς είναι ίδιαίτερα ἐντονο στήν περίπτωση πηνίου, γιατί αὐτό ἔχει πολλές σπεῖρες και ή μεταβολή ΔΦ της μαγνητικῆς ροής είναι μεγάλη. Ἀν μάλιστα τό πηνίο ἔχει πυρήνα ἀπό μαλακό σίδηρο, τότε ή μεταβολή της μαγνητικῆς ροής είναι ἀκόμη μεγαλύτερη.

#### 48. Ἐπαγωγικό πηνίο

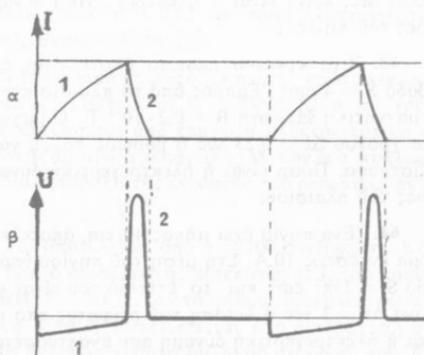
Τό έπαγωγικό σηρίο ή πηνίο τοῦ *Ruhmkorff* (σχ. 62) ἀποτελεῖται ἀπό ἔναν πυρήνα μαλακοῦ σιδήρου γύρω ἀπό τὸν ὅποιο εἶναι τυλιγμένες οἱ λίγες σπεῖρες ἐνός πηνίου Π (πρωτεύον πηνίο). Αὐτό τὸ πηνίο Π βρίσκεται μέσα σὲ ἕνα ἄλλο πηνίο Δ (δευτερεύον πηνίο) πού ἀποτελεῖται ἀπό πολλές σπεῖρες ἐνός λεπτοῦ σύρματος. Οἱ δύο ἄκρες τοῦ πηνίου Δ καταλήγουν στὰ σημεῖα α καὶ β δύο ἀγωγῶν. Στό κύκλωμα ὑπάρχει ἔνας διακόπτης (Ε), πού λειτουργεῖ δπως ὁ διακόπτης πού ὑπάρχει στό ηλεκτρικό κουδούνι. "Ετσι στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Π γίνονται διαδοχικές διακοπές καὶ ἀποκαταστάσεις τοῦ ρεύματος, πού δημιουργοῦν στό ἄλλο πηνίο Δ ἀντίστοιχα ἐπαγωγικά ρεύματα." Οταν συμβαίνει διακοπή τοῦ ρεύματος στό πηνίο Π, τότε στό πηνίο Δ δημιουργεῖται ἐπαγωγικό ρεῦμα ὅμορροπο μέ τὸ ρεῦμα τοῦ πηνίου Π. Καὶ ἀντίθετα, ὅταν συμβαίνει ἀποκατάσταση τοῦ ρεύματος στό πηνίο Π, τότε στό πηνίο Δ δημιουργεῖται ἐπαγωγικό ρεῦμα ἀντίρροπο μέ τὸ ρεῦμα τοῦ πηνίου Π. "Ετσι στίς ἄκρες α καὶ β τοῦ πηνίου Δ ἀναπτύσσεται ἐναλλασσόμενη τάση, πού μπορεῖ νά φτάσει σε πολλές χιλιάδες βόλτ, γιατί οἱ σπεῖρες τοῦ πηνίου Δ εἶναι πολύ περισσότερες ἀπό τίς σπεῖρες τοῦ πηνίου Π καὶ ἐπομένως ή μεταβολή (ΔΦ) τῆς μαγνητικῆς ροής στό πηνίο Δ πολλαπλασιάζεται. Μεταξύ τῶν σημείων α καὶ β σχηματίζονται τότε ἐναλλασσόμενοι ηλεκτρικοὶ σπινθήρες, πού φανερώνουν διτὴ τάση στὰ σημεῖα α καὶ β εἰναι τόσο μεγάλη, ὥστε τό ρεῦμα πού κυκλοφορεῖ στό πηνίο Δ μπορεῖ νά περάσει καὶ μέσα ἀπό ἕνα στρῶμα ἀέρα. "Η συχνότητα τῶν ἐναλλαγῶν τοῦ ρεύματος στό κύκλωμα τοῦ πηνίου Δ εἶναι ἵση μέ τὸν ἀριθμό τῶν διακοπῶν τοῦ ρεύματος στό κύκλωμα τοῦ

πηνίου Π. Γιά νά αύξήσουμε τή συχνότητα χρησιμοποιούμε ειδικούς διακόπτες πού προκαλούν χιλιάδες διακοπές κατά δευτερόλεπτο. "Αν ή άπόσταση τῶν σημείων  $\alpha$  και  $\beta$  γίνει μεγαλύτερη από ένα δριο, οι σπινθήρες σχηματίζονται μόνο κατά τή μιά φορά και άντιστοιχούν στίς διακοπές τοῦ ρεύματος, πού είναι πολύ άπότομες. Τότε ή ταχύτητα μεταβολής τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος είναι πολύ μεγάλη και έπομένως ή ήλεκτρεγερτική δύναμη έπαγωγής πού άντιστοιχεῖ στή διακοπή είναι πολύ μεγάλη (σχ. 63).

Τό έπαγωγικό πηνίο τό χρησιμοποιούσαν γιά νά παράγουν ψηλές τάσεις. Σήμερα ή χρήση του είναι περιορισμένη. Μιά μορφή έπαγωγικοῦ πηνίου είναι ο πολλαπλασιαστής, πού χρησιμοποιούμε στό αύτοκίνητο γιά τήν παραγωγή τοῦ ήλεκτρικοῦ σπινθήρα στό βενζινοκινητήρα.



Σχ. 62 'Έπαγωγικό πηνίο (σχηματική παράσταση)



Σχ. 63. Άποκατάσταση (1) και διακοπή (2) τοῦ πρωτεύοντος ρεύματος. β. Τάση στίς άκρες τοῦ δευτερεύοντος πηνίου κατά τήν άποκατάσταση (1) και τή διακοπή (2) τοῦ πρωτεύοντος ρεύματος.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

60. Ένα κυκλικό πλαίσιο άποτελείται από  $n = 5$  σπείρες, πού καθεμιά έχει έμβαδο  $S = 20 \text{ cm}^2$ . Τό πλαίσιο έχει άντισταση  $R = 0,2 \Omega$ , και είναι κάθετο στίς δυναμικές γραμμές δύογενος μαγνητικού πεδίου, πού έχει μαγνητική έπαγωγή  $B = 4 \text{ T}$ . Μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 0,02 \text{ sec}$  τό πλαίσιο στρέφεται κατά  $90^\circ$  γύρω από μιά διάμετρό του κάθετη στίς δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου. 1) Πόση είναι ή ήλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή πού άναπτύσσεται στίς άκρες τοῦ πλαισίου; 2) Πόση είναι ή ένταση τοῦ έπαγωγικοῦ ρεύματος και τό ήλεκτρικό φορτίο πού άναπτύσσεται από έπαγωγή;

61. Ένα κυκλικό πλαίσιο άποτελείται από  $n = 10$  σπείρες, πού έχουν διάμετρο  $20 \text{ cm}$ . Τό πλαίσιο είναι κάθετο στίς δυναμικές γραμμές δύογενος μαγνητικού πεδίου

πού έχει μαγνητική έπαγωγή  $B = 1,6 \text{ T}$ . Μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 0,004 \text{ sec}$  τό πλαίσιο στρέφεται κατά  $60^\circ$  γύρω από μιά διάμετρό του κάθετη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται από έπαγωγή στις άκρες του πλαισίου;

62. "Ενα πηνίο άποτελείται από  $n = 1000$  σπείρες πού καθεμιά έχει έμβαδό  $S = 50 \text{ cm}^2$ . Οι σπείρες είναι κάθετες στις δυναμικές γραμμές μαγνητικού πεδίου πού έχει μαγνητική έπαγωγή  $B = 2,8 \text{ T}$ . Στή διάρκεια ένός χρόνου  $\Delta t = 0,04 \text{ sec}$  βάζουμε μέσα στό πηνίο μιά ράβδο μαλακού σιδήρου, πού έχει μαγνητική διαπερατότητα  $\mu = 1240$ . 1) Πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται από έπαγωγή στις άκρες του πηνίου; 2) Τό πηνίο έχοντας μέσα του τόν πυρήνα μαλακού σιδήρου στρέφεται γύρω από οποιανα κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου, ώσπου οι σπείρες νά γίνουν παράλληλες με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου. "Αν ή στροφή του πηνίου γίνει μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 0,01 \text{ sec}$ , πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται από έπαγωγή στις άκρες του πηνίου;

63. "Ενα κυκλικό πλαίσιο άποτελείται από  $n = 100$  σπείρες, πού καθεμιά έχει έμβαδό  $S = 4 \text{ cm}^2$ . Έμπρος από τό πλαίσιο περιστρέφεται ένας μαγνήτης, πού δημιουργεί μαγνητική έπαγωγή  $B = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ . 'Ο μαγνήτης περιστρέφεται έτσι, ώστε στή διάρκεια χρόνου  $\Delta t = 0,25 \text{ sec}$  διάρρειος πόλος νά παίρνει τή θέση του νότιου πόλου και άντιστροφα. Πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή πού άναπτύσσεται στις άκρες του πλαισίου;

64. "Ενα πηνίο έχει μήκος  $40 \text{ cm}$ , άποτελείται από 200 σπείρες και διαρρέεται από ρεύμα έντασεως  $10 \text{ A}$ . Στή μέση του πηνίου υπάρχει ένας κυκλικός άγωγός πού έχει έμβαδό  $S = 25\pi^2 \text{ cm}^2$  και τό έπιπεδό του είναι κάθετο στόν ξένονα του πηνίου. Μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 2 \text{ sec}$  ή ένταση του ρεύματος στό πηνίο αλένει από  $10 \text{ A}$  σε  $15 \text{ A}$ . Πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται από έπαγωγή στις άκρες του κυκλικού άγωγού;  $\pi^2 \approx 10$ .

65. "Ενα κυκλικό πλαίσιο έχει άκτινα  $10 \text{ cm}$ , άποτελείται από  $n = 100$  σπείρες, έχει άντισταση  $R = 6,28 \Omega$  και άρχικά τό έπιπεδό του ταυτίζεται με τό έπιπεδο του μαγνητικού μεσημβριού. 'Απότομα στρέφουμε τό πλαίσιο κατά  $180^\circ$ . Πόσο ηλεκτρικό φορτίο άναπτύχθηκε από έπαγωγή στό πλαίσιο; 'Οριζόντια συνιστώσα τής μαγνητικής έπαγωγής του γήινου μαγνητικού πεδίου  $B_0 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ .

66. "Ενα πηνίο  $P_1$  έχει μήκος  $l = 40 \text{ cm}$ , άποτελείται από  $N_1 = 2000$  σπείρες, έχει άντισταση  $R_1 = 256 \Omega$  και στις άκρες του έφαρμόζεται τάση  $U = 16 \text{ V}$ . Γύρω από τό κεντρικό τημῆμα τού πηνίου  $P_1$  υπάρχει ένα άλλο πηνίο  $P_2$  πού άποτελείται από  $N_2 = 20$  σπείρες, με διάμετρο  $10 \text{ cm}$ . Τό πηνίο  $P_2$  έχει άντισταση  $R_2 = 12 \Omega$ . Πόσο ηλεκτρικό φορτίο άναπτύσσεται από έπαγωγή μέσα στό πηνίο  $P_2$ , όταν διακοπεί τό ρεύμα στό πηνίο  $P_1$ ;

67. "Ενα κυκλικό πλαίσιο άποτελείται από 100 σπείρες, πού καθεμιά έχει έμβαδό  $S = 1 \text{ m}^2$ . Τό πλαίσιο έχει άντισταση  $R = 1 \Omega$  και οι σπείρες του είναι κάθετες στις δυναμικές γραμμές του γήινου μαγνητικού πεδίου. Οι δύο άκρες του πλαισίου συνδέονται μέ βαλλιστικό γαλβανόμετρο, πού έχει άντισταση  $r = 9 \Omega$  και δείχνει τό ηλεκτρικό φορτίο πού περνάει από τό κύκλωμα. Στρέφουμε απότομα τό πλαίσιο κατά  $90^\circ$ , ώστε τό έπιπεδό του νά γίνει παράλληλο με τις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Τότε από τό γαλβανόμετρο περνάει ηλεκτρικό φορτίο  $1/2500 \text{ Cb}$ . 1) Πόση είναι ή μαγνητική έπαγωγή  $B$  τού γήινου μαγνητικού πεδίου;

68. Οι δύο παράλληλες ράβδοι μιας δριζόντιας και εθύνγραμμης σιδηροδρομικής γραμμής στή μια ακρη τους συνδέονται μεταξύ τους μέσω διαλλική ράβδου.<sup>3</sup> Η άποσταση τών δύο ράβδων της γραμμής είναι 144 cm. Πάνω στή γραμμή κινείται μιά σιδηροδρομική μηχανή με ταχύτητα 100 km/h. Νά βρεθεί ή ηλεκτρεγερτική δύναμη άπό έπαγωγή πού άναπτύσσεται στίς δύο ακρες ένδος ξενα τών τροχών της μηχανής. Κατακόρυφη συνιστώσα της μαγνητικής έπαγωγής τού γήινου μαγνητικού πεδίου  $B_K = 5 \cdot 10^{-4}$  T.

69. "Ενα ρεύμα έντασεως 12 A διαρρέει πηνίο πού έχει συντελεστή αύτεπαγωγής 0,2 H. Μέσα σέ χρόνο 0,04 sec ή ένταση τού ρεύματος έλαττώνεται σέ 3 A. 1) Πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται άπό αύτεπαγωγή στίς ακρες τού πηνίου; 2) Πόσο πρέπει νά μεταβληθεί ή ένταση τού ρεύματος, για νά είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη άπό αύτεπαγωγή ίση μέ 30 V;

70. "Ενα πηνίο έχει συντελεστή αύτεπαγωγής 0,063 H και διαρρέεται άπό ρεύμα έντασεως 2 A. "Αν τό ρεύμα διακοπεί μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 0,02$  sec, πόση ηλεκτρεγερτική δύναμη άπό αύτεπαγωγή άναπτύσσεται στίς ακρες τού πηνίου;

71. Μεταξύ δύο κυκλωμάτων ύπαρχε έπαγωγική σύζευξη."Οταν στό πρώτο κύκλωμα ή ένταση τού ρεύματος μεταβάλλεται άπό  $I_1 = 1000$  A σέ  $I_2 = 200$  A μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 1$  sec, τότε στό δεύτερο κύκλωμα άναπτύσσεται άπό έπαγωγή ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E = 5$  V. 1) Πόσος είναι ο συντελεστής άμοιβαίς έπαγωγής M τών δύο κυκλωμάτων; 2) Σέ πόσο χρόνο πρέπει νά γίνει η ίδια μεταβολή της έντασεως τού ρεύματος, αν θέλουμε νά είναι E = 100 V;

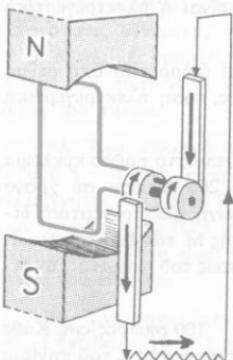
72. "Ενα πηνίο έχει μήκος  $l = 1$  m και άποτελείται άπό  $n = 100$  σπείρες/cm. Κάθε σπείρα έχει άκτινα  $r = 6$  cm. 1) Πόσος είναι ο συντελεστής αύτεπαγωγής L τού πηνίου; 2) Τό πηνίο διαρρέεται άπό ρεύμα έντασεως I = 10 A. "Αν τό ρεύμα διακοπεί μέσα σέ χρόνο  $\Delta t = 0,5$  sec, πόση ηλεκτρεγερτική δύναμη άναπτύσσεται άπό αύτεπαγωγή στίς ακρες τού πηνίου; 3) "Αν μέσα στό πηνίο βάλουμε πυρήνα μαλακού σιδήρου, πού έχει μαγνητική διαπερατότητα  $\mu = 1000$ , πόσος γίνεται ο συντελεστής αύτεπαγωγής τού πηνίου και πόση είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται άπό αύτεπαγωγή, οταν τό ρεύμα έντασεως 10 A καταγρείται μέσα σέ 0,5 sec;

73. "Ενα πηνίο έχει άντισταση R = 11 Ω, συντελεστή αύτεπαγωγής L = 0,1 H και στίς ακρες του έφαρμόζεται τάση U = 110 V. 1) Πόση είναι τελικά ή ένταση  $I_0$  τού ρεύματος; 2) Η ένταση τού ρεύματος συνεχώς αυξάνει άπό 0 ώς  $I_0$ . "Οταν ή ένταση έχει φτάσει τήν τιμή I = 3 A, πόση είναι ή πτώση τάσεως άποκλειστικά πάνω στήν άντισταση R; 3) Πόση είναι τότε ή ταχύτητα μεταβολής της έντασεως τού ρεύματος;

## 'Εναλλασσόμενο ρεύμα

### 49. Εξισώσεις τοῦ ἑναλλασσόμενου ρεύματος

α. Μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροής. "Ένα δροθογώνιο πλαισίο ἀπό χάλκινο σύρμα, πού ἡ ἐπιφάνειά του ἔχει ἐμβαδό  $S$ , στρέφεται μέ σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  μέσα σέ δόμογενές μαγνητικό πεδίο, πού ἔχει μαγνητική ἐπαγωγή  $B$  (σχ. 64)." Ο ἄξονας περιστροφῆς τοῦ πλαισίου είναι κάθετος στίς δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου. "Οταν τό πλαισίο στρέφεται, ἡ μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό τό πλαισίο συνεχῶς μεταβάλλεται καί σέ κάθε στιγμή ἰσχύει ἡ ἔξισωση:



Σχ. 64. 'Η ὀμαλή περιστροφή τοῦ πλαισίου μέσα στό δόμογενές μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖ στίς ἄκρες τοῦ πλαισίου ήμιτονοειδή τάση

$$U_0 = U_\theta \cdot \eta \omega$$

Ἐπομένως ἡ ἔξισωση (1) γράφεται :

$$\text{μεταβολή τῆς} \\ \text{μαγνητικῆς ροῆς}$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin \omega t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{B σέ T, S σέ m}^2 \\ \Phi \text{ σέ Wb} \end{array} \right. \quad (2)$$

Ἡ ἔξισωση (2) φανερώνει ὅτι:

"Οταν τό πλαισίο στρέφεται ὀμαλά, ἡ μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό τό πλαισίο είναι ἀρμονική συνάρτηση τοῦ χρόνου.

Τό μέγεθος  $\omega$  δόνομάζεται κυκλική συχνότητα καί συνδέεται μέ τήν περίοδο  $T$  καί τή συχνότητα  $v$  μέ τή γνωστή σχέση  $\omega = 2\pi/T = 2\pi v$ .

β. 'Εναλλασσόμενη τάση. "Οταν τό πλαισίο στρέφεται, ἡ μαγνητική ροή πού περνάει ἀπό αὐτό συνεχῶς μεταβάλλεται σύμφωνα μέ τήν ἔξισωση

(2). Έπομένως στίς άκρες τοῦ πλαισίου άναπτύσσεται έπαγωγική τάση  $U$  (ή ήλεκτροεγερτική δύναμη έπαγωγῆς), πού τό μέτρο της σέ κάθε χρονική στιγμή δίνεται άπό τήν έξισωση (\*):

$$U = \omega \cdot B \cdot S \cdot \eta \mu \omega \quad (3)$$

"Όταν γίνεται  $\eta \mu \omega = \pm 1$ , τότε η έπαγωγική τάση άποκτά τή μέγιστη άπολυτη τιμή  $U_0$ , πού δονομάζεται πλάτος τής τάσεως καί έχει μέτρο ίσο με:

$$\text{πλάτος τής τάσεως } U_0 = \omega \cdot B \cdot S$$

$$\begin{cases} B \text{ σέ } T, S \text{ σέ } m^2 \\ U_0 \text{ σέ } V \end{cases}$$

"Ωστε ή έξισωση (3) πού δίνει τή στιγμιαία τάση γράφεται:

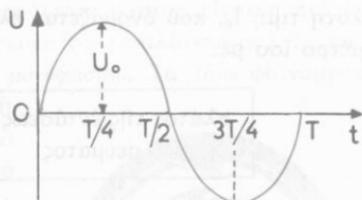
$$\text{στιγμιαία τάση } U = U_0 \cdot \eta \mu \omega \quad (4)$$

"Η έξισωση (4) φανερώνει ότι:

"Όταν ένα συρραματένιο πλαίσιο στρέφεται άμαλά μέσα σέ όμοιγενές μαγνητικό πεδίο, τότε στίς δύο άκρες τοῦ πλαισίου άναπτύσσεται έπαγωγική τάση, πού τό μέτρο της είναι ήμιτονοειδής συνάρτηση τοῦ χρόνου.

Αυτή η έπαγωγική τάση δονομάζεται ήμιτονοειδής έναλλασσόμενη τάση ή καί άπλα έναλλασσόμενη τάση. Γενικά τέτοιες τάσεις χρησιμοποιούμε στίς έφαρμογές. Η μεταβολή τής τάσεως  $U$  σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο  $t$  φαίνεται άπό τήν ήμιτονοειδή καμπύλη τοῦ σχήματος 65. Από τίς έξισώσεις (2) καί (4) σχηματίζουμε τόν έξης πίνακα:

φάση ( $\omega t$ )	:	0	$\frac{\pi}{2}$	$\pi$	$\frac{3\pi}{2}$	$2\pi$
μαγνητική ροή ( $\Phi$ )	:	$\Phi_{\max}$	0	$-\Phi_{\max}$	0	$\Phi_{\max}$
έπαγωγική τάση ( $U$ )	:	0	$U_0$	0	$-U_0$	0



Σχ. 65. Η τάση  $U$  στίς δύο άκρες τοῦ πλαισίου μεταβάλλεται ήμιτονοειδώς.

(\*) Από τά Μαθηματικά ξέρουμε ότι η συνάρτηση  $y = a \cdot \sin \omega x$  έχει παράγωγο  $\frac{dy}{dx} = -a \omega \cdot \eta \mu \omega$  δπου  $a$  είναι σταθερός παράγοντας.

$U = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \cdot B \cdot S \cdot \eta \mu \omega$

Παρατηρούμε ότι ή τάση λαβαίνει τή μέγιστη άπόλυτη τιμή  $U_0$ , όταν ή μαγνητική ροή γίνεται ίση μέ μηδέν (τό πλαίσιο παράλληλο μέ τις δυναμικές γραμμές) και ή τάση γίνεται ίση μέ μηδέν ( $U = 0$ ), όταν ή μαγνητική ροή λαβαίνει τή μέγιστη άπόλυτη τιμή  $\Phi_{\max}$  (τό πλαίσιο κάθετο στις δυναμικές γραμμές).

γ. Τό ρεῦμα στό έξωτερικό κύκλωμα. Οί άκρες τοῦ πλαισίου συνδέονται μέ δύο μονωμένους δακτυλίους πού είναι στερεωμένοι στόν ξένονα περιστροφής και στρέφονται μαζί μέ τό πλαίσιο (σχ. 64).

Συνδέουμε τούς δύο δακτυλίους (δηλαδή τίς άκρες τοῦ πλαισίου) μέ ένα σύρμα πού έχει άντίσταση  $R$ . Λέμε ότι τό έξωτερικό κύκλωμα είναι μιά ώμική άντίσταση  $R$ . Τότε τό έξωτερικό κύκλωμα διαρρέεται άπό έναλλασσόμενο ρεῦμα, δηλαδή ρεῦμα πού ή φορά του περιοδικά έναλλάσσεται. Αντό τό ρεῦμα σέ κάθε στιγμή έχει ένταση  $I$ , πού δίνεται άπό τήν έξισωση:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_0 \cdot \eta \mu \omega t}{R} \quad \text{και} \quad I = \frac{U}{R} \cdot \eta \mu \omega \quad (5)$$

"Όταν γίνεται ημ ωτ = ± 1, ή ένταση τοῦ ρεύματος άποκτά τή μέγιστη άπόλυτη τιμή  $I_0$ , πού δονομάζεται πλάτος τής έντάσεως τοῦ ρεύματος και έχει μέτρο ίσο μέ:

πλάτος τής έντάσεως τοῦ ρεύματος	$I_0 = \frac{U_0}{R}$	$\left\{ \begin{array}{l} U_0 \text{ σέ } V, R \text{ σέ } \Omega \\ I_0 \text{ σέ } A \end{array} \right.$
-------------------------------------	-----------------------	---

"Ωστε ή έξισωση (5) γράφεται:

στιγμαία ένταση τοῦ ρεύματος	$I = I_0 \cdot \eta \mu \omega t$	(6)
------------------------------	-----------------------------------	-----

"Η έξισωση (6) φανερώνει δτι:

Στό έξωτερικό κύκλωμα τοῦ στρεφόμενου πλαισίου κυκλοφορεῖ έναλλασσόμενο ρεῦμα, πού ή έντασή του είναι ήμιτονοειδής συνάρτηση τοῦ χρόνου (ήμιτονοειδές ρεῦμα).

Το Η μεταβολή τής έντάσεως  $I$  τοῦ ρεύματος σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο τ φαίνεται άπό τήν ήμιτονοειδή καμπύλη τοῦ σχήματος 66. "Όταν τό έξωτερικό κύκλωμα άποτελεῖται μόνο άπό ώμική άντίσταση  $R$  και δέν ίπάρχει πηνίο ή πυκνωτής, τότε ή ένταση τοῦ ρεύματος λαβαίνει τή μέγιστη και

τήν έλάχιστη τιμή της ταυτόχρονα μέτρη τάσης, δηλαδή σ' αυτή τήν περίπτωση ή τάση ( $U$ ) και ή ένταση ( $I$ ) του ρεύματος έχουν πάντοτε τήν ίδια φάση ωτ.

δ. "Αλλή μορφή τῶν ἔξισώσεων τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος. "Οταν λέμε έναλλασσόμενο ρεύμα, έννοοῦμε ήμιτονοειδές ρεῦμα πού έχει περίοδο  $T$ , συχνότητα  $v$  και κυκλική συχνότητα  $\omega = 2\pi/T = 2\pi v$ . "Ωστε οἱ ἔξισώσεις (4) και (6) μποροῦν νά λάβουν και τήν ἔχῆς μορφή:

$$\text{στιγμιαία τάση } U = U_0 \cdot \eta \mu \frac{2\pi t}{T} \quad \text{η } U = U_0 \cdot \eta \mu 2\pi vt$$

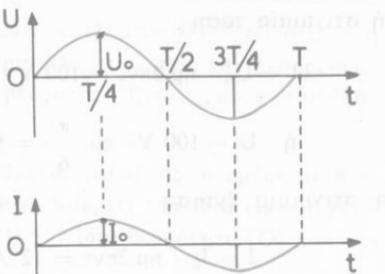
$$\text{στιγμιαία ένταση ρεύματος } I = I_0 \cdot \eta \mu \frac{2\pi t}{T} \quad \text{η } I = I_0 \cdot \eta \mu 2\pi vt$$

ε. Μονοφασικός έναλλακτήρας. Τό στρεφόμενο πλαισίο είναι η πιο άπλη μορφή γεννήτριας έναλλασσόμενου ρεύματος (έναλλακτήρας). Τό παραγόμενο έναλλασσόμενο ρεύμα λέγεται μονοφασικό. Τά ίδια φαινόμενα παρατηροῦμε και διαν ένας μαγνήτης ή ήλεκτρομαγνήτης (έπαγωγέας) στρέφεται μέτρη σταθερή γωνιακή ταχύτητα έμπρος άπό άκινητο πλαισίο ή πηνίο (έπαγώγμα). Στήν πράξη ο έπαγωγέας άποτελεῖται άπό ζεύγη μαγνητικῶν πόλων και τό έπαγώγιμο άποτελεῖται άπό τόσα πηνία, δσοι είναι οἱ μαγνητικοὶ πόλοι του έπαγωγέα (σχ. 67).

Τά έναλλασσόμενα ρεύματα πού χρησιμοποιοῦμε στίς συνηθισμένες έφαρμογές (στή βιομηχανία, στό σπίτι) έχουν συχνότητα 50 ώς 60 Hz (χαμηλή συχνότητα).

**Παράδειγμα.** "Ενα έναλλασσόμενο ρεύμα έχει συχνότητα  $v = 40$  Hz, πλάτος τάσεως  $U_0 = 100$  V και πλάτος έντασεως του ρεύματος  $I_0 = 12$  A.

Κατά τή χρονική στιγμή  $t = \frac{1}{480}$  sec είναι:



Σχ. 66 Η τάση  $U$  και ή ένταση  $I$  τού ρεύματος μεταβάλλονται ήμιτονοειδώς σε συνάρτηση μέτρη το χρόνο και έχουν πάντοτε τήν ίδια φάση.



Σχ. 67. Μονοφασικός έναλλακτήρας

ή στιγμαία τάση

$$U = U_0 \cdot \eta \mu 2\pi n t = 100 \text{ V} \cdot \eta \mu \left( 2\pi \cdot 40 \text{ sec}^{-1} \cdot \frac{1}{480} \text{ sec} \right)$$

$$\text{ή } U = 100 \text{ V} \cdot \eta \mu \frac{\pi}{6} = 100 \text{ V} \cdot \frac{1}{2} \quad \text{και } U = 50 \text{ V}$$

ή στιγμαία ένταση

$$I = I_0 \cdot \eta \mu 2\pi n t = 12 \text{ A} \cdot \eta \mu \frac{\pi}{6} \quad \text{και } I = 6 \text{ A}$$

## 50. 'Αποτελέσματα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος

"Οπως τό συνεχές ρεῦμα, ἔτσι καὶ τό έναλλασσόμενο ρεῦμα προκαλεῖ θερμικά, χημικά καὶ μαγνητικά φαινόμενα.

α. "Οταν ένας άγωγός διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεῦμα, τότε πάνω σ' αὐτό τόν άγωγό άναπτύσσεται θερμότητα έξαιτίας τοῦ φαινομένου Joule, πού είναι άνεξάρτητο από τή φορά τοῦ ρεύματος. "Ωστε στό έναλλασσόμενο ρεῦμα έμφανίζεται τό φαινόμενο Joule, δημοσίευσης συμβαίνει καὶ στό συνεχές ρεῦμα.

β. Σέ ένα βολτάμετρο ύπάρχει άραιό διάλυμα θειικοῦ δξέος. "Αν συνδέσουμε τά δύο ήλεκτρόδια τοῦ βολταμέτρου μέ τούς πόλους ένός έναλλακτήρα, τότε κάθε ήλεκτρόδιο γίνεται διαδοχικά ἄνοδος καὶ κάθοδος, δηλαδή περιοδικά ἀλλάζει ή πολικότητα τοῦ ήλεκτροδίου. "Ετσι δέν μποροῦμε νά μαζέψουμε χωριστά τά προϊόντα τῆς ήλεκτρολύσεως (δηλαδή τό ύδρογόνο καὶ τό δξυγόνο). "Ωστε τό έναλλασσόμενο ρεῦμα προκαλεῖ τό φαινόμενο τῆς ήλεκτρολύσεως, ἀλλά ή πολικότητα τῶν ήλεκτροδίων τοῦ βολταμέτρου μεταβάλλεται περιοδικά.

γ. "Ένας εύθυγραμμος άγωγός πού διαρρέεται από έναλλασσόμενο ρεῦμα δημιουργεῖ γύρω του μαγνητικό πεδίο, δημοσίευσης συμβαίνει καὶ ὅταν διαρρέεται από συνεχές ρεῦμα, μέ τή διαφορά δμως ὅτι ή φορά τῶν δυναμικῶν γραμμῶν καὶ ή φορά τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς (B) περιοδικά ἀντιστρέφεται. "Ωστε τό έναλλασσόμενο ρεῦμα δημιουργεῖ έναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο.

## 51. 'Ενεργός ένταση έναλλασσόμενου ρεύματος

"Ένα έναλλασσόμενο ρεῦμα έχει πλάτος ἐντάσεως  $I_0$  καὶ ἐπί χρόνο τι διαρρέει μιά ώμική ἀντίσταση R. Ξέρουμε ὅτι τό έναλλασσόμενο ρεῦμα παράγει τό φαινόμενο Joule καὶ ἐπομένως πάνω στήν ἀντίσταση R άναπτύσσεται δρισμένη θερμότητα Q. "Ένα συνεχές ρεῦμα πού διαρρέει τήν ίδια

άντισταση  $R$ , άναπτύσσει τήν ίδια θερμότητα  $Q$  στόν ίδιο χρόνο  $t$ , αν ή ένταση τού συνεχούς ρεύματος έχει μιά δρισμένη τιμή, πού τήν ονομάζουμε **ένεργο ένταση** ( $I_{ev}$ ) τού έναλλασσόμενου ρεύματος. Έτσι έχουμε τόν έξης δρισμό:

**Ένεργος ένταση** ( $I_{ev}$ ) τού έναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζεται ή **ένταση** ένός συνεχούς ρεύματος πού, όταν διαρρέει τήν ίδια ώμική άντισταση ( $R$ ), παράγει στόν ίδιο χρόνο ( $t$ ) τήν ίδια θερμότητα ( $Q$ ) πού παράγει και τό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Αποδεικνύεται ότι:

Η ένεργος ένταση ( $I_{ev}$ ) τού έναλλασσόμενου ρεύματος είναι ίση μέ τό πηλικό τού πλάτους τής έντάσεως ( $I_0$ ) τού ρεύματος διά τής τετραγωνικής ρίζας τού 2.

$$\text{ένεργος ένταση} \quad I_{ev} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad \text{ή} \quad I_{ev} = 0,707 I_0$$

Η ένεργος ένταση τού έναλλασσόμενου ρεύματος μετριέται άμεσως μέ τά θεομικά άμπερόμετρα.

## 52. Ένεργος τάση

Ένας άγωγός (σύρμα) έχει μόνο ώμική άντισταση  $R$ , πού είναι ή ίδια και στό συνεχές και στό έναλλασσόμενο ρεῦμα. Στίς ακρες τού άγωγού έφαρμόζεται ή έναλλασσόμενη τάση  $U = U_0 \cdot \eta$  ωτ και ή άγωγός διαρρέεται άπό έναλλασσόμενο ρεῦμα πού έχει ένεργο ένταση  $I_{ev}$ . Τήν ίδια ένταση ρεύματος ( $I_{ev}$ ) μπορεί νά δημιουργήσει πάνω στήν ίδια άντισταση  $R$  μιά σταθερή τάση, πού έχει δρισμένη τιμή και τήν όποια ονομάζουμε **ένεργο τάση** ( $U_{ev}$ ) τής έναλλασσόμενης τάσεως. Έτσι έχουμε τόν έξης δρισμό:

**Ένεργος τάση** ( $U_{ev}$ ) τής έναλλασσόμενης τάσεως ονομάζεται ή **σταθερή τάση**, ή όποια, όταν έφαρμόζεται στίς ακρες τής ίδιας ώμικής άντιστάσεως ( $R$ ), παράγει συνεχές ρεῦμα, πού έχει ένταση ίση μέ τήν ένεργο ένταση ( $I_{ev}$ ) τού έναλλασσόμενου ρεύματος

Σύμφωνα μέ τόν παραπάνω δρισμό τής ένεργού τάσεως έχουμε τήν έξισωση:

$$U_{ev} = I_{ev} \cdot R \quad \text{ή} \quad U_{ev} = \frac{I_0 \cdot R}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Τή στιγμή πού στίς άκρες της άντιστάσεως  $R$  ή έναλλασσόμενη τάση έχει τήν τιμή  $U_0$ , τότε ισχύει ή έξισωση:

$$U_0 = I_0 \cdot R \quad (2)$$

Έτσι άπό τις έξισώσεις (1) και (2) βρίσκουμε ότι:

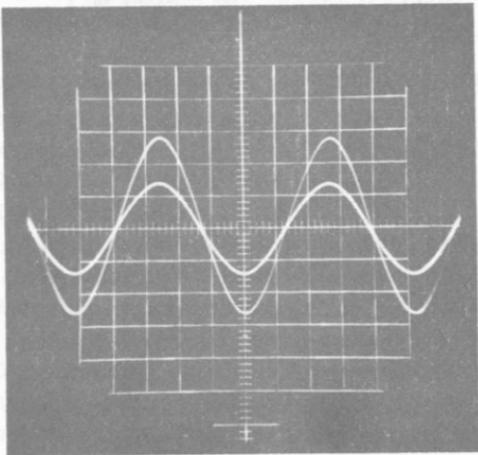
Η ένεργος τάση ( $U_{ev}$ ) μιᾶς έναλλασσόμενης τάσεως είναι ίση με τό πηλίκο τοῦ πλάτους της τάσεως ( $U_0$ ) διά της τετραγωνικῆς ρίζας τοῦ 2.

$$\boxed{\text{ένεργος τάση} \quad U_{ev} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \quad \text{ή} \quad U_{ev} = 0,707 \cdot U_0}$$

### 53. Ο νόμος τοῦ Ohm σέ κύκλωμα μέ ώμική άντισταση

Ένα κύκλωμα άποτελεῖται μόνο άπό ώμική άντισταση  $R$  και στίς άκρες της έφαρμόζεται ή έναλλασσόμενη τάση:

$$U = U_0 \cdot \eta \mu \omega \quad (1)$$



Σχ. 68. Παρατήρηση στόν παλμογράφο. Οι καμπύλες της τάσεως  $U$  και της έντασεως ρεύματος  $I$  έχουν τήν ίδια φάση.

Στό έναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλῆς συχνότητας ή άντισταση  $R$  συμπεριφέρεται όπως και στό συνεχές ρεύμα, δηλαδή όλη ή ήλεκτρική ένέργεια μετατρέπεται πάνω στήν άντισταση  $R$  σέ θερμότητα. Η άντισταση  $R$  διαρρέεται άπό έναλλασσόμενο ρεύμα πού ή στιγμαία έντασή του, σύμφωνα μέ τό νόμο τοῦ *Ohm*, είναι:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\text{ή} \quad I = \frac{U_0}{R} \cdot \eta \mu \omega \quad (2)$$

Οι έξισώσεις (1) και (2) δείχνουν ότι ή τάση ( $U$ ) και ή ένταση ( $I$ ) τοῦ ρεύματος έχουν πάντοτε τήν ίδια φάση (σχ. 68). Από τήν έξισωση (2) βρίσκουμε ότι τό πλάτος ( $I_0$ ) της έντασεως τοῦ ρεύματος είναι :

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \quad (3)$$

Ξέρουμε ότι είναι:

$$I_0 = I_{ev} \cdot \sqrt{2} \quad \text{καὶ} \quad U_0 = U_{ev} \cdot \sqrt{2}$$

Άν βάλουμε αυτές τις τιμές των  $I_0$  καὶ  $U_0$  στήν έξισωση (3), βρίσκουμε ότι σ' αυτή τήν περίπτωση δύναμος τοῦ Ohm δίνεται ἀπό τήν έξισωση:

$$\text{νόμος τοῦ Ohm} \quad I_{ev} = \frac{U_{ev}}{R}$$

Από τά παραπάνω συνάγονται τά έχης συμπεράσματα:

- I. Σέ κύκλωμα πού ἀποτελεῖται μόνο ἀπό ώμική ἀντίσταση  $R$  ἡ τάση ( $U$ ) καὶ ἡ ἔνταση ( $I$ ) τοῦ ρεύματος ἔχουν πάντοτε τήν ίδια φάση.
- II. Ἡ ἐνεργός ἔνταση τοῦ ρεύματος ( $I_{ev}$ ) είναι ἵση μὲ τό πηλίκο τῆς ἐνεργού τάσεως ( $U_{ev}$ ) διά τῆς ώμικῆς ἀντιστάσεως ( $R$ ) τοῦ κυκλώματος.

**Παρατήρηση.** Σέ ἔνα κύκλωμα ἐναλλασσόμενου ρεύματος μπορεῖ νά ύπαρχουν ώμική ἀντίσταση  $R$ , πηνίο μὲ συντελεστή αὐτεπαγωγῆς  $L$  καὶ πυκνωτής μὲ χωρητικότητα  $C$ . Σ' αυτή τήν περίπτωση δύναμος τοῦ Ohm ἐκφράζεται μὲ διαφορετική έξισωση.

#### 54. Μέση ίσχυς τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος

Έχουμε ἔνα κύκλωμα πού ἀποτελεῖται μόνο ἀπό ώμική ἀντίσταση  $R$ . Άν στίς ἄκρες τοῦ κυκλώματος ἐφαρμόσουμε μιά σταθερή τάση  $U$ , τό κύκλωμα διαρρέεται ἀπό συνεχές ρεῦμα πού ἔχει σταθερή ἔνταση  $I$ . Ἐπειδή τά μεγέθη  $U$  καὶ  $I$  είναι σταθερά, ἡ ίσχυς  $P = U \cdot I$  τοῦ συνεχοῦς ρεύματος είναι σταθερή.

Άν δώμας στίς ἄκρες τοῦ κυκλώματος ἐφαρμόσουμε μιά ἐναλλασσόμενη τάση  $U = U_0 \cdot \eta$  ωτ, τότε τό κύκλωμα διαρρέεται ἀπό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα πού ἔχει στιγμαία ἔνταση  $I = I_0 \cdot \eta$  ωτ. Ἐπομένως στή διάρκεια μιᾶς περιόδου  $T$  ἡ ίσχυς  $P = U \cdot I$  τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος συνεχῶς μεταβάλλεται. Στή διάρκεια μιᾶς περιόδου  $T$  τό κύκλωμα παίρνει ἀπό τή γεννήτρια ἐνέργεια  $E_T$ . Άρα στή διάρκεια μιᾶς περιόδου  $T$  ἡ μέση ίσχυς  $P_M$  τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

$$\text{μέση ίσχυς} \quad P_M = \frac{E_T}{T}$$

Αποδεικνύεται ότι:

Σέ κύκλωμα πού άποτελείται μόνο από ώμική άντισταση ( $R$ ) ή μέση ίσχυς ( $P_M$ ) τού έναλλασσόμενου ρεύματος είναι άναλογη μέ τήν ένεργο τάση ( $U_{ev}$ ) και τήν ένεργο ένταση ( $I_{ev}$ ) τού ρεύματος.

μέση ίσχυς έναλλασσόμενου ρεύματος

$$P_M = U_{ev} \cdot I_{ev}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{ev} \text{ σέ } V \\ I_{ev} \text{ σέ } A \\ P_M \text{ σέ } W \end{array} \right. \quad (1)$$

Ένέργεια τού έναλλασσόμενου ρεύματος. Στίς ακρες ένος κυκλώματος πού άποτελείται μόνο από ώμική άντισταση  $R$  έφαρμόζεται ένεργος τάση  $U_{ev}$ . Τότε τό έναλλασσόμενο ρεύμα έχει ένεργο ένταση  $I_{ev} = U_{ev}/R$  και μέση ίσχυ  $P_M = U_{ev} \cdot I_{ev}$ . "Αν τό ρεύμα διαρρέει τό κύκλωμα έπι χρόνο  $t$ , τότε τό ρεύμα μεταφέρει ήλεκτρική ένέργεια ( $E_{ηλεκ}$ ) πού είναι ίση μέ :

$$\text{ήλεκτρική ένέργεια } E_{ηλεκ} = P_M \cdot t \quad \text{ή } E_{ηλεκ} = U_{ev} \cdot I_{ev} \cdot t \quad (2)$$

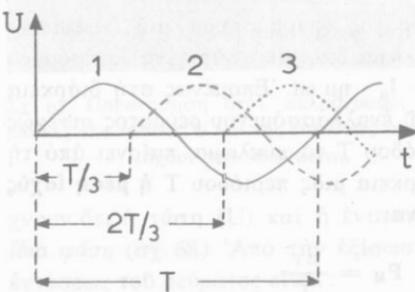
"Επειδή τό κύκλωμα άποτελείται μόνο από ώμική έντισταση ( $R$ ), δηλα αύτή ή ήλεκτρική ένέργεια μετατρέπεται πάνω στήν άντισταση  $R$  σέ θερμότητα.

Σύμφωνα μέ τό νόμο τού Ohm είναι  $U_{ev} = I_{ev} \cdot R$ . "Αρα οι έξισώσεις (1) και (2) γράφονται καί έτσι:

$$P_M = I_{ev}^2 \cdot R \quad \text{καί } E_{ηλεκ} = I_{ev}^2 \cdot R \cdot t$$

## 55. Τριφασικό ρεύμα

a. Όρισμός. Οι μονοφασικοί έναλλακτήρες παράγουν έναλλασσόμενο ρεύμα, πού δνομάζεται μονοφασικό ρεύμα. "Αν τό έξωτερικό κύκλωμα άποτελείται μόνο από ώμική άντισταση ( $R$ ), τότε οι έξισώσεις τού έναλλασσόμενου ρεύματος είναι:



Σχ. 69. Τρία δμοια ρεύματα έχουν τό ένα μέ τό άλλο διαφορά φάσεως  $120^\circ$  ή  $T/3$ .

$$U = U_0 \cdot \eta \omega t \text{ καί } I = I_0 \cdot \eta \omega t$$

"Ας θεωρήσουμε τρία μονοφασικά ρεύματα πού έχουν τήν ίδια περίοδο  $T$ , τό ίδιο πλάτος τάσεως  $U_0$ , τό ίδιο πλάτος έντάσεως ρεύματος  $I_0$ , άλλα παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορά φάσεως  $120^\circ$ . Αύτό σημαίνει ότι σέ καθένα άπο αύτά τά τρία ρεύματα ή τάση ( $U$ ) και ή ένταση ( $I$ ) τού ρεύματος άποκτούν τή μέγιστη τιμή τους ( $U_0$

καὶ  $I_0$ ) μέ καθυστέρηση ιση μέ ἔνα τρίτο τῆς περιόδου ( $T/3$ ) σχετικά μέ τό προηγούμενο (σχ. 69). Τότε γι' αὐτά τά τρία ρεύματα θά ισχύουν ἀντίστοιχα οἱ ἔξισώσεις :

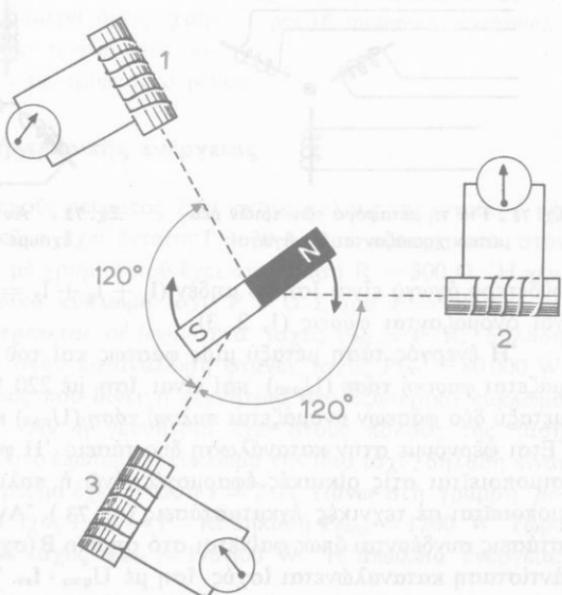
$$\left. \begin{array}{l} U_1 = U_0 \cdot \eta \mu \omega t \\ U_2 = U_0 \cdot \eta \mu (\omega t + 120^\circ) \\ U_3 = U_0 \cdot \eta \mu (\omega t + 240^\circ) \end{array} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = I_0 \cdot \eta \mu \omega t \\ I_2 = I_0 \cdot \eta \mu (\omega t + 120^\circ) \\ I_3 = I_0 \cdot \eta \mu (\omega t + 240^\circ) \end{array} \right\} (2)$$

Αὐτό τό σύστημα τῶν τριῶν ρευμάτων δονομάζεται *τριφασικό ρεῦμα*. "Ωστε :

**Τριφασικό ρεῦμα** εἰναι ἔνα σύστημα ἀπό τρία ἐναλλασσόμενα ρεύματα, πού ἔχουν τό ίδιο πλάτος τάσεως ( $U_0$ ) καὶ ἐντάσεως ρεύματος ( $I_0$ ) καὶ τήν ίδια περίοδο ( $T$ ), ἀλλά τό καθένα παρουσιάζει διαφορά φάσεως  $120^\circ$  σχετικά μέ καθένα ἀπό τά ἄλλα δύο, δηλαδή παρουσιάζει μιά χρονική διαφορά ίση μέ  $T/3$ .

β. Παραγωγή τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος. Γιά τήν παραγωγή τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος χρησιμοποιοῦμε τόν *τριφασικό ἐναλλακτήρα*, πού ἡ λειτουργία του στηρίζεται στήν ἔξης ἀρχή: Τρία δμοια πηνία (έπαγώγιμο) τοποθετοῦνται πάνω σέ δριζόντιο ἐπίπεδο ἔτσι, ὡστε οἱ ἄξονές τους νύ σχηματίζουν μεταξύ τους γωνίες  $120^\circ$  (σχ. 70). Πάνω στό ίδιο ἐπίπεδο περιστρέφεται μέ σταθερή γωνιακή ταχύτητα εύθυγραμμος μαγνήτης ἡ ἡλεκτρομαγνήτης (έπαγωγέας). Τότε στίς ἄκρες κάθε πηνίου ἀναπτύσσεται ἐναλλασσόμενη τάση. "Οταν δμως ἡ τάση ἀποκτᾶ τή μέγιστη τιμή της ( $U_0$ ) στό πηνίο 1, τότε στό ἐπόμενο πηνίο 2 ἡ τάση ἀποκτᾶ τή μέγιστη

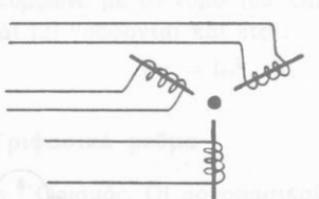


Σχ. 70. Σχηματική παράσταση γιά τήν ἔξηγηση τῆς παραγῆς τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος.

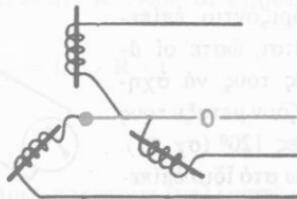
τιμή της μέ καθυστέρηση ΐση μέ  $T/3$ , δηλαδή ή τάση στό πηνίο 2 παρουσιάζει διαφορά φάσεως  $120^\circ$  σχετικά μέ τήν τάση στό πηνίο 1. Τό ΐδιο συμβαίνει μεταξύ τῶν πηνίων 2 καί 3. "Ετσι σέ μιά χρονική στιγμή ή στιγμαία τάση στίς ακρες τῶν τριῶν πηνίων είναι  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  καί ἐκφράζονται ἀπό τίς ἔξισώσεις (1). "Αν οι ακρες τῶν τριῶν πηνίων συνδεθοῦν μέ τρεῖς ΐσες ώμικες ἀντιστάσεις ( $R$ ), τότε σχηματίζονται τρία κυκλώματα, στά δόποια κυκλοφοροῦν τρία ἐναλλασσόμενα ρεύματα πού ἀποτελοῦν τό τριφασικό ρεῦμα. Στή χρονική στιγμή ή στιγμαία ἔνταση τῶν τριῶν ρευμάτων είναι  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  καί ἐκφράζονται ἀπό τίς ἔξισώσεις (2).

"Αν προσθέσουμε κατά μέλη τίς ἔξισώσεις (1) καί (2) βρίσκουμε:  $U_1 + U_2 + U_3 = 0$  καί  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ . "Αρα στό τριφασικό ρεῦμα τό ἀθροισμα τῶν στιγμαίων τάσεων καθώς καί τό ἀθροισμα τῶν στιγμαίων ἔντασεων τῶν τριῶν ρευμάτων είναι σέ κάθε στιγμή ΐσο μέ μηδέν.

γ. Μεταφορά τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος. Γιά τή μεταφορά τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος φαίνεται ὅτι χρειάζονται ἔξι ἀγωγοί (σχ. 71). "Αν δημοσ ή μιά ακρη κάθε πηνίου συνδεθεῖ μέ τόν ΐδιο ἀγωγό, πού δονομάζεται οὐδέτερος ἀγωγός (0), τότε γιά τή μεταφορά τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος χρειάζονται μόνο τέσσερις ἀγωγοί (σχ. 72). "Η διλική ἔνταση τοῦ ρεύματος στόν



Σχ. 71. Γιά τή μεταφορά τῶν τριῶν ρευμάτων χρειάζονται ἔξι ἀγωγοί.

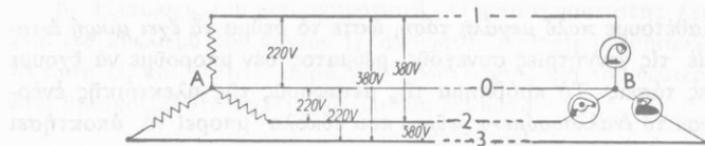


Σχ. 72. Αντί γιά τούς τρεῖς ἀγωγούς ἔχουμε τόν οὐδέτερο ἀγωγό (0).

οὐδέτερο ἀγωγό είναι ΐση μέ μηδέν ( $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ ). Οι ἄλλοι τρεῖς ἀγωγοί δονομάζονται φάσεις (1, 2, 3).

"Η ἐνεργός τάση μεταξύ μιᾶς φάσεως καί τοῦ οὐδέτερου ἀγωγοῦ δονομάζεται φασική τάση ( $U_{\text{φασ}}$ ) καί είναι ΐση μέ 220 V. "Ενῶ ή ἐνεργός τάση μεταξύ δύο φάσεων δονομάζεται πολική τάση ( $U_{\text{πολ}}$ ) καί είναι ΐση μέ 380 V. "Ετσι φέρνουμε στήν κατανάλωση δύο τάσεις. "Η φασική τάση 220 V χρησιμοποιεῖται στίς οἰκιακές ἐφαρμογές, ἐνῶ ή πολική τάση 380 V χρησιμοποιεῖται σέ τεχνικές ἐγκαταστάσεις (σχ. 73). "Αν τρεῖς ΐσες ώμικες ἀντιστάσεις συνδέονται ὅπως φαίνεται στό σημείο B (σχ. 73), τότε πάνω σέ κάθε ἀντίσταση καταναλώνεται ΐσχυς ΐση μέ  $U_{\text{φασ}} \cdot I_{\text{εν}}$ . "Επομένως ή μέση ΐσχυς τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος σ' αὐτή τήν περίπτωση είναι:

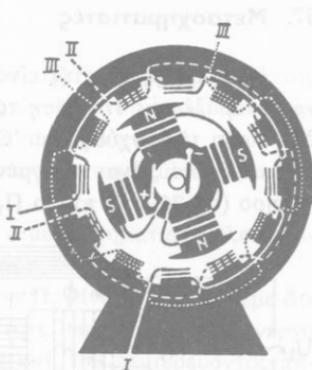
$$P_{\text{τριφασικοῦ}} = 3 \cdot U_{\text{φασική}} \cdot I_{\text{εν}}$$



Σχ. 73 . Πώς χρησιμοποιούμε τό τριφασικό ρεύμα (σχηματική παράσταση).

Στίς γεννήτριες τριφασικού ρεύματος, που χρησιμοποιεῖ ή βιομηχανία, ο άριθμός των πηνίων (έπαγγέλμα) είναι τριπλάσιος από τόν άριθμό των μαγνητικών πόλων (έπαγγέλμα). Στό σχήμα 74 φαίνεται ή άρχη τῆς λειτουργίας μιᾶς τριφασικῆς γεννήτριας (I, I — II, II — III, III είναι οι άκρες τού συστήματος τῶν τριῶν κυκλωμάτων τοῦ έπαγγέλματος).

δ. Κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος. Ο κινητήρας τοῦ συνεχούς ρεύματος μπορεῖ νά λειτουργήσει καί μέ μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα. Σήμερα δύναμες χρησιμοποιούμε κυρίως τούς τριφασικούς κινητήρες, που λειτουργοῦν μέ τριφασικό ρεύμα.



Σχ. 74 . Τριφασικός έναλλασσόμενος (ή τριφασική γεννήτρια).

## 56. Η μεταφορά τῆς ηλεκτρικῆς ένέργειας

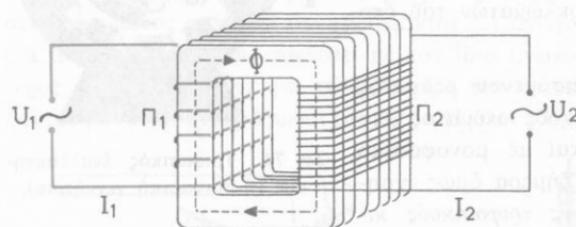
Μιά γεννήτρια συνεχούς ρεύματος έχει στούς πόλους τῆς σταθερή τάση  $U = 10000$  V. Τό ρεύμα έχει ένταση  $I = 20$  A καί μεταφέρεται στόν τόπο τῆς κατανάλωσεως μέ γραμμή πού έχει άντισταση  $R = 300 \Omega$ . Η γεννήτρια δίνει στό έξωτερικό κύκλωμα ίσχυ  $P = U \cdot I$ , ἢρα  $P = 200\,000$  W. Πάνω στή γραμμή μετατρέπεται σέ θερμότητα ίσχυς  $P_{θερ} = I^2 \cdot R$ , δηλαδή  $P_{θερ} = 120\,000$  W. "Ετσι στήν κατανάλωση φτάνει ίσχυς  $P_{κατ} = 80\,000$  W. "Ωστε τά 60 % τῆς ίσχυος πού δίνει η γεννήτρια στό έξωτερικό κύκλωμα είναι άπωλεια ένέργειας. "Αν η γεννήτρια έχει στούς πόλους τῆς τάση  $U = 100\,000$  V καί δίνει στό έξωτερικό κύκλωμα τήν ίδια ίσχυ, δηλαδή είναι  $P = 200\,000$  W, τότε τό ρεύμα έχει ένταση  $I = 2$  A. Πάνω στή γραμμή μετατρέπεται σέ θερμότητα ίχνυς  $P_{θερμ} = I^2 \cdot R$ , δηλαδή  $P_{θερμ} = 1200$  W. Τώρα στήν κατανάλωση φτάνει ίσχυς  $P_{κατ} = 198\,800$  W. Η άπωλεια ένέργειας είναι σχεδόν άσήμαντη.

"Από τό παράδειγμα αὐτό φαίνεται ότι γιά νά μεταφέρουμε σέ μεγάλη άποσταση μιά μεγάλη ηλεκτρική ίσχυ μέ μικρές άπωλειες πάνω στή γραμμή,

πρέπει νά διαθέτουμε πολύ μεγάλη τάση, ώστε τό ρεῦμα νά έχει μικρή ένταση. Άλλα μέ τίς γεννήτριες συνεχούς ρεύματος δέν μποροῦμε νά έχουμε πολύ μεγάλες τάσεις. Τό πρόβλημα τής μεταφορᾶς τής ήλεκτρικῆς ένέργειας τό έλυσε τό έναλλασσόμενο ρεῦμα πού εύκολα μπορεῖ νά άποκτήσει πολύ μεγάλες τάσεις.

## 57. Μετασχηματιστές

Ό μετασχηματιστής είναι μιά διάταξη μέ τήν δποία εύκολα μποροῦμε νά μεταβάλλουμε τήν τάση τού έναλλασσόμενου ρεύματος, χωρίς αισθητή έλάττωση τής ίσχύος του. Ό μετασχηματιστής άποτελείται άπό δύο πηνία  $\Pi_1$  και  $\Pi_2$  πού είναι τυλιγμένα στίς δύο πλευρές ένός πλαισίου άπό μαλακό σίδηρο (σχ. 75). Τό πηνίο  $\Pi_1$ , δνομάζεται πηνίο χαμηλής τάσεως ή πρωτεύον



Σχ.75 . Σχηματική παράσταση τού μετασχηματιστή

πηνίο  $\Pi_2$  δνομάζεται πηνίο ψηλής τάσεως ή δευτερεύον πηνίο και άποτελείται άπό πολλές σπείρες λεπτού σύρματος. Τό πηνίο  $\Pi_2$  έχει  $n_2$  σπείρες και οι άκρες του συνδέονται μέ ένα κύκλωμα (δευτερεύον κύκλωμα).

α. Λειτουργία τού μετασχηματιστή. Ή γεννήτρια δημιουργεῖ στίς άκρες τού πρωτεύοντος πηνίου  $\Pi_1$  ένεργο τάση  $U_1$  μέ συχνότητα  $v$ . Τό κύκλωμα τού πρωτεύοντος πηνίου διαρρέεται άπό ρεῦμα (πρωτεύον ρεῦμα) πού έχει ένεργο ένταση  $I_1$  και ίσχυ  $P_1 = U_1 \cdot I_1$ . Τότε μέσα στόν πυρήνα τού μαλακού σιδήρου σχηματίζεται έναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο πού οι δυναμικές του μένουν μέσα στό μαλακό σίδηρο σχηματίζοντας ένα κλειστό μαγνητικό κύκλωμα.

"Οταν τό κύκλωμα τού δευτερεύοντος πηνίου  $\Pi_2$  είναι άνοιχτό, λέμε ότι ο μετασχηματιστής λειτουργεῖ στό κενό. Ή συνεχής μεταβολή τού μαγνητικού πεδίου προκαλεί συνεχή μεταβολή τής μαγνητικῆς ροής πού περνάει άπό τίς σπείρες τού πηνίου  $\Pi_2$ . Τότε έξαιτίας τής άμοιβαίς έπαγωγής άναπτύσσεται στίς άκρες τού δευτερεύοντος πηνίου  $\Pi_2$  έναλλασσόμενη τάση πού έχει συχνότητα  $v$ .

πηνίο και άποτελείται άπό λίγες σπείρες χοντρού σύρματος. Τό πηνίο  $\Pi_1$  έχει  $n_1$  σπείρες και συνδέεται μέ τόν έναλλακτήρα. Τό κύκλωμα τού πηνίου  $\Pi_1$  τό δνομάζουμε πρωτεύον κύκλωμα. Τό

β. Έξισώσεις τοῦ μετασχηματιστῆ. Ο μετασχηματιστής λειτουργεῖ στό κενό (τό κύκλωμα τοῦ πηνίου  $\Pi_2$  ἀνοιχτό). Άν τότε μετρήσουμε τήν ἐνεργό τάση  $U_1$  καὶ  $U_2$  στίς ἄκρες τοῦ πρωτεύοντος καὶ τοῦ δευτερεύοντος πηνίου βρίσκουμε ὅτι ίσχύει ἡ ἀκόλουθη ἔξισωση:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

ὅπου  $n_1$  καὶ  $n_2$  είναι ἀντίστοιχα ὁ ἀριθμός τῶν σπειρῶν τοῦ πρωτεύοντος καὶ τοῦ δευτερεύοντος πηνίου. Ο λόγος  $n_2/n_1$  δονομάζεται λόγος μετασχηματισμοῦ καὶ είναι χαρακτηριστικός γιά τό μετασχηματιστή.

"Αν είναι  $n_2 > n_1$ , τότε  $U_2 > U_1$  καὶ ὁ μετασχηματιστής λειτουργεῖ ως μετασχηματιστής ὑψώσεως τῆς τάσεως.

"Αν είναι  $n_2 < n_1$ , τότε είναι  $U_2 < U_1$  καὶ ὁ μετασχηματιστής λειτουργεῖ ως μετασχηματιστής ὑποβιβασμοῦ τῆς τάσεως.

"Οταν τό κύκλωμα τοῦ δευτερεύοντος πηνίου  $\Pi_2$  είναι κλειστό, λέμε ὅτι ὁ μετασχηματιστής λειτουργεῖ μέ φροτίο. "Άν τότε μετρήσουμε τήν ἐνεργό τάση  $U_1$  καὶ  $U_2$  στίς ἄκρες τοῦ πρωτεύοντος καὶ τοῦ δευτερεύοντος πηνίου, βρίσκουμε ὅτι ίσχύει πάλι ἡ ἔξισωση (1).

Στό πρωτεύον καὶ στό δευτερεύον κύκλωμα ἡ ἐνεργός ἔνταση τοῦ ρεύματος είναι  $I_1$  καὶ  $I_2$ . Η γεννήτρια παρέχει στό πρωτεύον πηνίο  $\Pi_1$  ίσχυ  $P_1 = U_1 \cdot I_1$ . Τό δευτερεύον πηνίο  $\Pi_2$  παρέχει στό κύκλωμά του ίσχυ  $P_2 = U_2 \cdot I_2$ .

Κατά μεγάλη προσέγγιση μποροῦμε νά δεχτοῦμε ὅτι στό μετασχηματιστή οἱ ἀπώλειες ἐνέργειας είναι ἀσήμαντες. Τότε σύμφωνα μέ τήν ἀρχή τῆς διατηρήσεως τῆς ἐνέργειας ίσχύει ἡ ἔξισωση:

$$P_1 = P_2 \quad \text{ἄρα} \quad U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \quad (2)$$

Σ' αὐτή τήν περίπτωση δῆλη ἡ ίσχυς πού προσφέρεται στό πρωτεύον πηνίο μεταφέρεται μέ τό μαγνητικό πεδίο στό δευτερεύον πηνίο.

'Από τίς ἔξισώσεις (1) καὶ (2) βρίσκουμε τήν ἔξισωση:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Η ἔξισωση (3) φανερώνει ὅτι ὁ λόγος τῶν ἐνεργῶν ἔντάσεων  $I_1$  καὶ  $I_2$  τῶν ρευμάτων στά δύο κυκλώματα τοῦ μετασχηματιστῆ διατηρεῖται σταθερός.

**Παράδειγμα.** Σέ ἔνα μετασχηματιστή είναι  $n_1 = 10$  σπεῖρες,  $n_2 = 500$  σπεῖρες,  $U_1 = 1000$  V και  $I_1 = 500$  A. Τότε γιά τό δευτερεύον ρεῦμα είναι: ενεργός τάση

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 1000 \text{ V} \cdot \frac{500 \text{ σπεῖρες}}{10 \text{ σπεῖρες}} \quad \text{και} \quad U_2 = 50\,000 \text{ V}$$

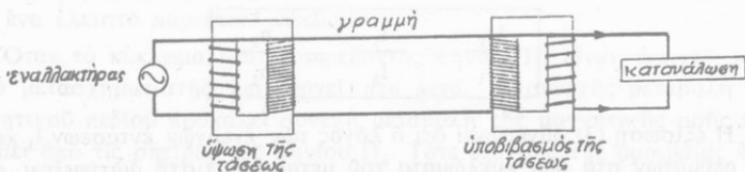
ενεργός ένταση τοῦ ρεύματος:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{n_1}{n_2} = 500 \text{ A} \cdot \frac{10}{500} \quad \text{και} \quad I_2 = 10 \text{ A}$$

Αὐτός ὁ μετασχηματιστής λειτουργεῖ ως μετασχηματιστής ύψωσεως τῆς τάσεως.

γ. Ἐφαρμογές τῶν μετασχηματιστῶν. Οἱ μετασχηματιστές ἔχουν πολὺ σημαντικές ἐφαρμογές. Στήν πράξῃ ἔχουμε κυκλώματα ἐναλλασσόμενου ρεύματος, στά δόποια χρειαζόμαστε ψηλές τάσεις καὶ ἄλλα κυκλώματα, στά δόποια χρειαζόμαστε μεγάλες ἐντάσεις ρεύματος. Οἱ μετασχηματιστές μᾶς ἐπιτρέπουν νά κάνουμε στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα τούς μετασχηματισμούς πού θέλουμε, π.χ. γιά τή λειτουργία τῶν σωλήνων πού παράγουν τίς ἀκτίνες Röntgen χρειαζόμαστε τάσεις πού μετριοῦνται σέ δεκάδες χιλιάδες βόλτ καὶ τότε χρησιμοποιοῦμε μετασχηματιστές πού ύψωνουν τίν τάση τοῦ δικτύου διανομῆς τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας (220 V).

Ἴδιαίτερη δῆμος σημασία ἔχει ἡ παραγωγὴ ψηλῶν τάσεων γιά τή μεταφορά τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας. Σέ κάθε ἐργοστάσιο ἡλεκτροπαραγωγῆς (Θερμοηλεκτρικό ἢ άνδροηλεκτρικό) ὑπάρχει ἔνας μετασχηματιστής πού ύψωνει τίν τάση σέ ἑκατοντάδες χιλιάδες βόλτ (ώς 500 000 V). Τό ρεῦμα ψηλῆς τάσεως μεταφέρεται στόν τόπο καταναλώσεως τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας (π.χ. ἀπό τήν Πτολεμαΐδα στήν Ἀθήνα). Στόν τόπο τῆς καταναλώσεως ὑπάρχουν μετασχηματιστές, πού διαδοχικά υποβιβάζουν τίν τάση (σχ. 76). Σέ πολλές ἄλλες ἐφαρμογές χρησιμοποιοῦμε σήμερα τούς μετασχηματιστές, π.χ. σέ ἐπιστημονικά ἐργαστήρια, σέ βιομηχανικές ἐγκαταστάσεις, στό ἡλεκτρικό κουδούνι κ.ἄ.

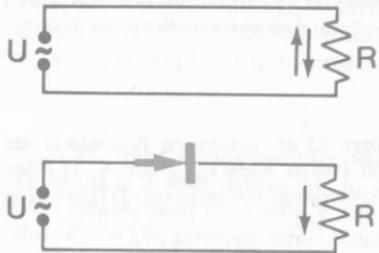


Σχ. 76. Μεταφορά τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος μέ ψηλή τάση

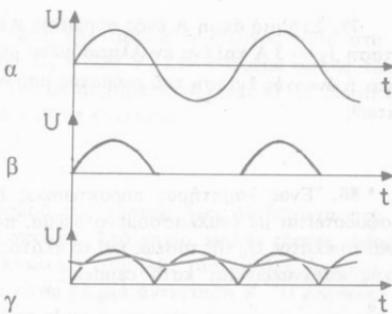
Γενικά στούς μετασχηματιστές οι άπωλειες ένέργειας είναι πολύ μικρές (ώς 5 %) καί δφειλονται στήν παραγώγη θερμότητας στά σύρματα τών πηνίων καί στόν πυρήνα τοῦ μαλακοῦ σιδήρου. Οι μεγάλοι μετασχηματιστές πού χρησιμοποιοῦνται στά δίκτυα μεταφορᾶς καί διανομῆς τῆς ηλεκτρικῆς ένέργειας έχουν άπόδοση πού φτάνει ώς 99 %.

## 58. Ανόρθωση τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος

Σέ πολλές έφαρμογές (ηλεκτρόλυση, φόρτιση συσσωρευτῶν κ.ά.) χρειαζόμαστε συνεχές ρεῦμα. Είναι λοιπόν άπαραίτητο νά μετατρέπουμε τό έναλλασσόμενο ρεῦμα σέ συνεχές ρεῦμα. Αύτή ή μετατροπή δονομάζεται άνόρθωση τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος καί γίνεται μέ ειδικές διατάξεις, πού δονομάζονται άνορθωτές (σχ. 77). Γενικά ό άνορθωτής είναι μιά διατάξη, πού, δταν είναι στό κύκλωμα έναλλασσόμενου ρεύματος, έπιτρέπει στό ρεῦμα νά περνάει μόνο κατά τή μιά φορά (άγωγιμη φορά), ένω δέν έπιτρέπει κατά τήν άντιθετη φορά (άναστατική φορά). Έτσι άπό τόν άνορθωτή περνάει τό ρεῦμα μόνο κατά τή μιά ήμιπερίοδο (σχ. 78). Τό ρεῦμα πού διαρρέει τότε μιά άντισταση  $R$  έχει σταθερή φορά, άλλα παρουσιάζει περιοδικές διακοπές, πού καθεμιά διαρκεῖ μισή περίοδο (ήμιανόρθωση). Μέ κατάλληλες διατάξεις μποροῦμε νά έκμεταλλευόμαστε μέ τή μορφή συνεχούς ρεύματος καί τίς δύο ήμιπεριόδους τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος (πλήρης άνόρθωση).



Σχ. 77. Ό άνορθωτής καταργεῖ τή μιά έναλλαγή τοῦ ρεύματος καί άφήνει νά περάσει μόνο τό ρεῦμα πού έχει δρι- σμένη φορά.



Σχ. 78. α. Έναλλασσόμενη τάση. β. Ή- μιανόρθωση τῆς τάσεως. γ. Πλήρης ά- νόρθωση τῆς τάσεως. Η τεθλασμένη γραμμή δείχνει τίς διακυμάνσεις τῆς συ- νεχούς τάσεως.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

74. Ένα έναλλασσόμενο ρεύμα έχει πλάτος τάσεως  $U_0 = 100$  V και πλάτος έντασης  $I_0 = 20$  A. 1) Πόση είναι ή ένεργος τάση και ή ένεργος ένταση του ρεύματος; 2) Πόση είναι ή τάση U και ή ένταση I τή στιγμή πού η φάση (ω) παίρνει τις τιμές  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  και  $150^\circ$ ;

75. Η στιγμαία ένταση ένός έναλλασσόμενου ρεύματος δίνεται άπό τήν έξισωση  $I = 10 \cdot \eta \mu 314t$ . Νά βρεθεί τό πλάτος τής έντασεως  $I_0$ , η περίοδος T, η συχνότητα ν, ή κυκλική συχνότητα ω και ή ένεργος ένταση του ρεύματος.

76. Ένα έναλλασσόμενο ρεύμα διαρρέει μιά ώμική άντισταση  $R = 5 \Omega$ , πού είναι βυθισμένη μέσα σέ θερμιδόμετρο. Αύτό έχει θερμοχωρητικότητα  $1000 \text{ cal/grad}$  και μέσα σέ 1 λεπτό ή θερμοκρασία του ύψωνται κατά  $10^9$  C. Πόση είναι ή ένεργος ένταση του ρεύματος;

77. Ένα έναλλασσόμενο ρεύμα έχει συχνότητα  $v = 50$  Hz, ένεργο τάση  $U_{\text{ev}} = 30$  V και ένεργο ένταση  $I_{\text{ev}} = 5$  A. Νά γραφούν οι έξισώσεις πού δίνουν τή στιγμαία τάση U και τή στιγμαία ένταση ρεύματος I.

78. Ένα έναλλασσόμενο ρεύμα διαρρέει μιά ώμική άντισταση  $R = 12,26 \Omega$  και μέσα σέ κάθε λεπτό άναπτύσσει πάνω της θερμότητα  $Q_{\text{θερμ}} = 2816 \text{ cal}$ . Πόσο είναι τό πλάτος τής έντασεως του ρεύματος;  $J = 4,18 \text{ Joule/cal}$ .

79. Στή μιά άκρη A ένός σύρματος AB φτάνει ένα συνεχές ρεύμα πού έχει σταθερή ένταση  $I_S = 3$  A και ένα έναλλασσόμενο ρεύμα πού έχει ένεργο ένταση  $I_E = 4$  A. Πόση είναι ή ένεργος ένταση του ρεύματος πού σχηματίζεται άπό τήν πρόσθεση τῶν δύο ρευμάτων;

80. Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως έχει ίσχυ 25 cd, άντισταση  $R = 440 \Omega$  και τροφοδοτείται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα, πού έχει ένεργο τάση  $U_{\text{ev}} = 220$  V. 1) Πόσο είναι τό πλάτος  $U_0$  τής τάσεως και τό πλάτος  $I_0$  τής έντασεως του ρεύματος; 2) Πόση μέση ίσχυς καταναλώνεται κατά candela;

81. Στίς άκρες μιᾶς ώμικής άντιστάσεως  $R = 12 \Omega$  έφαρμόζεται ένεργος τάση  $U_{\text{ev}} = 120$  V και ή συχνότητα του ρεύματος είναι  $v = 50$  Hz. 1) Πόση μέση ίσχυς P καταναλώνεται πάνω στήν άντισταση R; 2) Ποιά μεταβολή παθαίνει αύτή ή ίσχυς P, ἀν μέ μιά κατάλληλη διάταξη (άνορθωτή) καταργηθεῖ ή μιά άπό τής δύο έναλλαγές του ρεύματος η ἀν άνορθωθεῖ και ή δεύτερη έναλλαγή;

**82.** Σέ ἔνα ύδροηλεκτρικό ἐργοστασιο πέφτουν στόν ύδροστρόβιλο  $150 \text{ m}^3$  νερό τό λεπτό ἀπό υψος  $120 \text{ m}$ . Ὁ ύδροστρόβιλος ἔχει ἀπόδοση  $78\%$  και τροφοδοτεῖ ἔναν ἐναλλακτήρα, πού ἔχει ἀπόδοση  $92\%$  και στούς πόλους του δημιουργεῖ ἐναλλασσόμενη τάση, πού δίνεται ἀπό τήν ἔξισωση  $U = 2828 \cdot \eta m^{3/4}$ . 1) Νά βρεθοῦν σέ κιλοβάτ: α) ἡ ισχύς  $P_{\text{ub}}$  τήν όποιαν δίνει ἡ ύδατόπτωση στόν ύδροστρόβιλο; β) ἡ ισχύς  $P_{\text{st}}$  τήν όποια δίνει ὁ ύδροστρόβιλος στόν ἐναλλακτήρα και γ) ἡ ἡλεκτρική ισχύς  $P_{\text{gl}}$  τήν όποια δίνει ὁ ἐναλλακτήρας. 2) Νά βρεθεῖ ἡ συχνότητα ν τοῦ ρεύματος και ἡ ἐνεργός ἔνταση  $I_e$  τοῦ ρεύματος πού μπορεῖ νά δώσει αὐτός ὁ ἐναλλακτήρας.  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$ .

**83.** Θέλουμε νά ύποβιβάσουμε τήν ἐνεργό τάση ἀπό  $U_1 = 220 \text{ V}$  σέ  $U_2 = 5 \text{ V}$ . Ἀν τό πηνίο χαμηλῆς τάσεως ἔχει  $n_2 = 10$  σπεῖρες, πόσες σπεῖρες  $n_1$  πρέπει νά ἔχει τό πηνίο ψηλῆς τάσεως;

**84.** Σέ ἔνα μετασχηματιστή ύποβιβασμού τῆς τάσεως στό κύκλωμα ψηλῆς τάσεως ἐφαρμόζεται ἐνεργός τάση  $U_1 = 40000 \text{ V}$  και ἡ ἐνεργός ἔνταση τοῦ ρεύματος είναι  $I_1 = 30 \text{ A}$ . Ἡ ἀπόδοση τοῦ μετασχηματιστή είναι  $92\%$ . 1) Πόση είναι ἡ ισχύς στό κύκλωμα χαμηλῆς τάσεως; 2) Ἀν ἡ ἐνεργός τάση είναι  $U_2 = 220 \text{ V}$ , πόση είναι ἡ ἐνεργός ἔνταση  $I_2$  τοῦ ρεύματος;

**85.** Σέ ἔνα μετασχηματιστή τά δύο πηνία του ἔχουν  $n_1 = 100$  σπεῖρες και  $n_2 = 2000$  σπεῖρες. Στό κύκλωμα χαμηλῆς τάσεως, πού ἔχει ἀντίσταση  $R_1 = 0,03 \Omega$ , διαβιβάζεται ρεύμα πού ἔχει ἐνεργό τάση  $U_1 = 110 \text{ V}$  και ἐνεργό ἔνταση  $I_1 = 100 \text{ A}$ . 1) Πόση είναι ἡ ἀπόδοση τοῦ μετασχηματιστή και πόση είναι στό κύκλωμα ψηλῆς τάσεως ἡ ἐνεργός ἔνταση  $I_2$  τοῦ ρεύματος, ἀν ἡ ἐνεργός τάση είναι  $U_2 = 2200 \text{ V}$ ; β) Ποιές τιμές ἔχουν τά παραπάνω μεγέθη  $I_2$  και  $U_2$ , ἀν είναι  $R_1 = 0$ ;

**86.** Σέ ἔνα μετασχηματιστή ύποβιβασμοῦ τῆς τάσεως ἡ ἐνεργός τάση στά δύο πηνία του ἀντίστοιχα είναι  $U_1 = 5000 \text{ V}$  και  $U_2 = 220 \text{ V}$ . Στό κύκλωμα ψηλῆς τάσεως ἡ ισχύς είναι  $P_1 = 200 \text{ kW}$  και ἡ ἀπόδοση τοῦ μετασχηματιστή είναι  $97\%$ . Πόση είναι ἡ ἐνεργός ἔνταση  $I_1$  και  $I_2$  τοῦ ρεύματος στό καθένα κύκλωμα;

**87.** Ἔνας μετασχηματιστής ύποβιβασμοῦ τῆς τάσεως ἔχει ἀντίστοιχα στά δύο πηνία του  $n_1 = 4500$  σπεῖρες και  $n_2 = 150$  σπεῖρες. Στό πηνίο ψηλῆς τάσεως ἐφαρμόζεται ἐνεργός τάση  $U_1 = 3000 \text{ V}$  και στό κύκλωμα χαμηλῆς τάσεως δῆλη ἡ ισχύς, πού είναι  $P = 9 \text{ kW}$ , μετατρέπεται σέ θερμότητα πάνω σέ μια ἀντίσταση  $R$ . Ἡ ἀπόδοση τοῦ μετασχηματιστή είναι ἵση μέ τή μονάδα. Πόση είναι ἡ ἐνεργός ἔνταση  $I_1$  στό κύκλωμα ψηλῆς τάσεως και πόση είναι ἡ ἀντίσταση  $R$ ;

**88.** Μιά ισχύς  $P = 110 \text{ kW}$  θά μεταφερθεῖ ἀπό τό σταθμό ἡλεκτροπαραγωγῆς στόν τόπο καταναλώσεως μέ σύρμα πού ἔχει ἀντίσταση  $R = 0,08 \Omega$ . 1) Ἀν ἡ ισχύς  $P$  μεταφερθεῖ

μέ συνεχές ρεύμα και μέ τάση  $U_S = 220$  V, πόση είναι ή πτώση τάσεως πάνω στό σύρμα και σέ πόσο τοις έκατό φτάνει ή άπωλεια ισχύος πάνω στό σύρμα; 2) Ή ίδια ισχύς P μεταφέρεται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα, άλλα στό σταθμό ήλεκτροπαραγωγής ή ένεργος τάση θύψωνται άπό 220 V σε 22 000 V και άντιθετα στόν τόπο καταναλώσεως ή τάση ηποβιθάζεται πάλι σε 220 V. Πόση είναι τώρα ή πτώση τάσεως πάνω στό σύρμα και σέ πόσο τοις έκατό φτάνει ή άπωλεια ισχύος πάνω στό σύρμα;

89. Μιά ύδατοπτωση τροφοδοτεῖ έναν ύδροστροβίλο, δύο πόσοις κινεῖ έναν έναλλακτήρα. Η άπόδοση της έγκαταστάσεως είναι 80 %. Οι πόλοι του έναλλακτήρα συνδέονται μέ τό πηνίο ψηλής τάσεως ένός μετασχηματιστή τό οποίο έχει  $n_1 = 3600$  σπείρες. Τό, πηνίο χαμηλής τάσεως έχει  $n_2 = 180$  σπείρες και οι πόλοι του συνδέονται μέ μιά έγκατασταση ήλεκτροφωτισμού, που άποτελείται άπό 1000 λαμπτήρες. Κάθε λαμπτήρας έχει ισχύ 30 W και λειτουργεῖ μέ ένεργο ένταση ρεύματος 0,25 A. Οι άπωλειες πάνω στή γραμμή μεταφορᾶς είναι άσήμαντες. 1) Πόση είναι ή ένεργος τάση στίς ακρες του πηνίου χαμηλής τάσεως και πόση στους πόλους του έναλλακτήρα; 2) Πόση είναι ή ένεργος ένταση  $I_1$  του ρεύματος που δίνει ο έναλλακτήρας; 3) Πόση είναι ή ισχύς της ύδατοπτώσεως; Η άπόδοση του μετασχηματιστή είναι ίση μέ τή μονάδα.

## Αγωγιμότητα τῶν στερεῶν

### 59. Ηλεκτρονική άγωγιμότητα τῶν στερεῶν

Ξέρουμε ότι άπό τά στερεά σώματα άγωγοί είναι κυρίως τά μέταλλα και δι τι μέσα σέ κάθε μέταλλο υπάρχουν τά έλευθερα ήλεκτρόνια πού είναι ήλεκτρόνια σθένους και κινοῦνται σύμφωνα μέ τους νόμους της κινητικής θεωρίας τῶν άεριών. Ο άριθμός τῶν έλευθερων ήλεκτρονίων είναι τεράστιος (πάνω άπό  $10^{20}$  ήλεκτρόνια κατά κυβικό έκατοστόμετρο). Αν στίς ακρες ένός σύρματος έφαρμόσουμε συνεχή τάση U, τότε μέσα στό σύρμα δημιουργεῖται ήλεκτρικό πεδίο και τά έλευθερα ήλεκτρόνια του μετάλλου κινοῦνται μέσα στό σύρμα μέ φορά άντιθετη μέ τή φορά του έξωτερικοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου. Σ' αὐτή τήν περίπτωση μέσα στό σύρμα κυκλοφορεῖ συνεχές ρεύμα. Αν στίς ακρες του σύρματος, πού έχει μόνο ωμική άντισταση, έφαρμόσουμε έναλλασσόμενη τάση  $U = U_0 \cdot \eta m$  ώτ, τότε μέσα στό σύρμα δημιουργεῖται έναλλασσόμενο ήλεκτρικό πεδίο, πού άναγκάζει κάθε έλευθερο ήλεκτρόνιο του μετάλλου νά έκτελει άρμονική ταλάντωση πού έχει τή συχνότητα ν της τάσεως και κέντρο μιά μέση θέση Ισορροπίας του ήλεκτρονίου. Σ' αὐτή τήν περίπτωση λέμε ότι μέσα στό σύρμα σχηματίζεται έναλλασσόμενο ρεύμα. Τά ήλεκτρόνια και στό συνεχές και στό έναλλασσόμενο ρεύμα άποκτούν κινητική ένέργεια έξαιτίας του ήλεκτρικοῦ πεδίου. Αν τό ρεύμα διαρρέει μόνο ωμική άντισταση, δηλη ή κινητική ένέρ-

γεια τῶν ἡλεκτρονίων μετατρέπεται σέ θερμότητα κατά τίς συγκρούσεις τῶν ἡλεκτρονίων μέ τά θετικά λόντα τοῦ μετάλλου (*fauνόμενο Joule*).

Ἡ ἀγωγιμότητα τῶν στερεῶν δνομάζεται ἡλεκτρονική ἀγωγιμότητα καὶ ἐρμηνεύεται σέ γενικές γραμμές ἀπό τή θεωρία τῶν ἐλεύθερων ἡλεκτρονίων. Αὐτή δμως ἡ θεωρία δέν μπορεῖ νά ἔχῃ γήσει ὄρισμένες ίδιότητες τῶν μετάλλων οὔτε νά δικαιολογήσει γιατί τά στερεά διακρίνονται σέ ἀγωγούς, μονωτές καὶ ἡμιαγωγούς.

Νεώτερες ἀντιλήψεις γιά τήν ἡλεκτρονική ἀγωγιμότητα τῶν στερεῶν. "Ολα τά στερεά σώματα είναι κρυσταλλικά σώματα καὶ ἐπομένως ἡ ἡλεκτρική ἀγωγιμότητα ἐνός στερεοῦ συνδέεται μέ τήν ἐσωτερική δομή τῶν κρυστάλλων του. Τά τελευταῖα χρόνια διαμορφώθηκε ἡ θεωρία τῶν στερεῶν πού ἐρμηνεύει τίς μηχανικές, θερμικές, δπτικές καὶ ἡλεκτρικές ίδιότητες τῶν στερεῶν. Αὐτή ἡ νεώτερη θεωρία ἀποδεικνύει πότε είναι δυνατή ἡ κίνηση τῶν ἡλεκτρονίων σθένους μέσα σέ ἔναν κρύσταλλο, δηλαδή πότε τά ἡλεκτρόνια σθένους τῶν ἀτόμων ἐνός στερεοῦ μποροῦν νά γίνουν ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια.

**Οἱ τρεῖς κατηγορίες στερεῶν.** Τό ἀντίστροφο τῆς εἰδικῆς ἀντιστάσεως ρ ἐνός στερεοῦ δνομάζεται ἡλεκτρική ἀγωγιμότητα ( $1/\rho$ ) τοῦ στερεοῦ. Τά στερεά, σύμφωνα μέ τήν ἡλεκτρική ἀγωγιμότητά τους, διακρίνονται σέ τρεῖς κατηγορίες, σέ ἀγωγούς, μονωτές καὶ ἡμιαγωγούς.

a. Ἀγωγοί είναι τά μέταλλα πού ἔχουν μικρή εἰδική ἀντίσταση, ἡ ὁποία αδέξανει μέ τή θερμοκρασία.

β. Οἱ μονωτές ἡ διηλεκτρικά ἔχουν πολύ μεγάλη εἰδική ἀντίσταση πού ἐλαττώνεται μέ τή θερμοκρασία.

γ. Οἱ ἡμιαγωγοί ἔχουν σημαντική εἰδική ἀντίσταση πού ἐλαττώνεται μέ τή θερμοκρασία, δπως συμβαίνει καὶ στούς μονωτές. "Ωστε:

Στούς ἀγωγούς (μέταλλα) ἡ μικρή εἰδική ἀντίστασή τους αὐξάνει μέ τή θερμοκρασία, ἐνῷ ἀντίθετα στούς μονωτές καὶ στούς ἡμιαγωγούς ἡ μεγάλη εἰδική ἀντίστασή τους ἐλαττώνεται μέ τή θερμοκρασία.

## 60. Ἀγωγοί, μονωτές, ἡμιαγωγοί

Θά ἔξετάσουμε πολύ ἀπλά τή διάκριση τῶν στερεῶν στίς παραπάνω τρεῖς κατηγορίες.

a. **Οἱ ἀγωγοί.** Στούς ἀγωγούς, δηλαδή στά μέταλλα, τά ἡλεκτρόνια σθένους είναι εὐκίνητα (ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια). Μέ τήν ἐπίδραση ἔχωτερικοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου τά ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια ἀποκτοῦνται κινητική ἐνέργεια καὶ, καθώς κινοῦνται μέσα στό στερεό, συγκρούονται μέ τά θετικά λόντα τοῦ κρυστάλλου. "Ετσι τό μέταλλο θερμαίνεται καὶ τότε αὐξάνει τό

πλάτος τῆς ταλαντώσεως πού ἔκτελοῦν τά θετικά ιόντα τοῦ κρυστάλλου (θερμική κίνηση). Ἐπομένως αὐξάνει καὶ ὁ ἀριθμός τῶν συγκρούσεων τοῦ κινούμενου ἡλεκτρονίου μέ τά θετικά ιόντα τοῦ κρυστάλλου. Αὕτη δημοσίη αὔξηση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν συγκρούσεων τοῦ ἡλεκτρονίου ἀντιστοιχεῖ σὲ αὔξηση τῆς ἀντιστάσεως τοῦ ἄγωγοῦ.

**β. Οἱ μονωτές.** Σέ ἔναν ἀπόλυτα καθαρό κρύσταλλο μονωτῇ, πού ἔχει πολὺ χαμηλή θερμοκρασία, δῆλα τά ἡλεκτρόνια σθένους εἰναι δεσμευμένα ἀπό τό ἡλεκτρικό πεδίο τοῦ πυρήνα τοῦ ἀτόμου. "Ετσι σ' αὐτό τόν κρύσταλλο δέν ὑπάρχουν εὐκίνητα ἡλεκτρόνια καὶ γι" αὐτό ὁ κρύσταλλος δέν ἔχει ἀγωγιμότητα. "Οταν δημοσίη αὐξάνει ἡ θερμοκρασία τοῦ κρυστάλλου, λίγα ἡλεκτρόνια σθένους ἀποκτοῦν ἐνέργεια καὶ τότε ἀποδεσμεύονται ἀπό τήν ἔλξη τοῦ πυρήνα καὶ γίνονται εὐκίνητα, δηλαδή ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια. Μέ τήν ἐπίδραση ἔξωτερικοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου αὐτά τά ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια σχηματίζουν ἔνα πολύ ἀσθενές ρεῦμα. Ἡ ἀγωγιμότητα τοῦ κρυστάλλου αὐξάνει μέ τή θερμοκρασία, γιατί τότε αὐξάνει καὶ ὁ ἀριθμός τῶν ἡλεκτρονίων σθένους πού ἀποδεσμεύονται.

**γ. Οἱ ἡμιαγωγοί.** Συνηθισμένοι ἡμιαγωγοί εἰναι τό γερμάνιο καὶ τό πυρίτιο. Σέ ἔναν ἀπόλυτα καθαρό κρύσταλλο ἡμιαγωγοῦ, πού ἔχει πολὺ χαμηλή θερμοκρασία, δῆλα τά ἡλεκτρόνια σθένους εἰναι δεσμευμένα, ὅπως συμβαίνει καὶ στοὺς μονωτές. Τότε ὁ κρύσταλλος δέν ἔχει ἀγωγιμότητα. Ἀλλά στοὺς ἡμιαγωγούς τά ἡλεκτρόνια σθένους εἰναι πολύ ἀσθενέστερα δεσμευμένα καὶ μόλις πάρουν τήν ἀπαιτούμενη λίγη ἐνέργεια, ἀμέσως « ἐγκαταλείποντά τή θέση τους » καὶ γίνονται μέσα στόν κρύσταλλο ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια. Τά ἡλεκτρόνια σθένους παίρνουν τήν ἀπαιτούμενη ἐνέργεια εἴτε ὅταν θερμαίνεται ὁ κρύσταλλος εἴτε ἀπό μιά ἀκτινοβολία πού πέφτει πάνω στόν κρύσταλλο.

"Οταν ἔνα ἡλεκτρόνιο σθένους ἐγκαταλείψει τή θέση του, τότε σέ ἐκείνη τή θέση δημιουργεῖται μέσα στόν κρύσταλλο μιά « ἀδειανή θέση » ἡλεκτρονίου πού δονομάζεται **δύπη**. Ἀποδεικνύεται ὅτι ἡ ἔλλειψη ἡλεκτρονίου σ' αὐτή τή θέση, δηλαδή ἡ δύπη, ἰσοδυναμεῖ μέ ἔνα στοιχειώδες θετικό ἡλεκτρικό φορτίο (+e). Ἡ δύπη μπορεῖ νά συμπληρωθεῖ ἀπό ἔνα ἡλεκτρόνιο σθένους γειτονικοῦ ἀτόμου. Τότε δημοσίη δημιουργεῖται δύπη στό γειτονικό ἀτόμο. "Ωστε ἡ δύπη μπορεῖ νά μετακινεῖται μέσα στόν κρύσταλλο.

Σέ ἔναν καθαρό κρύσταλλο ἡμιαγωγοῦ δ ἀριθμός τῶν ἐλεύθερων ἡλεκτρονίων εἰναι ἵσος μέ τόν ἀριθμό τῶν δύῶν. Ὁ καθαρός κρύσταλλος γερμανίου στή συνηθισμένη θερμοκρασία ἔχει σέ κάθε κυβικό ἑκατοστόμετρο  $2,36 \cdot 10^{13}$  ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια καὶ ἄλλες τόσες δύες. "Αν συνδέσουμε τίς δύο ἄκρες μιᾶς ράβδου ἀπό γερμάνιο μέ τούς πόλους μιᾶς γεννητριας, τότε μέσα στόν ἡμιαγωγό δημιουργεῖται ἡλεκτρικό πεδίο, πού ἀνα-

γκάζει τά ήλεκτρόνια νά κινοῦνται πρός το θετικό πόλο τῆς γεννήτριας καί τίς δύές νά κινοῦνται πρός τόν άρνητικό πόλο της. Ἔτσι μέσα στόν ήμιαγωγό δημιουργεῖται ήλεκτρικό ρεύμα. Ἡ ένταση τού ρεύματος εἶναι ἵση μέ τό ἄθροισμα τῶν δύο ἵσων ἐντάσεων, πού ἀντιστοιχοῦν στά δύο ρεύματα πού δημιουργοῦνται ἀπό τήν κίνηση τῶν ήλεκτρονίων καί τῶν δύῶν.

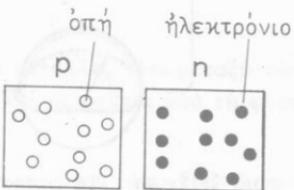
**δ. Οι ήμιαγωγοί προσμίξεως.** Τό γερμάνιο καί τό πυρίτιο εἶναι τετρασθενή στοιχεῖα καί τά ἄτομά τους ἔχουν τέσσερα ήλεκτρόνια σθένους. Τήκουμε γερμάνιο καί προσθέτουμε σ' αὐτό μικρή ποσότητα ἀπό ἕνα πεντασθενές στοιχεῖο (As, P, Sb) πού στά ἄτομά του ὑπάρχουν πέντε ήλεκτρόνια σθένους. Ὁταν αὐτό τό ίδιον κρυσταλλωθεῖ, παίρνουμε ἔναν ήμιαγωγό π πού ἔχει τόσα παραπάνω ἐλεύθερα ήλεκτρόνια, ὅσα εἶναι τά ἄτομα τοῦ πεντασθενούς στοιχείου στόν κρύσταλλο. Τό σύμβολο π φανερώνει τήν παρουσία ἐλεύθερων ήλεκτρονίων (ἀπό τό negatif = ἀρνητικός). Ἀντίθετα, ἂν νοθεύσουμε τόν κρύσταλλο τοῦ γερμανίου μέ ἄτομα ἐνός τρισθενούς στοιχείου (B, Al, Ga) πού στά ἄτομά του ὑπάρχουν τρία ήλεκτρόνια σθένους, τότε παίρνουμε ἔναν ήμιαγωγό p πού ἔχει τόσες παραπάνω εὐκίνητες δύές, ὅσα εἶναι τά ἄτομα τοῦ τρισθενούς στοιχείου στόν κρύσταλλο (σχ. 79).

Οι ήμιαγωγοί προσμίξεως (δηλαδή νοθευμένοι κρύσταλλοι ήμιαγωγῶν) ἔχουν σήμερα πολλές καί σημαντικές ἐφαρμογές, π.χ. χρησιμοποιοῦνται ώς ἥροι ἀνορθωτές, ώς τρανζίστορ στά ραδιόφωνα, στά μαγνητόφωνα, στούς ήλεκτρονικούς υπολογιστές κ.ἄ.

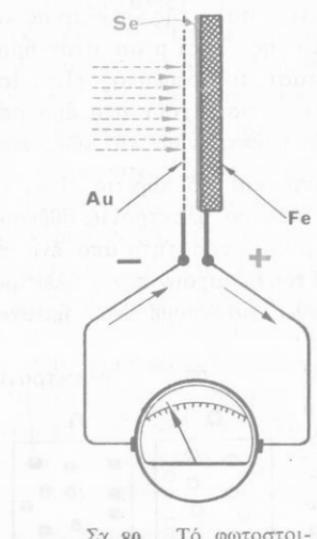
## 61. Φωτοστοιχεῖο

Τό φωτοστοιχεῖο εἶναι μιά ἐφαρμογή τῶν ἴδιοτήτων πού ἔχουν οἱ ήμιαγωγοί. Στήν πράξη τό φωτοστοιχεῖο ἀποτελεῖται συνήθως ἀπό ἕνα δίσκο σιδήρου πού ἡ μιά ἐπιφάνειά του εἶναι σκεπασμένη μέ ἕνα στρῶμα ἀπό ήμιαγωγό ὑλικό (σελήνιο ἢ πυρίτιο). Ἡ ἐπιφάνεια τού ήμιαγωγού ὑλικοῦ εἶναι σκεπασμένη μέ ἕνα λεπτό διαφανές στρῶμα ἀπό εὐγενές μέταλλο (χρυσό ἢ λευκόχρυσο). Τά δύο ήλεκτρόδια (σίδηρος, χρυσός) συνδέονται μέ εναίσθητο γαλβανόμετρο. (σχ. 80).

“Οταν πάνω στόν ήμιαγωγό πέφτει φῶς, τότε μέσα στόν ήμιαγωγό δημιουργοῦνται ζεύγη ήλεκτρικῶν φορέων, δηλαδή ήλεκτρόνια καί δύές. Τά ήλεκτρόνια συγκεντρώνονται στή μιά ἄκρη τού ήμιαγωγού καί οἱ δύές στήν

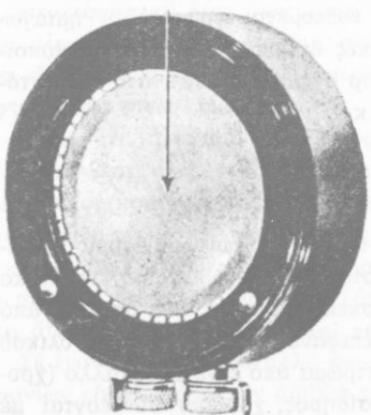


Σχ. 79. Σχηματική παράσταση ήμιαγωγού p καί ήμιαγωγού n.



Σχ. 80. Το φωτοστοιχείο είναι γεννήτρια που μετατρέπει τή φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

φωτοευαίσθητη έπιφάνεια



Σχ. 81. Η πρόσοψη τού φωτοστοιχείου.

φωτοστήλης φτάνει σε 15 %. Σήμερα φωτοστήλες χρησιμοποιούνται κυρίως στους τεχνητούς δορυφόρους και στά διαστημόπλοια. Αυτές οι φωτο-

ϊλλη ἄκρη του. "Ετσι στους δύο ἄκροδέκτες τοῦ φωτοστοιχείου ἀναπτύσσεται διαφορά δυναμικοῦ καὶ τό κύκλωμα διαρρέεται ἀπό ρεῦμα, πού ἡ ἔντασή του είναι ἀνάλογη μὲ τή φωτεινή ροή πού πέφτει πάνω στό φωτοστοιχεῖο. "Ωστε :

**Τό φωτοστοιχείο λειτουργεῖ ώς γεννήτρια, στήν όποια ἡ ἐνέργεια τῶν φωτονίων μετατρέπεται ἀμέσως σε ηλεκτρική ἐνέργεια.**

**Έφαρμογές τοῦ φωτοστοιχείου.** Τό φωτοστοιχείο χρησιμοποιεῖται στή φωτομετρία καὶ σέ πρακτικές ἐφαρμογές, δπως π.χ. γιά τόν προσδιορισμό τοῦ φωτισμοῦ δταν φωτογραφίζουμε, γιά τή ρύθμιση τῆς λειτουργίας ἐγκαταστάσεων, γιά τήν καταμέτρηση ἀνθρώπων ἡ ἀντικειμένων πού περνοῦν ἐμπρός ἀπό τό φωτοστοιχεῖο (σχ. 81). Στήν τελευταία περίπτωση μιά δέσμη φωτεινῶν ἡ ἀόρατων ὑπέριθρων ἀκτίνων πέφτει στό φωτοστοιχείο καὶ δημιουργεῖ ἔνα φωτοηλεκτρικό ρεῦμα. Αὐτό καταργεῖται κάθε φορά πού ἔνα ἀδιαφανές σῶμα περνάει ἐμπρός ἀπό τό φωτοστοιχεῖο. Μιά κατάλληλη ηλεκτρομηχανική διάταξη αὐτόματα μετράει πόσες φορές καταργεῖται τό ρεῦμα,

**Φωτοστήλη.** "Αν συνδέσουμε κατά σειρά πολλά φωτοστοιχεία σχηματίζουμε μιά φωτοστήλη (ἡ ἡλιακή συστοιχία) πού μπορεῖ νά μετατρέπει ἀμέσως τήν ἐνέργεια τού ἡλιακοῦ φωτός σε ηλεκτρική ἐνέργεια. Η διάδοση τῆς

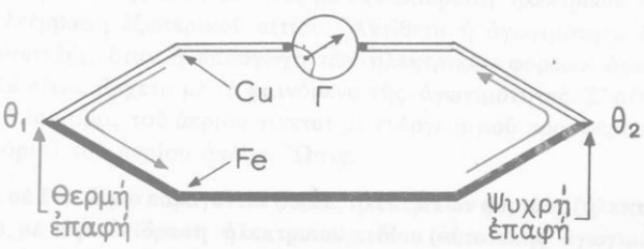
στήλες παράγουν τήν ηλεκτρική ένέργεια πού χρειάζονται οι διάφορες συσκευές γιά τή λειτουργία τους. Οι φωτοστήλες πού έπαρχουν στό δορυφόρο ή στό διαστημόπλοιο έχουν όλική ίσχυ πού φτάνει σέ άρκετές έκατοντάδες βάτ.

## 62. Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο

"Οταν φέρουμε σέ στενή έπαφή δύο διαφορετικά μέταλλα (π.χ. σίδηρο και χαλκό), τότε τά δύο μέταλλα άποκτονται έτερωνυμα ηλεκτρικά φορτία. "Ετσι μεταξύ τῶν δύο μετάλλων δημιουργεῖται μιά διαφορά δυναμικοῦ πού δονομάζεται τάση έπαφής. Τό φαινόμενο αυτό είναι γενικό και δφείλεται στή μετάβαση δρισμένου άριθμοῦ ηλεκτρονίων από τό ένα μέταλλο στό άλλο. "Ωστε:

"Οταν έρχονται σέ έπαφή δύο διαφορετικά μέταλλα, τότε μεταξύ τῶν δύο μετάλλων άναπτύσσεται τάση έπαφής, πού έξαρτᾶται από τή φύση τῶν μετάλλων και τή θερμοκρασία.

α. Θερμοηλεκτρικό στοιχείο. Σχηματίζουμε κύκλωμα υπό δύο διαφορετικά μέταλλα, π.χ. από σίδηρο και χαλκό (σχ.82). "Ετσι σέ δύο σημεῖα τοῦ κυκλώματος τά δύο μέταλλα βρίσκονται σέ έπαφή και ἐπομένως στά σημεῖα αυτά άναπτύσσονται τάσεις έπαφής. "Οταν οι δύο έπαφές έχουν τήν ίδια θερμοκρασία, οι δύο τάσεις έπαφής είναι ίσες και ἀντίθετες και τό κύκλωμα δέν διαρρέεται από ρεῦμα. "Αν δημοσιεύσεις οι δύο έπαφές έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες  $\theta_1$  και  $\theta_2$ , τότε οι δύο τάσεις έπαφής είναι άνισες και τό κύκλωμα διαρρέεται από ρεῦμα (θερμοηλεκτρικό ρεῦμα). Σ' αυτή τήν περίπτωση στό κύκλωμα άναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη πού δονομάζεται θερμοηλεκτρική τάση. Τό ζεῦγος τῶν δύο διαφορετικῶν μετάλλων, πού οι δύο έπαφές τους έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες δονομάζεται θερμοηλεκτρικό στοιχείο και ἀποτελεῖ μιά γεννήτρια. Τό φαινόμενο πού παρατηροῦμε στό θερμοηλεκτρικό στοιχείο δονομάζεται θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. "Ωστε:



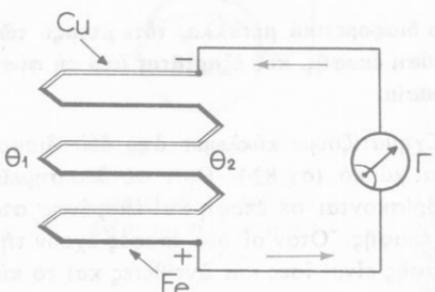
Σχ. 82. Θερμοηλεκτρικό στοιχείο.

Στό θερμοηλεκτρικό στοιχείο άναπτύσσεται θερμοηλεκτρική τάση ( $U_{θερμ}$ ) πού είναι άναλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta\theta$ ) των δύο έπαφων και έχαρταται άπο τή φύση τῶν δύο μετάλλων.

$$\text{θερμοηλεκτρική τάση } U_{θερμ} = C \cdot \Delta\theta$$

όπου  $C$  είναι ένας συντελεστής πού δονομάζεται *συντελεστής θερμοηλεκτρικής τάσεως* και έχαρταται άπο τή φύση τῶν δύο μετάλλων. Από τήν παραπάνω έξισωση βρίσκουμε  $C = U_{θερμ} / \Delta\theta$ . Άρα μονάδα συντελεστή θερμοηλεκτρικής τάσεως είναι 1 Volt/grad. Γιά τό θερμοηλεκτρικό ζεύγος σίδηρος - χαλκός πού πήραμε γιά παράδειγμα είναι  $C = 16 \cdot 10^{-5}$  V/grad.

β. Θερμοηλεκτρική στήλη.



Σχ. 83. Θερμοηλεκτρική στήλη.

Άν συνδέουμε κατά σειρά πολλά θερμοηλεκτρικά στοιχεία σχηματίζουμε μιά θερμοηλεκτρική στήλη (σχ. 83). Αύτη, δταν συνδέεται μέ εναίσθητο άμπερόμετρο (π.χ. μιλλιαμπερόμετρο), μπορετ νά άποδείξει πολύ μικρές διαφορές θερμοκρασίας. Οι θερμοηλεκτρικές στήλες χρησιμοποιούνται σέ έργα στηριακές μετρήσεις και στήν

τεχνική γιά τή λειτουργία αυτόματων διατάξεων και γιά τή μέτρηση θερμοκρασιών (θερμοηλεκτρικά θερμόμετρα).



Σχ. 84. Το πρόσθιο στριφτό ή στριφτό στριφτό είναι ένα μεταλλικό στριφτό που μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο έπαφων του στριφτού.

## 'Αγωγιμότητα τῶν ἀερίων

### 63. Ἡ ἀγωγιμότητα τῶν ἀερίων

Τά ἀέρια στή συνηθισμένη φυσική τους κατάσταση ἀποτελοῦνται ἀπό οὐδέτερα μόρια ἡ ἄτομα. "Ενα τέτοιο ἀέριο δέν μπορεῖ νά ἔχει ἡλεκτρική ἀγωγιμότητα, γιατί λείπουν οἱ φορεῖς ἡλεκτρικῶν φορτίων, δηλαδή τά ἡλεκτρόνια ἡ τά ἰόντα." Αν δημοσίευσε σέ ἓνα ἀέριο ὑπάρχουν ἐλεύθεροι φορεῖς ἡλεκτρικῶν φορτίων, τότε αὐτό τό ἀέριο, ὅταν βρεθεῖ μέσα σέ ἡλεκτρικό πεδίο, ἀποκτᾶ ἀγωγιμότητα. "Ωστε:

**Τά ἀέρια ἀποκτοῦν ἀγωγιμότητα, ὅταν μέσα σ' αὐτά δημιουργηθοῦν ἐλεύθεροι φορεῖς ἡλεκτρικῶν φορτίων, δηλαδή ἡλεκτρόνια ἡ ἰόντα.**

**α)** 'Ιονισμός ἐνός ἀερίου. Ο σχηματισμός ἰόντων ἀπό οὐδέτερα ἄτομα (ἡ μόρια) τοῦ ἀερίου ὀνομάζεται *Ιονισμός* τοῦ ἀερίου. "Οταν ἀπό ἔνα ἄτομο ξεφύγει ἔνα ἡλεκτρόνιο, τό ἄτομο μεταβάλλεται σέ θετικό ἰόν. Τό ἡλεκτρόνιο πού ξεφύγει συνήθως κολλάει πάνω σέ ἔνα ἄλλο ἄτομο, πού μεταβάλλεται σέ ἀρνητικό ἰόν.

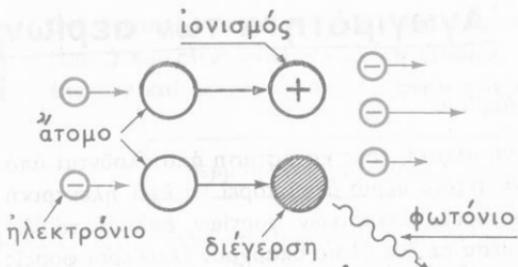
Γιά νά *Ιονισθεῖ* ἔνα οὐδέτερο ἄτομο (ἡ μόριο), πρέπει τό ἄτομο νά πάρει δρισμένη ἐνέργεια, πού δνομάζεται *ἐνέργεια ιονισμοῦ*. Αὐτή τήν ἐνέργεια τήν παίρνει τό ἄτομο, ὅταν συγκρουστεῖ μέ ἔνα ἄλλο σωματίδιο πού ἔχει μεγάλη κινητική ἐνέργεια (*Ιονισμός κρούσεως*), ἡ ὅταν τό ἄτομο ἀπορροφήσει ἐνέργεια ἀπό μιά ἀκτινοβολία (*Ιονισμός ἀπό ἀπορροφήση ἀκτινοβολίας*).

Συνήθως, ὅταν ἔνα ἀέριο παρουσιάζει ἀγωγιμότητα, τότε λέμε ὅτι συμβαίνει *ἡλεκτρική ἐκκένωση*.

**β)** **Μορφές ἀγωγιμότητας τῶν ἀερίων.** Ανάλογα μέ τόν τρόπο μέ τόν ὅποιο σχηματίζονται οἱ ἡλεκτρικοί φορεῖς διακρίνουμε δύο περιπτώσεις ἀγωγιμότητας τῶν ἀερίων, τήν *αὐτοτελή* καὶ τήν *μή αὐτοτελή* ἀγωγιμότητα.

"Η ἀγωγιμότητα δνομάζεται *αὐτοτελής*, ὅταν οἱ φορεῖς τῶν ἡλεκτρικῶν φορτίων (ἡλεκτρόνια, ἰόντα) παράγονται μέσα στό ἀέριο κατά τή διάρκεια τοῦ φαινομένου τῆς ἀγωγιμότητας μέ τήν *ἐπίδραση* ἡλεκτρικοῦ πεδίου, χωρίς τήν *ἐπέμβαση* ἐξωτερικοῦ αἰτίου. "Αντίθετα ἡ ἀγωγιμότητα δνομάζεται *μή αὐτοτελής*, ὅταν ἡ παραγωγή τῶν ἡλεκτρικῶν φορέων δφείλεται σέ *ἐξωτερικά αἴτια*, ἀσχετα μέ τό φαινόμενο τῆς ἀγωγιμότητας. Σ' αὐτή τήν περίπτωση ὁ *Ιονισμός* τοῦ ἀερίου γίνεται μέ *ἐνέργεια* πού προσφέρεται στά ἄτομα (ἡ μόρια) τοῦ ἀερίου ἀπέξω. "Ωστε:

**Μέσα σέ ἔνα ἀέριο παράγονται φορεῖς ἡλεκτρικῶν φορτίων (ἡλεκτρόνια, ἰόντα) μέ τήν *ἐπίδραση* ἡλεκτρικοῦ πεδίου (αὐτοτελής ἀγωγιμότητα) ἡ μέ τήν *ἐπίδραση* ἐξωτερικῶν αἰτίων (μή αὐτοτελής ἀγωγιμότητα).**



Σχ. 84. Από τη σύγκρουση του ήλεκτρονίου με τό ατόμο του άεριου προκαλεῖται η ιονισμός του άτομου ή διέγερση του άτομου.

συμβούν τά άκόλουθα φαινόμενα:

1) "Αν ο ήλεκτρικός φορέας, π.χ. ένα ήλεκτρόνιο, έχει μεγάλη κινητική ένέργεια, τότε κατά τη σύγκρουση του μέ ένα ατόμο (ή μόριο) του άεριου προκαλεῖται ιονισμός του άτομου, δηλαδή ένα η περισσότερα ήλεκτρόνια ξεφεύγουν άπό τό ατόμο, και έτσι τό ατόμο μεταβάλλεται σέ θετικό ίόν (σχ. 84).

2) "Αν τό ήλεκτρόνιο δέν έχει μεγάλη κινητική ένέργεια, τότε κατά τη σύγκρουσή του μέ ένα ατόμο του άεριου, τό ατόμο παίρνει ένέργεια Ε και άποκτά μιά κατάσταση διεγέρσεως, δηλαδή μιά άσταθή κατάσταση. Αυτή η κατάσταση διαρκεῖ έλαχιστο χρόνο (περίπου  $10^{-8}$  sec) και τό ατόμο έπανέρχεται στήν κανονική του κατάσταση άποβάλλοντας τήν ένέργεια Ε μέ τή μορφή φωτονίου.

"Αν η κινητική ένέργεια του ήλεκτρονίου δέν είναι ίκανη νά προκαλέσει ιονισμό η διέγερση του άτομου, τότε η σύγκρουση του ήλεκτρονίου μέ τό ατόμο (ή μόριο) του άεριου είναι μιά άπλη έλαστική κρούση. "Ωστε:

**Η φωτοβολία του άεριου** κατά τήν αύτοτελή άγωγιμότητα διείλεται σέ διέγερση τῶν άτομων του άεριου, η διόπια προκαλεῖται, δταν τά ατομα (ή μόρια) του άεριου συγκρούονται μέ ήλεκτρόνια η ίόντα πού έχουν μεγάλη κινητική ένέργεια.

"Ενδιαφέρουσα μορφή αύτοτελούς άγωγιμότητας είναι η έκκενωση αλγης. γ. Διαρκής ιονισμός του άερα. "Αν μέσα στόν άέρα άφήσουμε ένα ήλεκτρισμένο και μονωμένο ήλεκτροσκόπιο, παρατηρούμε δτι έπειτα άπο λίγο χρόνο τό ήλεκτροσκόπιο χάνει τό θετικό η άρνητικό φορτίο του. Αυτό συμβαίνει, γιατί πάντοτε μέσα στόν άέρα υπάρχουν θετικά και άρνητικά ίόντα. Ο άριθμός τῶν ίόντων πού υπάρχουν μέσα στόν άέρα μεταβάλλεται μέ τό ύψος πάνω άπό τήν έπιφάνεια τῆς Γῆς. Σέ ύψος πάνω άπό 100 km

a. Φωτεινά φαινόμενα κατά τήν αύτοτελή άγωγιμότητα. Συνήθως κατά τήν αύτοτελή άγωγιμότητα έμφανίζονται φωτεινά φαινόμενα. Η φωτοβολία του άεριου έρμηνευεται ώς έξης: "Οταν οι φορεζ ήλεκτρικών φορτίων (ήλεκτρόνια ίόντα) κινούνται μέσα στό άέριο μέ τήν έπιδραση του ήλεκτρικού πεδίου, τότε μπορεί νά

νύπάρχει ἔνα στρῶμα τῆς ἀτμόσφαιρας πού δονομάζεται ιονόσφαιρα καὶ παρουσιάζει Ισχυρό ιονισμό. Αὐτός διφείλεται στις ύπεριώδεις ήλιακές ἀκτινοβολίες, σὲ ἡλεκτρόνια πού ἐκπέμπονται ἀπό τὸν "Ηλιο καὶ σὲ μιά ιδιαίτερη ἀκτινοβολία, πού φτάνει στὸν πλανήτη μας ἀπό δῆλα τὰ σημεῖα τοῦ ἀστρικοῦ διαστήματος, καὶ δονομάζεται κοσμική ἀκτινοβολία ἡ κοσμικές ἀκτίνες. "Ωστε:

I. Ὁ ἀτμοσφαιρικός ἀέρας εἶναι πάντοτε ιονισμένος.

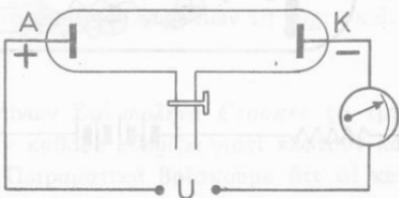
II. Ὁ ιονισμός τοῦ ἀέρα διφείλεται σὲ ιονισμό κρούσεως καὶ σὲ ιονισμό ἀπό ἀπορρόφηση ἀκτινοβολίας.

#### 64. Ἡλεκτρικές ἐκκενώσεις μέσα σέ ἀραιωμένα ἀέρια

a. Ἐκκένωση αἰγλῆς. "Ἐνας γυάλινος σωλήνας (σχ. 85) ἔχει στὶς ἄκρες του δύο ἡλεκρόδια, πού τά δονομάζουμε ἀντίστοιχα ἄνοδο (A) καὶ κάθοδο (K). Ἐφαρμόζουμε στά δύο ἡλεκτρόδια μιά ψηλή συνεχή τάση (U) μερικῶν χιλιάδων βόλτ. Στήν ἀρχή ὁ σωλήνας περιέχει ἀέρα μέ τὴ συνθισμένη ἀτμοσφαιρική πίεση. Τότε ὁ ἀέρας πού εἶναι μέσα στὸ σωλήνα δέν ἔχει ἀγωγιμότητα καὶ στὸ κύκλωμα δέν κυκλοφορεῖ ρεῦμα. Μέ μιά ἀεραντλία ἀρχίζουμε νά ἐλαττώνουμε προοδευτικά τὴν πίεση τοῦ ἀέρα. "Οταν ἡ πίεση ἐλαττωθεῖ ἀρκετά (γύρω στά 40 mm Hg), τότε μέσα στὸ σωλήνα συμβαίνει ἡλεκτρική ἐκκένωση καὶ παρατηροῦμε ὅτι μεταξύ τῶν δύο ἡλεκτροδίων σχηματίζονται φωτεινά νήματα, πού δίνουν τὴν ἐντύπωσην ἡλεκτρικοῦ σπινθήρα (βλ. εἰκόνα ἑκτός κειμένου). Ἡ πίεση στήν ὅποια ἀρχίζει ἡ ἡλεκτρική ἐκκένωση δέν εἶναι δοισμένη, γιατί ἔξαρτᾶται ἀπό τὸ μῆκος τοῦ σωλήνα καὶ τὴν τάση πού ἐφαρμόζεται στά ἡλεκτρόδια.

"Ἀν ἡ πίεση ἐλαττωθεῖ ἀκόμη περισσότερο (γύρω στά 10 mm Hg) τότε τά φωτεινά νήματα γίνονται πλατύτερα καὶ ἀποτελοῦν μιά φωτεινή στήλη, πού λέγεται θετική στήλη καὶ γεμίζει δῆλο τὸ σωλήνα (αἰγλη). Τότε ὁ σωλήνας ἐκπέμπει ὁμοιόμορφο φῶς μέ χρῶμα κοκκινωπό. Σ' αὐτή τῇ φάση τῆς ἐκκενώσεως ὁ σωλήνας δονομάζεται σωλήνας Geissler. Ἡ θετική στήλη χωρίζεται ἀπό τὴν κάθοδο μέ μιά σκοτεινή περιοχή ἐνδιπολύ κοντά στήν κάθοδο ὑπάρχει ἔνα φωτεινό στρῶμα ἀέρα μέ κυανό χρῶμα, ἡ ἀραιητική αἰγλη.

"Ἄν ἐξακολουθήσουμε τὴν ἀραιώση τοῦ ἀέρα, ἡ θετική στήλη ἀρχίζει νά διπισθοχωρεῖ πρός τὴν ἄνοδο καὶ ἐμφανίζονται μέσα στὸ σωλήνα σκοτεινές περιοχές. Ἡ μορφή τῆς ἐκκενώσεως πού παρατηροῦμε μέ αὐτό



Σχ. 85. Σχηματική διάταξη γιά τή μελέτη τῆς ἡλεκτρικῆς ἐκκενώσεως μέσα σέ ἀραιωμένο ἀέριο.

το πείραμα δονομάζεται *έκκενωση αιγλης*.

"Οταν ή πίεση του άέρα μέσα στό σωλήνα γίνει πολύ μικρή (μικρότερη από 0,05 mm Hg), τότε τό ρεῦμα έξακολουθεῖ νά κυκλοφορεῖ στό κύκλωμα, άλλα δόλα τά φωτεινά φαινόμενα έξαφανίζονται. Τό έσωτερικό του σωλήνα είναι σκοτεινό και μόνο τά τοιχώματα του σωλήνα πού βρίσκονται άπεναντι από τήν κάθοδο φθορίζουν και έκπεμπουν ένα άσθενές πρασινωπό φῶς Αύτός δ φθορισμός φανερώνει δτι πάνω σ' αυτό τό τμῆμα του γυαλιού πέφτουν άσφατες άκτινες πού προέρχονται από τήν κάθοδο και γι' αυτό δονομάστηκαν **καθοδικές άκτινες**. Τότε δ σωλήνας δονομάζεται σωλήνας Crookes.

Τά ίδια φαινόμενα παρατηροῦμε και μέ δοποιοδήποτε άλλο άέριο μέ τή διαφορά δτι τό χρώμα πού έκπεμπει ή θετική στήλη έξαρταται άπο τή φύση του άεριον.

β. Μηχανισμός τής έκκενωσεως αιγλης. "Οπως ξέρουμε διάφορα αιτια προκαλούν πάντοτε ιονισμό τού άέρα. Έπομένως στόν άέρα πού άρχικά είναι μέσα στό σωλήνα υπάρχει ένας πολύ μικρός άριθμός θετικῶν και άργητικῶν ίόντων και έλευθερων ήλεκτρονίων. Τό ίδιο συμβαίνει και σέ κάθε άλλο άέριο. "Ας θεωρήσουμε δτι μέσα στό σωλήνα υπάρχει ένα άέριο μέ μικρή πίεση και δτι πολύ κοντά στήν κάθοδο βρίσκεται ένα έλευθερο ήλεκτρόνιο (σχ. 86). Μέ τήν έπιδραση του ισχυρού ήλεκτρικού πεδίου τό ήλεκτρόνιο άρχιζει νά κινεῖται πρός τήν άνοδο μέ έπιτάχυνση. "Άλλα στήν πορεία του πρός τήν άνοδο συγκρούεται μέ μόρια του άεριον. "Οταν ή κινητική ένέργεια του ήλεκτρονίου δέν είναι άρκετά μεγάλη, τότε κατά τή σύγκρουσή του μέ τό μόριο προκαλεῖ μόνο διέγερση του μορίου, δηλαδή τό κάνει ίκανο νά έκπεμψει φωτεινή άκτινοβολία. "Οταν δμως τό ήλεκτρόνιο άποκτησει μεγάλη κινητική κινητική ένέργεια, τότε κατά τή σύγκρουσή του μέ ένα μόριο προκαλεῖ ιονισμό του μορίου και έτσι σχηματίζονται ένα θετικό ίόν και ένα έλευθερο ήλεκτρόνιο, πού μέ τήν έπιδρα-

ση του ήλεκτρικού πεδίου άρχιζει και αυτό νά κινεῖται πρός τήν άνοδο προκαλώντας στήν πορεία του διέγερση τῶν μορίων και σχηματισμό νέων θετικῶν ίόντων και έλευθερων ήλεκτρονίων. "Ετσι τελικά φτάνει στήν άνοδο ένας μεγάλος άριθμός ήλεκτρονίων.



Σχ. 86. Άπο τίς συγκρούσεις τῶν ήλεκτρονίων μέ τά άτομα του άεριον προκύπτουν ήλεκτρόνια πού κατευθύνονται πρός τήν άνοδο Α και θετικά ίόντα πού κετευθύνονται πρός τήν κάθοδο K.

Μέσα στό άεριο σχηματίστηκαν και πολλά θετικά ιόντα. Αὐτά, μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου, κινοῦνται πρός τήν κάθοδο. Ἐπειδή δῆμας ἔχουν μεγάλη μάζα, δέν ἀποκτοῦν μεγάλη ταχύτητα και ἐπομένως δέν ἔχουν τήν ίκανότητα νά προκαλέσουν ιονισμό. Τά θετικά ιόντα, ὅταν φτάσουν στήν κάθοδο, παίρνουν ἀπό αὐτήν ἡλεκτρόνια και γίνονται οὐδέτερα μόρια. Μερικά δῆμας θετικά ιόντα κατά τήν σύγκρουσή τους μέ τήν κάθοδο ἀναγκάζουν μερικά ἡλεκτρόνια νά ξεφύγουν ἀπό τήν κάθοδο (δεντρογενή ἡλεκτρόνια). Αὐτά τά ἡλεκτρόνια κατά τήν πορεία τους πρός τήν ἄνοδο δημιουργοῦν τά ίδια πάλι φαινόμενα. Ἐτσι ή ἐκκένωση διατηρεῖται δσο χρόνο ὑπάρχει τό ἡλεκτρικό πεδίο. Παρατηροῦμε δτι οἱ φορεῖς τῶν ἡλεκτρικῶν φορτίων (ἡλεκτρόνια, θετικά ιόντα) παράγονται κατά τή διάρκεια τοῦ φαινομένου τῆς ἀγωγιμότητας. "Ωστε:

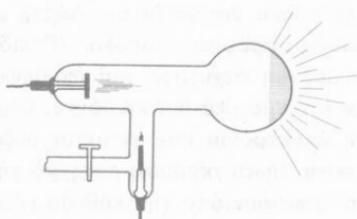
"Η ἐκκένωση αἰγλης ὀφείλεται στόν ιονισμό τοῦ ἀερίου, πού προκαλεῖται ἀπό τίς συνεχεῖς συγκρούσεις τῶν μορίων τοῦ ἀερίου μέ ἡλεκτρόνια, τά όποια μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου ἀποκτοῦν μεγάλη κινητική ἐνέργεια.

γ. Ἐφαρμογές τῆς ἐκκενώσεως αἰγλης. Η ἐκκένωση αἰγλης είναι μιά μορφή ἀγωγιμότητας τῶν ἀερίων πού ἐμφανίζεται σέ ἀερία μέ μικρή πίεση. Σήμερα σέ πολλές ἐφαρμογές ἐκμεταλλεύμαστε τήν ἐκκένωση αἰγλης. Στή φασματοσκοπία χρησιμοποιοῦμε ειδικούς σωλῆνες Geissler πού περιέχουν ἔνα ἀέριο μέ μικρή πίεση (περίπου 5 mm Hg). Τό φῶς πού ἐκπέμπει τό ἀέριο δίνει γραμμικό φάσμα, πού είναι χαρακτηριστικό γιά κάθε ἀέριο. Οι σωλῆνες τῶν φωτεινῶν διαφημίσεων είναι σωλῆνες Geissler, πού περιέχουν διάφορα δέρια, ἀνάλογα μέ τό χρῶμα τοῦ φωτός πού θέλουμε. Η πίεση τοῦ ἀερίου μέσα στό σωλήνα είναι μικρή (περίπου 10 mm Hg). Ως ἀσθενεῖς φωτεινές πηγές χρησιμοποιοῦνται μικροί λαμπτῆρες αἰγλης πού περιέχουν ἔνα εὐγενές ἀέριο (νέο) μέ χαμηλή πίεση. Τά δύο ἡλεκτρόδια είναι πολύ κοντά τό ἔνα μέ τό ἄλλο και είναι σπειροειδή ή μικρά πλακίδια (συνήθως σέ σχῆμα σταυροῦ). Λειτουργοῦν μέ τή συνθητισμένη τάση (220 V), ἔχουν πολύ μικρή κατανάλωση και χρησιμοποιοῦνται ώς δεῖκτες σέ διάφορες συσκευές, γιά τόν ἀσθενή φωτισμό δωματίων τή νύχτα κ.ἄ.

## 65. Καθοδικές ἀκτίνες

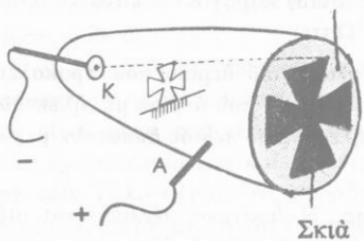
α. Ἰδιότητες τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων Στό σωλήνα Crookes τό τμῆμα τοῦ γυαλιοῦ πού είναι ἀπέναντι στήν καθοδο φθορίζει γιατί πέφτουν πάνω του οἱ καθοδικές ἀκτίνες (σχ. 87). Πειραματικά βρίσκουμε δτι οἱ καθοδικές ἀκτίνες ἔχουν τίς ἔξης ἰδιότητες:

1. Προκαλοῦν τό φθορισμό πολλῶν σωμάτων, π.χ. τοῦ γυαλιοῦ, τοῦ ἀσβεστίου, τοῦ κυανιούχου βαριολευκοχρύσου κ.ἄ.

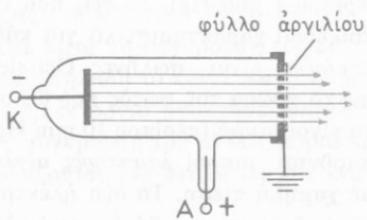


Σχ. 87. Σωλήνας Crookes γιά τήν παραγωγή καθοδικών άκτινων.

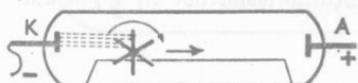
### Φθορισμός



Σχ. 88 Εύθυγραμμη διάδοση τῶν καθοδικῶν άκτινων.



Σχ. 89. Οι καθοδικές άκτινες περνοῦν μέσα από λεπτό φύλλο άλουμινίου.



Σχ. 90. Μηχανικά άποτελέσματα τῶν καθοδικῶν άκτινων.

γραμμη τροχιά τους. Μέ ένα διάφραγμα πού έχει μικρή τρύπα δημιουργούμε μιά δριζόντια λεπτή δέσμη καθοδικῶν άκτινων πού σχηματίζει ένα φωτεινό σημείο πάνω στό τοίχωμα πού φθορίζει (σχ. 91).

2. Προσβάλλουν τή φωτογραφική πλάκα και προκαλοῦν χημικές άλλοιώσεις σέ όρισμένα σώματα, π.χ. γναλί πού περιέχει μόλυβδο (κρύσταλλο) μαυρίζει, γιατί έλευθερώνεται μόλυβδος.

3. Φεύγουν κάθετα από τήν κάθοδο και διαδίδονται ενθύγραμμα, άνεξάρτητα από τή θέση πού έχει ή ανοδος. "Αν στήν πορεία τῶν καθοδικῶν άκτινων βάλουμε ένα σῶμα, τότε πίσω από τό σῶμα σχηματίζεται ή σκιά τοῦ σώματος πάνω στό τοίχωμα τοῦ σωλήνα πού φθορίζει (σχ. 88 ).
4. "Οταν πέφτουν πάνω σέ ένα σῶμα, προκαλοῦν θέρμανση τοῦ σώματος, π.χ. μποροῦν νά λευκοπυρώσουν ένα ξλασμα από λευκόχρυσο.

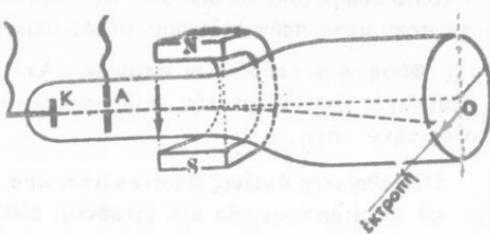
5. "Έχουν διεισδυτική ίκανότητα. Τό τοίχωμα τοῦ σωλήνα πού είναι απέναντι από τήν κάθοδο έχει μικρό άνοιγμα πού κλείνεται μέ ένα λεπτό φύλλο από άλουμινιο (πάχους 0,001 mm). Οι καθοδικές άκτινες περνοῦν μέσα από τή μάζα τοῦ άλουμινίου και βγαίνουν στόν άέρα, δ οποῖος φωτοβολεῖ σέ απόσταση 5 cm από τό τοίχωμα τοῦ σωλήνα (σχ. 89 ).

6. Προκαλοῦν μηχανικά φαινόμενα. "Αν οι καθοδικές άκτινες πέφτουν πάνω στά πτερύγια ένός εύκινητου μύλου, αυτός άρχιζει νά περιστρέφεται (σχ. 90 ).

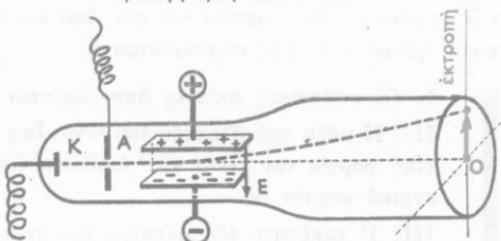
7. Μέ τήν έπιδραση μαγνητικοῦ πεδίου έκτρεπονται από τήν εύθυ-

"Οταν οἱ καθοδικές ἀκτίνες τῆς δέσμης εἰναι κάθετες στὶς δυναμικές γραμμές ἐνός διμογενοῦς μαγνητικοῦ πεδίου, παρατηροῦμε διτὶ οἱ καθοδικές ἀκτίνες ἐκτρέπονται κάθετα στὶς δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου. Αὐτή ἡ ἐκτροπή εἰναι ἴδια μὲ τὴν ἐκτροπή πού θά πάθαινε ἀπό αὐτό τὸ μαγνητικό πεδίο ἔνα εὐθύγραμμο ρεῦμα πού θά είχε φορά (συμβατική) ἀντίθετη μὲ τή φορά τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων.

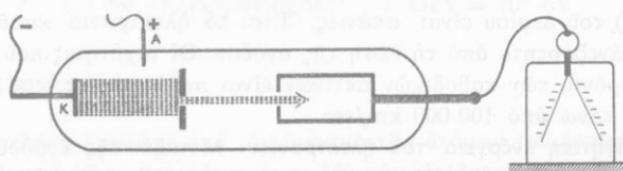
8. Μέ τήν ἐπίδραση ἡλεκτρικοῦ πεδίου ἐκτρέπονται ἀπό τήν εὐθύγραμμη τροχιά τους. Αὐτή ἡ ἐκτροπή φαίνεται, ἃν μέσα στό σωλήνα ὑπάρχει ἔνας πυκνωτής (σχ. 92). Οἱ καθοδικές ἀκτίνες μιᾶς λεπτῆς δέσμης περνώντας μέσα ἀπό τό δύμογενές ἡλεκτρικό πεδίο ἐκτρέπονται κάθετα στὶς δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου, σάν νά ἔλκονται ἀπό τό θετικό δόλισμό τοῦ πυκνωτῆ.
9. Μεταφέρουν ἀρνητικά ἡλεκτρικά φορτία. Αὐτό φαίνεται ἀπό τήν ἐκτροπή πού παθαίνονται οἱ καθοδικές ἀκτίνες μὲ τήν ἐπίδραση μαγνητικοῦ καὶ ἡλεκτρικοῦ πεδίου, τό διαπιστώνυμε ὅμως καὶ ὡς ἔξης : Μέσα στό σωλήνα καὶ ἀπέναντι ἀπό τήν κάθοδο ὑπάρχει ἔνας μονωμένος μεταλλικός κύλινδρος (σχ. 93). Αὐτός συνδέεται μὲ ἡλεκτρο-



Σχ. 91. Ἐκτροπή τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων μὲ τήν ἐπίδραση μαγνητικοῦ πεδίου.



Σχ. 92. Ἐκτροπή τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων μὲ τήν ἐπίδραση ἡλεκτρικοῦ πεδίου.



Σχ. 93. Οἱ καθοδικές ἀκτίνες μεταφέρουν ἀρνητικά φορτία.

σκόπιο που βρίσκεται έξω από τό σωλήνα. "Οταν οι καθοδικές άκτινες πέφτουν μέσα στόν κύλινδρο, αυτός άποκταί άρνητικό φορτίο.

β. Φύση τῶν καθοδικῶν άκτινων. Ἀπό τήν ἐκτροπή πού παθαίνουν οι καθοδικές άκτινες μέ τήν ἐπίδραση μαγνητικοῦ ἡ ήλεκτρικοῦ πεδίου ἀποδείχτηκε δι:

**Οι καθοδικές άκτινες άποτελοῦνται ἀπό σωματίδια πού έχουν ἀρνητικό ήλεκτρικό φορτίο καὶ κινοῦνται εὐθύγραμμα.**

Πειραματικά μποροῦμε νά μετρήσουμε τή μάζα, τό ηλεκτρικό φορτίο καὶ τήν ταχύτητα τῶν σωματιδίων πού άποτελοῦν τίς καθοδικές άκτινες. "Ετσι καταλήξαμε στά έξῆς συμπεράσματα:

I. Οι καθοδικές άκτινες άποτελοῦνται ἀπό ηλεκτρόνια.

II. Ἡ μάζα τοῦ ηλεκτρονίου είναι ἵση μέ  $9,1 \cdot 10^{-31}$  kgr καὶ τό ἀρνητικό φορτίο του είναι κατ' ἀπόλυτη τιμή ἵσο μέ τό στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο (e).

III. Ἡ ταχύτητα τῶν ηλεκτρονίων τῶν καθοδικῶν άκτινων ἔξαρταται ἀπό τήν τάση πού υπάρχει μεταξύ τῆς ἀνόδου καὶ τῆς καθόδου.

μάζα ηλεκτρονίου	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kgr
φορτίο ηλεκτρονίου	$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Cb

γ. Παραγωγή τῶν καθοδικῶν άκτινων. Στό σωλήνα Crookes ή πίεση τοῦ ἀερίου είναι πολύ μικρή καὶ ἀντίθετα ή τάση πού ἐφαρμόζεται στά ηλεκτρόδια είναι πολύ μεγάλη. Πειραματικά ἀποδεικνύεται δι πολύ κοντά στήν κάθιδο υπάρχει μιά περιοχή δπου τό ηλεκτρικό πεδίο ἔχει μεγάλη ἔνταση. Μέσα σ' αὐτή τήν περιοχή μερικά ἄτομα τοῦ ἀερίου *ionizονται*, δηλαδή χάνουν συνήθως ἔνα ηλεκτρόνιο κατά ἄτομο. Τά ηλεκτρόνια πού ἐλευθερώνονται μέσα σ' αὐτή τήν περιοχή πολύ γρήγορα ἀποκτοῦν μεγάλη ταχύτητα μέ διεύθυνση κάθετη στήν ἐπιφάνεια τῆς καθόδου, γιατί ή ἔνταση (E) τοῦ ηλεκτρικοῦ πεδίου είναι κάθετη στήν ἐπιφάνεια τῆς καθόδου. "Επειδή τό ἀέριο είναι πολύ ἀραιό, οί συγκρούσεις τῶν ηλεκτρονίων μέ τά ἄτομα (ἡ μόρια) τοῦ ἀερίου είναι σπάνιες. "Ετσι τά ηλεκτρόνια κινοῦνται εὐθύγραμμα, ἀνεξάρτητα ἀπό τή θέση τῆς ἀνόδου. Οι ταχύτητες πού ἀποκτοῦν τά ηλεκτρόνια τῶν καθοδικῶν άκτινων είναι πολύ μεγάλες καὶ μπορεῖ νά φτάσουν πάνω ἀπό 100 000 km/sec.

δ. Κινητική ἐνέργεια τοῦ ηλεκτρονίου. Μεταξύ τῆς ἀνόδου καὶ τῆς καθόδου υπάρχει ή τάση U, πού δημιουργεῖ τό ηλεκτρικό πεδίο. "Ενά ηλεκτρόνιο ξεκινάει ἀπό τήν ἐπιφάνεια τῆς καθόδου χωρίς ἀρχική ταχύτητα.

Τό ήλεκτρόνιο, ἔξαιτίας τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου, κινεῖται μέ δὲ πιτάχυνση καὶ ἄν στήν πορεία του δέ συγκρουστεῖ μέ μόρια τοῦ ἀερίου, φτάνει στήν ἄνοδο μέ κινητική ἐνέργεια  $E_{κιν} = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$ . Αὐτή ἡ ἐνέργεια εἶναι ἵση μέ τό ἔργο πού παράγεται ἀπό τό ήλεκτρικό πεδίο. Τό ἔργο αὐτό εἶναι κατ' ἀπόλυτη τιμή ἴσο μέ  $e \cdot U$  καὶ, ἐπομένως, ἰσχύει ἡ ἔξισωση:

$$\frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = e \cdot U \quad (1) \quad \text{καὶ} \quad E_{κιν} = e \cdot U \quad (2)$$

Από τήν ἔξισωση (1) βρίσκουμε ὅτι ἡ ταχύτητα  $v$  πού ἀποκτᾶ τό ήλεκτρόνιο ἔξαρτᾶται ἀπό τήν τάση  $U$  πού ἐφαρμόζεται στόν καθοδικό σωλήνα καὶ δίνεται ἀπό τήν ἔξισωση:

$$\text{ταχύτητα ήλεκτρονίου } v = \sqrt{\frac{2e \cdot U}{m_e}}$$

ε. Ἡ μονάδα ἐνέργειας ήλεκτρονιοβόλτ. Ἀν στήν ἔξισωση (2) βάλουμε  $U = 1 \text{ V}$ , βρίσκουμε

$$E_{κιν} = |e| \cdot U = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb} \cdot 1 \text{ V} \quad \text{καὶ} \quad E_{κιν} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$$

Αὐτή ἡ ἐνέργεια τοῦ ήλεκτρονίου εἶναι μιά ἄλλη μονάδα ἐνέργειας, πού δονομάζεται ήλεκτρονιοβόλτ ( $1 \text{ eV}$ , electron - Volt) καὶ ὁρίζεται ὡς ἔξῆς:

**1 ήλεκτρονιοβόλτ (1 eV) εἶναι ἡ ἐνέργεια πού ἀποκτᾶ ἕνα ήλεκτρόνιο, ὅταν ἐπιταχύνεται ἀπό τάση πού εἶναι ἵση μέ 1 Volt.**

$$1 \text{ ήλεκτρονιοβόλτ (1eV)} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$$

Ἡ μονάδα ήλεκτρονιοβόλτ χρησιμοποιεῖται πολύ στήν Ἀτομική καὶ Πυρηνική Φυσική. Συνήθως χρησιμοποιοῦνται καὶ τά ἔξῆς πολλαπλάσια τῆς μονάδας ήλεκτρονιοβόλτ:

$$1 \text{ Μέγα - ήλεκτρονιοβόλτ : } 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ Γίγα - ήλεκτρονιοβόλτ : } 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

## 66. Θετικές ἀκτίνες

Στό σωλήνα Crookes ἀπό τόν ιονισμό τῶν ἀτόμων τοῦ ἀερίου σχηματίζονται θετικά ἰόντα καὶ ήλεκτρόνια. Μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου τά θετικά ἰόντα κινοῦνται πρός τήν κάθοδο. Ὁπως δμως μάθαμε

πολύ κοντά στήν κάθοδο ύπαρχει μιά περιοχή, σπου δη ενταση τοῦ ηλεκτρικοῦ πεδίου είναι πολύ μεγάλη. Μέσα σ' αὐτήν τήν περιοχή, πού είναι μιά ζώνη ιορυσμοῦ και ἐπιταχύνσεως, ἐπιταχύνονται δχι μόνο τά ηλεκτρόνια τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων, ἀλλά και τά θετικά ιόντα πού κινοῦνται πρός τήν κάθοδο. "Ετσι πολύ κοντά στήν κάθοδο τά θετικά ιόντα ἀποκτοῦν μεγάλη ταχύτητα μέ δεύθυνση κάθετη στήν ἐπιφάνεια τῆς καθόδου.

"Αν δη κάθοδος ἔχει μικρές τρύπες, τότε μερικά ἀπό τά θετικά ιόντα πού κινοῦνται πρός τήν κάθοδο περνοῦν μέσα ἀπό τίς τρύπες και ἔξακολουθοῦν



Σχ. 94 . Οι θετικές ἀκτίνες είναι θετικά ιόντα.

τήν ἐπίδραση μαγνητικοῦ δη λεκτρικοῦ πεδίου ἐκτρέπονται ἀπό τήν ευθύγραμμη τροχιά τους, προσβάλλουν τήν φωτογραφική πλάκα και προκαλοῦν τό φθορισμό σέ δρισμένα σώματα. "Επειδή τά σωματίδια τῶν θετικῶν ἀκτίνων ἔχουν μάζα πολύ μεγαλύτερη ἀπό τήν μάζα τοῦ ηλεκτρονίου, γι' αὐτό τά σωματίδια τῶν θετικῶν ἀκτίνων ἔχουν ταχύτητα πολύ μικρότερη ἀπό τήν ταχύτητα πού ἔχουν τά ηλεκτρόνια τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων.

"Από τήν ἐκτροπή πού παθαίνει μέ τήν ἐπίδραση μαγνητικοῦ και δη λεκτρικοῦ πεδίου μιά λεπτή δέσμη θετικῶν ἀκτίνων μποροῦμε νά μετρήσουμε τή μάζα, τό ηλεκτρικό φορτίο και τήν ταχύτητα ἐνός σωματίδιου τῶν θετικῶν ἀκτίνων. "Ετσι καταλήξαμε στό ἔξτης συμπέρασμα:

**Τά σωματίδια τῶν θετικῶν ἀκτίνων είναι θετικά ιόντα τοῦ ἀερίου, πού ἔχουν ἔνα δη περισσότερα στοιχειώδη θετικά ηλεκτρικά φορτία.**

"Αν π.χ. μέσα στό σωλήνα Crookes υπάρχει ύδρογόνο, τότε οι θετικές ἀκτίνες πού σχηματίζονται, ἀποτελοῦνται ἀπό τούς πυρήνες τῶν ἀτόμων ύδρογόνου, δηλαδή ἀπό πρωτόνια. Σ' αὐτή τήν περίπτωση βρίσκουμε τά ἔξτης ἔξαγομενα:

$$\begin{aligned} \text{μάζα πρωτονίου} \\ \text{φορτίο πρωτονίου} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_p = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb} \end{aligned}$$

Τό ίδρογόνο άποτελεῖται ἀπό δύο ισότοπα, τό κοινό ίδρογόνο  $H^1$  καὶ τό δευτέριο  $H^2$ , ἐνῷ ἄλλα στοιχεῖα άποτελοῦνται ἀπό περισσότερα ισότοπα, π.χ. ὁ καστίτερος ( $Sn$ ) άποτελεῖται ἀπό δέκα ισότοπα. Ἡ διάταξη μὲ τὴν δόπια δισχωρίζουμε τά ισότοπα ἐνός στοιχείου δονομάζεται φασματογράφος τῶν μαζῶν. Αὐτός διαχωρίζει τά θετικά ιόντα τῶν ισοτόπων ἐνός στοιχείου.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

90. Σέ ἔνα σωλήνα Crookes σχηματίζεται ρεῦμα ἐντάσεως  $10 \text{ mA}$ . Πόσα ἡλεκτρόνια φτάνουν στὴν ἄνοδο κατά δευτερόλεπτο;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .

91. Σέ ἔναν καθοδικό σωλήνα ἐφαρμόζεται τάση  $U = 10\,000 \text{ V}$ . Πόση ταχύτητα καὶ πόση κινητική ἐνέργεια ἀποκτοῦν τά ἡλεκτρόνια τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

92. Μέσα σέ ἔναν καθοδικό σωλήνα ὑπάρχει πυκνωτής πού οἱ ὄπλισμοι του εἰναι ὄριζόντιοι, ἔχουν μῆκος  $l = 6 \text{ cm}$  καὶ ἡ μεταξὺ τους ἀπόσταση εἰναι  $d = 2 \text{ cm}$ . Στοὺς ὄπλισμούς τοῦ πυκνωτῆ ἐφαρμόζεται τάση  $U = 500 \text{ V}$ . Ἡ λεπτή καθοδική δέσμη εἰναι ὄριζόντια καὶ ἀποτελεῖται ἀπό ἡλεκτρόνια πού κινοῦνται μὲ στεθερή ταχύτητα  $v_0 = 25 \cdot 10^8 \text{ km/sec}$ . Ἡ καθοδική δέσμη μπαίνει μέσα στὸ ἡλεκτρικό πεδίο πού ὑπάρχει μεταξὺ τῶν ὄπλισμῶν τοῦ πυκνωτῆ καὶ κάθετα στὶς δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου. 1) Πόσο χρόνο ἔνα ἡλεκτρόνιο κινεῖται μέσα στὸ ἡλεκτρικό πεδίο; 2) Βγαίνοντας τό ἡλεκτρόνιο ἀπό τό ἡλεκτρικό πεδίο, πόσο ἔχει ἐκτραπεῖ ἀπό τὴν ἀρχική διεύθυνση τῆς κινήσεώς του;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

93. Τά ἡλεκτρόνια μιᾶς λεπτῆς καθοδικῆς δέσμης κινοῦνται μὲ σταθερή ταχύτητα  $v_0 = 10^8 \text{ m/sec}$  καὶ μπαίνουν μέσα σὲ ὅμοιονές ἡλεκτρικό πεδίο, πού ἔχει ἔνταση  $E = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ V/m}$ . Ἡ ταχύτητα  $v_0$  εἰναι κάθετη στὶς κατακόρυφες δυναμικές γραμμές τοῦ πεδίου. 1) Τί τροχιά διαγράφει τό ἡλεκτρόνιο μέσα στὸ ἡλεκτρικό πεδίο; 2) Πόση ἐπιτάχυνση ἀποκτᾶ τό ἡλεκτρόνιο; 3) "Ἄν ἡ κατακόρυφη ἐκτροπή τοῦ ἡλεκτρονίου ἀπό τὴν ἀρχική ὄριζόντια διεύθυνση τῆς κινήσεώς του εἰναι  $h = 4 \text{ cm}$ , πόσο χρόνο κινήθηκε τό ἡλεκτρόνιο μέσα στὸ ἡλεκτρικό πεδίο;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

94. Τά ἡλεκτρόνια μιᾶς λεπτῆς καθοδικῆς δέσμης ἐπιταχύνονται ἀπό τάση  $U$  καὶ ἀποκτοῦν ταχύτητα  $v = 10^4 \text{ km/sec}$ . Πόση εἰναι ἡ κινητική ἐνέργεια ἐνός ἡλεκτρονίου τῆς δέσμης καὶ πόση εἰναι ἡ τάση  $U$ ;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

95. Μιὰ λεπτή δέσμη θετικῶν ἀκτίνων ἀποτελεῖται ἀπό ἀτομικούς πυρῆνες ίδρογόνου, δηλαδὴ ἀπό πρωτόνια, πού ἐπιταχύνονται ἀπό τάση  $U = 1000 \text{ V}$ . Πόση ταχύτητα καὶ πόση κινητική ἐνέργεια ἀποκτᾶ κάθε πρωτόνιο αὐτῆς τῆς δέσμης;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kgr}$ .

## Άγωγιμότητα στό κενό

### 67. Η άγωγιμότητα στό κενό

Τό ήλεκτρικό ρεῦμα είναι κίνηση φορέων ήλεκτρικού φορτίου. Τέτοιοι φορεῖς, όπως ξέρουμε, είναι τά ήλεκτρόνια και τά ιόντα. Τό κενό αποκτά άγωγιμότητα, όταν μέσα σ' αυτό δημιουργηθούν ήλεκτρόνια. Αυτά παράγονται μέσα στό κενό μέ δύο φαινόμενα, που δονομάζονται άντιστοιχα θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο και φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

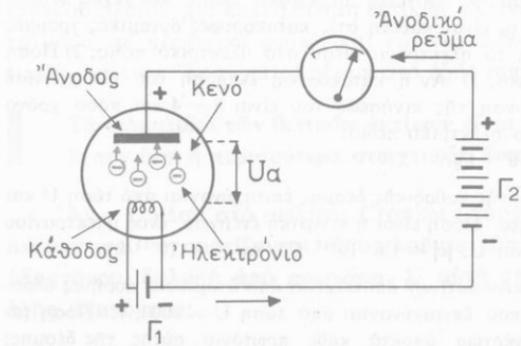
### 68. Θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο

α. Πειραματική άπόδειξη. Από μιά παρατήρηση τοῦ Edison (1883) άνακλύψαν τό άκολουθο φαινόμενο, που δονομάζεται θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο ή θερμική έκπομπή ήλεκτρονίων :

Τά μέταλλα, όταν έχουν μεγάλη θερμοκρασία, έκπεμπουν ήλεκτρόνια.

Γιά νά παρατηρήσουμε τό θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο, χρησιμοποιούμε τήν έξης διάταξη (σχ. 95). Μέσα σέ άεροκενο σωλήνα υπάρχει σύρμα Κ (κάθοδος), που διαπυρώνεται μέ τό συνεχές ρεῦμα μιᾶς γεννήτριας  $\Gamma_1$ , και μιά μεταλλική πλάκα Α (άνοδος), που συνδέεται μέ τό θετικό πόλο μιᾶς ίσχυρῆς γεννήτριας  $\Gamma_2$ . Ο άρνητικός πόλος τής γεννήτριας  $\Gamma_2$  συν-

δέεται μέ τόν άρνητικό πόλο τής γεννήτριας  $\Gamma_1$ . Οταν ή κάθοδος Κ έχει τή θερμοκρασία τοῦ περιβάλλοντος, στό κύκλωμα τής άνόδου Α δέν κυκλοφορεῖ ρεῦμα. Οταν δόμως ή κάθοδος Κ διαπυρώθει και μεταξύ τής άνόδου Α και τής καθόδου υπάρχει θετική τάση  $U_a$  (άνοδική τάση), τότε στό κύκλωμα τής άνόδου κυκλοφορεῖ ρεῦμα (άνοδικό ρεῦμα). Αύτό δείχνει ότι τό κενό έχει άπο-



Σχ. 95. Άπο τή διάπυρη κάθοδο βγαίνουν ήλεκτρόνια και έξαιτίας τής άνοδικής τάσεως  $U_a$  φτάνουν στήν άνοδο και έτσι κλείνει τό κύκλωμα.

κτήσει άγωγιμότητα, πού δφείλεται στά ήλεκτρόνια πού ἐκπέμπει ή διάπυρη κάθοδος. Τά ήλεκτρόνια μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου κινοῦνται μέσα στό κενό, φτάνουν στήν ανοδο καί ἔτσι κλείνει τό κύκλωμα τῆς ἀνόδου.

Μέσα στό σωλήνα τό ανοδικό ρεῦμα ἔχει συμβατική φορά ἀπό τήν πλάκα Α πρός τό σύρμα Κ καί γι' αὐτό ή πλάκα δνομάζεται ανοδος καί τό σύρμα κάθοδος. Ἐπειδή μέσα στό σωλήνα ὑπάρχουν δύο ήλεκτρόδια (ή ανοδος Α καί ή κάθοδος Κ), γι' αὐτό ό σωλήνας δνομάζεται δίοδος ήλεκτρονική λυχνία ή καί ἀπλά δίοδος. Στήν πράξη ή ανοδος είναι ἔνας κύλινδρος πού αξονά του ἔχει τό σύρμα τῆς καθόδου. Ἀπό τά παραπάνω βγάζουμε τό ἔξης συμπέρασμα:

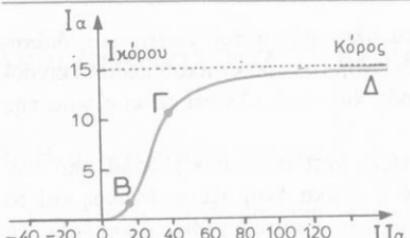
**Στή δίοδο ηλεκτρονική λυχνία τό ρεῦμα περνάει, μόνο ὅταν ή ανοδική τάση είναι θετική ( $V_a > 0$ ).**

"Αν διακόψουμε τή σύνδεση τῆς ἀνόδου Α μέ τή γεννήτρια  $\Gamma_2$ , τό ανοδικό ρεῦμα καταργεῖται. "Από τό διάπυρο σύρμα ἔξακολουθοῦν νά βγαίνουν ήλεκτρόνια καί τότε τό σύρμα ἀρχίζει νά ἀποκτᾶ θετικό φορτίο. Τά ήλεκτρόνια πού βγαίνουν ἀπό τό σύρμα σχηματίζουν γύρω του ἔνα «σύννεφο ήλεκτρονίων» καί ἔτσι μεταξύ τοῦ σύρματος καί τοῦ σύννεφου ήλεκτρονίων δημιουργεῖται ήλεκτρικό πεδίο. Τότε ὅσα ήλεκτρόνια βγαίνουν ἀπό τό σύρμα μέσα σέ χρόνο  $\Delta t$ , τόσα ἀκριβῶς ήλεκτρόνια μέσα στόν ίδιο χρόνο ξαναγυρίζουν στό σύρμα. Τέτοια π.χ. ἴσορροπία ἐπικρατεῖ στό περιβάλλον τοῦ διάπυρου σύρματος ἐνός λαμπτήρα πυρακτώσεως.

β. "Η ἔνταση τοῦ ανοδικοῦ ρεύματος. Διατηροῦμε σταθερή τή θερμοκρασία τῆς καθόδου. "Οταν αὐξάνουμε προοδευτικά τήν ανοδική τάση ( $U_a$ ), συνεχῶς αὐξάνει καί ή ἔνταση ( $I_a$ ) τοῦ ανοδικοῦ ρεύματος, ἀρα συνεχῶς αὐξάνει διάριθμός τῶν ήλεκτρονίων πού φτάνουν στήν ανοδο. Καί ὅταν ή ἀνοδική τάση ἀποκτήσει μιά δρισμένη τιμή, ὅλα τά ήλεκτρόνια πού βγαίνουν ἀπό τό σύρμα φτάνουν στήν ανοδο καί τότε ή ἔνταση τοῦ ανοδικοῦ ρεύματος παίρνει τή μέγιστη δυνατή τιμή της, πού δνομάζεται ρεῦμα κόρον (σχ. 96 ).

"Αν αὐξάνουμε προοδευτικά τή θερμοκρασία τοῦ σύρματος (\*), βρίσκουμε δτι αὐξάνει καί τό ρεῦμα κόρου. "Αρα, ὅταν ὑψώνεται ή θερμοκρασία τοῦ σύρματος, αὐξάνει διάριθμός τῶν ήλεκτρονίων πού βγαίνουν ἀπό τό σύρμα. Πειραματικά βρίκουμε δτι μικρή αὐξηση τῆς θερμοκρασίας

(\*) "Η θερμοκρασία τοῦ σύρματος αὐξάνει, δταν αὐξάνει ή τάση πού ἐφαρμόζεται στό σύρμα.



Σχ. 96. Η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου λυχνίας ( $U_\alpha$  σέ Volt,  $I_\alpha$  σέ mA). Μεταξύ των σημείων  $B$  και  $\Gamma$  ή-  
ένταση του ρεύματος είναι σχεδόν άνα-

λογη μέ την άνοδική τάση.

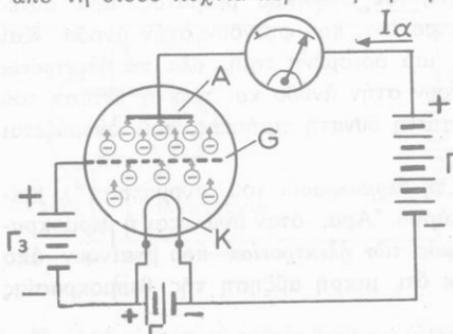
τού σύρματος προκαλεῖ σημαντική αύξηση της έντασεως του ρεύματος κόρου (σχ. 97). Από τά παραπάνω καταλήγουμε στά έξης συμπεράσματα:

I. Η ένταση του άνοδικου ρεύματος μπορεῖ νά λάβει μιά δρισμένη μέγιστη τιμή (ρεύμα κόρου), πού έχαρταται από τη θερμοκρασία της καθόδου.

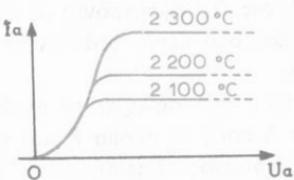
II. Ο άριθμός των ήλεκτρονίων πού κατά μονάδα χρόνου βγαίνουν από τό διάπυρο σύρμα αύξάνει μέ τη θερμοκρασία του σύρματος.

γ. Έφαρμογές του θερμοηλεκτρονικού φαινομένου. Τό θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο έχει σημαντικές έφαρμογές. Πολλές συσκευές, πού γενικά δνομάζονται ήλεκτρονικοί σωλήνες, είναι άεροκενοί σωλήνες στούς δποίους παράγονται ήλεκτρόνια από μιά διαπυρωμένη κάθοδο. Τέτοιοι ήλεκτρονικοί σωλήνες είναι π.χ. η τρίοδος ήλεκτρονική λυχνία, ο ήλεκτρονικός παλμογράφος, ο σωλήνας Braun, ο σωλήνας Coolidge, τό ήλεκτρονικό μικροσκόπιο κ.α.

Άν στό άνοδικό κύκλωμα (σχ. 95) άντικαταστήσουμε τή γεννήτρια συνεχούς ρεύματος  $\Gamma_2$  μέ μιά γεννήτρια έναλλασσόμενου ρεύματος, τότε από τή δίοδο λυχνία περνάει ρεύμα μόνο κατά τή μιά ήμιπερίοδο ( $T/2$ ),



Σχ. 98. Σχηματική παράσταση της τρίοδου ήλεκτρονικής λυχνίας. Τό πλέγμα έπιταχύνει τά ήλεκτρόνια.



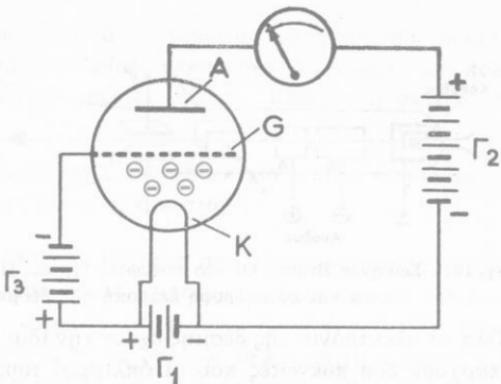
Σχ. 97. Όταν αύξάνεται ή θερμοκρασία της καθόδου, αύξάνεται ή ένταση του ρεύματος κόρου.

### 69. Τρίοδος ήλεκτρονική λυχνία

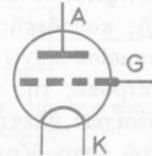
Η τρίοδος ήλεκτρονική λυχνία ή απλά τρίοδος (σχ. 98) είναι μιά δίοδος λυχνία στήν δποία μεταξύ της άνοδου (A) και της καθόδου (K) έχει προστεθεῖ ένα τρίτο ήλε-

κτρόδιο που δυναμάζεται πλέγμα (G). Μεταξύ της άνοδου και της καθόδου υπάρχει ή τάση άνοδου ( $U_A$ ), ή όποια δημιουργεί ήλεκτρικό πεδίο. "Αν συνδέσουμε τό πλέγμα μέ τό θετικό πόλο μιᾶς γεννήτριας, ώστε τό δυναμικό τοῦ πλέγματος νά είναι θετικό σχετικά μέ τό δυναμικό τῆς καθόδου, τότε τά ήλεκτρόνια που βγαίνουν άπό τήν κάθοδο έλκονται άπό τήν άνοδο καὶ άπό τό

πλέγμα καὶ έτσι τό άνοδικό ρεῦμα ἐνισχύεται. Αντίθετα, ἂν συνδέσουμε τό πλέγμα μέ τόν άρνητικό πόλο τῆς γεννήτριας, ώστε τό δυναμικό τοῦ πλέγματος νά είναι άρνητικό σχετικά μέ τό δυναμικό τῆς καθόδου, τότε τά ήλεκτρόνια που βγαίνουν άπό τήν κάθοδο άπωθοῦνται άπό τό πλέγμα καὶ τό άνοδικό ρεῦμα ἔξασθενίζει ή καὶ καταργεῖται τελείως (σχ. 99). "Ετσι μεταξύ τοῦ πλέγματος καὶ τῆς καθόδου δημιουργοῦμε τήν τάση πλέγματος ( $U_G$ ), ή όποια δημιουργεῖ ἕνα ήλεκτρικό πεδίο. Οἱ μεταβολές τῆς τάσεως τοῦ πλέγματος προκαλοῦν ἀντίστοιχες μεταβολές στήν ἔνταση τοῦ άνοδικοῦ ρεύματος. Αὐτή τήν ίδιότητα τῆς τριόδου λυχνίας ἐκμεταλλευόμαστε σέ διάφορες ἐφαρμογές (τηλεπικοινωνίες, ραδιοφωνία, τηλεόραση, ραντάρ, ήχητικός κινηματογράφος, ήλεκτρονικά μουσικά ὅργανα κ.ἄ.). Στήν πράξῃ χρησιμοποιοῦνται καὶ λυχνίες μέ περισσότερα πλέγματα, οἱ όποιες άναλογα μέ τόν άριθμό τῶν ήλεκτροδίων δυναμάζονται τετράοδες (μέ δύο πλέγματα), πεντάοδες (μέ τρία πλέγματα) κ.ο.κ.



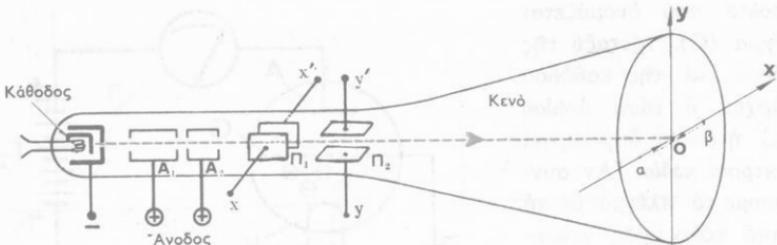
Σχ. 99. Τό πλέγμα άπωθει τά ήλεκτρόνια καὶ τό ρεῦμα διακόπτεται.



Σχ. 100. Συμβολική παράσταση τῆς τριόδου λυχνίας.

## 70. Σωλήνας Braun

Μιά πολύ ένδιαιφέρουσα μορφή ήλεκτρονικοῦ σωλήνα είναι ὁ σωλήνας Braun (σχ. 101). Αὐτός είναι άερόκενος σωλήνας, πού στή μιά ἄκρη ἔχει κάθοδο πού διαπυρώνεται καὶ στήν ἄλλη ἄκρη ἔχει κυκλικό διάφραγμα πού φθορίζει. Ή ἄνοδος είναι ἔνας δίσκος πού στή μέση του ἔχει μιά μικρή τρύπα. "Ετσι δημιουργεῖται μιά λεπτή δέσμη καθοδικῶν ἀκτίνων, ή όποια σχηματίζει ἔνα φωτεινό σημεῖο στό κέντρο τοῦ κυκλικοῦ διαφράγματος.



Σχ. 101. Σωλήνας Braun. Οι δύο πυκνωτές  $\Pi_1$  και  $\Pi_2$  προκαλούν αντίστοιχα όριζόντια και κατακόρυφη έκτροπή της δέσμης των ήλεκτρονών.

"Όλα τα ήλεκτρόνια της δέσμης έχουν την ίδια ταχύτητα. Μέσα στό σωλήνα ύπαρχουν δύο πυκνωτές πού οι δύλισμοί τους είναι κάθετοι μεταξύ τους. "Ετσι ή καθοδική δέσμη περνάει διαδοχικά μέσα από δύο ηλεκτρικά πεδία πού οι έντάσεις τους είναι κάθετες μεταξύ τους.

"Οταν οι δύο πυκνωτές είναι αφόρτιστοι, ή καθοδική δέσμη είναι εύθυγραμμη. "Αν στόν πρώτο πυκνωτή  $\Pi_1$  έφαρμόσουμε μιά συνεχή τάση ( $U_1$ ), τότε μεταξύ των δύλισμών του δημιουργείται όριζόντιο ήλεκτρικό πεδίο, πού προκαλεῖ δριζόντια έκτροπή της καθοδικής δέσμης και έπομένως προκαλεῖ μετακίνηση τού φωτεινού σημείου πάνω στήν όριζόντια διάμετρο τού κυκλικού διαφράγματος. "Αν μόνο στό δεύτερο πυκνωτή  $\Pi_2$  έφαρμόσουμε μιά συνεχή τάση ( $U_2$ ), τότε μεταξύ των δύλισμών του σχηματίζεται κατακόρυφο ηλεκτρικό πεδίο, πού προκαλεῖ κατακόρυφη έκτροπή της καθοδικής δέσμης και έπομένως προκαλεῖ μετακίνηση τού φωτεινού σημείου πάνω στήν κατακόρυφη διάμετρο τού κυκλικού διαφράγματος. Οι έκτροπές της καθοδικής δέσμης είναι ανάλογες μέ τίς έντάσεις των αντίστοιχων ήλεκτρικῶν πεδίων, ἄρα είναι ανάλογες μέ τίς τάσεις  $U_1$  και  $U_2$  πού έφαρμόζονται στούς δύο πυκνωτές. "Αν σ' αὐτούς έφαρμόσουμε ταυτόχρονα τίς τάσεις  $U_1$  και  $U_2$ , τότε ξεαιτίας των δύο έκτροπών της καθοδικής δέσμης τό φωτεινό σημείο σχηματίζεται σέ μιά όρισμένη θέση της έπιφάνειας τού κυκλικού διαφράγματος. "Ωστε μεταβάλλοντας τίς τάσεις  $U_1$  και  $U_2$  μποροῦμε νά μετακινοῦμε τό φωτεινό σημείο πάνω σέ δύο τό διάφραγμα. "Η δέσμη των ήλεκτρονών δέν παρουσιάζει καμιά άδράνεια και έπομένως μπορεῖ νά παρακολουθεῖ τίς ταχύτατες μεταβολές της έναλλασσόμενης τάσεως πού συνήθως έφαρμόζουμε στούς δύο πυκνωτές. "Ετσι τό φωτεινό σημείο μπορεῖ νά μετακινεῖται ταχύτατα σέ δύη τήν έκταση τού διαφράγματος πού φθορίζει. 'Ο σωλήνας Braun έχει σήμερα σημαντικές έφαρμογές, π.χ. στόν ήλεκτρονικό παλμογράφο, στήν τηλεόραση, στό ραντάρ κ.α.

## 71. Ακτίνες Röntgen

a. Παραγωγή των άκτινων Röntgen. Ο Röntgen (1895) μελετώντας τίς

καθοδικές άκτινες άνακάλυψε ότι τά τοιχώματα του γυάλινου σωλήνα πού βρίσκονται άπεναντί από τήν κάθοδο έκπεμπουν μιά άσρατη και πολύ διεισδυτική άκτινοβολία, πού δονομάζεται άκτινες Röntgen ή άκτινες X. Έτσι άνακαλύφθηκε ότι:

**Οι άκτινες Röntgen παράγονται, όταν ηλεκτρόνια πού κινοῦνται με μεγάλη ταχύτητα πέφτουν πάνω σε ένα στόχο.**

Για τήν παραγωγή τῶν άκτινων Röntgen στήν άρχη χρησιμοποιοῦσαν τούς σωλήνες Crookes, σήμερα δμως χρησιμοποιοῦμε γενικά ειδικούς ηλεκτρονικούς σωλήνες πού δονομάζονται σωλήνες Coolidge (1914). Αύτοι είναι γυάλινοι άεροκένοι σωλήνες στούς όποιους τά άπαραίτητα γιά τή λειτουργία τους ηλεκτρόνια παράγονται από μιά διάπυρη κάθοδο (σχ. 102). Η ανοδος πού είδικότερα δονομάζεται άντικάθοδος, αποτελεῖται από ένα δύστηκτο μέταλλο (συνήθως βολφράμιο). Μεταξύ τής άντικαθόδου και τής καθόδου έφαρμόζεται ψηλή συνεχής τάση (10 ώς 1000 kV), ή όποια έπιταχύνει τά ηλεκτρόνια πού έκπεμπει ή διάπυρη κάθοδος. Οι άκτινες Röntgen πού παράγονται από τήν άντικαθόδο έκπεμπονται πρός όλες τίς διευθύνσεις.

β. Ιδιότητες τῶν άκτινων Röntgen. Πειραματικά βρίσκουμε ότι οι άκτινες Röntgen έχουν τίς έξης ιδιότητες :

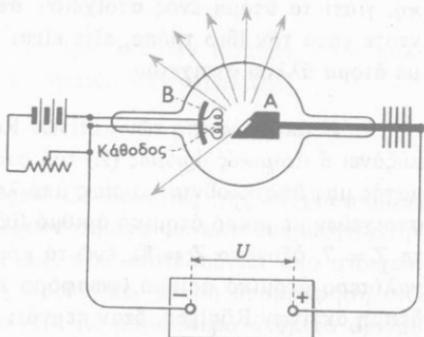
1. Προκαλοῦν τό φθορισμό μερικῶν σωμάτων, (π.χ. τοῦ κυανιούχου βαριολευκοχρύσου, τοῦ θειούχου ψευδαργύρου).

2. Προσβάλλουν τή φωτογραφική πλάκα και προκαλοῦν χημικά φαινόμενα, π.χ. άλλαζουν τό χρώμα μερικῶν πολύτιμων λίθων, γιατί προκαλοῦν άλλαγές στή δομή τοῦ μορίου τοῦ σώματος.

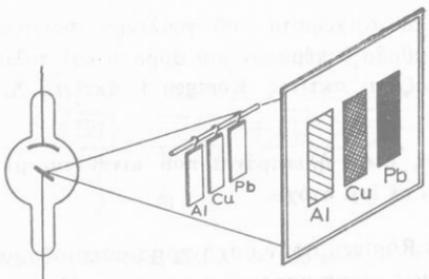
3. Προκαλοῦν ισχυρό ιονισμό τῶν άεριών και γι' αυτό ένα φορτισμένο ηλεκτροσκόπιο, όταν βρίσκεται κοντά σέ μιά πηγή άκτινων Röntgen, έκφορτίζεται πολύ γρήγορα.

4. Διαδίονται εύθυγραμμα, δέν έκτρέπονται από μαγνητικό ή ηλεκτρικό πεδίο και έπομένως δέ μεταφέρονται ηλεκτρικό φορτίο.

5. Προκαλοῦν εύκολα τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή τήν έξοδο ηλεκτρονίων από διάφορα μέταλλα.



Σχ. 102. Σωλήνας Coolidge γιά τήν παραγωγή άκτινων Röntgen.



Σχ. 103. Η άπορρόφηση των άκτινων Röntgen αυξάνεται μέ τόν άτομικό άριθμό του στοιχείου.

κή, γιατί τά ατομα ένός στοιχείου άπορροφούν τίς άκτινες Röntgen πάντοτε κατά τόν ίδιο τρόπο, εἴτε είναι μοριαμένα ατομα, εἴτε είναι ένωμένα μέ ατομα άλλου στοιχείου.

9. Η άπορρόφηση των άκτινων Röntgen αυξάνει πολύ γρήγορα, όταν αυξάνει ο άτομικός άριθμός ( $Z$ ) τοῦ στοιχείου (σχ. 103). Οι σάρκες τοῦ σώματός μας άποτελούνται κυρίως άπό λευκώματα, πού είναι χημικές ένώσεις στοιχείων μέ μικρό άτομικό άριθμό (ύδρογόνο  $Z = 1$ , ανθρακα  $Z = 6$ , ξωτο  $Z = 7$ , δεξιγόνο  $Z = 8$ ), ένω τά κόκκαλα περιέχουν και στοιχεῖα μέ μεγαλύτερο άτομικό άριθμό (φωσφόρο  $Z = 15$ , ασβέστιο  $Z = 20$ ). Ετσι μιά δέσμη άκτινων Röntgen, όταν περνάει μέσα άπό τό σῶμα μας, άπορροφᾶται λιγότερο άπό τίς σάρκες και πολύ περισσότερο άπό τά κόκκαλα. Τότε πάνω στό διάφραγμα πού φθορίζει η στή φωτογραφική πλάκα τά κόκκαλα σχηματίζουν σκιά.

10. Σέ μιά πλάκα μέ δρισμένο πάχος (π.χ. σέ μιά πλάκα μολύβδου) ή άπορρόφηση των άκτινων Röntgen αυξάνει, όταν ανέβαινε τό μήκος κύματος ( $\lambda$ ). Ετσι οι άκτινες Röntgen πού έχουν πολύ μικρά μήκη κύματος είναι περισσότερο διεισδυτικές και δύνομάζονται σκληρές, ένω έκεινες πού έχουν μεγαλύτερα μήκη κύματος είναι λιγότερο διεισδυτικές και δύνομάζονται μαλακές. Όσο μεγαλύτερη γίνεται η τάση πού έφαρμόζεται μεταξύ τής άντικαθόδου και τής καθόδου, τόσο μικρότερο γίνεται τό μήκος κύματος των άκτινων Röntgen.

γ. Φύση των άκτινων Röntgen. Πειραματικά άποδείχτηκε ότι μιά λεπτή δέσμη άκτινων Röntgen, όταν πέφτει πάνω σέ έναν κρύσταλλο, δίνει πάνω στό διάφραγμα πού φθορίζει φαινόμενα περιθλάσεως, δημοια μέ έκει-

6. Έπιδρούν στά κύτταρα τών ζωντανών δργανισμών και προκαλούν διάφορες βιολογικές δράσεις.

7. Έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και περνούν μέσα άπό σώματα πού είναι άδιαφανή γιά τό φῶς (δπως π.χ. μιά ξύλινη σανίδα, οι σάρκες τοῦ σώματός μας κ.ἄ.).

8. "Όταν οι άκτινες Röntgen, περνούν μέσα άπό τήν Υλη, πάντοτε συμβαίνει κάποια άπορρόφηση τους άπό τήν Υλη. Αύτή δημοις ή άπορρόφηση είναι ίδιωτητα άτομι-

να πού δίνει μιά λεπτή μονοχρωματική δέσμη φωτός, όταν πέφτει πάνω σέ φράγμα περιθλάσεως. Γενικά άποδείχτηκε ότι:

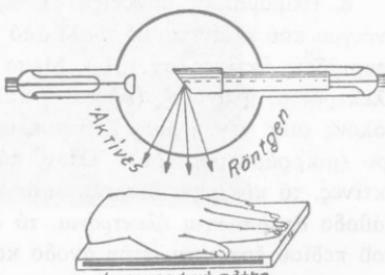
**Οι άκτινες Röntgen είναι άόρατη ηλεκτρομαγνητική άκτινοβολία που έχει μήκη κύματος πολύ μικρότερα από τα μήκη κύματος της ύπεριώδους άκτινοβολίας.**

**Σημείωση.** Τά μήκη κύματος είναι:

τῶν όρατῶν άκτινοβολιῶν	ἀπό	7500 Å	ως	4000 Å
τῶν άκτινων Röntgen	ἀπό	20 Å	ως	0,05 Å

Παρατηροῦμε ότι τά μήκη κύματος τῶν άκτινων Röntgen είναι πολύ μικρά σχετικά μέ τά μήκη κύματος τῶν όρατῶν άκτινοβολιῶν.

**δ. Έφαρμογές τῶν άκτινων Röntgen.** Οι ίδιότητες της άπορροφήσεως τῶν άκτινων Röntgen από τήν ψλη έχουν σήμερα μεγάλη έφαρμογή στήν 'Ιατρική, γιατί οι ίστοι τοῦ σώματός μας, πού άποτελοῦνται από στοιχεῖα μέ μικρό άτομικό άριθμό (H,C,N,O), προκαλοῦν μικρή άπορρόφηση, ένω δ δστεώδης ίστος, πού περιέχει στοιχεῖα μέ μεγαλύτερο άτομικό άριθμό (P,Ca), προκαλεῖ μεγαλύτερη άπορρόφηση. Σ' αὐτή τήν άρχή στηρίζεται ή άκτινοσκόπηση και ή άκτινογραφία. Κατά τήν άκτινοσκόπηση παρατηροῦμε τίς σκιές πού σχηματίζονται πάνω στό διάφραγμα πού φθορίζει, ένω κατά τήν άκτινογραφία οι σκιές άποτυπώνονται πάνω σέ φωτογραφική πλάκα (σχ. 104). Μέ τήν άκτινοσκόπηση και τήν άκτινογραφία γίνεται σήμερα ή διάγνωση πολλῶν παθήσεων (π.χ. άλλοιωσεις στά κόκκαλα, κατάγματα, φυματίωση κ.ά.). Γιά τή διάγνωση παθήσεων τοῦ πεπτικοῦ ή τοῦ ούροποιητικοῦ συστήματος είσαγουμε μέσα σ' αὐτά τά συστήματα ένώσεις στοιχείων μέ μεγάλο άτομικό άριθμό (π.χ. ένώσεις βισμούθιου  $Z = 83$ , βαρίου  $Z = 56$ , ιωδίου  $Z = 53$  κ.λ.).



Σχ. 104. Άκτινογραφία.

'Επειδή οι άκτινες Röntgen άσκούν βιολογικές δράσεις στά κύτταρα, γι' αυτό χρησιμοποιούνται και για θεραπευτικούς σκοπούς (*άκτινοθεραπεία*). Γενικά οι έφαρμογές των άκτινων Röntgen στήν 'Ιατρική άποτελούν έναν Ιδιαίτερο κλάδο πού δνομάζεται *'Ακτινολογία*.

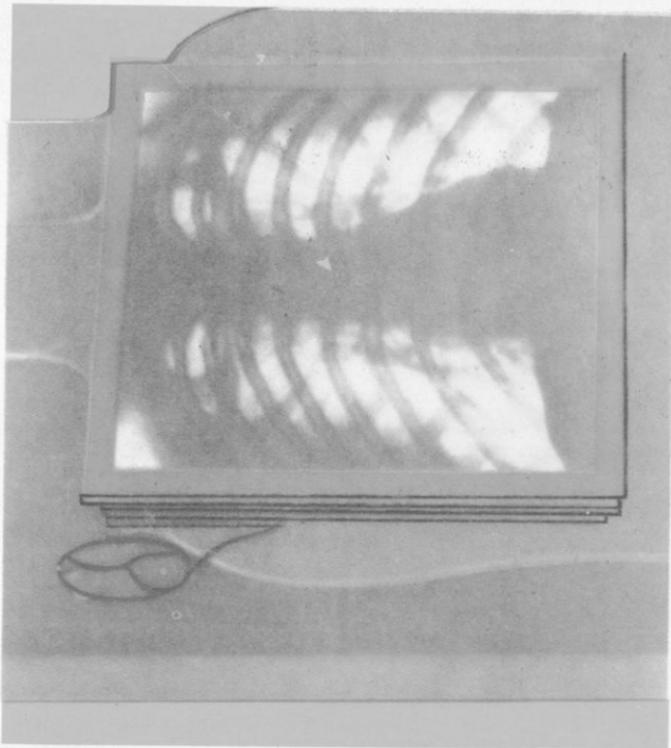
Οι πολύ σληνές άκτινες Röntgen χρησιμοποιούνται στή μεταλλουργία. Μέ αυτές έλεγχουμε τήν δμοιογένεια και τή συνέχεια τοῦ μεταλλικοῦ ύλικοῦ και βρίσκουμε ἄν ψάρχουν κενοί χῶροι μέσα στό ύλικό ἥ ἄν είναι τέλειες οι μεταλλικές συγκολλήσεις.

Οι άκτινες Röntgen παίζουν σπουδαῖο ρόλο στή μελέτη τῆς δομῆς τῶν κρυστάλλων (*Κρυσταλλογραφία*).

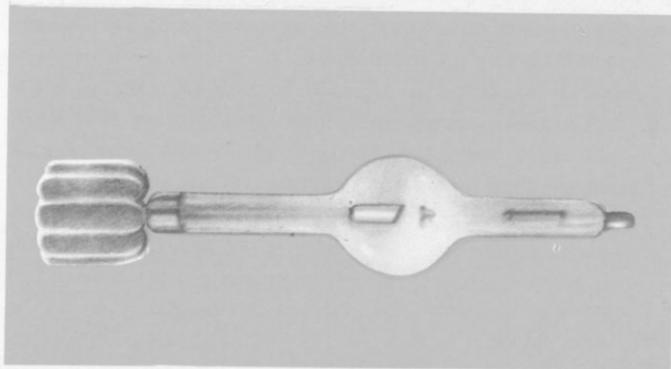
στ. Φυσιολογικό άποτελέσμα τῶν άκτινων Röntgen. "Όταν ἡ προσβολή τοῦ δργανισμοῦ μέ τίς άκτινες Röntgen είναι σύντομη, τότε είναι άκινδυνη. "Όταν δμως ἡ προσβολή διαρκεῖ πολὺ χρόνο, τότε προκαλούνται στόν δργανισμό σοβαρές βλάβες (π.χ. ἐλάττωση τῶν ἐρυθρῶν αίμοσφαιρίων, ἐπικίνδυνα τραύματα, πού μπορεῖ νά δδηγήσουν σέ άκρωτηριασμούς ἥ και στό θάνατο). Τά άποτελέσματα τῆς δράσεως τῶν άκτινων Röntgen πάνω στόν δργανισμό είναι ἀθροιστικά, δηλαδή τά άποτελέσματα τά όποια προκαλοῦν οι άκτινες Röntgen πάνω στά κύτταρα δέν ἔξασθενίζουν μέ τό πέρασμα τοῦ χρόνου, ἀλλά προσθέτονται στά άποτελέσματα τῶν ἐπόμενων άκτινων Röntgen. Βρέθηκε ὅτι ὁ ἀνθρώπινος δργανισμός σέ δλη τή διάρκεια τῆς ζωῆς του δέν πρέπει νά ξεπεράσει μιά όρισμένη δόση άκτινοβολίας Röntgen. "Οσοι άσχολούνται μέ άκτινες Röntgen προστατεύονται μέ διάφορους τρόπους (π.χ. σκεπάζουν τό σῶμα τους και τά χέρια τους μέ κάλυμμα ἀπό καυτσούκ πού είναι ἐμπλουτισμένο μέ μόλυβδο και φοροῦν γυαλιά ἀπό γυαλί πού περιέχει πυριτικό μόλυβδο).

## 72. Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

α. Πειραματική ἀπόδειξη. "Ένας ἀερόκενος γυάλινος σωλήνας ἔχει ἄνοιγμα πού κλείνεται μέ γυαλί ἀπό χαλαζία, δ όποιος είναι διαφανής στίς ὑπεριώδεις άκτινες (σχ.105). Μέσα στό σωλήνα ψάρχουν δύο μεταλλικά ἡλεκτρόδια, ἥ ἀνοδος (A) και ἥ κάθοδος (K), πού συνδέονται μέ τούς δύο πόλους μιᾶς γεννήτριας. Στό κύκλωμα ψάρχει και εύαίσθητο ἀμπερόμετρο (μικροαμπερόμετρο). "Όταν πάνω στήν κάθοδο πέσουν ὑπεριώδεις άκτινες, τό κύκλωμα διαρρέεται ἀπό ρεῦμα. Αὐτό συμβαίνει, γιατί ἀπό τήν κάθοδο ἀποσπῶνται ἡλεκτρόνια, τά όποια μέ τήν ἐπίδραση τοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου ἔρχονται στήν ἄνοδο και ἔτσι κλείνει τό κύκλωμα. Τό φαινόμενο αὐτό δνομάζεται φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Τά ἡλεκτρόνια πού ἀποσπῶνται ἀπό τό μέταλλο τῆς καθόδου δνομάζονται φωτοηλεκτρόνια και τό



Ακτινοσκοπηθεν θώρακα

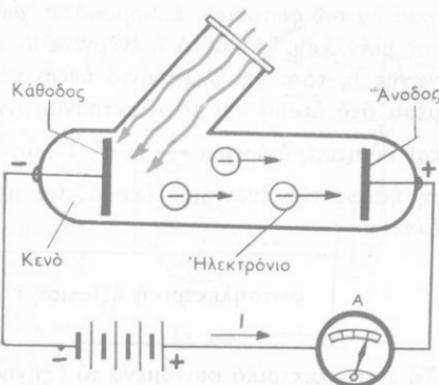


Σωλήνας Coolidge



ρεῦμα πού κυκλοφορεῖ στό κύκλωμα δνομάζεται φωτοηλεκτρικό ρεῦμα. "Ωστε:

**Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο** δνομάζεται ή απόσπαση ήλεκτρονίων από τά μέταλλα, όταν πέφτει πάνω τους κατάλληλη ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία (όρατή ή ύπεριώδης άκτινοβολία, άκτινες Röntgen ή  $\gamma$ ).



Σχ. 105. Σχηματική διάταξη γιά τήν παρατήρηση τού φωτοηλεκτρικού φαινόμενου.

β. Έξηγήση τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ φαινομένου. Ξέρουμε ότι δόσο μικρότερο είναι τό μῆκος κύματος λ μιᾶς ήλεκτρομαγνητικής άκτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι ή συχνότητά της ν (γιατί είναι  $v = c/\lambda$ ) και, έπομένως, τόσο μεγαλύτερη είναι και ή ένέργεια  $E = hv$  πού μεταφέρει κάθε φωτόνιο τής άκτινοβολίας. Γιά νά έξηγήσουμε τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, κάνουμε τά έξης πειράματα:

1. Πάνω στήν κάθοδο, πού άποτελεῖται άπό όρισμένο μέταλλο, π.χ. άπό λευκόχρυσο, άφήνουμε νά πέσουν διαδοχικά άκτινοβολίες μέ διαρκῶς μεγαλύτερη συχνότητα ν. Παρατηροῦμε ότι άπό τό μέταλλο *ἀρχίζουν* νά *ἀποσπᾶνται* φωτοηλεκτρόνια, όταν ή συχνότητα ν τής άκτινοβολίας πού πέφτει πάνω στό μέταλλο γίνει *ΐση* ή μεγαλύτερη άπό μιά δριακή συχνότητα  $v_{op}$ , πού είναι χαρακτηριστική γιά τό θεωρούμενο μέταλλο. Αύτό δείχνει ότι άπό τό μέταλλο *ἀποσπᾶνται* φωτοηλεκτρόνια, μόνο όταν κάθε φωτόνιο, πού πέφτει πάνω στό μέταλλο, *έχει* ένέργεια  $E$  *ΐση* ή μεγαλύτερη άπό μιά δριακή τιμή, πού είναι *ΐση* μέ  $E_{op} = hv_{op}$ .
2. Πάνω στήν κάθοδο άφήνουμε νά πέσει μονοχρωματική άκτινοβολία πού *έχει* συχνότητα ν μεγαλύτερη άπό τήν δριακή συχνότητα ν ( $v > v_{op}$ ). Τότε άπό τήν κάθοδο *ἀποσπᾶνται* φωτοηλεκτρόνια. "Οταν αὐξήσουμε τή φωτεινή ροή, δηλαδή τόν *ἀριθμό* τῶν φωτονίων, πού πέφτουν πάνω στό μέταλλο, άνα sec., αυξάνει ή *ένταση* I τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ ρεύματος, δηλαδή αυξάνει ο *ἀριθμός* τῶν ηλεκτρονίων πού *ἀποσπᾶνται* άπό τό μέταλλο.

Τά παραπάνω πειράματα δείχνουν ότι γιά νά *ἀποσπαστεῖ* ένα ηλεκτρόνιο άπό ένα άτομο τής *ἐπιφάνειας* τοῦ μετάλλου, πρέπει νά δαπανηθεῖ όρισμένο έργο b, πού δνομάζεται *ἔργο* *έξαγωγῆς* και *έξαρτάται* άπό τή φύση τοῦ μετάλλου. "Οταν ένα φωτόνιο πέφτει πάνω στό μέταλλο, τότε ή *ένέρ-*

γεια  $hν$  του φωτονίου άπορροφᾶται μόνο άπό ένα ήλεκτρόνιο ένός άτομου του μετάλλου. "Αν αυτή η ένέργεια  $hν$  είναι μεγαλύτερη άπό το έργο  $\epsilon$ ξαγωγῆς  $b$ , τότε τό ήλεκτρόνιο ύπερνικά τίς δυνάμεις πού τό συγκρατοῦν μέσα στό άτομο και τό ήλεκτρόνιο βγαίνει άπό τό άτομο μέ ταχύτητα  $v$  και κινητική ένέργεια  $\frac{1}{2} m_e v^2$   $m_e$ . Σ' αυτή τήν περίπτωση η άρχη τής διατηρήσεως τής ένέργειας έκφραζεται μέ τή φωτοηλεκτρική έξισωση τοῦ Einstein :

$$\text{φωτοηλεκτρική έξισωση} \quad \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = h \cdot v - b$$

Τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο τό έξήγησε ό Einstein γενικεύοντας τή θεωρία τῶν κβάντα πού άρχικά διατύπωσε ό Planck.

**Νόμοι τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ φαινομένου.** Από τά παραπάνω συνάγονται οι έξης νόμοι τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ φαινομένου :

I. Η άπόσπαση φωτοηλεκτρονίων άπό ένα μέταλλο είναι δυνατή, μόνο όταν η ένέργεια  $hν$  του φωτονίου πού πέφτει πάνω στό μέταλλο είναι ίση η μεγαλύτερη άπό το έργο  $\epsilon$ ξαγωγῆς  $b$ , πού είναι χαρακτηριστικό γιά τό μέταλλο τής καθόδου.

$$\text{άπόσπαση φωτοηλεκτρονίου} \quad hν \geq b$$

II. Ο άριθμός τῶν φωτοηλεκτρονίων πού άποσπῶνται άπό τήν κάθοδο κατά μονάδα χρόνου είναι άναλογος μέ τόν άριθμό τῶν φωτονίων πού πέφτουν πάνω στήν κάθοδο κατά μονάδα χρόνου.

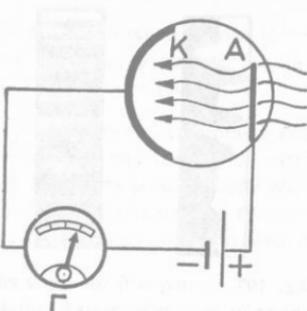
III. Η κινητική ένέργεια τῶν φωτοηλεκτρονίων πού βγαίνουν άπό τήν κάθοδο δίνεται άπό τή φωτοηλεκτρική έξισωση τοῦ Einstein.

Γιά τά μέταλλα καίσιο, κάλιο, νάτριο και λίθιο τό έργο  $\epsilon$ ξαγωγῆς  $b$  είναι μικρό και γ' αύτό άπό τά μέταλλα αύτά εύκολα άποσπῶνται φωτοηλεκτρόνια και μέ φωτόνια τῶν δρατῶν άκτινοβολιῶν πού μεταφέρουν μικρή ένέργεια. Γιά τά ἄλλα μέταλλα χρειάζονται φωτόνια πού μεταφέρουν μεγαλύτερη ένέργεια και γ' αύτό στά μέταλλα αύτά τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παρατηρεῖται, μόνο όταν στό μέταλλο πέφτουν ύπεριώδεις άκτινοβολίες.

γ. Έφαρμογές τοῦ φωτοηλεκτρικοῦ φαινομένου. Τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο έχει σημαντικές έφαρμογές. Τό φωτοκύτταρο είναι γυάλινος σωλήνας πού περιέχει ένα άεριο (άργο, ήλιο) μέ πολύ μικρή πίεση (περίπου  $0,1 \text{ mm Hg}$ ). "Ενα τμῆμα τῶν έσωτερικῶν τοιχωμάτων τοῦ σωλήνα

είναι σκεπασμένο μέ ξα στρώμα άπο και-  
σιο (κάθοδος) πού είναι ευαίσθητο στις όρα-  
τές άκτινοβολίες (σχ. 106). Η άνοδος άπο-  
τελείται άπο εύθυγραμμο ή κυκλικό ήλε-  
κτρόδιο. Η ένταση τού φωτοηλεκτρικού  
ρεύματος είναι άναλογη μέ τή φωτεινή ροή  
πού πέφτει πάνω στήν κάθοδο. Τά φωτοκύ-  
τταρα τά χρησιμοποιούμε, δταν θέλουμε νά  
μετατρέπονται οί μεταβολές τής φωτεινής  
ροής σέ μεταβολές τής έντάσεως τού ρεύμα-  
τος. Τό φωτοκύτταρο δέν παρουσιάζει κα-  
μά άδράνεια και γι' αύτό η ένταση τού  
φωτοηλεκτρικού ρεύματος μεταβάλλεται τήν ίδια στιγμή πού συμβαίνει  
η μεταβολή τής φωτεινής ροής. Σήμερα τά φωτοκύτταρα χρησιμοποιούνται  
σέ διάφορες έφαρμογές, π.χ. γιά τόν αυτόματο έλεγχο και τή ρύθμιση  
τής λειτουργίας μηχανών, γιά τή ρύθμιση τής κυκλοφορίας δημάτων, σέ  
συστήματα άσφαλείας χρηματοκιβωτίων, στόν ήχητικό κινηματογράφο κ.ά.

"Ενα φωτοκύτταρο ειδικής μορφής είναι ο φωτοπολλαπλασιαστής, ο  
όποιος πολλαπλασιάζει τά λίγα φωτοηλεκτρόνια πού άρχικά βγαίνουν  
άπο τήν κάθοδο (σέ κάθε ένα φωτοηλεκτρόνιο πού βγαίνει άπο τήν κάθοδο  
άντιστοιχούν  $10^6$  ώς  $10^8$  ήλεκτρόνια πού φτάνουν στήν άνοδο).



Σχ. 106. Φωτοκύτταρο.

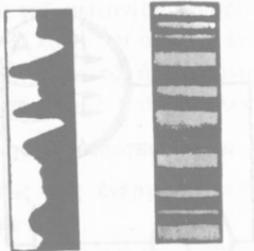
### 73. Ήχητικός κινηματογράφος

Στόν ήχητικό κινηματογράφο πάνω στήν κινηματογραφική ταινία άπο-  
τυπώνονται ταυτόχρονα οί είκόνες και οί ήχοι. Η άποτύπωση τῶν ει-  
κόνων βασίζεται στις μεθόδους τής φωτογραφίας. Η άποτύπωση τῶν ήχων  
πάνω στήν κινηματογραφική ταινία ονομάζεται ήχοληψία και γίνεται μέ  
τήν έξης σειρά μετατροπών:

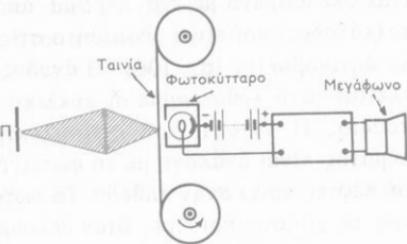
ήχος → μεταβολή έντάσεως ρεύματος → φῶς

"Η μετατροπή τού ήχου σέ ήλεκτρικό ρεῦμα γίνεται μέ τό μικρόφωνο. Τό  
ρεῦμα τού μικροφώνου, άφού ένισχυθεῖ, μετατρέπεται σέ φῶς μέ διάφορους  
τρόπους, άπο τούς όποιους άπλούστερος είναι ο έξης:

Τό ρεῦμα τού μικροφώνου περνάει άπο μιά ειδική λυχνία αϊγλης, ή όποια  
σέ κάθε στιγμή παράγει φωτεινή ροή άναλογη μέ τήν ένταση τού μικροφω-  
νικού ρεύματος. Οί μεταβολές τής φωτεινής ροής άποτυπώνονται πάνω σέ  
φωτογραφική ταινία πού ξετυλίγεται δημαλά (σχ. 107). Ετσι πάνω στήν  
ταινία άποτυπώνονται περιοχές πού παρουσιάζουν διαφορετικό μαύρισμα



Σχ. 107. Καταγραφή τοῦ ήχου πάνω στήν κινηματογραφική ταινίᾳ (οἱ ζῶνες μέ τό διαφορετικό μαύρισμα ἀντιστοιχούν σέ ηχους.



Σχ. 108. Σχηματική παράσταση τῆς ἀναπαραγωγῆς τοῦ ήχου ἀπό τὴν κινηματογραφική ταινίᾳ. Τό φωτοηλεκτρικό ρεῦμα, ἀφοῦ ἐνίσχυθε, πηγαίνει στό μεγάφωνο.

(διπλή έγγραφή τῶν ήχων). Αὐτές οἱ περιοχές ἀποτυπώνονται δίπλα ἀπό τίς ἀντίστοιχες εἰκόνες.

Όταν γίνεται προβολή τῆς ταινίας, οἱ εἰκόνες φωτίζονται ἀπό τὸν προβολέα καὶ προβάλλονται στήν θόρυβον. Ο ήχος πού εἶναι ἀποτυπωμένος πάνω στήν ταινίᾳ ἀναπαράγεται μέ τήν ἔξης σειρά μετατροπῶν:

φῶς → μεταβολή ἐντάσεως ρεύματος → ήχος

Ἡ μετατροπή τοῦ φωτός σέ ρεῦμα γίνεται μέ τό φωτοκύτταρο. Ἡ ταινίᾳ ξετυλίγεται καὶ περνάει μεταξύ μιᾶς φωτεινῆς πηγῆς καὶ τοῦ φωτοκυττάρου (σχ. 108). Ἡ μεταβλητή φωτεινή ροή πού πέφτει στό φωτοκύτταρο δημιουργεῖ φωτοηλεκτρικά ρεύματα μεταβλητῆς ἐντάσεως. Αὐτά τά ρεύματα, ἀφοῦ ἐνισχυθοῦν ἔρχονται στό μεγάφωνο πού βρίσκεται πίσω ἀπό τήν θόρυβην καὶ μετατρέπει τίς μεταβολές τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος σέ ἀντίστοιχους ήχους.

Σήμερα ἐφαρμόζεται καὶ ἡ μαγνητική ἔγγραφή τῶν ήχων πάνω σέ λεπτή χαλύβδινη ταινίᾳ.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

96. Σὲ μιὰ δίοδο ηλεκτρονική λυχνία μεταξύ τῆς ἀνόδου καὶ τῆς καθόδου ἐφαρμόζεται τάση  $U = 250$  V. 1) Μέ πόση κινητική ἐνέργεια φτάνουν τά ηλεκτρόνια στήν ἄνοδο; 2) Ἀν τό ἀνοδικό ρεῦμα ἔχει ἐντάση  $I = 6,4$  mA, πόσα ηλεκτρόνια φτάνουν κάθε δευτερόλεπτο στήν ἄνοδο καὶ πόση Ισχύς δαπανᾶται μέσα στή δίοδο λυχνία;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.

97. Σέ μιά δίοδο ήλεκτρονική λυχνία βγαίνουν άπό τή διάπυρη κάθοδο  $10^{15}$  ήλεκτρονία κατά δευτερόλεπτο. Πόση είναι ή ένταση τοῦ ρεύματος μέσα στή λυχνία και πόση ίσχυς μεταφέρεται στήν ανοδο;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $U_A = 150$  V.

98. Σέ έναν ήλεκτρονικό σωλήνα τά ήλεκτρόνια βγαίνουν άπό τή διάπυρη κάθοδο χωρίς άρχική ταχύτητα και έπιταχύνονται μέ τήν έπιδραση τής τάσεως  $U = 2000$  V πού υπάρχει μεταξύ τής άνοδου και τής καθόδου. Ή άπόσταση μεταξύ αυτῶν τῶν δύο ήλεκτροδίων είναι  $l = 20$  cm. 1) Πόση είναι ή δύναμη F πού έπιταχύνει τό ήλεκτρόνιο και πόση είναι ή έπιτάχυνση γ; 2) Μέ πόση κινητική ένέργεια φτάνει τό ήλεκτρόνιο στήν ανοδο;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.

99. Θεωρούμε οτι ένα ήλεκτρόνιο βγαίνει άπό τή διάπυρη κάθοδο χωρίς άρχική ταχύτητα και έξαιτίας τής τάσεως έπιταχύνεται και πέφτει πάνω στήν άντικάθοδο ένός σωλήνα Coolidge μέ ταχύτητα  $v = 2 \cdot 10^4$  km/sec. 1) Μέ πόση κινητική ένέργεια τό ήλεκτρόνιο φτάνει στήν άντικάθοδο και πόση είναι ή τάση U; 2) Αν κατά τή σύγκρουση τοῦ ήλεκτρονίου μέ τήν άντικάθοδο ολόκληρη ή ένέργεια τοῦ ήλεκτρονίου μετατρέπεται σέ ένέργεια ένός φωτονίου Röntgen, πόση είναι ή συχνότητα ν τοῦ φωτονίου;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

100. Σέ ένα σωλήνα Coolidge έφαρμόζεται τάση  $U = 2 \cdot 10^5$  V. "Αν ολόκληρη ή κινητική ένέργεια τοῦ ήλεκτρονίου μετατραπεῖ σέ ένέργεια ένός φωτονίου, πόση είναι ή συχνότητα ν και τό μήκος κύματος λ αυτής τής άκτινοβολίας;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

101. Γιά μιά άκτινογραφία χρειαζόμαστε άκτινες Röntgen μέ μήκος κύματος  $\lambda = 0,12$  Å. Ή ένταση τής ήλεκτρονικής δέσμης πού πέφτει πάνω στήν άντικάθοδο είναι 50 mA. 1) Πόση τάση U πρέπει νά έφαρμόσουμε στό σωλήνα Coolidge; 2) Πόση ίσχυ μεταφέρει ή ήλεκτρονική δέσμη; 3) "Αν δ συντελεστής άποδσεως τής άντικαθόδου σέ άκτινοβολία Röntgen είναι η  $= 0,003$ , πόση ίσχυ μεταφέρει ή δέσμη τῶν άκτινων Röntgen; (Τό η φανερώνει οτι άπό τά 1000 ήλεκτρόνια πού πέφτουν πάνω στήν άντικάθοδο μόνο 3 άπό αυτά προκαλούν τήν έκπομπή 3 φωτονίων).  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

102. Σέ ένα φωτοκύτταρο τό φωτοηλεκτρικό ρεύμα έχει ένταση  $I = 10^{-10}$  A. Πόσα ήλεκτρόνια βγαίνουν άπό τήν κάθοδο κάθε δευτερόλεπτο;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.

103. Πάνω σέ μιά μεταλλική πλάκα πέφτει άκτινοβολία πού έχει μήκος κύματος  $\lambda = 1$  Å. Γιά τό μέταλλο αύτό τό έργο έξαγωγής b θεωρείται άσήμαντο. Πόση είναι ή κινητική ένέργεια τοῦ ήλεκτρονίου πού βγαίνει άπό τήν κάθοδο;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

104. Πάνω στήν κάθοδο ένός φωτοκυττάρου πέφτει άκτινοβολία πού έχει μήκος κύματος  $\lambda_{op} = 0,66 \cdot 10^{-6}$  m, δηλαδή τό όριακό μήκος κύματος γιά τό μέταλλο τής καθόδου. Πόσο είναι τό έργο έξαγωγής γιά τό μέταλλο τής καθόδου;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

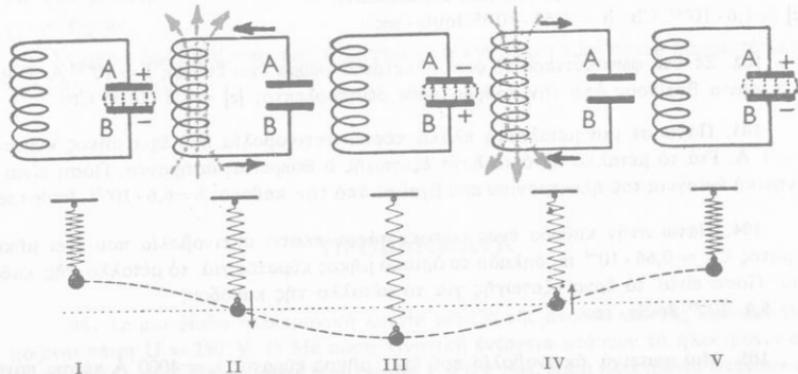
105. Μιά φωτεινή άκτινοβολία πού έχει μήκος κύματος  $\lambda = 4000$  Å πέφτει πάνω στήν κάθοδο ένός φωτοκυττάρου. Αύτή έκπεμπει φωτοηλεκτρόνια πού έχουν ταχύτητα  $v = 8 \cdot 10^5$  m/sec. Πόσο είναι τό έργο έξαγωγής γιά τό μέταλλο τής καθόδου;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

## 74. Ήλεκτρικές ταλαντώσεις

Ένα κύκλωμα άποτελείται από έναν πυκνωτή που έχει χωρητικότητα  $C$  και άπό ένα πηνίο, που έχει συντελεστή αύτεπαγωγής  $L$  και άσήμαντη ώμικη άντισταση ( $R$ ) του κυκλώματος θεωρεῖται ίση με μηδέν και έπομένως σ' αυτό τό κύκλωμα δέ συμβαίνει άπολεια ένέργειας έξαιτίας του φαινομένου Joule (δηλαδή δέ συμβαίνει μετατροπή της ήλεκτρικής ένέργειας σε θερμότητα). Αυτό τό κύκλωμα ονομάζεται κύκλωμα Thomson.

Φορτίζουμε τόν πυκνωτή (σχ. 109). Τότε οι όπλισμοί του έχουν άντιστοιχα φορτίο  $+Q$  και  $-Q$  και μεταξύ τῶν όπλισμῶν του υπάρχει τάση  $U$ . Άρα ο πυκνωτής έχει ένέργεια  $\frac{1}{2} Q U$ , που είναι άποταμευμένη μέσα στό ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει μεταξύ τῶν όπλισμῶν του πυκνωτή (ήλεκτροστατική ένέργεια).

Επειδή οι δύο όπλισμοί του πυκνωτή συνδέονται μεταξύ τους μέ τό πηνίο, ο πυκνωτής άρχιζει νά έκφορτίζεται. Τότε τό πηνίο διαρρέεται άπό ρεύμα και στό έσωτερικό του δημιουργεῖται μαγνητικό πεδίο (σχ. 109 II). Όταν ο πυκνωτής έκφορτίζεται, ή ένέργεια του ήλεκτρικού πεδίου συνεχῶς έλαττωνεται, ένω άντιθετα ή ένέργεια του μαγνητικού πεδίου συνεχῶς αυξάνει. Και δταν ο πυκνωτής έκφορτιστεί, τότε δηλη ή ένέργεια του ήλεκτρικού πεδίου έχει μετατραπεῖ σε ένέργεια μαγνητικού πεδίου



Σχ. 109. Στό κύκλωμα ταλαντώσεων τό ήλεκτρικό φορτίο έκτελει ταλάντωση άναλογη μέ τή μηχανική ταλάντωση μιᾶς σφαίρας κρεμασμένης άπό έλατήριο.

$\frac{1}{2} L I^2$  (*ήλεκτρομαγνητική ένέργεια*). "Όταν ό πυκνωτής έκφορτιστεί, τό ρεῦμα καταργεῖται. Τότε άπό αύτεπαγωγή δημιουργεῖται μέσα στό πηνίο ρεῦμα, πού είναι όμορροπο μέ τό ρεῦμα πού διακόπηκε. Αύτό τό ρεῦμα φορτίζει τόν πυκνωτή, ἀλλά μέ ἀντίθετη τώρα πολικότητα (σχ. 109 III). Τό μαγνητικό πεδίο καταργήθηκε καὶ ή̄ ἐνέργειά του ἔχει μετατραπεῖ σέ ἐνέργεια τοῦ ηλεκτρικοῦ πεδίου πού ὑπάρχει τώρα μεταξύ τῶν ὅπλισμάν τοῦ πυκνωτῆ. Ἀκολουθεῖ ἐπειτα νέα ἐκφόρτιση τοῦ πυκνωτῆ, πού δημιουργεῖ νέο μαγνητικό πεδίο (σχ. 109 IV). Αύτό, ὅταν καταργηθεῖ, προκαλεῖ νέα φόρτιση τοῦ πυκνωτῆ, ἀλλά μέ τήν ἀρχική τον πολικότητα (σχ. 109 V).

'Επειδή δεχτήκαμε διτι σ' αύτό τό κύκλωμα δέν ὑπάρχουν ἀπώλειες ἐνέργειας, τό φαινόμενο θά ἐπαναλαμβάνεται διαρκῶς, δηλαδή μέσα στό κύκλωμα δημιουργεῖται ἕνα ήμιτονοειδές ρεῦμα μεγάλης συχνότητας, πού δονομάζεται ηλεκτρική ταλάντωση. Τό κύκλωμα Thomson λέγεται καὶ κύκλωμα ταλαντώσεων. 'Από τά παραπάνω βγάζουμε τό ἔξης συμπέρασμα :

Η ηλεκτρική ταλάντωση πού παράγεται σέ ἕνα κύκλωμα Thomson διφείλεται σέ περιοδική μετατροπή τῆς ἐνέργειας τοῦ ηλεκτρικοῦ πεδίου τοῦ πυκνωτῆ σέ ἐνέργεια τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ πηνίου καὶ ἀντίστροφα.

Αὐτές οι μετατροπές τῆς ἐνέργειας προκαλοῦνται ἀπό τήν αύτεπαγωγή τοῦ πηνίου, ή όποια είναι ή κύρια αἰτία γιά τήν παραγωγή τῶν ηλεκτρικῶν ταλαντώσεων.

Περίοδος καὶ συχνότητα τῶν ηλεκτρικῶν ταλαντώσεων. "Αν σέ ἕνα κύκλωμα Thomson ό πυκνωτής ἔχει χωρητικότητα C καὶ τό πηνίο ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς L, ἀποδεικνύεται διτι ή ίδιοπερίοδος (T<sub>0</sub>) τῆς ηλεκτρικῆς ταλαντώσεως πού παράγεται μέσα σ' αύτό τό κύκλωμα δίνεται ἀπό τήν ἀκόλουθη ἔξισωση τοῦ Thomson :

$$\text{ἔξισωση τοῦ Thomson } T_0 = 2\pi \sqrt{LC} \quad \left\{ \begin{array}{l} L \text{ σέ H, C σέ F} \\ T \text{ σέ sec} \end{array} \right.$$

Έπομένως ή ίδιοσυχνότητα (v<sub>0</sub>) τῆς ηλεκτρικῆς ταλαντώσεως είναι

$$v_0 = \frac{1}{T_0} \quad \text{καὶ} \quad v_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Έπειδή στό κύκλωμα Thomson δέν ὑπάρχουν ἀπώλειες ἐνέργειας, ή ηλεκτρική ταλάντωση είναι ἀμείωτη, δηλαδή τό πλάτος (I<sub>0</sub>) τῆς ἐντάσεως τοῦ ήμιτονοειδοῦς ρεύματος διατηρεῖται στεθερό. Αύτή ή ηλεκτρική ταλάντωση είναι ἐλεύθερη ταλάντωση, ἀνάλογη μέ τή μηχανική ταλάντωση

που έκτελει μια μεταλλική σφαίρα κρεμασμένη άπο σπειροειδές έλατήριο (σχ. 109).

**Παράδειγμα.** Σέ ενα κύκλωμα Thomson ό πυκνωτής έχει χωρητικότητα  $C = 0,01 \mu F$  και το πηνίο έχει συντελστή αύτεπαγωγής  $L = 1 \mu H$ . Η ήλεκτρική ταλάντωση έχει ίδιοπερίοδο

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC} = 2\pi \cdot \sqrt{10^{-6} \text{ H} \cdot 10^{-8} \text{ F}} \quad \text{και} \quad T_0 = 6,28 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

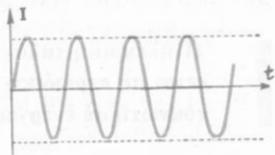
Η ίδιοσυχνότητα της ήλεκτρικής ταλαντώσεως είναι

$$\nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{10^7}{6,28} \text{ sec}^{-1} \quad \text{η} \quad \nu_0 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 1,6 \text{ MHz}$$

Παρατηρούμε ότι οι ήλεκτρικές ταλαντώσεις είναι έναλλασσόμενα φεύγματα ψηλής συχνότητας.

## 75. Παραγωγή ήλεκτρικῶν ταλαντώσεων

Σέ ενα κύκλωμα Thomson στήν πραγματικότητα υπάρχουν πάντοτε άπωλειες ένέργειας έξαιτίας του φαινομένου Joule και έπομένως τό πλάτος της έντασεως ( $I_0$ ) τού ρεύματος συνεχῶς έλαττώνεται. Για νά διατηρηθεῖ σταθερό τό πλάτος της έντασεως τού ρεύματος (σχ. 110), πρέπει ρυθμικά νά προσφέρεται άπέξω στό κύκλωμα τόση άκριβδης ένέργεια, δηση είναι ή ένέργεια που χάνεται μέ τίς άπωλειες. Αύτό τό πετυχαίνουμε μέ τήν τρόιδο ήλεκτρονική λυχνία.



Σχ. 110. Τό πλάτος της έντασεως τού ρεύματος διατηρεῖται σταθερό.

## 76. Επαγωγική σύζευξη δύο κυκλωμάτων ταλαντώσεων

Έχουμε δύο κυκλώματα Thomson, τά A και B (σχ. 111). Τό πρώτο κύκλωμα έχει ίδιοπερίοδο  $T_1 = 2\pi \sqrt{L_1 C_1}$ . Τά πηνία  $L_1$  και  $L_2$  τών δύο κυκλωμάτων βρίσκονται σέ μικρή άπόσταση τό ένα άπό τό άλλο. Στό πρώτο κύκλωμα παράγεται άμείωτη ήλεκτρική ταλάντωση μέ ίδιοπερίοδο  $T_1$ . Οι δυναμικές γραμμές τού μαγνητικού πεδίου πού παράγεται άπό τό πηνίο  $L_1$ , περνοῦν άπό τίς σπείρες τού πηνίου  $L_2$ . Τότε λέμε ότι μεταξύ τῶν δύο κυκλωμάτων A και B υπάρχει έπαγωγική σύζευξη. Η μαγνητική ροή πού περνάει άπό τίς σπείρες τού πηνίου  $L_2$  μεταβάλλεται ήμιτονοειδῶς μέ τή συχνότητα  $\nu_1$ , πού έχει ή ήλεκτρική ταλάντωση στό πρώτο κύκλωμα A. Ετσι μέσα στό δεύτερο κύκλωμα B παράγεται έξαναγκασμένη ήλεκτρική ταλάντωση, πού έχει περίοδο  $T_1$  ίση μέ τήν ίδιοπερίοδο τού πρώτου κυκλώματος A.

Η ήλεκτρική ταλάντωση στό δεύτερο κύκλωμα  $B$  άποδεικνύεται άπό τή φωτοβολία του λαμπτήρα. Τότε κύκλωμα  $B$  έχει μεταβλητό πυκνωτή. Μεταβάλλοντας τή χωρητικότητα του πυκνωτή μεταβάλλουμε τήν ίδιοπερίοδο του κυκλώματος  $B$ . Τότε βρίσκουμε ότι τό πλάτος της έξαναγκασμένης ταλαντώσεως στό δεύτερο κύκλωμα παίρνει τή μέγιστη τιμή, δταν ή ίδιοπερίοδος του δεύτερου κυκλώματος  $T_2 = 2\pi \sqrt{L_2 C_2}$  γίνεται ίση μέ τήν ίδιοπερίοδο  $T_1$  του πρώτου κυκλώματος, δηλαδή δταν είναι :

$$T_1 = T_2 \quad \text{ή} \quad 2\pi \sqrt{L_1 C_1} = 2\pi \sqrt{L_2 C_2}$$

Σ' αυτή τήν περίπτωση λέμε ότι μεταξύ των δύο κυκλωμάτων υπάρχει συντονισμός. Τότε ή φωτοβολία του λαμπτήρα είναι έντονη. "Ωστε :

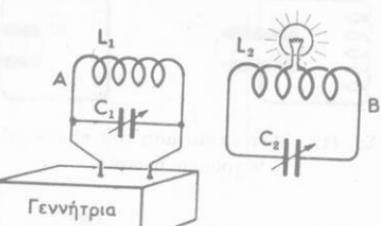
**Δύο κυκλώματα ταλαντώσεων πού συνδέονται μέ έπαγωγική σύζευξη βρίσκονται σέ συντονισμό, δταν ίσχυε ή έξισωση :**

$$\text{συνθήκη συντονισμού} \quad L_1 \cdot C_1 = L_2 \cdot C_2$$

Η ήλεκτρική ταλάντωση πού παράγεται μέσα στό δεύτερο κύκλωμα δφείλεται σέ ένέργεια πού μεταφέρεται άπό τό πρώτο κύκλωμα μέ τό μαγνητικό πεδίο του.

## 77. Παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο

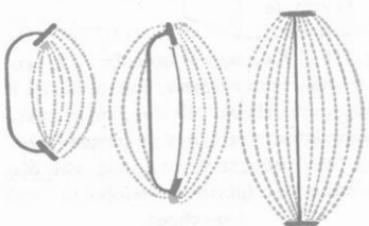
Οι ήλεκτρικές ταλαντώσεις μέσα σέ ένα κύκλωμα ταλαντώσεων μπορούν νά προκαλέσουν έξαναγκασμένες ήλεκτρικές ταλαντώσεις μέσα σέ δεύτερο κύκλωμα ταλαντώσεων πού βρίσκεται κοντά στό πρώτο κύκλωμα (σχ. 111). Η διέγερση του δεύτερου κυκλώματος δφείλεται μόνο στήν έπιδραση του μαγνητικού πεδίου πού δημιουργεῖται γύρω άπό τό πρώτο κύκλωμα, γιατί τό ήλεκτρικό πεδίο μένει έντοπισμένο μεταξύ των δύο διπλισμῶν του πυκνωτή. Μπορούμε όμως νά προκαλέσουμε τή διέγερση του δεύτερου κυκλώματος και μέ τό ηλεκτρικό πεδίο του πρώτου κυκλώματος, ἀν διαμορφώσουμε κατάλληλα τά δύο κυκλώματα ταλαντώσεων.



Σχ. 111. Έπαγωγική σύζευξη δύο κυκλωμάτων ταλαντώσεων. Στό κύκλωμα  $B$  παράγονται έξαναγκασμένες ήλεκτρικές ταλαντώσεις, πού έχουν τό μέγιστο πλάτος, δταν υπάρχει συντονισμός των δύο κυκλωμάτων (μέγιστη φωτοβολία του λαμπτήρα).



Σχ. 112. Άντικατάσταση τοῦ πηνίου μέ εὐθύγραμμο ἀγωγό



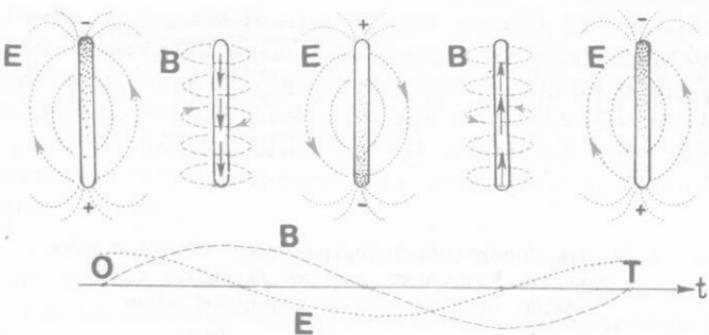
Σχ. 113. Τό ήλεκτρικό πεδίο ἀπλώνεται στό χῶρο.

Στό κύκλωμα Thomson στή θέση τοῦ πηνίου βάζουμε ἔναν εὐθύγραμμο ἀγωγό (σχ. 112). Αὐτή ή ἀντικατάσταση τοῦ πηνίου δέν ἀλλάζει τίς ιδιότητες τοῦ κυκλώματος, ἀλλά προκαλεῖ μόνο ἐλάττωση τοῦ συντελεστῆ αὐτεπαγωγῆς (L) τοῦ κυκλώματος καὶ ἐπομένως ἐλάττωση τῆς ιδιοπεριόδου (T) τοῦ κυκλώματος. Σιγά - σιγά ἀπομακρύνουμε τόν ἔνα ὄπλισμό τοῦ πυκνωτῆ ἀπό τόν ἄλλο, ὥσπου οἱ δύο ὄπλισμοι νά βρεθοῦν στίς δύο ἄκρες ἐνός εὐθύγραμμου ἀγωγοῦ (σχ. 113). Τότε τό ήλεκτρικό πεδίο ἀπλώνεται στό χῶρο. Ο εὐθύγραμμος ἀγωγός μπορεῖ στίς δύο ἄκρες

τον νά καταλήγει ἐλεύθερα ή νά ἔχει μικρές πλάκες ή σφαίρες. Αὐτό τό ἀνοιχτό κύκλωμα Thomson, πού ἀποτελεῖται μόνο ἀπό ἔναν εὐθύγραμμο ἀγωγό, δύναμεται παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο, γιατί σέ μιά στιγμή τῆς ήλεκτρικῆς ταλαντώσεως στίς δύο ἄκρες τοῦ ἀγωγοῦ βρίσκονται ίσα καὶ ἀντίθετα ήλεκτρικά φορτία (ὅπως συμβαίνει καὶ στούς δύο ὄπλισμούς τοῦ πυκνωτῆ στό κλειστό κύκλωμα Thomson). Ο εὐθύγραμμος ἀγωγός μπορεῖ νά ἔχει στή μέση του μιά μικρή διακοπή (σπινθηριστή).

## 78. Έκπομπή ήλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων

a. Τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο. "Οταν μέσα στό παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο παράγεται ἀμείωτη ήλεκτρική ταλάντωση, στίς δύο ἄκρες τοῦ διπόλου ἀναπτύσσεται ἐναλλασσόμενη τάση, γιατί περιοδικά τά ἐλεύθερα ήλεκτρόνια τοῦ ἀγωγοῦ συγκεντρώνονται πότε στή μιά καὶ πότε στήν ἄλλη ἄκρη τοῦ διπόλου. "Ετσι οἱ δύο ἄκρες τοῦ διπόλου ἀποκτοῦν διαδοχικά θετικό καὶ ἀρνητικό δυναμικό. "Επομένως γύρω ἀπό τό δίπολο δημιουργεῖται ἔνα ἐναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο (σχ. 114). "Έξαιτιας τῆς ἐναλλασσομένης τάσεως δημιουργεῖται μέσα στόν ἀγωγό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, πού παράγει γύρω του ἔνα ἐναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Οἱ δυναμικές γραμμές τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου εἰναι διμόκεντροι κύκλοι, κάθετοι στόν ἀγωγό. "Οταν σιγά - σιγά ἔξασθενίζει τό ήλεκτρικό πεδίο, ἐνισχύεται τό μαγνητικό πεδίο καὶ ἀντίστροφα, ὅταν ἔξασθενίζει τό μαγνητικό πεδίο,

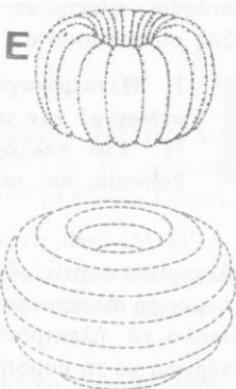


Σχ. 114. Γύρω από τό παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο σχηματίζονται ένα έναλλασσόμενο ήλεκτρικό πεδίο ( $E$ ) και ένα έναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο ( $B$ ).

ένισχυεται τό ήλεκτρικό πεδίο. Αυτά τά δύο έναλλασσόμενα πεδία, τό ήλεκτρικό και τό μαγνητικό, είναι άλληλένδετα και άποτελούν τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο. "Ωστε :

**Η ήλεκτρική ταλάντωση πού παράγεται μέσα στό παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο δημιουργεῖ γύρω από αυτό έναλλασσόμενο ήλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, πού είναι άλληλένδετα και άποτελούν τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο.**

β. Ήλεκτρομαγνητικά κύματα. Κάθε μισή περίοδο άλλάζει ή φορά τῶν δυναμικῶν γραμμῶν τοῦ ήλεκτρικοῦ καὶ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Στό διάστημα αὐτό τό ήλεκτρικό καὶ τό μαγνητικό πεδίο διαδίδονται στό γύρῳ χῶρο μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός (c) καὶ έτσι οἱ δυναμικές γραμμές τῶν δύο πεδίων συνεχῶς ἀπλώνονται μέσα στό χῶρο γύρω από τό δίπολο (σχ. 115). Σέ ένα σημεῖο  $M$  τοῦ χώρου πού βρίσκεται σέ ἀρκετή ἀπόσταση ἀπό τό δίπολο ή ἔνταση  $E$  τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου καὶ ή μαγνητική ἐπαγωγή  $B$  τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους καὶ κάθετες στή διεύθυνση τῆς διαδόσεως τοῦ ήλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου (σχ. 117). Στή διάρκεια μιᾶς περιόδου τά μεγέθη  $E$  καὶ  $B$  μεταβάλλονται ήμιτονοειδῶς καὶ σέ κάθε στιγμή ἔχουν τήν ἴδια φάση (δηλαδή ταυτόχρονα παίρνουν τή μεγίστη τιμή τους καὶ ταυτόχρονα μηδενίζονται). Αυτή ή διάδοση τοῦ ή-



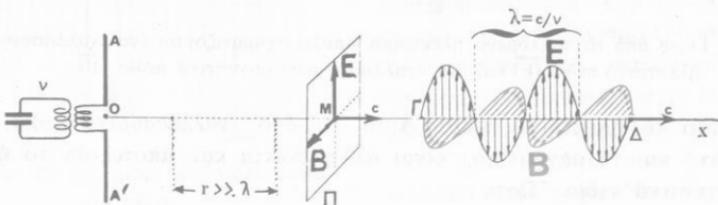
Σχ. 115. Διάδοση τοῦ ήλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου στό χώρο. Πάνω: διάδοση τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου  
Κάτω: διάδοση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου



Σχ. 116. Διάδοση του ήλεκτρομαγνητικού πεδίου στό χώρο

'Αριστερά: Κατακόρυφη τομή του ήλεκτρικού πεδίου

Δεξιά: 'Οριζόντια τομή του μαγνητικού πεδίου

Σχ. 117. 'Η άπόσταση  $r$  από τό παλλόμενο δίπολο είναι μεγάλη σχετικά μέ τό μήκος κύματος  $\lambda$ . 'Η ένταση E του ήλεκτρικού πεδίου και ή μαγνητική έπαγωγή B του μαγνητικού πεδίου βρίσκονται σέ συμφωνία φάσεως.

λεκτρομαγνητικού πεδίου άποτελεῖ τό ήλεκτρομαγνητικό κύμα, τό δόποιο μεταφέρει ήλεκτρομαγνητική ένέργεια. 'Από τά παραπάνω καταλήγουμε στά έξης συμπεράσματα :

I. 'Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι ή διάδοση του ήλεκτρομαγνητικού πεδίου μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός.

II. "Ενα παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο έκπεμπει ήλεκτρομαγνητική ένέργεια, πού μεταφέρεται από τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα.

'Ο Maxwell στήν ήλεκτρομαγνητική θεωρία του άπέδειξε δτι κάθε ήλεκτρικό φορτίο, δταν κινεῖται μέ έπιτάχυνση, άποβάλλει ένέργεια μέ τή μορφή ήλεκτρομαγνητικού κύματος. Μέσα στό παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο τό ήλεκτρόνιο κινεῖται μέ έπιτάχυνση και έπομένως έκπεμπει ένέργεια μέ τή μορφή ήλεκτρομαγνητικού κύματος. 'Η ένέργεια, τήν δόποια χάνει τό κινούμενο μέ έπιτάχυνση ήλεκτρόνιο, άναπληρώνεται από τή γεννήτρια πού ύπάρχει στό κύκλωμα.

'Αργότερα δ Hertz έπιβεβαίωσε πειραματικά τίς θεωρητικές προβλέψεις τοῦ Maxwell και άπέδειξε τήν υπαρξή τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων. Σήμερα τό ραδιόφωνο, ή τηλεόραση, τό ραντάρ είναι μεγάλες έφαρμογές τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων.

γ. Μήκος κύματος τοῦ ήλεκτρομαγνητικοῦ κύματος. Τά δύο έναλλασσόμενα πεδία πού ἀποτελοῦν τό ήλεκτρομαγνητικό πεδίο, ἔχουν τήν Ἰδία συχνότητα πού ἔχει καὶ ή ηλεκτρική ταλάντωση ἡ ὅποια παράγεται μέσα στό παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο. "Αρα τό ήλεκτρομαγνητικό κύμα ἔχει συχνότητα ν. Τό μήκος κύματος λ τοῦ ήλεκτρομαγνητικοῦ κύματος ὑπολογίζεται ἀπό τή γενική ἐξίσωση τῶν κυμάτων  $c = v \cdot \lambda$ , δπου  $c$  εἰναι ἡ ταχύτητα τοῦ φωτός.

δ. Ἰδιότητες τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων. Πειραματικά ἀποδεικνύεται ὅτι τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα ἔχουν τίς ἐξῆς ἴδιότητες:

1. "Οταν πέφτουν πάνω στήν ἐπιφάνεια μετάλλων (καὶ γενικότερα ἄγωγῶν), ἀνακλῶνται σύμφωνα μέ τούς νόμους τῆς ἀνακλάσεως τοῦ φωτός.

2. "Οταν περνοῦν τήν ἐπιφάνεια πού χωρίζει δύο διαφορετικά διηλεκτρικά ὄλικά, διαθλῶνται σύμφωνα μέ τούς νόμους τῆς διαθλάσεως τοῦ φωτός.

3. Παράγουν φαινόμενα συμβολῆς καὶ περιθλάσεως, δπως καὶ στήν περίπτωση τοῦ φωτός.

4. Εἶναι ἐγκάρσια κύματα, δπως εἰναι καὶ τά φωτεινά κύματα. "Ωστε τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα ἔχουν ὀλες τίς ἴδιότητες τῶν φωτεινῶν κυμάτων. Πρῶτος ὁ Maxwell (1865) ἀπέδειξε ὅτι ἡ φύση τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν καὶ τῶν φωτεινῶν κυμάτων εἶναι ἡ Ἰδία καὶ διατύπωσε τήν ήλεκτρομαγνητική θεωρία τοῦ φωτός, πού ἔδωσε ἐνιαία ἐξήγηση σέ ὅλα τά ὡς τότε γνωστά ήλεκτρομαγνητικά καὶ δπτικά φαινόμενα.

## 79. Ηλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία

Σήμερα ἔχει συμπληρωθεῖ ὅλη ἡ σειρά τῶν συχνοτήτων, ἀπό τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα πού παράγονται μέ κυκλώματα ὡς τά φωτεινά κύματα καὶ τίς ἀκτίνες Röntgen ἡ γ πού παράγονται ἀπό τά ἄτομα. Γενικά ἔχουμε τόν ἐξῆς δρισμό :

**"Ηλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία ὀνομάζεται τό σύνολο τῶν ἀκτινοβολιῶν πού μεταφέρουν ἐνέργεια μέ τή μορφή ήλεκτρομαγνητικοῦ κύματος.**

"Η ἐνέργεια πού μεταφέρεται ἀπό τό ήλεκτρομαγνητικό κύμα ἐξαρτᾶται ἀπό δρισμένα χαρακτηριστικά τοῦ κύματος.

Τό φάσμα τῆς ήλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας. Πειραματικά ἀποδείχηκε ὅτι τά τεχνικά ήλεκτρομαγνητικά κύματα, οἱ ὑπέρυθρες ἀκτίνες, οἱ δρατές ἀκτινοβολίες, οἱ ὑπεριώδεις ἀκτίνες, οἱ ἀκτίνες Röntgen καὶ οἱ ἀκτίνες γ εἰναι διάφορες μορφές ήλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας, πού ἡ

μόνη διαφορά τους είναι στό μήκος κύματος ( $\lambda$ ) και, έπομένως, και στή συχνότητα (ν). Οι συχνότητες της ήλεκτρομαγνητικής άκτινοβολίας έχουν τιμές άπό  $v = 0$  ώς  $v = 10^{24}$  Hz. Οι ήλεκτρομαγνητικές άκτινοβολίες πού παράγουμε μέ κυκλώματα έχουν συχνότητες άπό 0 ώς  $10^{13}$  Hz και διαδίδονται μέ ηλεκτρομαγνητικά κύματα, πού συνήθως τά δονομάζουμε έρτζιανά κύματα. Οι άκτινοβολίες πού έχουν συχνότητες άπό  $10^{13}$  ώς  $10^{24}$  Hz παράγονται άπό τά ατομα και τά μόρια της θλης, σταν βρίσκονται σέ κατάσταση διεγέρσεως. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τό φάσμα της ήλεκτρομαγνητικής άκτινοβολίας. Παρατηρούμε δτι μόνο μιά μικρή περιοχή αύτού τού φάσματος άποτελεί τό δρατό φάσμα, δηλαδή τίς δρατές άκτινοβολίες.

Τό φάσμα της ήλεκτρομαγνητικής άκτινοβολίας

Συχνότητα ν (σέ Hz)		Μήκος κύματος $\lambda$
$10^{24}$		$3 \cdot 10^{-6}$ Å
$10^{21}$	'Ακτίνες γ	$3 \cdot 10^{-3}$ Å
$10^{18}$	'Ακτίνες Röntgen	3 Å
$10^{15}$	'Υπεριώδεις άκτίνες	$3 \cdot 10^3$ Å
$10^{12}$	'Ορατές άκτινοβολίες	
$10^9$	'Υπέρυθρες άκτίνες	
$10^6$	Μικροκύματα	300 μm
$10^3$	'Υπερβραχέα κύματα	30 cm
$10^0$	Βραχέα κύματα	300 m
	Μεσαία και μακρά κύματα	
	Tηλεφωνικά κύματα	300 km
	Βιομηχανικά κύματα	300 000 km

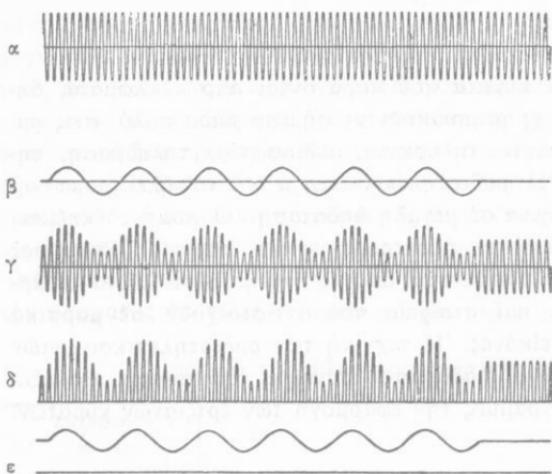
## 80. Ραδιοτηλεπικοινωνίες

Τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται από κυκλώματα, δηλαδή τά έρτζιανά κύματα, χρησιμοποιούνται σήμερα πάρα πολύ στις ραδιοτηλεπικοινωνίες (τηλεγραφία, τηλεφωνία, ραδιοφωνία, τηλεόραση, τηλεφωτογραφία, ραντάρ). Η ραδιοτηλεπικοινωνία μέ τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδει ένέργεια σέ μεγάλη άποσταση. Ο πομπός έκπεμπει έρτζιανά κύματα που μεταφέρουν ήλεκτρομαγνητική ένέργεια. "Ενα μέρος από αυτή τήν ένέργεια συλλαμβάνεται από τό δέκτη. Ταυτόχρονα τά έρτζιανά κύματα μεταφέρουν και στοιχεῖα που αντιστοιχούν σέ μορσικά σήματα, σέ ηχους ή σέ εικόνες. Η τεχνική τῶν ραδιοτηλεπικοινωνιῶν είναι σήμερα ένας τεράστιος κλάδος, που συνεχῶς έξελίσσεται. Θά έξετάσουμε σέ πολύ γενικές γραμμές τήν έφαρμογή τῶν έρτζιανῶν κυμάτων.

## 81. Πομπός έρτζιανῶν κυμάτων

α. Φέρον κύμα. Ο πομπός έρτζιανῶν κυμάτων άποτελεῖται από ένα κύκλωμα ταλαντώσεων, στό δποιο παράγονται άμειώτες ήλεκτρικές ταλαντώσεις που έχουν πολύ μεγάλη συχνότητα (v). Η συχνότητα αυτή δονομάζεται φέρονσα συχνότητα (και είναι τῆς τάξεως τοῦ MHz). Γιά τήν παραγωγή αυτῶν τῶν ταλαντώσεων χρησιμοποιούνται κυρίως τρίοδοι ήλεκτρονικές λυχνίες. Τό παραπάνω κύκλωμα συνδέεται μέ τήν κεραία, που είναι ένα παλλόμενο ήλεκτρικό δίπολο, στό δποιο παράγονται ήλεκτρικές ταλαντώσεις μέ τήν ίδια συχνότητα (v). Η κεραία έκπεμπει ήλεκτρομαγνητικό κύμα, που έχει σταθερή μεγάλη συχνότητα (v) και δονομάζεται φέρον κύμα.

β. Διαμόρφωση τοῦ φέροντος κύματος. Κατά τήν διμιλία και στή μουσική παράγονται ήχοι που έχουν χαμηλές συχνότητες (ώς 12 kHz). Αύτοί οί ήχοι, δταν φτάνουν στό μικρόφωνο προκαλούν μεταβολές τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος τοῦ μικροφώνου μέ τή συχνότητα ( $v_{nx}$ ), που έχει δ' αντίστοιχος ήχος. Γιά τή μετάδοση ηχων (ραδιοτηλεφωνία, ραδιοφωνία) τό κύκλωμα τοῦ μικροφώνου συνδέεται μέ τό κύκλωμα ταλαντώσεων. Οι μεταβολές τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος τοῦ μικροφώνου (πού αντιστοιχούν σέ ήχο δρισμένης συχνότητας  $v_{nx}$ ) προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές στό πλάτος τοῦ φέροντος κύματος μέ τό ρυθμό τῆς ήχητικῆς συχνότητας. Τότε ή κεραία έκπεμπει ένα διαμορφωμένο κύμα, που μεταφέρει τίς χαρακτηριστικές μεταβολές που προκάλεσε δ' ήχος στό ρεύμα τοῦ μικροφώνου. Στό σχήμα 118 τό α δείχνει τό φέρον κύμα, πρίν πάθει διαμόρφωση. Τό β δείχνει τήν ήμιτονοειδή μεταβολή που προκαλεῖ στήν ένταση τοῦ ρεύμα-



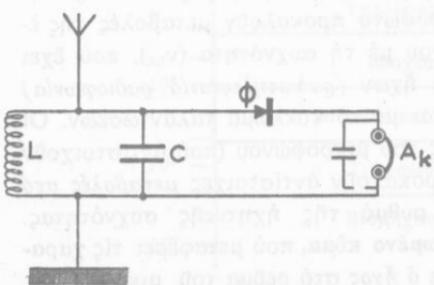
Σχ. 118. Διαμόρφωση τῶν κυμάτων στό σταθμό ἐκπομπῆς και ἀποδιαμόρφωση στό δέκτη  
(α φέρον κύμα,  
β μικροφωνικό ήμιτονοειδές ρεῦμα,  
γ διαμορφωμένο κύμα,  
δ ἀνόρθωση,  
ε ἀνορθωμένο ρεῦμα μέ το μικροφωνικό ρεῦμα)

τος τοῦ μικροφώνου ἔνας ἀπλός ἥχος. Τό γ δείχνει τή διαμόρφωση πού παθαίνει τό φέρον κύμα.

## 82. Δέκτης ἑρτζιανῶν κυμάτων

Ο δέκτης ἑρτζιανῶν κυμάτων ἀποτελεῖται ἀπό τήν κεραία, πού συνδέεται μέ ἕνα κύκλωμα ταλαντώσεων. Αὐτό βρίσκεται σέ συντονισμό μέ τό κύκλωμα ταλαντώσεων τοῦ πομποῦ. Ἔτσι μέσα στό κύκλωμα τοῦ δέκτη παράγονται διαμορφωμένες ἡλεκτρικές ταλαντώσεις, ἵδιες μέ ἐκείνες πού σχηματίστηκαν στό κύκλωμα τοῦ πομποῦ. Ἐν αὐτές οἱ ταλαντώσεις ἔρθουν στό ἀκουστικό ή στό μεγάφωνο, δέν παράγεται ἥχος, γιατί ἡ πλάκα τοῦ ἀκουστικοῦ ή ἡ μεμβράνη τοῦ μεγαφώνου δέν μποροῦν νά παρακολουθήσουν τίς τόσο γρήγορες μεταβολές τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος. Μεταξύ

τοῦ κυκλώματος ταλαντώσεων και τοῦ ἀκουστικοῦ ή τοῦ μεγαφώνου παρεμβάλλουμε ἔναν ἀνορθωτή (λέγεται φωρατής). Τότε ἀπό τόν ἀνορθωτή περνάει ρεῦμα μόνο κατά τή μια ἡμιπερίοδο. Τό ἀνορθωμένο ρεῦμα είναι συνεχές ρεῦμα πού παρουσιάζει μεταβολές τῆς ἐντάσεως του μέ τή συχνότητα ( $v_{\text{π}}$ ) πού ᭕χει ὁ ἀρχικός ἥχος. Τώρα ἡ πλάκα τοῦ ἀκουστικοῦ ή ἡ μεμβράνη τοῦ μεγαφώνου μποροῦν νά παρακολου-



Σχ. 119. Ἀπλή διάταξη δέκτη μέ κρυσταλλικό ἀνορθωτή (φωρατή  $\Phi$ ) και ἀκουστικά

θήσουν τίς μεταβολές τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος και ἔτσι ἀναπαράγεται ὁ ἀρχικός ἥχος. Στό σχῆμα 131 τὸ δ δείχνει τό ἀνορθωμένο ρεῦμα και τὸ ε δείχνει τό ρεῦμα πού περνάει ἀπό τό ἀκουστικό ἢ τό μεγάφωνο και ὅπως βλέπουμε διατηρεῖται ἡ ἡμιτονοειδής μεταβολή τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος τοῦ μικροφώνου. Στό σχῆμα 119 φαίνεται μιά ἀπλὴ διάταξη δέκτη μέ ἀκουστικά.

**Ἐνίσχυση, ἐπιλογή.** Οἱ διαμορφωμένες ἡλεκτρικές ταλαντώσεις πού παράγονται στό κύκλωμα τοῦ δέκτη εἰναι πολὺ ἀσθενεῖς και γ' αὐτό ἐνισχύονται μέ κατάλληλους ἐνισχυτές. Στήν κεραία πέφτουν ἡλεκτρομαγνητικά κύματα μέ πολύ διαφορετικές συχνότητες. Γιά νά μποροῦμε νά κάνουμε ἐπιλογή και νά συντονίζουμε τό δέκτη μέ τόν πομπό, δ δέκτης ἔχει ἔναν πυκνωτή μεταβλητῆς χωρητικότητας, μέ τόν ὅποιο μεταβάλλουμε τήν ἴδιοσυχνότητα τοῦ κυκλώματος τοῦ δέκτη. "Οταν ὑπάρχει συντονισμός τοῦ δέκτη μέ τόν πομπό, οἱ ταλαντώσεις στό κύκλωμα τοῦ δέκτη ἔχουν μεγάλο πλάτος.

**Ραδιόφωνο.** Τό ραδιόφωνο εἰναι ἔνας δέκτης ἐρτζιανῶν κυμάτων, στόν ὅποιο ἡ ἀνόρθωση και ἡ ἐνίσχυση γίνεται μέ κατάλληλες ἡλεκτρονικές λυχνίες ἢ μέ ἡμιαγωγούς (ραδιόφωνα μέ τρανζίστορ). Τό σχῆμα 120 δείχνει τή συνδεσμολογία ἐνός ἀπλοῦ ραδιοφώνου μέ μιά τρίοδο ἡλεκτρονική λυχνία.

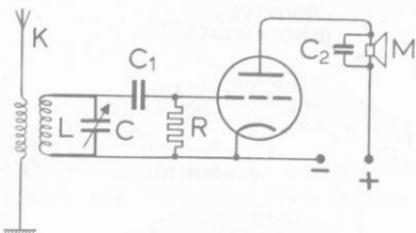
### 83. Διάδοση τῶν ἡλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων

Τή διάδοση τῶν ἡλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων πού ἐκπέμπονται ἀπό τήν κεραία ἐπηρεάζεται κυρίως ἀπό τούς ἔξης δύο παράγοντες :

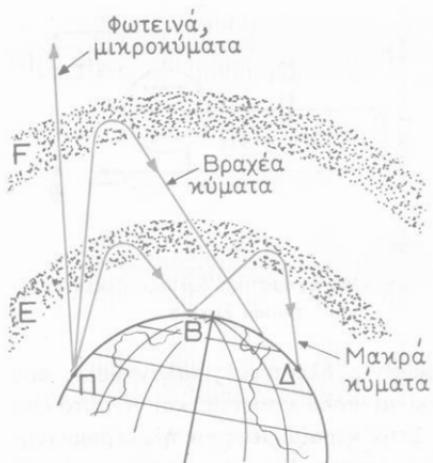
α) Ἀπό τήν παρουσία τοῦ ἐδάφους, πού ἡ ἀγωγιμότητά τον ἐξαρτᾶται ἀπό τή φύση τοῦ ἐδάφους.

β) Ἀπό τήν παρουσία μέσα στήν ἀτμόσφαιρα και σέ υψος ἀπό 100 ὥς 350 km περίπου ἐνός στρώματος ἀέρα πού ἔχει σημαντική ἀγωγιμότητα και ὀνομάζεται **Ιονόσφαιρα**. Τής ιονόσφαιρας διείλεται σέ θετικά ιόντα και ἡλεκτρόνια πού προέρχονται ἀπό τόν ιονισμό τοῦ ἀέρα.

Τά ἡλεκτρομαγνητικά κύματα πού ἐκπέμπονται ἀπό τήν κεραία διακρίνονται στίς ἔξης δύο κατηγορίες : α) στά κύματα ἐπιφάνειας, πού δια-



Σχ. 120. Σχηματική διάταξη δέκτη μέ τρίοδο λυχνία



Σχ. 121. Άνακλαση των ήλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στά στρώματα Ε και Φ της Ιονόσφαιρας

πικοινωνίες. Τά έρτζιανά κύματα που χρησιμοποιούνται στίς τηλεπικοινωνίες διακρίνονται στίς έξης κατηγορίες :

- Tά μακρά κύματα ( $\lambda > 600$  m) παρουσιάζουν μικρή άπορρόφηση των κυμάτων έπιφανειας και είναι κατάλληλα γιά μετάδοση σέ μεγάλες άποστασεις.
- Tά μεσαῖα κύματα ( $100$  m  $< \lambda <$   $600$  m) παρουσιάζουν μεγαλύτερη άπορρόφηση των κυμάτων έπιφανειας, άλλα τά κύματα χώρου άνακλωνται πάνω στήν ιονόσφαιρα και φτάνουν σέ μεγάλες άποστασεις άπό τόν πομπό.
- γ) Tά βραχέα κύματα ( $10$  m  $< \lambda <$   $100$  m) παρουσιάζουν πολύ μεγάλη άπορρόφηση των κυμάτων έπιφανειας, άλλα άντιθετα τά κύματα χώρου μποροῦν νά πάθουν διαδοχικές άνακλάσεις πάνω στήν ιονόσφαιρα και στό έδαφος και νά φτάσουν σέ μεγάλες άποστασεις χωρίς αισθητή έξασθένιση.
- δ) Tά ύπερβραχέα κύματα ( $1$  m  $< \lambda <$   $10$  m) δέν άνακλωνται πάνω στήν ιονόσφαιρα, άλλα περνοῦν μέσα άπό αὐτήν και βγαίνουν στό άστρικό διάστημα. Έπομένως γιά τή μετάδοση χρησιμοποιοῦμε μόνο τά κύματα έπιφανειας, που έχουν πολύ μικρή έμβλεμα. Tά ύπερβραχέα κύματα διαδίδονται εύθυγραμμα, δηλαδή ανάλογα με την θέση της στήν ιονόσφαιρα.
- ε) Tά μικροκύματα ( $0,1$  mm  $< \lambda <$   $1$  m) περνοῦν άπό τήν ιονόσφαιρα

δίδονται κοντά στήν έπιφανεια τής Γης, και β) στά κύματα χώρου, που έκπεμπονται άπό τήν κεραία πρός τά πάνω.

Tά κύματα έπιφανειας άπορρόφονται άπό τήν έπιφανεια τής Γης και ή άπορρόφηση είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μικρότερο είναι τό μηκος κύματος ( $\lambda$ ) τού ήλεκτρομαγνητικού κύματος. Tά κύματα χώρου, όταν έχουν μηκος κύματος ( $\lambda$ ) μεγαλύτερο άπό ένα δριο, άνακλωνται πάνω στήν ιονόσφαιρα και ξαναγυρίζουν στήν έπιφανεια τής Γης (σχ. 121). "Ετσι τά άνακλωμενα κύματα φτάνουν σέ μεγάλες άποστασεις χωρίς σημαντική έξασθένιση.

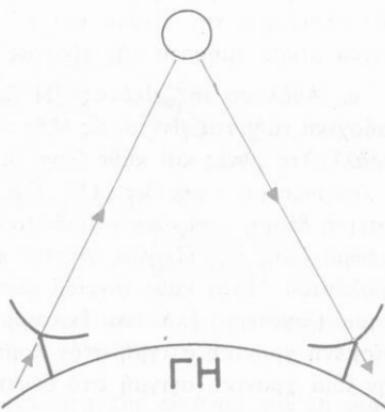
a. Tά έρτζιανά κύματα στίς τηλε-

καὶ βγαίνουν στό ἀστρικό διάστημα. Μποροῦν νά ἀποτελέσουν μιά κατευθυνόμενη δέσμη ἀνάλογη μέ μιά δέσμη φωτεινῶν ἀκτίνων. Χρησιμοποιοῦνται στό ραντάρ καὶ στή ραδιοτηλεφωνία.

β. Ἀναμετάδοση τῶν κυμάτων. Τά ύπερβραχέα κύματα καὶ τά μικροκύματα διαδίδονται εὐθύγραμμα καὶ ἐπομένως τά βουνά καὶ ἡ καμπυλότητα τῆς Γῆς ἐμποδίζουν τή διάδοση αὐτῶν τῶν κυμάτων σέ μεγάλες ἀποστάσεις. Σ' αὐτή τήν περίπτωση χρησιμοποιοῦμε σταθμούς ἀναμεταδόσεως τῶν κυμάτων πού βρίσκονται στίς κορυφές βουνῶν, ὥστε νά ἀντικρύζουν ὁ ἔνας τόν ἄλλο σταθμό (σχ. 122). Σέ κάθε σταθμό ἀναμεταδόσεως ὑπάρχει δέκτης τῶν κυμάτων, ἐνισχυτής καὶ πομπός πού ξαναεκπέμπει τά κύματα πρός δρισμένη κατεύθυνση. Ὁ δέκτης καὶ ὁ πομπός εἶναι μεγάλοι παραβολικοί μεταλλικοί καθρέφτες, πού ἔχουν κεραία στήν ἑστία τους.



Σχ. 122. Σχηματική παράσταση σταθμῶν ἀναμεταδόσεως τῶν ἡλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων



Σχ. 123. Ἀναμετάδοση τῶν κυμάτων ἀπό τεχνητό τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο

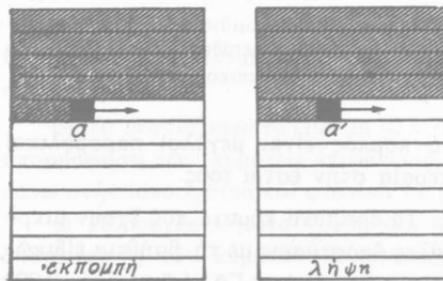
γ. Διαστημικές τηλεπικοινωνίες. Τά ἐρτζιανά κύματα πού ἔχουν μικρό μῆκος κύματος μεταδίδονται σέ μεγάλες ἀποστάσεις μέ τή βοήθεια εἰδικῶν τεχνητῶν δορυφόρων πού περιφέρονται γύρω ἀπό τή Γῆ σέ ὅψη ἀπό 10 000 km ὥς 36 000 km καὶ ὀνομάζονται τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι (σχ. 123). Κάθε τέτοιος δορυφόρος ἔχει δέκτη, ἐνισχυτή καὶ πομπό. Οἱ συσκευές τοῦ δορυφόρου λειτουργοῦν μέ συσσωρευτές πού φορτίζονται μέ τό ἡλεκτρικό ρεῦμα τό ὅποιο παράγεται ἀπό πολλές φωτοστῆλες. Αὐτές μετατρέπουν τήν ἐνέργεια τοῦ ἡλιακοῦ φωτός σέ ἡλεκτρική ἐνέργεια. Τά ἐρζιανά κύματα πού ἐκπέμπονται ἀπό τήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς ξαναγυρίζουν σ' αὐτή, ἀφοῦ διατρέξουν μεγάλες ἀποστάσεις ἔξω ἀπό τήν ἀτμόσφαιρα, δηλαδή μέσα στό ἀστρικό διάστημα (διαστημικές τηλεπικοινωνίες).

Διαδοχικά κύρια θεματικά στοιχεία που σηματούνται στήν σειρά την παραγωγή των δορυφόρων, την τεχνητή κατασκευή των δορυφόρων, την διαστημική στοιχεία στήν σειρά της παραγωγής των δορυφόρων (σχ. 124). Τά

## 84. Τηλεόραση

Στήν τηλεόραση μέ τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται είκονες προσώπων ή άντικειμένων πού μπορεῖ νά βρίσκονται και σέ κίνηση. "Οπως ξέρουμε, τό μάτι μας δέν μπορεῖ νά διαιρίνει διτι στήν δθόνη τοῦ κινηματογράφου προβάλλονται πολύ γρήγορα διαδοχικές είκονες τοῦ άντικειμένου πού κινεῖται. Σ' αύτή τήν ίδιότητα τοῦ ματιοῦ στηρίζεται και ή τηλεόραση, μέ τή διαφορά διτι άκόμα δέν μπορούμε νά μεταδώσουμε μονομιᾶς δλόκληρη τήν είκόνα και γι' αύτό μεταδίδουμε πολύ γρήγορα διαδοχικά μικρά τμήματα τής είκόνας.

α. 'Ανάλυση τής είκόνας. 'Η άνάλυση τής είκόνας σέ πολλά μικρά διαδοχικά τμήματα γίνεται ώς έξης : 'Η είκόνα διαιρεῖται σέ πολλές στενές παράλληλες ζώνες και κάθε ζώνη διαιρεῖται σέ πολλά μικρά τμήματα πού τά δονομάζουμε «ψηφίδες» (\*). Γιά τή μετάδοση τής είκόνας μιά λεπτή φωτεινή δέσμη «σαρώνει» διαδοχικά τίς ζώνες τή μιά μετά τήν άλλη. Τό σάρωμα δλής τής είκόνας γίνεται πολύ γρήγορα, μέσα σέ 1/25 τοῦ δευτερολέπτου. 'Ετσι κάθε ψηφίδα φωτίζεται έπι ένα έλάχιστο χρονικό διάστημα (λιγότερο άπό ένα έκατομμυριστό τοῦ δευτερολέπτου). Σέ μιά δρισμένη χρονική στιγμή στόν πομπό φωτίζεται ή ψηφίδα α τής είκόνας. Τήν ίδια χρονική στιγμή στό δέκτη άναπαράγεται ή ψηφίδα α' πού άντιστοιχεῖ στό μικρό τμήμα α τής είκόνας πού μεταδίδεται (σχ. 124).



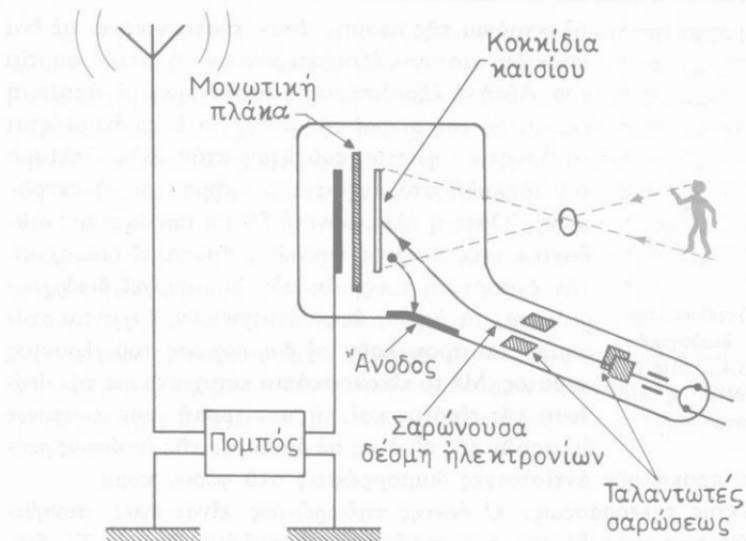
Σχ. 124. 'Ανάλυση τής είκόνας σέ μικρά τμήματα (α) πού μεταδίδονται διαδοχικά

'Η διαμόρφωση τοῦ φέροντος κύματος ή όποια άντιστοιχεῖ σέ μιά ψηφίδα, διαρκεῖ έπι έλάχιστο χρόνο. 'Επομένως, ή περίοδος τοῦ φέροντος κύματος πρέπει νά είναι πολύ μικρότερη άπό αύτό τό χρόνο. Γι' αύτό στήν τηλεόραση πρέπει νά χρησιμοποιούμε φέροντα κύματα μέ

πολύ μεγάλη συχνότητα, δηλαδή ύπερβραχέα κύματα ή μικροκύματα ( $\lambda < 1 \text{ m}$ ). 'Άλλα αύτά τά κύματα πολύ μικρή έμβλεμα.

(\*) "Αν π.χ. ή είκόνα διαιρεθεῖ σέ 625 ζώνες και κάθε ζώνη διαιρεθεῖ σέ 640 ψηφίδες τότε δλη ή είκόνα άναλύεται σέ 400 000 ψηφίδες. 'Η μετάδοση μιᾶς ψηφίδας διαρκεῖ έπι χρόνο

$$\frac{1/25 \text{ sec}}{4 \cdot 10^6 \text{ ψηφίδες}} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ sec/ψηφίδα}$$

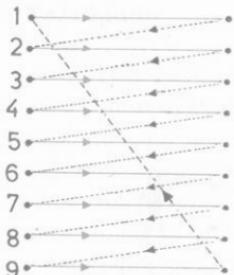


Σχ. 125. Σχηματική παράσταση πομπού τηλεοράσεως. Ή δέσμη ήλεκτρονίων σαρώνει τό «ήλεκτρικό είδωλο» του άντικειμένου.

β. Πομπός τηλεοράσεως. Για τήν άναλυση τής εἰκόνας και τή διαδοχική μετάδοση τῶν μικρῶν τμημάτων της έφαρμόζουμε διάφορα συστήματα. "Ενα ἀπό αὐτά εἶναι τό εἰκονοσκόπιο Zworykin. Αὐτό εἶναι ἔνας σωλήνας Braun, πού στό ἐσωτερικό του ὑπάρχει μιά λεπτή μονωτική πλάκα (σχ. 125). Ή μιά ἐπιφάνεια τής πλάκας σκεπάζεται μέ μιά λεπτή μεταλλική πλάκα (ήλεκτροδίο) πού συνδέεται μέ τό κύκλωμα ταλαντώσεων τοῦ πομπού. Ή ἄλλη ἐπιφάνεια τής μονωτικῆς πλάκας ἔχει σκεπαστεῖ μέ πολὺ μικρά κοκκίδια καισίου, πού εἶναι μονωμένα τό ἔνα ἀπό τό ἄλλο. "Ετσι κάθε κοκκίδιο καισίου και τό ἀντίστοιχο τμῆμα τοῦ ηλεκτροδίου ἀποτελοῦν ἔνα μικρότατο πυκνωτή.

Μέ ἔνα φακό σχηματίζεται πάνω στό στρῶμα τοῦ καισίου τό πραγματικό είδωλο τής εἰκόνας πού θέλουμε νά μεταδώσουμε. Τότε ἀπό κάθε κοκκίδιο καισίου ἀποσπῶνται φωτοηλεκτρόνια και τό κοκκίδιο ἀποκτᾶ θετικό φορτίο ἀνάλογο μέ τή φωτεινή ροή πού ἔπεσε πάνω του. "Ετσι οἱ μικρότατοι πυκνωτές φορτίζονται και μποροῦμε νά πούμε ὅτι πάνω στό στρῶμα τοῦ καισίου ἔχει σχηματιστεῖ τό «ήλεκτρικό είδωλο» του άντικειμένου.

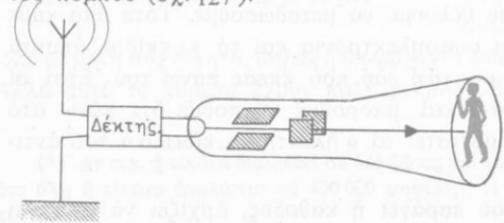
Ή ηλεκτρονική δέσμη πού παράγει ή κάθιδος, ἀρχίζει νά σαρώνει διαδοχικά κάθε ζώνη και ὅταν σαρώσει δλες τίς ζώνες, ξαναγυρίζει ἀπότομα στήν ἀρχή τής πρώτης ζώνης και ἀρχίζει νέο σάρωμα (σχ. 126). Τά



Σχ. 126 . Το ρυθμικό σάρωμα των διαδοχικών ζωνών 1,2,3,4... στις δοποίες άναλυνεται ή είλοκνα

ήλεκτρονια της δέσμης, δταν πέφτουν πάνω σε ένα κοκκίδιο καισίου, έξουδετερώνουν τό θετικό φορτίο του. Αυτή η έξουδετερωση ίσοδυναμεί μέ απότομη έκφρότιση τοῦ μικροῦ πυκνωτῆ, γιατί αποδεσμεύεται τό άρνητικό φορτίο πού ήταν στόν άλλο δηλισμό του (δηλαδή στό άντιστοιχο τμῆμα τοῦ ήλεκτροδίου). "Ωστε η ήλεκτρονική δέσμη σαρώνοντας διαδοχικά τούς μικρούς πυκνωτές προκαλεῖ διαδοχικά τήν έκφρότισή τους, δηλαδή δημιουργεῖ διαδοχικά φεύματα, τά δποια, άφού ένισχυθούν, έρχονται στόν πομπό και προκαλούν τή διαμόρφωση τοῦ φέροντος κύματος. Μέ τό είκονοσκόπιο πετυχαίνουμε τήν άναλυση της είλοκνας και τή μετατροπή τῶν φωτεινῶν διαφορῶν της είλοκνας σέ διαφορές της έντάσεως φεύματος πού προκαλούν άντιστοιχες διαμορφώσεις στό φέρον κύμα.

γ. Δέκτης τηλεοράσεως. "Ο δέκτης τηλεοράσεως είναι ένας συνηθισμένος ραδιοφωνικός δέκτης πού συνδέεται μέ σωλήνα Braun. Τό διάφραγμα πού φθορίζει (δθόνη) είναι ένα παραλληλόγραμμο. Τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα πού πέφτουν στήν κεραία δημιουργούν στό κύκλωμα ταλαντώσεων τοῦ δέκτη διαμορφωμένες ήλεκτρικές ταλαντώσεις. Αυτές, άφοιού ένισχυθούν, ύποβάλλονται σέ άνορθωση. Οί μεταβολές της έντάσεως τοῦ άνορθωμένου ρεύματος ρυθμίζουν τήν ένταση της ήλεκτρονικής δέσμης πού έκπεμπει ή διάπυρη κάθοδος στό σωλήνα Braun. "Ετσι η φωτεινότητα σέ ένα σημείο της δθόνης είναι άναλογη μέ τήν ένταση της ήλεκτρονικής δέσμης. Στό δέκτη τό σάρωμα πού κάνει η ήλεκτρονική δέσμη πάνω στήν δθόνη τοῦ σωλήνα Braun είναι άπόλυτα συγχρονισμένο μέ τό σάρωμα πού κάνει η ήλεκτρονική δέσμη πάνω στό «ήλεκτρικό είδωλο» πού σχηματίζεται στόν πομπό. Τό σάρωμα της δθόνης τοῦ δέκτη γίνεται μέσα σέ 1/25 τοῦ δευτερολέπτου. "Ετσι κάθε στιγμή στήν δθόνη τοῦ δέκτη σχηματίζεται η είλοκνα τοῦ φωτεινοῦ άντικειμένου πού βρίσκεται στόν τόπο τοῦ πομπού (σχ. 127 ).



Σχ. 127 . Σχηματική παράσταση τοῦ δέκτη τηλεοράσεως

Σέ πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η έγχρωμη τηλεόραση πού βασίζεται στήν έξης άρχη : μέ τρία μόνο χρώματα, τό έρυθρό, τό πράσινο και τό κυανό μπορούμε νά λάβουμε δλα τά άλλα χρώματα.

**δ. Τηλεφωτογραφία.** Στήν τηλεφωτογραφία μέ τά ήλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται έντυπες εἰκόνες (φωτογραφίες, χάρτες, κείμενα). Ή τηλεφωτογραφία στηρίζεται στήν ίδια άρχη πού στηρίζεται καί ή τηλεόραση, μέ τή διαφορά ότι στήν τηλεφωτογραφία τό σάρωμα τῆς εἰκόνας γίνεται μέ πολύ άργοτερο ρυθμό. Στό δέκτη ή εἰκόνα αποτυπώνεται πάνω σέ φωτογραφική ταινία. Ἐπειδή τό σάρωμα τῆς εἰκόνας γίνεται μέ άργοτερο ρυθμό, ή διαμόρφωση τοῦ φέροντος κύματος, ή δποία άντιστοιχεῖ σέ μιά ψηφίδα τῆς εἰκόνας, διαρκεῖ ἐπί περισσότερο χρόνο καί γι' αὐτό στήν τηλεφωτογραφία χρησιμοποιοῦμε ώς φέροντα κύματα τά συνηθισμένα ραδιοφωνικά κύματα, πού ἔχουν μεγάλη ἐμβέλεια. Μεγάλη χρήση τῆς τηλεφωτογραφίας κάνει σήμερα κυρίως ή δημοσιογραφία καί ή τηλεόραση γιά τή μετάδοση φωτογραφιῶν ἀπό ἐπίκαιρα γεγονότα. Ἐπίσης χρησιμοποιεῖται γιά τή γρήγορη μετάδοση χαρτῶν ή κειμένων.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

**106.** Σέ ένα κύκλωμα ταλαντώσεων δι πυκνωτής ἔχει χωρητικότητα  $C = 1 \mu F$  καί τό πηνίο ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L = 1 \mu H$ . Πόση είναι ή περίοδος καί ή συχνότητα τῶν ήλεκτρικῶν ταλαντώσεων;

**107.** Σέ ένα κύκλωμα ταλαντώσεων τό πηνίο ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L = 0,1 \mu H$ . Πόση πρέπει νά είναι ή χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ, ὅστε ή συχνότητα τῶν ήλεκτρικῶν ταλαντώσεων νά είναι ίση μέ  $v = 1 \text{ MHz}$ ;  $\pi^2 = 10$ .

**108.** Ο πυκνωτής ἐνός κυκλώματος ταλαντώσεων ἔχει χωρητικότητα  $C = 0,2 \mu F$ . Πόσος πρέπει νά είναι δι συντελεστής αύτεπαγωγῆς τοῦ πηνίου, ὅστε ή συχνότητα τῶν ήλεκτρικῶν ταλαντώσεων νά είναι  $v = 2 \text{ MHz}$ ;  $\pi^2 = 10$ .

**109.** Σέ ένα κύκλωμα ταλαντώσεων  $A$  δι πυκνωτής ἔχει χωρητικότητα  $C_1 = 2 \mu F$  καί τό πηνίο ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L_1 = 4 \mu H$ . Οι παραγόμενες ήλεκτρικές ταλαντώσεις ἔχουν συχνότητα  $v_0$  ίση μέ τήν ίδιοσυχνότητα τοῦ κυκλώματος. Σέ ένα γειτονικό κύκλωμα ταλαντώσεων Β τό πηνίο ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L_2 = 10 \mu H$ . Πόση πρέπει νά γίνει ή χωρητικότητα  $C_2$  τοῦ πυκνωτῆ, ὅστε τά δύο κυκλώματα νά βρίσκονται σέ συντονισμό;

**110.** Τό κύκλωμα ταλαντώσεων ἐνός πομποῦ αποτελεῖται ἀπό ένα πηνίο πού ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L = \frac{1}{\pi \cdot 10^6} \text{ H}$  καί ἀπό έναν πυκνωτή πού ἔχει χωρητικότητα  $C = \frac{1}{\pi \cdot 10^6} \text{ F}$ . Πόσο είναι τό μῆκος κύματος  $\lambda$  καί ή συχνότητα ν τῶν ήλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων πού ἐκπέμπει αὐτός δ σταθμός;

**111.** Σέ ένα ραδιοφωνικό δέκτη τό κύκλωμα ταλαντώσεων αποτελεῖται ἀπό ένα πηνίο πού ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς  $L = 0,8 \text{ mH}$  καί ἀπό έναν πυκνωτή πού ή χωρη-

τικότητά του μπορεί νά μεταβάλλεται άπό  $C_1 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ F}$  ώς  $C_2 = 50 \cdot 10^{-12} \text{ F}$ . Γιά ποιά μήκη κύματος λειτουργεί αυτός ο δέκτης;

112. Τό κύκλωμα ταλαντώσεων ένός ραδιοφωνικού δέκτη έχει ένα πηνίο μέ  $L = 0,2 \text{ mH}$  και ένα μεταβλητό πυκνωτή πού ή χωρητικότητα του μπορεί νά μεταβάλλεται άπό  $C_1 = 50 \text{ pF}$  ώς  $C_2 = 200 \text{ pF}$ . Μπορούμε μέ αυτό τό δέκτη νά πιάσουμε κύματα πού έχουν μήκη κύματος  $\lambda_1 = 100 \text{ m}$ ,  $\lambda_2 = 300 \text{ m}$  και  $\lambda_3 = 500 \text{ m}$ ;

113. "Ένας ραδιοφωνικός δέκτης προορίζεται γιά τά μεσαία κύματα πού έχουν μήκος κύματος άπό  $\lambda_1 = 180 \text{ m}$  ώς  $\lambda_2 = 600 \text{ m}$ . Τό κύκλωμα ταλαντάσεων τού δέκτη έχει πηνίο μέ  $L = 0,8 \text{ mH}$ . Ανάμεσα σέ ποιά δρια πρέπει νά μεταβάλλεται ή χωρητικότητα  $C$  τού πυκνωτή πού θά βάλουμε σ" αυτό τό κύκλωμα;

## ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Εισαγωγή

#### 85. Η θεωρία τῶν κβάντα

Μάθαμε (§ 87) ότι τά ατομα τῆς ὑλης ἐκπέμπουν ἡλεκτρομαγνητικές ἀκτινοβολίες πού ἔχουν πολύ μεγάλες συχνότητες (ἀπό  $10^{13}$  Hz ὅς  $10^{24}$  Hz). Γιά νά ἔξηγηθούν δρισμένα φαινόμενα, διατυπώθηκε ή θεωρία τῶν κβάντα (§ 39 β), πού ἀπέδειξε ότι τά ατομα τῆς ὑλης ἐκπέμπουν και ἀπορροφοῦν φωτόνια. Κάθε φωτόνιο μᾶς ἀκτινοβολίας μεταφέρει δρισμένη ἐνέργεια, ἵση μέ E = h·v, ὅπου v είναι ή συχνότητα τῆς ἀκτινοβολίας. "Οπως θά δοῦμε παρακάτω, ή θεωρία τῶν κβάντα μᾶς ἐπιτρέπει νά ἔξηγήσουμε πᾶς τό ατομο ἐκπέμπει και ἀπορροφᾶ τό φωτόνιο μᾶς ἀκτινολογίας.

#### 86. Η θεωρία τῆς σχετικότητας

Ο Einstein, γιά νά ἔξηγήσει δρισμένα πειραματικά ἀποτελέσματα, διατύπωσε μιά πολύ γενική θεωρία, πού είναι γνωστή μέ τό ὄνομα θεωρία τῆς σχετικότητας. Θά ἔξετάσουμε μόνο δύο πολύ ἐνδιαφέρουσες συνέπειες τῆς θεωρίας τῆς σχετικότητας.

α. Μεταβολή τῆς μάζας μέ τήν ταχύτητα. Στήν Κλασσική Μηχανική ἀποδεικνύεται θεωρητικά και πειραματικά ότι ή μᾶζα m ἐνός σώματος είναι μέγεθος σταθερό και ἀνεξάρτητο ἀπό τήν κατάσταση τῆς ἡρεμίας ή τῆς κινήσεως τοῦ σώματος. Αντίθετα, ή θεωρία τῆς σχετικότητας ἀποδεικνύει θεωρητικά ότι ή μᾶζα ἐνός σώματος ἔξαρται ἀπό τήν ταχύτητα μέ τήν ὅποια κινεῖται τό σῶμα και διατυπώνει τόν ἔχης νόμο μεταβολῆς τῆς μάζας μέ τήν ταχύτητα :

"Αν ή μᾶζα ἐνός σώματος στήν κατάσταση ἡρεμίας είναι  $m_0$  (μάζα ἡρεμίας), τότε γιά ἔναν παρατηρητή, πού σχετικά μέ αὐτόν τό σῶμα κινεῖται μέ ταχύτητα v, ή μᾶζα m τοῦ σώματος είναι ἵση μέ :

μάζα κινούμενου σώματος

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (1)$$

ὅπου  $c$  είναι ή ταχύτητα τοῦ φωτός στό κενό ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/sec). Οἱ ταχύτητες πού ἔχουμε στό μακρόκοσμο είναι πολύ μικρές σχετικά μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός. Ἐτσι, ὁ λόγος  $(v/c)^2$  είναι πολύ μικρός καὶ δέν μποροῦμε νά διαπιστώσουμε τή μεταβολή τῆς μάζας ἐνός σώματος πού κινεῖται (γιατί βρίσκουμε  $m = m_0$ ). Στόν καθοδικό σωλήνα αὐξάνοντας τήν τάση  $U$  αὐξάνουμε τήν ταχύτητα  $v$  τῶν ἡλεκτρονίων. Ἀπό τίς μετρήσεις βρέθηκε ὅτι ή μάζα τῶν ἡλεκτρονίων μεταβάλλεται μέ τήν ταχύτητα ὥπως ἀκριβῶς ὅριζει ή θεωρία τῆς σχετικότητας.

"Οταν ή ταχύτητα  $(v)$  τοῦ σώματος συνεχῶς αὐξάνει, τότε ὁ λόγος  $v/c$  τείνει πρός τή μονάδα, καὶ ἐπομένως ή μάζα  $m$  τοῦ σώματος συνεχῶς αὐξάνει. "Οταν ή ταχύτητα  $v$  τοῦ σώματος τείνει νά γίνει ἵση μέ τήν ταχύτητα  $c$  τοῦ φωτός, τότε ή μάζα  $m$  τοῦ σώματος τείνει νά γίνει ἄπειρη. Στήν ὄριακή περίπτωση  $v = c$  ἔχουμε :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{0} \quad \text{ἄρα} \quad m = \infty$$

"Ετσι καταλήγουμε στό ἑζής συμπέρασμα :

**Είναι ἀδύνατο νά κινηθεῖ ἔνα σῶμα μέ τήν ταχύτητα τοῦ φωτός στό κενό.**

Σύμφωνα μέ τή θεωρία τῆς σχετικότητας ή ταχύτητα τοῦ φωτός στό κενό είναι τό ὅριο τῶν ταχυτήτων στό Σύμπαν.

"Οταν λέμε ὅτι ή μάζα ( $m$ ) ἐνός σώματος αὐξάνει μέ τήν ταχύτητα  $(v)$  τοῦ σώματος, δέν ἐννοοῦμε ὅτι αὐξάνει ή ποσότητα τῆς ὕλης τοῦ σώματος. Ἐκεῖνο πού αὐξάνει είναι η ἀδράνεια τοῦ σώματος, γιατί ὅπως ξέρουμε ή μάζα ἐνός σώματος ἐκφράζει καὶ τό βαθμό τῆς ἀδράνειας τοῦ σώματος. "Ωστε, ὅταν είναι  $v = c$ , η ἀδράνεια τοῦ σώματος γίνεται ἄπειρη.

**Παράδειγμα.** 1) "Ενα βλήμα ἔχει μάζα ἡρεμίας  $m_0 = 1$  kgr καὶ κινεῖται μέ ταχύτητα  $v = 1$  km/sec. Τότε είναι :

$$\left( \frac{v}{c} \right)^2 = \left( \frac{1 \text{ km/sec}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/sec}} \right)^2 = \frac{1}{9 \cdot 10^{10}}$$

Τό κινούμενο βλήμα ἔχει μάζα :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left( \frac{v}{c} \right)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{9 \cdot 10^{10}}}} \approx \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{10^{11}}}}$$

$$\text{Κατά προσέγγιση είναι} \quad m = m_0 \left( 1 + \frac{5}{10^{12}} \right)$$

\*Αρα ή μεταβολή ( $\Delta m$ ) της μάζας του βλήματος είναι :

$$\Delta m = m - m_0 = 5 \cdot 10^{-12} \text{ kgr} \quad \text{ή} \quad \Delta m = 5 \cdot 10^{-9} \text{ gr}$$

Είναι φανερό ότι η αύξηση της μάζας του βλήματος κατά πέντε δισεκατομμυριοστά τοῦ γραμμαρίου είναι τελείως άσήμαντη.

2) "Ενα ήλεκτρόνιο πού έχει μάζα ήρεμίας  $m_0$  κινεῖται μέτα ταχύτητα  $v = 0,9 c$  (δηλαδή είναι  $v = 2,7 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$ ). Τότε κινούμενο ήλεκτρόνιο έχει μάζα :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (0,9)^2}} \simeq 2,3 m_0$$

Παρατηροῦμε ότι η μάζα τοῦ κινούμενου ήλεκτρονίου είναι 2,3 φορές μεγαλύτερη από τή μάζα ήρεμίας τοῦ ήλεκτρονίου.

β. Ισοδυναμία μάζας καί ένέργειας. "Ενα σῶμα πού έχει μάζα ήρεμίας  $m_0$ , όταν κινεῖται μέτα ταχύτητα  $v$ , έχει μάζα :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

"Η θεωρία τῆς σχετικότητας ἀποδεικνύει ότι τότε ούτε διλική ἐνέργεια  $E_\omega = m \cdot c^2$  καί ισχύει η ἐξίσωση :

$$m \cdot c^2 = m_0 \cdot c^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v^2 \quad (2)$$

Τό γινόμενο  $m_0 \cdot c^2$  ἐκφράζει ἐνέργεια. Η ἐξίσωση (2) δείχνει ότι, ἂν τό σῶμα ήρεμεται ( $v = 0$ ) η κινητική ἐνέργεια του  $\left( \frac{1}{2} m_0 \cdot v^2 \right)$  είναι ίση μέτρη μηδέν, ἀλλά η μάζα ήρεμίας  $m_0$  τοῦ σώματος ἐξακολούθει γάρ έχει ἐνέργεια ίση μέτρη  $m_0 \cdot c^2$ . "Ετσι η θεωρία τῆς σχετικότητας ἀποδεικνύει ότι η μάζας καί η ἐνέργεια είναι δύο φυσικά μεγέθη ισοδύναμα καί διατυπώνει τήν ἀκόλουθη ἀρχή τῆς ισοδυναμίας μάζας καί ἐνέργειας :

**Μιά μάζα π ισοδυναμεῖ μέτρη ἐνέργεια  $E$ , ίση μέτρη τό γινόμενο τῆς μάζας ( $m$ ) ἐπί τό τετράγωνο τῆς ταχύτητας ( $c$ ) τοῦ φωτός στό κενό.**

ισοδυναμία μάζας καί ἐνέργειας  $E = m \cdot c^2$

"Η ἀρχή τῆς ισοδυναμίας μάζας καί ἐνέργειας ισχύει καί ἀντίστροφα, δηλαδή :

**Μιά ένέργεια Ε ισοδυναμεῖ μέ μάζα m, ἴση μὲ τό πηλίκο τῆς ένέργειας (Ε) διά τοῦ τετραγώνου τῆς ταχύτητας τοῦ φωτός στό κενό.**

$$\text{ισοδυναμία ένέργειας καὶ μάζας} \quad m = \frac{E}{c^2}$$

Η ἀρχή τῆς ισοδυναμίας μάζας καὶ ένέργειας ἐπιβεβαιώθηκε μέ τό πείραμα καὶ σήμερα βρίσκεται ἐφαρμογή στήν ἐκμετάλλευση τῆς πυρηνικῆς ένέργειας.

**Παράδειγμα.** Μιά μάζα m = 1 gr ισοδυναμεῖ μέ ένέργεια :

$$E = m \cdot c^2 = 0,001 \text{ kgr} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/sec})^2 \quad \text{ἄρα} \quad E = 9 \cdot 10^{13} \text{ Joule}$$

Σύμφωνα μέ τή γνωστή ἔξισωση  $E = m \cdot g \cdot h$ , πού δίνεται τή δυναμική ένέργεια, μποροῦμε μέ τήν παραπάνω ένέργεια νά ἐκσφενδονίσουμε σέ ύψος h = 100 m μιά μάζα m ἴση μέ :

$$m = \frac{E}{g \cdot h} = \frac{9 \cdot 10^{13} \text{ Joule}}{10 \text{ m/sec}^2 \cdot 100 \text{ m}} \quad \text{καὶ} \quad m = 9 \cdot 10^{10} \text{ kgr}$$

δηλαδή

$$m = 90\,000\,000 \text{ τόνους}$$

γ. Διατήρηση τῆς ύλοεινέργειας. "Οταν θεωρούσαμε δτι ή όλη καὶ ή ένέργεια, είναι δύο διαφορετικά φυσικά μεγέθη, διατυπώσαμε τήν ἀρχή τῆς διατηρήσεως τῆς ύλης (τῆς μάζας) καὶ τήν ἀρχή τῆς διατηρήσεως τῆς ένέργειας. Ἀλλά θεωρητικά καὶ πειραματικά ἀποδείχτηκε δτι ή όλη καὶ ή ένέργεια είναι ισοδύναμες καὶ ή μιά μετατρέπεται στήν ἄλλη. Ἀρα στή Φύση ύπάρχει μόνο μιά φυσική δοτότητα, ή ύλοεινέργεια, ή όποια, ἀνάλογα μέ τίς συνθήκες πού ἐπικρατοῦν, μᾶς ἐμφανίζεται ώς όλη ή ώς ένέργεια. "Ετσι οί δύο γνωστές ἀρχές τῆς διατηρήσεως τῆς ύλης καὶ τῆς ένέργειας συγχωνεύονται σήμερα στήν έξης γενικότερη ἀρχή τῆς διατηρήσεως τῆς ύλοεινέργειας :

"Η ύλοεινέργεια πού ύπάρχει στή Φύση είναι σταθερή καὶ κάθε ποσότητα ύλης ισοδυναμεῖ μέ όρισμένη ποσότητα ένέργειας καὶ ἀντίστροφα. "Η ισοδυναμία μεταξύ τῆς ύλης καὶ τῆς ένέργειας δίνεται ἀπό τήν έξισωση  $E = m \cdot c^2$ .

## ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Τά ἡλεκτρόνια τοῦ ἀτόμου

#### 87. Ατομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου

Από τὸν ἔκτο π.Χ. αἰώνα οἱ Ἑλληνες φιλόσοφοι ὑποστήριζαν ὅτι στὰ φυσικά φαινόμενα δὲν ἐπεμβαίνουν ὑπερφυσικές δυνάμεις, ἀλλά ὅτι στὴ Φύση ἰσχύουν ἀκατάληπτοι φυσικοὶ νόμοι. Σχετικά μὲ τὴν ὥλη ἰδιαίτερα σημαντική ἦταν ἡ θεωρία πού ὑποστήριζε ὅτι ἡ ὥλη δὲν εἶναι ἀπεριόριστα διαιρετή, καὶ ἐπομένως τὰ σώματα ἀποτελοῦνται ἀπό πάρα πολλά μικρότατα σωματίδια, τὰ ὁποῖα δὲν μποροῦν νά διαιρεθοῦν καὶ γι' αὐτό δονομάστηκαν ἄτομα (δῆλαδή ἄτμητα). Τὴν θεωρία αὐτήν ὑποστήριξε κυρίως ὁ Λεύκιππος, ἀλλά ὁ μαθητής του Δημόκριτος (470 - 360 π.Χ.) τὴν ἔκαμε γενική θεωρία τῆς ὥλης καὶ μέ αὐτήν θέλησε νά ἔξηγήσει ὅλες τίς ἰδιότητες τῆς ὥλης πού ἦταν τότε γνωστές.

Τὴν ἀτομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου τὴ δίδασκε ἀργότερα ὁ Ἐπίκονδρος (341 - 270 π.Χ.) καὶ τμῆματα ἀπό αὐτή τὴ θεωρία βρίσκονται σέ ἕνα ποίημα γιά τὴ Φύση τοῦ Ρωμαίου ποιητῆ Λουκρήτιου (98 - 55 π.Χ.).

Δινστυχῶς ἀπό τὴν ἀτομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου ἐλάχιστα ἀποσπάσματα διασώθηκαν. Ὁ Δημόκριτος ὑποστήριξε ὅτι τὰ ἄτομα διαφέρουν μεταξὺ τοὺς κατά τὸ σχῆμα καὶ τὸ μέγεθος, δέ δημιουργοῦνται οὔτε καταστρέφονται, ἀρα εἶναι ἀδιαιρέτα καὶ αἰώνια. Τὰ ἄτομα εἶναι πάρα πολλά καὶ βρίσκονται σέ διαρκή κίνηση. Τὰ διάφορα φυσικά φαινόμενα διφείλονται στὴν αἰώνια κίνηση τῶν ἄτομων, καθώς καὶ στὶς ἐνώσεις τους μέ ἄλλα ἄτομα ἢ στοὺς ἀποχωρισμούς τους ἀπό τὰ ἄτομα μέ τὰ ὁποῖα ἦταν ἐνωμένα. Σ' αὐτές τίς ἀντιλήψεις τοῦ Δημόκριτου φαίνονται καθαρά ἡ ἰδέα γιά τὴν ἀτομική δομή τῆς ὥλης καθώς καὶ ἡ ἰδέα μιᾶς κινητικῆς θεωρίας τῆς ὥλης. Εἶναι χαρακτηριστικό ὅτι μεταξύ τῶν πολλῶν φαινομένων πού δὲ Λουκρήτιος περιγράφει μέ βάση τίς ἀτομικές ἀντιλήψεις τοῦ Δημόκριτου ἰδιαίτερη θέση ἔχουν ἡ πίεση πού ἔξασκοῦν τὰ ἀέρια, ἡ διάχυση τῶν δομῶν καὶ τὸ σχῆμα τῶν κρυστάλλων. "Οπως ὅμως ξέρουμε, αὐτά τὰ τρία φαινόμενα σχετίζονται ἀμεσα μέ τὴν κινητική καὶ ἀτομική θεωρία τῆς ὥλης.

Ἡ ἀτομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου καταπολεμήθηκε ἀπό τὴ Σωκρά-

τική σχολή και ἔπεισε σέ αφάνεια ώς τήν 'Αναγέννηση. Τότε ἀρχισαν νά αναβιώνουν οἱ ίδεες τοῦ Δημόκριτου καὶ νά κατευθύνουν τήν ἐπιστημονική σκέψη. Σίς ἀρχές τοῦ δέκατου ἔνατου αἰώνα δ Dalton (1808), γιά νά ἔξηγήσει τούς δύο νόμους πού ἀνακάλυψε πειραματικά (τό νόμο τῶν σταθερῶν ἀναλογιῶν καὶ τό νόμο τῶν ἀπλῶν πολλαπλασίων), δέχτηκε τήν παλιά ίδεα τοῦ Δημόκριτου ὅτι ἡ ὥλη ἀποτελεῖται ἀπό ἀτομα. "Ετσι ἐπιβεβαιώθηκε καὶ πειραματικά ἡ ὑπαρξη τῶν ἀτόμων, τά όποια πρίν ἀπό πολλούς αἰώνες εἶχε συλλάβει ἡ ἐλεύθερη σκέψη τῶν Ἑλλήνων ἀτομικῶν φιλοσόφων.

Οἱ θεωρητικές καὶ πειραματικές ἔρευνες πού ἔγιναν ἀπό τίς ἀρχές τοῦ εἰκοστοῦ αἰώνα ἔδειξαν ὅτι τό ἀτομο τῆς ὥλης εἶναι ἕνα πολύπλοκο σύστημα ὑποατομικῶν σωματιδίων, στό όποιο ἰσχύουν καὶ δρισμένοι εἰδικοί νόμοι. "Ετσι δημιουργήθηκε ἔνας ιδιαίτερος κλάδος τῆς Φυσικῆς, ἡ 'Ατομική Φυσική.

## 88. Μονάδα ἀτομικῆς μάζας

Ἡ μάζα τῶν ἀτόμων, τῶν πυρήνων καὶ τῶν σωματιδίων μετριέται μέ τή μονάδα ἀτομικῆς μάζας, πού συμβολικά γράφεται 1 amu (1 atomic mass unit) καὶ δρίζεται ώς ἔξῆς :

**Μονάδα ἀτομικῆς μάζας (1 amu) εἶναι τό 1/12 τῆς μάζας τοῦ ἀτόμου τοῦ ισότοπου τοῦ ἄνθρακα 12 ( $C^{12}$ ).**

$$\text{μονάδα ἀτομικῆς μάζας} \quad 1 \text{ amu} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**Σημείωση** Τό στοιχεῖο ἄνθρακας ἀποτελεῖται ἀπό δύο ισότοπα πού ἔχουν ἀντίστοιχα ἀτομική μάζα 12 καὶ 13. Πιό ἀφθονο στή Φύση εἶναι τό ισότοπο μέ τήν ἀτομική μάζα 12.

**'Ισοδυναμία τῆς μονάδας ἀτομικῆς μάζας μέ ἐνέργεια.** Στήν 'Ατομική καὶ στήν Πυρηνική Φυσική τήν ἐνέργεια συνήθως τή μετράμε μέ τή μονάδα ἐνέργειας ἡλεκτρονιοβόλτ (1 eV) καὶ μέ τά πολλαπλάσια τῆς

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$  καὶ  $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ . Σύμφωνα μέ τήν ἀρχή τῆς ισοδυναμίας μάζας καὶ ἐνέργειας  $E = mc^2$  βρίσκουμε ὅτι :

**Ἡ μονάδα ἀτομικῆς μάζας (1 amu) ισοδυναμεῖ μέ ἐνέργεια  $931 \text{ MeV}$  (κατά προσέγγιση).**

$$1 \text{ amu} = 931 \text{ MeV} \quad \text{ἢ} \quad 1 \text{ amu} = 1492 \cdot 10^{-13} \text{ Joule}$$

## 89. Τό άτομο καί ὁ πυρήνας του

α. Τά ήλεκτρόνια καί ὁ πυρήνας. Ἡ παραγωγή τῶν καθοδικῶν ἀκτίνων ἀπό τὸν ιονισμό τῶν ἀτόμων τοῦ ἀερίου, τό θερμοηλεκτρονικό φαινόμενο καί τό φωτοηλεκτρικό φαινόμενο δείχνουν ὅτι σέ ώρισμένες περιπτώσεις ἀπό τὰ άτομα τῆς ὥλης βγαίνοντα ἡλεκτρόνια, πού δλα ἔχουν τὴν ἴδια μάζα (m), καί ἔνα ἀρνητικό στοιχειῶδες ἡλεκτρικό φορτίο (—e). Ἔτσι ἀπό διάφορα φαινόμενα διαπιστώθηκε ὅτι τό ἡλεκτρόνιο εἶναι κοινό συστατικό τῶν ἀτόμων τῆς ὥλης.

Ο Rutherford (1911) ἀνακάλυψε πειραματικά ὅτι μέσα στό άτομο ὑπάρχει ἔνα πολύ μικρό σωματίδιο πού ὀνομάστηκε πυρήνας καί ἔχει θετικό ἡλεκτρικό φορτίο. Σχεδόν δλη ἡ μάζα τοῦ ἀτόμου εἶναι συγκεντρωμένη στὸν πυρήνα του. Ὡστε ἀπό τὴν πειραματική ἔρευνα διαπιστώθηκε ὅτι :

Μέσα στό άτομο ὑπάρχουν : α) ὁ πυρήνας, στὸν ὅποιο εἶναι συγκεντρωμένη σχεδόν δλη ἡ μάζα τοῦ ἀτόμου καί δλο τό θετικό ἡλεκτρικό φορτίο, καὶ β) ἡλεκτρόνια πού δλα ἔχουν τὴν ἴδια μάζα καί τό ἴδιο ἀρνητικό ἡλεκτρικό φορτίο (— e).

β. Ἡ διάμετρος τοῦ ἀτόμου καί τοῦ πυρήνα. Μποροῦμε νά θεωρήσουμε ὅτι τό άτομο καί ὁ πυρήνας ἔχουν σφαιρικό σχῆμα. Ἀπό τή μελέτη δρισμένων φαινομένων βρήκαμε ὅτι ἡ διάμετρος τοῦ ἀτόμου εἶναι τῆς τάξεως τοῦ  $10^{-8}$  cm, ἐνδικά τό διάμετρος τοῦ πυρήνα εἶναι τῆς τάξεως τοῦ  $10^{-12}$  cm. Ὡστε :

Ἡ διάμετρος τοῦ πυρήνα εἶναι 10 000 φορές μικρότερη ἀπό τή διάμετρο τοῦ ἀτόμου.

γ. Συστατικά τοῦ ἀτομικοῦ πυρήνα. Μέ διάφορα πειράματα ἀποδείχθηκε ὅτι μέσα σέ δλους τούς πυρήνες ὑπάρχουν δύο εἰδή σωματιδίων, πού ἀντίστοιχα ὀνομάζονται πρωτόνια καί νετρόνια. Αὐτά τά δύο εἰδή σωματιδίων ὀνομάζονται γενικά νουκλεόνια (ἀπό τό nucleus = πυρήνας).

Τό πρωτόνιο εἶναι ὁ ἀτομικός πυρήνας τοῦ κοινοῦ ὑδρογόνου, δηλαδή εἶναι ἔνα ίόν ὑδρογόνου. Ἐχει ἔνα θετικό στοιχειῶδες ἡλεκτρικό φορτίο (+ e) καὶ ἡ μάζα του ἡρεμίας εἶναι περίπου ἵση μέ μιά μονάδα ἀτομικῆς μάζας (1 amu). Μόνο ὁ πυρήνας τοῦ ἀτόμου τοῦ κοινοῦ ὑδρογόνου ἀποτελεῖται ἀπό ἔνα πρωτόνιο, ἐνδικά δλοι οἱ ἄλλοι πυρήνες ἔχουν πρωτόνια καί νετρόνια.

Τό νετρόνιο εἶναι σωματίδιο οὐδέτερο καί ἡ μάζα του ἡρεμίας εἶναι λίγο μεγαλύτερη ἀπό τή μάζα ἡρεμίας τοῦ πρωτονίου. Ἐπειδή τό νετρόνιο

δέν έχει ήλεκτρικό φορτίο, μπορεῖ νά μπαίνει έλευθερα μέσα στό ήλεκτρικό πεδίο πού υπάρχει γύρω από κάθε άτομικό πυρήνα. "Ετσι τό νετρόνιο έχει τήν ίκανότητα νά πλησιάζει κάθε πυρήνα. "Ωστε :

- I. "Ολοι οι άτομικοί πυρήνες (έκτος από τόν πυρήνα τοῦ άτόμου τοῦ κοινού ύδρογόνου) άποτελούνται από πρωτόνια και νετρόνια πού γενικά δονομάζονται νουκλεόνια.
- II. Τό πρωτόνιο έχει ένα θετικό στοιχειώδες ήλεκτρικό φορτίο, ένω τό νετρόνιο είναι ουδέτερο.
- III. Η μάζα τοῦ πρωτονίου και τοῦ νετρονίου είναι περίπου ίση μέ μια μονάδα άτομικής μάζας (1 amu).

δ. Ατομικός και μαζικός άριθμός. 'Όνομάζεται άτομικός άριθμός  $Z$  ό άριθμός πού φανερώνει πόσα θετικά στοιχειώδη ήλεκτρικά φορτία έχει ό πυρήνας ένος άτόμου, π.χ. γιά τόν πυρήνα ύδρογόνου είναι  $Z = 1$ , γιά τόν πυρήνα ήλιου είναι  $Z = 2$ , γιά τόν πυρήνα νατρίου είναι  $Z = 11$  κ.λ. Έπειδή κάθε πρωτόνιο έχει ένα θετικό στοιχειώδες ήλεκτρικό φορτίο, συμπεραίνουμε ότι :

**"Ο άτομικός άριθμός  $Z$  είναι ίσος μέ τόν άριθμό τῶν πρωτονίων πού υπάρχουν μέσα στόν πυρήνα τοῦ άτόμου ένος στοιχείου.**

'Όνομάζεται μαζικός άριθμός  $A$  ό άριθμός πού φανερώνει πόσα νουκλεόνια έχει ό πυρήνας ένος άτόμου. 'Έπομένως, αν ένας πυρήνας έχει μαζικό άριθμό  $A$  (δηλαδή περιέχει  $A$  νουκλεόνια) και άτομικό άριθμό  $Z$  (δηλαδή περιέχει  $Z$  πρωτόνια), τότε ό άριθμός  $N$  τῶν νετρονίων πού υπάρχουν μέσα σ' αὐτόν τόν πυρήνα είναι ίσος μέ τή διαφορά  $N = A - Z$ . "Ωστε :

**"Ο άτομικός άριθμός  $Z$  είναι ίσος μέ τόν άριθμό τῶν πρωτονίων τοῦ πυρήνα, ένω ό μαζικός άριθμός  $A$  είναι ίσος μέ τόν άριθμό τῶν νουκλεονίων τοῦ πυρήνα, δηλαδή είναι ίσος μέ τό άθροισμα τῶν  $Z$  πρωτονίων και τῶν  $N$  νετρονίων τοῦ πυρήνα.**

$$\boxed{A = Z + N}$$

νουκλεόνια = πρωτόνια + νετρόνια

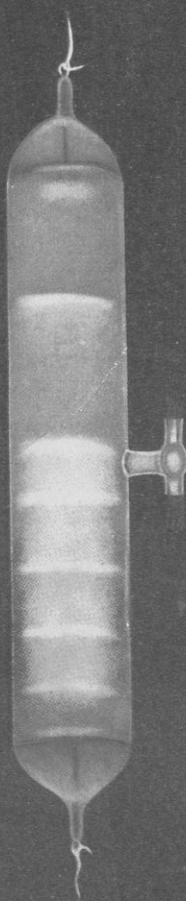
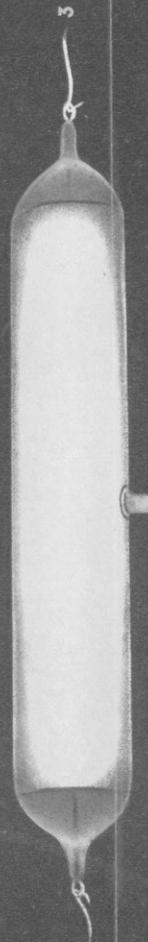
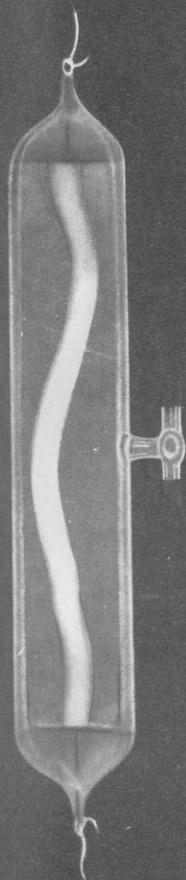
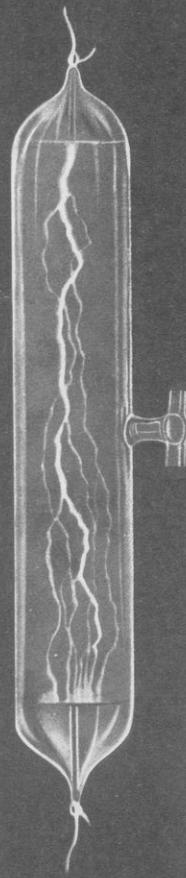
'Ο μαζικός άριθμός  $A$  τοῦ άτομικοῦ πυρήνα ένος στοιχείου είναι ίσος μέ τόν άκεραιο άριθμό πού πλησιάζει πρός τήν άτομική μάζα τοῦ στοιχείου π.χ. γιά τό ήλιο και τό βόριο είναι :

### **Διάφορες φάσεις της ήλεκτρικής έκκενώσεως**

1. "Υπό την άτμοσφαιρική πίεση ό ήλεκτρικός σπινθήρας είναι διακλαδισμένος.
2. "Υπό πίεση ίση με τό 1/4 της άτμοσφαιρικής ό ήλεκτρικός σπινθήρας έχει την δψει  
έγχρωμης φωτεινής στήλης.
3. "Υπό πίεση ίση με τό 1/20 της άτμοσφαιρικής δύο τό άέριο φωτοβολεΐ.
4. "Υπό πίεση ίση με τό 1/100 της άτμοσφαιρικής έμφανιζονται σκοτεινές περιοχές μέσα  
στό σωλήνα.
5. "Υπό πίεση ίση με τό 1/1000 της άτμοσφαιρικής τό στενό τμήμα του σωλήνα φωτο-  
βολεΐ ισχυρότερα.

KAOΔOI (-)

ANOΔOI (+)



στοιχεῖο	He	B
άτομική μάζα	4,002 604 amu	11,009 305 amu
μαζικός άριθμός	A = 4	A = 11

ε. Τά τρία στοιχειώδη σωματίδια. Είδαμε ότι μέσα στό άτομο ύπαρχουν τρία στοιχειώδη σωματίδια, τό ήλεκτρόνιο, τό πρωτόνιο και τό νετρόνιο. Ή μάζα τοῦ ήλεκτρονίου είναι πολύ μικρή σχετικά μέ τη μονάδα άτομικής μάζας (1 amu) και γι' αύτό θεωροῦμε ότι τό ήλεκτρόνιο έχει μαζικό άριθμό A 1σο μέ μηδέν (A = 0). Επειδή δύως τό ήλεκτρόνιο έχει ένα άρνητικό στοιχειώδες ήλεκτρικό φορτίο (-e), γι' αύτό θεωροῦμε ότι τό ήλεκτρόνιο έχει άτομικό άριθμό Z 1σο μέ -1 (Z = -1).

Ο άτομικός πυρήνας ένός στοιχείου, π.χ. τοῦ άνθρακα C, πού έχει άτομικό άριθμό Z και μαζικό άριθμό A, γράφεται συμβολικά ώς έξης

$Z^C^A$  (η και  $C_Z^A$ ). Ή ίδια συμβολική παράσταση ισχύει και γιά τά τρία στοιχειώδη σωματίδια, όπως φαίνεται στόν παρακάτω πίνακα.

Σωματίδιο	Z	Μάζα (σέ amu)	A	Φορτίο	Σύμβολο
Ήλεκτρόνιο	-1	$m_e = 0,000\ 548$	0	-e	$_1^{-1}e^0$
Πρωτόνιο	1	$m_p = 1,007\ 825$	1	+e	$_1^1p^1$ ή $_1^1H^1$
Νετρόνιο	0	$m_n = 1,008\ 665$	1	0	$_0^1n^1$
$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kgr		$m_p = 1836\ m_e$			$m_n = 1838,6\ m_e$
$ e  = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Cb					

## 90. Δομή τοῦ άτομου

α. Τό ούδετέρο άτομο. Ο Bohr (1913), γιά νά έξηγήσει τά φαινόμενα πού Ως τότε ήταν γνωστά, διατύπωσε μιά θεωρία γιά τή δομή τοῦ άτομου, ή όποια άργοτέρα συμπληρώθηκε άπό άλλους θεωρητικούς φυσικούς, γιά Συμφωνεῖ μέ τά άποτελέσματα τοῦ πειράματος.

"Αν ένας άτομικός πυρήνας έχει άτομικό άριθμό Z, τότε δι πυρήνας αύτός περιέχει Z πρωτόνια και, έπομένως, τό θετικό φορτίο τοῦ πυρήνα είναι 1σο μέ τό γινόμενο τοῦ άτομικοῦ άριθμοῦ Z έπι τό στοιχειώδες ήλεκτρικό φορτίο e. "Ωστε :

$$\text{θετικό φορτίο άτομικοῦ πυρήνα : } + Z \cdot e$$

Ο άτομικός πυρήνας π.χ. τοῦ νατρίου έχει άτομικό άριθμό Z = 11.

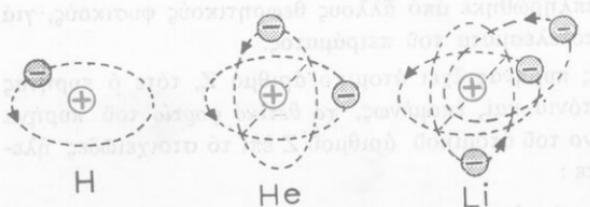
Άρα ο άτομικός πυρήνας νατρίου έχει θετικό φορτίο + 11e. "Ενα άτομο νατρίου, γιά νά είναι ούδετερο, πρέπει νά περιέχει τόσα ήλεκτρόνια, ώστε τό συνολικό άριθμητικό φορτίο τους νά είναι ίσο με —11e. "Άρα τό ούδετερο άτομο νατρίου έχει 11 ήλεκτρόνια, δηλαδή όσος είναι ο άτομικός άριθμός Z. Άπο τά παραπάνω βγαίνει τό έξης συμπέρασμα :

**Ο άτομικός άριθμός Z φανερώνει πόσα πρωτόνια ύπαρχουν μέσα στόν πυρήνα τοῦ άτομου και πόσα ήλεκτρόνια ύπαρχουν μέσα στό άτομο, ούταν αύτό είναι ούδετερο.**

$$\begin{array}{c} \text{θετικό φορτίο τοῦ πυρήνα} \\ \text{ήλεκτρόνια στό ούδετερο άτομο} \end{array} + \begin{array}{c} Z \cdot e \\ Z \end{array}$$

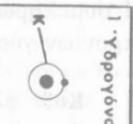
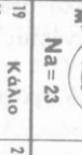
β. Κατανομή τῶν ήλεκτρονίων γύρω άπό τόν πυρήνα. Σύμφωνα μέ τή θεωρία τοῦ Bohr, πού τήν έπιβεβαίωσαν τά πειράματα, τό άτομο είναι μιά μικρογραφία πλανητικοῦ συστήματος. Στό κέντρο τοῦ άτομου βρίσκεται δ πυρήνας πού μέ τό θετικό φορτίο του + Ze δημιουργεῖ γύρω του ήλεκτρικό πεδίο. Μέσα σ' αύτό περιφέρονται γύρω άπό τόν πυρήνα τά ήλεκτρόνια, όπως οι πλανῆτες περιφέρονται γύρω άπό τόν "Ηλιο". Σέ κάθε ήλεκτρόνιο ένεργει ως κεντρομόλος δύναμη ή δύναμη Coulomb, τήν όποια έχεισκει τό θετικό φορτίο τοῦ πυρήνα στό άρνητικό φορτίο τοῦ ήλεκτρονίου. Μόνο τό άτομο ίδρογόνου έχει ένα ήλεκτρόνιο πού περιφέρεται γύρω άπό τόν πυρήνα, γιατί γιά τό ίδρογόνο είναι Z = 1 (σχ. 128). Στό άτομο ήλιου (Z = 2) γύρω άπό τόν πυρήνα τού περιφέρονται δύο ήλεκτρόνια πάνω σέ τροχιές πού έχουν τήν ίδια άκτινα, άλλα δέ βρίσκονται στό ίδιο έπίπεδο. Λέμε ούτι τά δύο ήλεκτρόνια βρίσκονται στόν ίδιο φλοιό, (η στιβάδα). Τό άτομο λιθίου (Z = 3) έχει τρία ήλεκτρόνια. Τά δύο άπό αύτά βρίσκονται στόν ίδιο φλοιό, έναν τό τρίτο ήλεκτρόνιο βρίσκεται σέ έναν άλλο πιό έξωτερικό φλοιό.

Γενικά, ούταν τό άτομο έχει περισσότερα άπό δύο ήλεκτρόνια (δηλαδή ούταν είναι Z > 2), τότε σύμφωνα μέ μιά βασική άρχη τής Ατομικῆς Φυσικῆς,



Σχ. 128. Σχηματική παράσταση τῆς κατανομῆς τῶν ήλεκτρονίων, στά άτομα ίδρογόνου ήλιου και λιθίου.

πού δονομάζεται άρχη τοῦ Pauli, τά ήλεκτρόνια η κατανέμονται πάνω σέ διαδοχικούς ομόκεντρους φλοιούς πού χαρα-

1. Υδρογόνο H = 1	2. Ήλιος He = 4
	
3. Λίθιο Li = 7	4. Βρηκύλιο Be = 9
	
5. Βέριο B = 11	6. Ανθραξ C = 12
	
7. Αζωτος N = 14	8. Οξυγόνο O = 16
	
9. Φθόριο F = 19	10. Ντεο Ne = 20
	
11. Νάτριο Na = 23	12. Πηγγήσιο Mg = 24
	
13. Αργιλλίο Al = 27	14. Πυριτίο Si = 28
	
15. Φωσφαρίδης P = 31	16. Θείο S = 32
	
17. Χλώριο Cl = 35.5	18. Άργα A = 40
	

Σχ. 129. Σχηματική παράσταση τῆς ήλεκτρονικῆς δομῆς τῶν ὀπλοποτερεύοντος άτομων με τὴ σειρὰ πού ξέχουν στὸ περι-

κτηρίζονται μέ τά γράμματα K, L, M, N, O, P, Q. Σχηματικά ἡ κατανομή τῶν ήλεκτρονίων σὲ φλοιούς παριστάνεται πάνω στὸ ἴδιο ἐπίπεδο (σχ. 129), ἄν καὶ στήν πραγματικότητα τά ήλεκτρόνια πού ἀνήκουν στόν ἴδιο φλοιό δέ βρίσκονται στό ἴδιο ἐπίπεδο. Τά ήλεκτρόνια πού ἀνήκουν στόν ἔξωτερικό φλοιό δονομάζονται ήλεκτρόνια σθένους.

γ. Συμπληρωμένος φλοιός. Στούς διαδοχικούς φλοιούς ἀντιστοιχοῦν οἱ ἀκέραιοι ἀριθμοὶ  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ . Οἱ ἀκέραιοι ἀριθμός  $n$  πού ἀντιστοιχεῖ σὲ ἕνα φλοιό δονομάζεται κύριος κβαντικός ἀριθμός. Σύμφωνα μέ τήν ἀρχή τοῦ Pauli βρίσκουμε πόσα ήλεκτρόνια μποροῦν νά υπάρχουν πάνω στόν ἴδιο φλοιό. "Οταν ὁ φλοιός ἔχει τό μέγιστο ἀριθμό ήλεκτρονίων πού μπορεῖ νά περιλάβει, τότε λέμε ὅτι ὁ φλοιός εἶναι συμπληρωμένος. Γενικά

οἱ συμπληρωμένοι φλοιοὶ ἀποτελοῦν πολύ σταθερή κατανομή τῶν ἡλεκτρονίων γύρω ἀπό τὸν πυρήνα. Ἀποδεικνύεται ὅτι :

**Κάθε φλοιός, ποὺ ἔχει κύριο κβαντικό ἀριθμό  $n$ , εἶναι συμπληρωμένος, ὅταν ἔχει  $2n^2$  ἡλεκτρόνια.**

"Ἐτσι οἱ τέσσερις πρῶτοι φλοιοί, ὅταν εἶναι συμπληρωμένοι, ἔχουν ἡλεκτρόνια :

φλοιός	K	L	M	N
κύριος κβαντικός ἀριθμός	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
ἡλεκτρόνια	2	8	18	32

Στά ἄτομα στά δόποια ἀντιστοιχεῖ μεγάλος ἀτομικός ἀριθμός  $Z$  οἱ πιό ἔξωτερικοὶ φλοιοὶ O, P, Q ποτέ δέν εἶναι συμπληρωμένοι. Αὐτό διφείλεται στὶς ἀμοιβαῖες ἐπιδράσεις τῶν πολλῶν ἡλεκτρονίων πού ὑπάρχουν στὸ ἄτομο. "Ἐτσι π.χ. στὸ ἄτομο οὐρανίου ( $Z = 92$ ) τὰ 92 ἡλεκτρόνια του κατανέμονται ώς ἔξῆς :

φλοιός	K	L	M	N	O	P	Q
$n$	1	2	3	4	5	6	7
ἡλεκτρόνια	2	8	18	32	18	12	2

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

114. "Αν παρατάξουμε σὲ μιά σειρά, ἐφαπτόμενα τὸ ἔνα μὲ τὸ ἄλλο, ὅλα τὰ ἄτομα πού περιέχονται σὲ 1  $\text{cm}^3$  ὑδρογόνου σὲ κανονικές συνθῆκες, πόσο θά εἶναι τὸ μῆκος  $l$  τῆς γραμμῆς πού σχηματίζεται; Νά συγκριθεῖ τὸ μῆκος  $l$  αὐτῆς τῆς γραμμῆς μὲ τὸ μῆκος ἐνός μεσημβρινοῦ τῆς Γῆς  $l_{\text{μεσ}} = 40\,000 \text{ km}$ . Διάμετρος ἀτόμου ὑδρογόνου  $\delta = 10^{-10} \text{ m}$ ,  $N_L = 2,688 \cdot 10^{18} \text{ μόρια}/\text{cm}^3$  (ἀριθμός τοῦ Loschmidt).

115. "Υποθέτουμε ὅτι μιά μηχανή ἀπαριθμήσεως μπορεῖ νά ἐργάζεται συνεχῶς καί νά καταμετράει 1 μόριο νεροῦ τὸ δευτερόλεπτο. Πόσος χρόνος χρειάζεται γιά νά καταμετρηθοῦν τὰ  $N = 33 \cdot 10^{15}$  μόρια πού ὑπάρχουν σὲ 1 ἑκατομμυριοστό τοῦ γραμμαρίου νεροῦ; 1 ἔτος  $\simeq 3,15 \cdot 10^7 \text{ sec}$ .

116. "Ενα ἡλεκτρόνιο καὶ ἕνα πρωτόνιο ἐπιταχύνονται μὲ τὴν ἴδια τάση  $U = 10^6 \text{ V}$ . 1) Πόση κινητική ἐνέργεια σὲ ἡλεκτρονιοβόλτ (eV) καὶ Joule ἀποκτᾶ τὸ καθένα ἀπό αὐτὰ τὰ σωματίδια; 2) Πόσο είναι ὁ λόγος τῆς ταχύτητας  $v_1$ , τοῦ ἡλεκτρονίου πρός τὴν ταχύτητα  $v_2$  τοῦ πρωτονίου:  $|v| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_p = 1836 \text{ m}_e$ .

117. Πόση είναι ἡ μάζα ἐνός ἡλεκτρονίου πού κινεῖται μὲ ταχύτητα  $v = 200\,000 \text{ km/sec}$ ; Πόση είναι ἡ σχετική αὐξηση τῆς μάζας του; Μάζα ἡρεμίας ἡλεκτρονίου  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

118. "Ενα σωματίδιο (ἡλεκτρόνιο, πρωτόνιο κ.λ.) ἔχει μάζα ἡρεμίας  $m_0$ . Πόση

ταχύτητα υπέρεπε νά αποκτήσει τό σωματίδιο, ώστε η μάζα του νά είναι διπλάσια από τή μάζα ήρεμίας (δηλαδή για νά γίνει  $m = 2m_0$ );

119. Πόση είναι σέ Joule καὶ MeV η δύλική ένέργεια ( $E_\text{el}$ ) ένός ήλεκτρονίου πού κινεῖται μέ ταχύτητα (v) ίση μέ τά 0,8 τῆς ταχύτητας τοῦ φωτός;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

120. Πόση τάση πρέπει νά έφαρμόσουμε σέ έναν καθοδικό σωλήνα ώστε τά ήλεκτρόνια τῶν καθοδικῶν άκτινων νά έχουν ταχύτητα υ ίση μέ τά 2/3 τῆς ταχύτητας τοῦ φωτός στό κενό;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

121. Μέ πόση ένέργεια (E) ισοδυναμεῖ μάζα  $m = 0,1 \text{ mgr}$ . "Αν μέ αὐτή τήν ένέργεια τροφοδοτούσαμε ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως πού έχει ίσχυ  $P = 100 \text{ W}$ , πόσο χρόνο θά μπορούσε νά λειτουργεῖ συνεχῶς ο λαμπτήρας; 1 έτος =  $3,15 \cdot 10^7 \text{ sec}$ .

122. Μέ πόση ένέργεια σέ Joule καὶ MeV ισοδυναμοῦν: 1) η μάζα ήρεμίας  $m$  τοῦ ήλεκτρονίου, καὶ β) η μάζα ήρεμίας  $m_p$  τοῦ πρωτονίου;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kgr}$ .

123. Μέ πόση μάζα  $m$  ισοδυναμεῖ η θερμότητα πού έλευθερώνεται, όταν συμβαίνει τέλεια καύση  $10^6 \text{ lítro} \text{ βενζίνης}$ ; Θερμότητα καύσεως τῆς βενζίνης  $8 \cdot 10^8 \text{ kcal}$  κατά λίτρο.  $J = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Joule/kcal}$ .

124. Μιά άκτινοβολία Röntgen έχει μήκος κύματος  $\lambda = 0,1 \text{ Å}$ . Μέ πόση μάζα ισοδυναμεῖ η ένέργεια πού μεταφέρει ένα φωτόνιο αὐτής τῆς άκτινοβολίας;

125. "Ενα ήλεκτρόνιο πού άρχικά βρίσκεται σέ ήρεμία, άπορροφά τήν ένέργεια  $hν$  ένός φωτονίου μιᾶς άκτινοβολίας, πού έχει συχνότητα  $v = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ . Πόση κινητική ένέργεια καὶ πόση ταχύτητα άποκτά τό ήλεκτρόνιο;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .  $h = 6,67 \cdot 10^{-34} \text{ Joule \cdot sec}$ .

126. "Ενα ήλεκτρόνιο έπιταχύνεται μέ τήν έπιδραση τάσεως  $U = 506\,000 \text{ V}$ . 1) Πόση ταχύτητα άποκτά τό ήλεκτρόνιο; 2) Είναι παραδεκτή αὐτή η τιμή τῆς ταχύτητας τοῦ ήλεκτρονίου; Ποια διόρθωση πρέπει νά κάνουμε στούς υπολογισμούς μας; 3) Πόση είναι η μάζα τοῦ ήλεκτρονίου, όταν κινεῖται μέ τήν ταχύτητα πού βρήκαμε μετά τή διόρθωσή;

127. Πόσο είναι τό δυναμικό σέ ένα σημείο B, πού άπέχει  $r = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$  άπό ένα πρωτόνιο; Πόση δυναμική ένέργεια έχει ένα ήλεκτρόνιο, όταν βρίσκεται στό σημείο B;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .

128. Πόσο είναι τό δυναμικό σέ ένα σημείο B, πού άπέχει  $r = 5 \cdot 10^{-12} \text{ cm}$  άπό έναν πυρήνα πού έχει άτομικό άριθμό  $Z = 80$ ; Πόση δυναμική ένέργεια έχει ο πυρήνας ήλιου ( $Z = 2$ ), δταν αὐτός βρίσκεται στό σημείο B;

129. Στό άτομο ύδρογόνου μέ πόση ταχύτητα κινεῖται τό ήλεκτρόνιο πάνω σέ μια κυκλική τροχιά πού έχει άκτινα  $r = 0,5 \text{ Å}$ ;  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$ .  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kgr}$ .

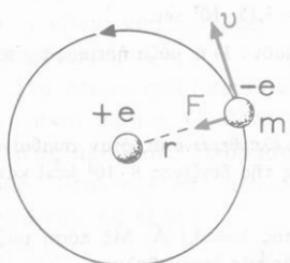
130. "Οταν τό άτομο ύδρογόνου βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση, τό ήλεκτρόνιο κινεῖται μέ συχνότητα  $v = 6,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$  πάνω σέ κυκλική τροχιά, πού έχει άκτινα  $r = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$ . 1) Πόση είναι η ένταση τοῦ ρεύματος πού άντιστοιχεῖ στήν κίνηση τοῦ ήλεκτρονίου; 2) Πόση είναι η μαγνητική έπαγωγή πού δημιουργεῖ αὐτό τό κυκλικό ρεύμα στό κέντρο τῆς κυκλικῆς τροχιᾶς;

131. Πόσα ήλεκτρόνια ύπάρχουν στό άτομο άργιλίου, πού έχει άτομικό άριθμό  $Z = 13$ , καὶ πῶς κατανέμονται αὐτά στούς φλοιούς;

## Συνθήκες τοῦ Bohr

### 91. Στοιχειώδης μελέτη τοῦ άτομου ύδρογόνου

α. Οἱ δύο κινήσεις τοῦ ήλεκτρονίου. Στό άτομο ύδρογόνου ( $Z = 1$ ) υπάρχει μόνο ἔνα ηλεκτρόνιο (σχ. 130). "Οταν τό άτομο ύδρογόνου βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση, τό μοναδικό ηλεκτρόνιό του περιφέρεται γύρω ἀπό τόν πυρήνα διαγράφοντάς μέ σταθερή γωνιακή ταχύτητα κυκλική τροχιά πού ἔχει ἀκτίνα  $r$ . Έπομένως τό ηλεκτρόνιο κινεῖται μέ ταχύτητα  $v = \omega r$ . Αὐτή ή κυκλική κίνηση τοῦ ηλεκτρονίου ισοδυναμεῖ μέ ἔνα κυκλικό ρεῦμα, πού ἀποτελεῖ ἔνα μαγνητικό δίπολο.



Σχ. 130. Κίνηση τοῦ ηλεκτρονίου στό άτομο ύδρογόνου.

ηλεκτρονίου δημιουργοῦν στό άτομο ύδρογόνου όρισμένες ιδιότητες. "Ωστε :

**Στό άτομο ύδρογόνου τό ηλεκτρόνιο ἐκτελεῖ ταυτόχρονα δύο κινήσεις, δηλαδή περιφέρεται γύρω ἀπό τόν πυρήνα καί περιστρέφεται γύρω ἀπό τόν ἄξονά του.**

β. Ἐνέργεια τοῦ ηλεκτρονίου. Τό ηλεκτρόνιο, ἐπειδή βρίσκεται μέσα στό ηλεκτρικό πεδίο τοῦ πυρήνα ἔχει δυναμική ἐνέργεια  $E_{δυ}$  καί ἐπειδή κινεῖται μέ ταχύτητα  $v$ , ἔχει κινητική ἐνέργεια  $E_{κιν}$ . Έπομένως τό ηλεκτρόνιο ἔχει δύλική ἐνέργεια  $E_{ολ}$  ἵση μέ τό ἄθροισμα τῆς δυναμικῆς καί τῆς κινητικῆς ἐνέργειάς του, δηλαδή είναι

$$E_{ολ} = E_{δυ} + E_{κιν}$$

γ. Τό φάσμα ἐκπομπῆς τοῦ ύδρογόνου. Ξέρουμε ὅτι τό φάσμα ἐκπομπῆς τοῦ ύδρογόνου ἀποτελεῖται ἀπό όρισμένες φασματικές γραμμές, πού καθειμά ἀπό αὐτές ἀντιστοιχεῖ σέ μιά ἀκτινοβολία μέ όρισμένη συχνότητα. "Ωστε τό άτομο ύδρογόνου μπορεῖ νά ἐκπέμπει μόρο όρισμένες ἀκτινοβολίες πού ἔχουν συχνότητες  $v_1, v_2, v_3, \dots$ . Σύμφωνα μέ τή θεωρία τῶν κβάντα πρέπει νά δεχτοῦμε ὅτι τό άτομο ύδρογόνου μπορεῖ νά ἐκπέμπει μόρο όρισμένα φωτόνια πού μεταφέρουν ἐνέργεια  $h\nu_1, h\nu_2, h\nu_3, \dots$ .

Ο Bohr, γιά νά ἔξηγήσει τό φάσμα ἐκπομπῆς τοῦ ύδρογόνου, δια-

τύπωσε δύο άρχες, πού δονομάζονται κβαντικές συνθήκες του Bohr και έπιβεβαιώνονται πειραματικά.

δ. Πρώτη συνθήκη του Bohr. Για τήν κίνηση του ήλεκτρονίου γύρω από τόν πυρήνα ίσχυε ή εξής πρώτη συνθήκη του Bohr :

**Στό ατομού ήλεκτρονίου μπορεῖ νά κινεῖται γύρω από τόν πυρήνα μόνο πάνω σέ όρισμένες έπιτρεπόμενες τροχιές (κβαντικές τροχιές).**

Η κβαντική τροχιά μέ τή μικρότερη δυνατή άκτινα δονομάζεται θεμελιώδης τροχιά και ή άκτινα της είναι ίση μέ  $r_1 = 0,5 \text{ Å}$ . Οι άκτινες των άλλων κβαντικῶν τροχιῶν δίνονται από τήν εξίσωση :

$$\text{άκτινες κβαντικῶν τροχιῶν} \quad r = n^2 \cdot r_1$$

οπου η είναι άκεραιος άριθμός, πού δονομάζεται κύριος κβαντικός άριθμός και μπορεῖ νά λάβει τίς τιμές από ένα ώς απειρο.

$$\text{κύριος κβαντικός άριθμός} \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots \infty$$

Στή θεμελιώδη τροχιά άντιστοιχεῖ ό κύριος κβαντικός άριθμός  $n = 1$ . "Οταν τό ήλεκτρόνιο κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά, τότε τό ατομού ήλεκτρονίου βρίσκεται σέ κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση. Σ' αυτή τήν περίπτωση τό ήλεκτρόνιο έχει τήν έλαχιστη ολική ένέργεια ( $E_1$ ) πού είναι ίση μέ  $E_1 = -13,53 \text{ eV}$ (\*). "Οταν τό ήλεκτρόνιο κινεῖται πάνω στίς άλλες κβαντικές τροχιές, ή ολική ένέργεια του ήλεκτρονίου δίνεται από τήν εξίσωση :

$$\text{ολική ένέργεια ήλεκτρονίου} \quad E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad \text{ή} \quad E_n = \frac{-13,53}{n^2} \text{ eV}$$

Η τελευταία εξίσωση φανερώνει ότι :

"Οταν αὐξάνει ή άκτινα τής τροχιᾶς τοῦ ήλεκτρονίου, τότε αὐξάνει άπότομα ή ολική ένέργεια τοῦ ήλεκτρονίου.

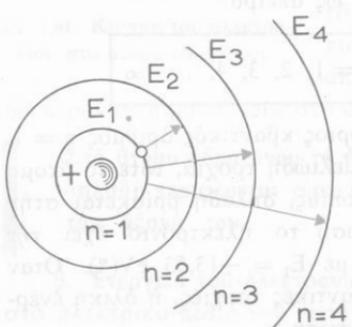
(\*) Τό άρνητικό σημείο όφειλεται στό ότι κατ' απόλυτη τιμή ή δυναμική ένέργεια ( $E_{δυ}$ ) του ήλεκτρονίου είναι μεγαλύτερη από τήν κινητική ένέργεια. Η δυναμική ένέργεια είναι άρνητική, γιατί είναι ίση μέ τό γινόμενο τοῦ δυναμικοῦ  $U_r$  σέ άπόταση  $r$  από τόν πυρήνα επί τό φορτίο —ε τοῦ ήλεκτρονίου, δηλαδή είναι  $E_{δυ} = U_r \cdot (-e)$ .

ε. Δεύτερη συνθήκη του Bohr. Γιά τήν έκπομπή και τήν άπορρόφηση τῆς ήλεκτρομαγνητικής άκτινοβολίας από τό ατόμο ύδρογόνου ισχύει η έξιης δεύτερη συνθήκη του Bohr:

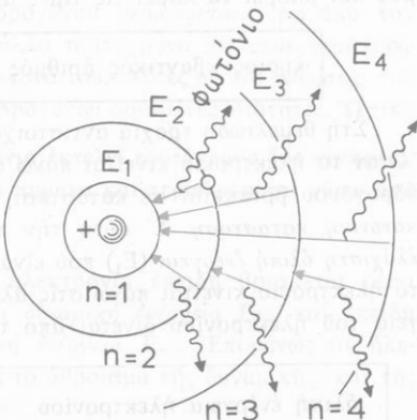
Τό ήλεκτρόνιο τού ατόμου ύδρογόνου έκπεμπει ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία, μόνο όταν τό ήλεκτρόνιο πηδάει από μιά κβαντική τροχιά μεγαλύτερης ένέργειας ( $E_{\text{exh}}$ ) σε μιά άλλη κβαντική τροχιά μικρότερης ένέργειας ( $E_{\text{rel}}$ ). Ή ένέργεια ( $h\nu$ ) τού φωτονίου πού έκπεμπεται είναι ίση με τή διαφορά τῶν ένεργειῶν τού ήλεκτρονίου πάνω στίς δύο κβαντικές τροχιές.

$$\text{ένέργεια φωτονίου πού έκπεμπεται} \quad h\nu = E_{\text{exh}} - E_{\text{rel}}$$

Σύμφωνα μέ τή δεύτερη συνθήκη του Bohr ή γένεση τῆς άκτινοβολίας δφείλεται σέ απότομα πηδήματα τού ήλεκτρονίου από μιά έξωτερη κβαντική τροχιά σε μιά άλλη κβαντική τροχιά πού είναι πιο κοντά στόν



Σχ. 131. Διέγερση τού ατόμου ύδρογόνου. Τό ήλεκτρόνιο πηδάει από τή θεμελιώδη ( $n = 1$ ) σε μιά πιο έξωτερη τροχιά ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ ).



Σχ. 132. Έκπομπή άκτινοβολίας από τό ατόμο ύδρογόνου (ἀποδίεγερση τού ατόμου).

πυρήνα. "Οταν τό ατόμο ύδρογόνου βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση, τότε τό ήλεκτρόνιο κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά ( $n = 1$ ) και έχει ένέργεια  $E_1$ . Σ' αυτή τήν περίπτωση τό ήλεκτρόνιο δέν έκπεμπει άκτινοβολία.

"Οταν τό ήλεκτρόνιο πάρει μιά ένέργεια  $\Delta E$ , τότε τό ήλεκτρόνιο πηδάει απότομα σε μιά άλλη έξωτερη τροχιά, στήν δποία άντιστοιχεῖ ένέργεια τού ήλεκτρονίου  $E_n = E_1 + \Delta E$  (σχ. 131). Αύτό τό απότομο πήδημα

τοῦ ήλεκτρονίου ἀπό τή θεμελιώδη σέ μιά πιό ἔξωτερική τροχιά λέγεται διέγερση τοῦ ἀτόμου. Ἡ διέγερση εἶναι μιά ἀσταθής κατάσταση τοῦ ἀτόμου, πού διαρκεῖ γιά πολύ μικρό χρονικό διάστημα (περίπου  $10^{-8}$  sec). Ἐτσι τό ἄτομο ὑδρογόνου πολύ γρήγορα ἐπανέρχεται στήν κανονική του κατάσταση, γιατί τό ήλεκτρόνιο ἐπανέρχεται στή θεμελιώδη τροχιά, εἴτε μέ ξνα μόνο πήδημά του εἴτε μέ διαδοχικά πηδήματά του ἀπό μιά ἔξωτερική σέ μιά πιό ἔσωτερική τροχιά (σχ. 132). Μέ αὐτό δμως τό πήδημά του ἀπό τή μιά τροχιά στήν ἄλλη τό ήλεκτρόνιο ἀποβάλλει ἀπότομα τό πλεόνασμα τῆς ἐνέργειάς του μέ τή μορφή ἐνός φωτονίου πού ἔχει ἐνέργεια ( $hv$ ) ἵση μέ τή διαφορά τῶν ἐνέργειῶν τοῦ ήλεκτρονίου πάνω στίς δύο τροχιές. Ἐτσι ἡ δεύτερη συνθήκη τοῦ Bohr ἔξηγει εὔκολα γιατί τό φάσμα ἐκπομπῆς τοῦ ὑδρογόνου ἀποτελεῖται μόνο ἀπό δρισμένες ἀκτινοβολίες, πού τά φωτόνιά τους ἔχουν δρισμένες συχνότητες. Ἀπό τά παραπάνω συνάγεται ὅτι ἡ δεύτερη συνθήκη τοῦ Bohr μπορεῖ νά διατυπωθεῖ γενικότερα ὡς ἔξης :

**Τό ήλεκτρόνιο τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου, δταν πηδάει ἀπό μιά κβαντική τροχιά σέ ἄλλη, ἐκπέμπει ἡ ἀπορροφᾶ τήν ἐνέργεια ἐνός φωτονίου ( $hv$ ) καὶ ἐπομένως ι μεταβολή τῆς ὀλικῆς ἐνέργειας τοῦ ήλεκτρονίου γίνεται μόνο κατά  $hv$ .**

στ. 'Ιονισμός τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου. "Οταν τό ἄτομο ὑδρογόνου βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση, τότε τό ήλεκτρόνιο κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά ( $n = 1$ ) καὶ ἔχει τή μικρότερη δυνατή ἐνέργεια  $E_1$ . "Οταν τό ήλεκτρόνιο πάρει μιά ἐνέργεια ( $hv$ ), τότε πηδάει σέ μιά ἔξωτερική τροχιά καὶ προκαλεῖται διέγερση τοῦ ἀτόμου. "Αν ἡ ἐνέργεια πού παίρνει τό ήλεκτρόνιο εἶναι μεγαλύτερη ἀπό ξνα δριο, τότε τό ήλεκτρόνιο πετάγεται ἔξω ἀπό τό ήλεκτρικό πεδίο τοῦ πυρήνα καὶ τό ἄτομο ὑδρογόνου μεταβάλλεται τότε σέ θετικό  $l$ -ον. Ἡ ἐνέργεια πού πρέπει νά πάρει τό ήλεκτρόνιο γιά νά μεταπηδήσει ἀπό τή θεμελιώδη τροχιά ἔξω ἀπό τά δρια τοῦ ήλεκτρικού πεδίου τοῦ πυρήνα δνομάζεται ἐνέργεια **Ιονισμοῦ**. Εἶναι φανερό ὅτι :

**Γιά τό ἄτομο ὑδρογόνου ἡ ἐνέργεια ιονισμοῦ εἶναι ἵση μέ τήν ὀλική ἐνέργεια  $E_1$  πού ἔχει τό ήλεκτρόνιο δταν κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά (δηλαδή κατ' ἀπόλυτη τιμή εἶναι ἵση μέ  $E_1 = 13,53$  eV).**

"Η διέγερση καὶ ὁ ιονισμός τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου συμβαίνουν, δταν τό ἄτομο ἀπορροφήσει ἐνέργεια εἴτε ἀπό μιά ἀκτινοβολία πού πέφτει πάνω του εἴτε κατά τή σύγκρουσή του μέ ἄτομο ἡ σωματίδιο πού ἔχει μεγάλη κινητική ἐνέργεια. "Αν ἡ ἐνέργεια  $E$  πού ἀπορροφᾶ τό ἄτομο ὑδρογόνου

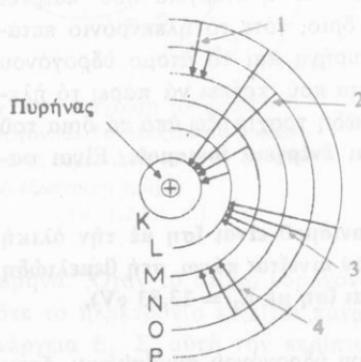
είναι μεγαλύτερη άπό τήν ένέργεια ιονισμοῦ  $E_1$ , τότε τό πλεόνασμα τῆς ένέργειας μένει πάνω στό ήλεκτρόνιο ώς κινητική ένέργεια καί ίσχυει ή δεξίσωση :

$$\text{κινητική ένέργεια έξερχομενου ήλεκτρονιου} \quad E_{\text{κιν}} = E - E_1$$

## 92. "Ατομα με πολλά ήλεκτρόνια

Τά ατομα πού έχουν μεγάλο άτομικό άριθμο ( $Z$ ) έχουν πολλά ήλεκτρόνια, π.χ. τό ατομο λευκοχρύσου ( $Z = 78$ ) έχει 78 ήλεκτρόνια πού κατανέμονται πάνω σέ έξι φλοιούς (άπό τόν K ός τόν P). "Οταν ένα ατομο μέ πολλά ήλεκτρόνια βρίσκεται στήν κανονική κατάσταση, τότε ολα τά ήλεκτρόνια του κατανέμονται πάνω σέ κβαντικές τροχιές έτσι, ώστε κάθε ήλεκτρόνιο νά έχει τήν επιτρεπόμενη έλαχιστη δυνατή ένέργεια. "Αν αυτό τό ατομο προσλάβει ένέργεια, τότε ένα η περισσότερα ήλεκτρόνια μεταπηδούν σέ κβαντικές τροχιές πού έχουν μεγαλύτερες άκτινες και τό ατομο βρίσκεται γιά έναν έλαχιστο χρόνο σέ κατάσταση διεγέρσεως, "Οταν τά ήλεκτρόνια ξαναγυρίζουν μέ πηδήματα στίς άρχικες θέσεις τους, τό ατομο έκπεμπει άκτινοβολίες, δηλαδή φωτόνια, σύμφωνα μέ τή δεύτερη κβαντική συνθήκη τοῦ Bohr.

Σέ ένα ατομο μέ πολλά ήλεκτρόνια, π.χ. στό ατομο λευκοχρύσου, κατά τή διέγερσή του ένα ήλεκτρόνιο πηδάει άπό τους δύο προτελευταίους φλοιούς N ή O στόν τελευταίο φλοιο P (σχ.133). "Οταν τό ήλεκτρόνιο ξαναγυρίζει στήν άρχική του θέση, τότε τό ήλεκτρόνιο έκπεμπει ένα φωτόνιο, πού έχει σχετικά μικρή ένέργεια και άνήκει στίς δρατές, τίς ύπερθρες ή τίς ύπεριώδεις άκτινοβολίες. "Αν δύμως κατά τή διέγερση τοῦ ατόμου ένα ήλεκτρόνιο τῶν έσωτερικῶν φλοιῶν K, L, M πηδήσει στούς πιό έξωτερικούς φλοιούς, τότε τό ήλεκτρόνιο ξαναγυρίζοντας στήν άρχική θέση του έκπεμπει ένα φωτόνιο, πού έχει μεγάλη ένέργεια και άνήκει στίς άκτινες Röntgen. "Από τά παραπάνω βγαίνει τό έξης συμπέρασμα :



Σχ. 133. Παραγωγή τῶν δρατῶν άκτινοβολιῶν και τῶν άκτίνων Röntgen (1 δρατές άκτινοβολίες, 2, 3, 4, σειρές άκτίνων Röntgen)

Σέ ένα ατομο μέ πολλά ήλεκτρόνια κατά τήν πτώση τῶν ήλεκτρονίων πάνω στούς πιό έξωτερικούς φλοιούς παράγονται δρατές, ύπερθρες ή ύπεριώδεις άκτινοβολίες, ένω

Περιοδικό σύστημα τῶν στοιχείων

		Ο μάδες																
		I					II											
Περίοδος	Ζεύς	III					IV					V	VI	VII	ο			
		B	C	N	O	F	Si	P	S	Cl	Ar	Al	Si	Ge	As	Se	Br	Kr
1	H	1					5	6	7	8	9	10						
2	Li	3	Be	4														
3	Na	Mg	12															
4	K	Ca	20	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
5	Rb	Sr	37	T	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Kr
6	Cs	Ba	55	57-71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At
7	Fr	Ra	87	89—	Ku	Ha												Rn
			87	103	104	105	**											86

• Σειρά λανθανίου	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu
•• Σειρά δικτυνίου	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

κατά τήν πτώση τῶν ἡλεκτρονίων πάνω στούς τρεῖς πιό ἐσωτερικούς φλοιούς (K, L, M) παράγονται ἀκτίνες Röntgen.

Ἄν ενα ἄτομο μέ πολλά ἡλεκτρόνια πάρει τήν ἀπαιτούμενη ἐνέργεια *ἰονισμοῦ*, τότε ἔνα ἡ περισσότερα ἡλεκτρόνια του πηδοῦν ἔξω ἀπό τά δρια τοῦ ἡλεκτρικοῦ πεδίου τοῦ πυρήνα καὶ τό ἄτομο μεταβάλλεται σέ θετικό *ἰόν*. Ἡ ἐνέργεια *ἰονισμοῦ* εἶναι μικρότερη γιά τά ἡλεκτρόνια τοῦ ἔξωτερικοῦ φλοιοῦ (ἡλεκτρόνια σθένους).

### 93. Περιοδικό σύστημα τῶν στοιχείων

Μέ βάση τήν ἡλεκτρονική δομή τῶν ἀτόμων κατατάσσουμε τά στοιχεῖα στό περιοδικό σύστημα "Οταν στό περιοδικό σύστημα προχωροῦμε ἀπό τό ἔνα στοιχεῖο στό ἀμέσως ἐπόμενο, δ ἀτομικός ἀριθμός *Z* αὐξάνει κατά μιά μονάδα, ἄρα δ ἀριθμός τῶν ἡλεκτρονίων τοῦ ἀτόμου αὐξάνει κατά ἔνα ἡλεκτρόνιο. Ἡ διαδοχική πρόσθεση ἐνός ἡλεκτρονίου προχωρεῖ μέ τέτοιο τρόπο, ὥστε νά συμπληρώνονται διαδοχικά οἱ διάφοροι φλοιοί (σχ. 129 ).

Τά χημικά φαινόμενα δφείλονται σέ μεταβολές τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ἡλεκτρονίων πού ἀνήκουν στόν ἔξωτερικό φλοιό. Ἐπομένως ἡ περιοδικότητα πού παρουσιάζουν οἱ χημικές ιδιότητες τῶν στοιχείων δφείλονται στό δτι περιοδικά στόν ἔξωτερικό φλοιού υπάρχει ὁ *ἴδιος ἀριθμός ἡλεκτρονίων*.

Στά ἄτομα τῶν εὐγενῶν ἀερίων δ ἔξωτερικός φλοιός εἶναι συμπληρωμένος καὶ γι' αὐτό εἶναι πολύ σταθερός. Γιά τά ἄτομα δλων τῶν ἄλλων στοιχείων ίσχύει δ ἔξης γενικός κανόνας : τό ἄτομο ἀποβάλλοντας ἡ προσλαμβάνοντας ἡλεκτρόνια τείνει νά ἀποκτήσει ἔξωτερικό φλοιό συμπληρωμένο.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

132. Τό ἡλεκτρόνιο τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά ( $r_1 = 0,5 \cdot 10^{-10}$  m) μέ ταχύτητα  $v = 22 \cdot 10^5$  m/sec. Πόση εἶναι ἡ κεντρομόλος δύναμη πού ἐνεργεῖ στό ἡλεκτρόνιο;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.

133. "Οταν τό ἡλεκτρόνιο τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου κινεῖται πάνω στή θεμελιώδη τροχιά ( $r_1 = 0,5 \cdot 10^{-10}$  m), τότε ἔχει ταχύτητα  $v = 22 \cdot 10^5$  m/sec. Πόση εἶναι σέ Joule καὶ eV η κινητική ἐνέργεια τοῦ ἡλεκτρονίου;  $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$  kgr.

134. Στό ἄτομο ὑδρογόνου η ἀκτίνα τῆς θεμελιώδους τροχιᾶς εἶναι  $r_1 = 0,5 \cdot 10^{-8}$  cm. Νά γραφοῦν οἱ ἀκτίνες τῶν τροχιῶν τοῦ ἡλεκτρονίου πού ἀντιστοιχοῦν στούς κβαντικούς ἀριθμούς  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ .

135. Τό δηλεκτρόνιο τοῦ ἀτόμου ὑδρογόνου πάνω στή θεμελιώδῃ τροχιᾳ ἔχει ἐνέργεια  $E_1 = -13,53$  eV. 1) Πόση είναι ἡ ἐνέργεια του  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  και  $E_5$  πάνω στίς τέσσερις ἐπόμενες κβαντικές τροχιές; 2) Νά βρεθούν οι ἔξης διαφορές ἐνέργειας τοῦ δηλεκτρονίου:  $E_2 - E_1$ ,  $E_3 - E_2$ ,  $E_4 - E_3$  και  $E_5 - E_4$ .

136. Πόση ἐνέργεια Ε πρέπει νά ἀπορροφήσει τό ηλεκτρόνιο του ἀτόμου υδρογόνου, για νά μεταπηδήσει ἀπό τή θεμελιώδη τροχιά ( $n = 1$ ) στήν τροχιά πού έχει κβαντικό ἀριθμό  $n = 4$ ? "Αν αυτή ή ἐνέργεια Ε είναι ή ἐνέργεια ἑνός φωτονίου ( $h\nu$ ), πόσο είναι τό μηκός κύματος τής ἀκτινοβολίας;  $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$  Joule · sec.

137. "Ενα από το ύδρογον διεγέρεται και το ήλεκτρόνιο του πηδάει άπο τη θεμελιώδη τροχιά ( $n = 1$ ) στην τρίτη κβαντική τροχιά ( $n = 3$ ). Πόσα είδη φωτονίων μπορεί να έκπεμψει το ήλεκτρόνιο, δταν ξαναγυρίζει στη θεμελιώδη τροχιά;

138. Σε ἔνα ἄτομο ὑδρογόνου πού διεγέρθηκε τὸ ἡλεκτρόνιο του πήδησε ἀπό τὴν θεμελιώδη τροχιά σὲ μιὰ ἔξωτερική τροχιά καὶ ἡ ἐνέργεια του αὐξήθηκε κατά  $\Delta E = 12 \text{ eV}$ . Πηδώντας πάλι τὸ ἡλεκτρόνιο ἀπό τὴν νέα τροχιά στὴ θεμελιώδη ἐκπέμπει ἔνα φωτόνιο. Πόσο είναι τὸ μῆκος κύματος τῆς ἀκτινοβολίας πού ἐκπέμπεται ἀπό τὸ ἄτομο ὑδρογόνου;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{sec}$ .

139. Στό απομό άνδρογόνου τό ηλεκτρόνιο πάνω στή θεμελιώδη τροχιά έχει ολική ένέργεια κατ' άπόλυτη τιμή μέ 13,5 eV. Πόσο πρέπει νά είναι τό μηκός κύματος τής άκτινοβολίας πού ένα φωτόνιο της (hv) προκαλεῖ τόν Ιονισμό τού απόμου ήδονγόνου:

140. Κατά τη διέγερση ένός άτομου μέ πολλά ήλεκτρόνια ένα ήλεκτρόνιο πηδάει από τη θεμελιώδη σε μιά έξωτερη κβαντική τροχιά. "Αν ή αύξηση της ένέργειας του ήλεκτρονίου είναι ίση με  $\Delta E = 4,95 \cdot 10^{-19}$  Joule, πόσο είναι το μήκος κύματος της άκτινοβολίας που έκπεμπει τό άτομο, διαν το ήλεκτρόνιο ξαναγυρίζει μέ ένα πήδημα στη θεμελιώδη τροχιά;

141. Κατά τη διέγερση ένός άτομου μέ πολλά ήλεκτρόνια δύο ήλεκτρόνια πηδοῦν υπό την τροχιά πού βρίσκονται σε δύο πιο έξωτερικές τροχιές. Ή αυξήση της ένέργειας είναι για τό ένα ήλεκτρόνιο  $\Delta E_1 = 3,3 \cdot 10^{-19}$  Joule και για τό άλλο είναι  $\Delta E_2 = 19,8 \cdot 10^{-19}$  Joule. Τά ήλεκτρόνια ξαναγυρίζουν με ένα μόνο πήδημα στις άρχικες θέσεις τους. Πόσο είναι τό μηκός κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  τών δύο άκτινοβολιών πού έκπεμπει τό άτομο; Είναι δρατές αύτές οι άκτινοβολίες;

## ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### ‘Ο άτομικός πυρήνας

#### 94. Πυρηνική Φυσική

‘Ο Rutherford άπέδειξε πειραματικά ότι μέσα στό άτομο υπάρχει δικρότατος άτομικός πυρήνας, που έχει θετικό φορτίο. Άπο τήν περίθλαση τῶν άκτινων Röntgen υπολογίζεται ό άτομικός άριθμός  $Z$  ένός στοιχείου (νόμος του Moseley), δηλαδή βρίσκεται ό άριθμός  $Z$  τῶν θετικῶν στοιχειωδῶν φορτίων που έχει ό πυρήνας. Έτσι ξέρουμε πόσα πρωτόνια υπάρχουν στόν πυρήνα. Μέ τό φασματογράφο τῶν μαζῶν βρίσκουμε τήν άτομική μάζα, που σχεδόν δλόκληρη είναι συγκεντρωμένη στόν πυρήνα. Οι γνώσεις μας γιά τόν άτομικό πυρήνα συμπληρώνονται όπό τη φυσική και τήν τεχνητή φαδιενέργεια, ή όποια είναι μιά έκρηξη τού πυρήνα. Μέ τή μελέτη ειδικά τού άτομικού πυρήνα άσχολεῖται ένας ίδιαίτερος κλάδος τής Φυσικῆς, ή Πυρηνική Φυσική.

#### 95. Ισότοποι και ισοβαρεῖς πυρῆνες

a. Ισότοποι πυρῆνες. “Όλα σχεδόν τά φυσικά στοιχεία είναι σταθερά μίγματα όπό δρισμένα ισότοπα, δηλαδή όπό στοιχεία που έχουν τίς ίδιες χημικές ιδιότητες, διαφορετική όμως άτομική μάζα. Τό δξυγόνο π.χ. άποτελείται όπό τρία ισότοπα στοιχεία, στά όποια άντιστοιχοῦν τρία είδη άτομικῶν πυρήνων. Αύτοί οι πυρῆνες έχουν τόν ίδιο άτομικό άριθμό  $Z = 8$ , άλλα οι μαζικοί άριθμοί τους Α άντιστοιχα είναι 16, 17 και 18. Οι τρεις αύτοί πυρῆνες ονομάζονται ισότοποι πυρῆνες και γράφονται έτσι:



Καί οι τρεις πυρῆνες έχουν γύρω τους  $Z = 8$  ήλεκτρόνια και γι' αυτό τά άτομα τῶν τριῶν ισότοπων τού δξυγόνου έχουν τίς ίδιες χημικές ιδιότητες. Άλλα οι τρεις ισότοποι πυρῆνες δξυγόνου δέν έχουν τήν ίδια σύσταση, γιατί περιέχουν τόν ίδιο άριθμό πρωτονίων, διαφορετικό όμως άριθμό νετρονίων, σπως δείχνει ό έπόμενος πίνακας:

Πυρήνας	Πρωτόνια	Μαζικός άριθμός	Νετρόνια
$_8\text{O}^{16}$	$Z = 8$	$A = 16$	$N = 8$
$_8\text{O}^{17}$	$Z = 8$	$A = 17$	$N = 9$
$_8\text{O}^{18}$	$Z = 8$	$A = 18$	$N = 10$

Από τά παραπάνω βγαίνουν τά έξης συμπεράσματα:

I. Ισότοποι ονομάζονται οι πυρήνες πού έχουν τόν ίδιο άτομικό άριθμό  $Z$ , διαφορετικό όμως μαζικό άριθμό  $A$ , γιατί αύτοί οι πυρήνες περιέχουν τόν ίδιο άριθμό ( $Z$ ) πρωτονίων, διαφορετικό όμως άριθμό ( $N$ ) νετρονίων.

II. Οι ισότοποι πυρήνες άνήκουν σέ ατομα ισοτόπων τού ίδιου στοιχείου.

β. Ισοβαρεῖς πυρήνες. Όνομάζονται ισοβαρεῖς πυρήνες έκεινοι πού περιέχουν τόν ίδιο άριθμό νουκλεονίων και, έπομένως, έχουν τόν ίδιο μαζικό άριθμό  $A$ , διαφορετικό όμως άτομικό άριθμό  $Z$ . Τέτοιοι π.χ. είναι οι πυρήνες  $_3\text{Li}^7$  και  $_4\text{Be}^7$ . Η σύσταση αύτῶν τῶν πυρήνων φαίνεται στόν έπόμενο πίνακα:

Πυρήνας	Μαζικός άριθμός	Πρωτόνια	Νετρόνια
$_3\text{Li}^7$	$A = 7$	$Z = 3$	$N = 4$
$_4\text{Be}^7$	$A = 7$	$Z = 4$	$N = 3$

Παρατηρούμε ότι οι δύο ισοβαρεῖς πυρήνες περιέχουν τόν ίδιο άριθμό νουκλεονίων ( $A = 7$ ), διαφέρουν όμως στόν άριθμό τῶν πρωτονίων ( $Z$ ) και τῶν νετρονίων ( $N$ ). Ετσι καταλήγουμε στά έξης συμπεράσματα:

I. Ισοβαρεῖς ονομάζονται οι πυρήνες πού έχουν τόν ίδιο μαζικό άριθμό  $A$ , διαφορετικό όμως άτομικό άριθμό  $Z$ .

II. Οι ισοβαρεῖς πυρήνες άνήκουν σέ ατομα διαφορετικῶν στοιχείων.

γ. Βαρύ νερό. Τό ύδρογόνο άποτελεῖται άπό δύο ισότοπα, τό κοινό ύδρογόνο και τό βαρύ ύδρογόνο ή δευτέριο. Οι δύο αύτοί ισότοποι πυρήνες συμβολίζονται μέ  $_1\text{H}^1$  και  $_1\text{H}^2$  ή  $_1\text{D}^2$ . Τό βαρύ ύδρογόνο έχει άτομικό βάρος 2 και βρίσκεται σέ μικρή άναλογία μέσα στό φυσικό ύδρογόνο. Τό βαρύ ύδρογόνο ένώνεται μέ τό δέξιγόνο και σχηματίζει τό βαρύ νερό  $\text{D}_2\text{O}$ , πού έχει μοριακό βάρος 20 και φυσικές ίδιότητες διαφορετικές άπό τό κοινό νερό. Π.χ. τό βαρύ νερό σέ θερμοκρασία  $4^\circ\text{C}$  έχει πυκνότητα  $1,104 \text{ gr/cm}^3$ , έχει θερμοκρασία πήξεως  $3,8^\circ\text{C}$  και θερμοκρασία βρασμοῦ  $101,4^\circ\text{C}$  (σέ κανονική πίεση). Αύτές οι διαφορές μᾶς βοηθοῦν νά διαχωρίζουμε εύ-

κολα τό βαρύ νερό ἀπό τό κοινό νερό. Συνήθως τό βαρύ νερό τό παίρνουμε ἀπό τά ύπολειμματα τῆς ἡλεκτρολύσεως και τό χρησιμοποιοῦμε σέ δρι-  
σμένους τύπους πνωγημάτων ἀντιδραστήρων.

### 96. "Ελλειμμα μάζας και ἐνέργεια συνδέσεως

a. "Ελλειμμα μάζας τῶν πυρήνων. Κάθε πυρήνας ἀποτελεῖται ἀπό Z πρωτόνια και N νετρόνια. Ἐπομένως ή μάζα (ἡρεμίας) τοῦ πυρήνα πρέ-  
πει νά είναι ἵση μέ το ἄθροισμα τῶν μαζῶν (ἡρεμίας) τῶν νουκλεονίων πού  
ὑπάρχουν μέσα στόν πυρήνα, δηλαδή πρέπει νά ισχύει ή σχέση:

$$\text{μάζα πυρήνα} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

"Αλλά μέ τίς μετρήσεις βρήκαμε ὅτι πάντοτε ή μάζα τοῦ πυρήνα είναι μικρότερη ἀπό τό ἄθροισμα τῶν μαζῶν τῶν πρωτονίων και τῶν νετρονίων τοῦ πυρήνα. "Ετσι κάθε πυρήνας παρουσιάζει ἔνα ἔλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ) πού είναι χαρακτηριστικό γιά κάθε είδος πυρήνα. "Ωστε:

"Οταν τά πρωτόνια και τά νετρόνια συνδέονται μεταξύ τους γιά νά σχη-  
ματίσουν τόν πυρῆνα, πάντοτε ἐμφανίζεται ἔνα ἔλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ).

$$\boxed{\text{ἔλλειμμα μάζας } \Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{\text{πυρήνα}}}$$

β. Ἐνέργεια συνδέσεως. Τό ἔλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ) ἐνός πυρήνα ἰσοδυ-  
ραμεῖ μέ ἐνέργεια  $\Delta m \cdot c^2$ . Μέσα στόν πυρήνα τά πρωτόνια και τά νετρόνια συνδέονται μεταξύ τους πολύ ἴσχυρά. Γιά νά διαλυθεῖ ὁ πυρήνας και νά δια-  
χωριστοῦν τά συστατικά του μακριά τό ἔνα ἀπό τό ἄλλο, πρέπει νά δαπα-  
νήσουμε ἐνέργεια ἵση μέ  $\Delta m \cdot c^2$ , δηλαδή ἐνέργεια ἰσοδύναμη μέ τό ἔλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ) τοῦ πυρήνα. Αύτή ή ἐνέργεια δονομάζεται ἐνέργεια συνδέσεως τοῦ πυρήνα. "Οσο μεγαλύτερη είναι ή ἐνέργεια συνδέσεως, τόσο σταθερότερος είναι ὁ πυρήνας. "Ωστε:

I. Ἐνέργεια συνδέσεως ἐνός πυρήνα ὀνομάζεται ή ἐνέργεια πού πρέπει νά δαπανηθεῖ, γιά νά ἐλευθερωθοῦν τελείως τά νουκλεόνια τοῦ πυρή-  
να.

II. Ἡ ἐνέργεια συνδέσεως ἐνός πυρήνα είναι ἰσοδύναμη μέ τό ἔλλειμ-  
μα μάζας αὐτοῦ τοῦ πυρήνα.

$$\boxed{\text{ἐνέργεια συνδέσεως} E_{\text{συνδέσεως}} = \Delta m \cdot c^2}$$

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

142. "Ενας άτομικός πυρήνας βρέθηκε διτι έχει φορτίο  $q = 1,76 \cdot 10^{-18}$  Cb. Πόσα πρωτόνια έχει αυτός δι πυρήνας και ποιός είναι δι άτομικός άριθμός του; Σε ποιό στοιχείο άνήκει τό ατόμο πού έχει αυτό τόν πυρήνα; Πόσα ήλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από αυτό τόν πυρήνα και πώς κατανέμονται;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.

143. "Ο πυρήνας μολύβδου θεωρείται ως σημείο. 1) Πόσο είναι τό δυναμικό του ήλεκτρικού πεδίου πού δημιουργεί δι πυρήνας μολύβδου ( $Z = 82$ ) σε άπόσταση  $r = 4 \cdot 10^{-14}$  m; 2) Πόση δυναμική ένέργεια αποκτά δι πυρήνας ήλιου ( $Z = 2$ ), αν βρεθεί σε αυτή τήν άπόσταση  $r$  από τόν πυρήνα μολύβδου;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Cb.

144. "Ενας πυρήνας ήλιος ( ${}_2\text{He}^4$ ) έκτοξεύεται μέταχτητα  $v = 1,78 \cdot 10^7$  m/sec πρός έναν πυρήνα χρυσού ( $Z = 79$ ). Σε πόση άπόσταση  $r$  από τόν πυρήνα χρυσού θά κατορθώσει νά φτάσει αυτός δι πυρήνας ήλιου; Μάζα τού πυρήνα ήλιου:  $m = 6,64 \cdot 10^{-27}$  kgr.

145. Τό δευτερόνιο ( ${}_1\text{H}^2$  ή  ${}_1\text{D}^2$ ), δηλαδή δι πυρήνας τού άτομου τού βαριού ήδρογόνου, έχει μάζα  $m_p = 2,014\,102$  amu. 1) Πόσο είναι τό έλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ); 2) Πόση είναι σε MeV ή ένέργεια συνδέσεως γι' αυτό τόν πυρήνα; 3) Πόση είναι κατά νουκλεόνιο ή ένέργεια συνδέσεως;

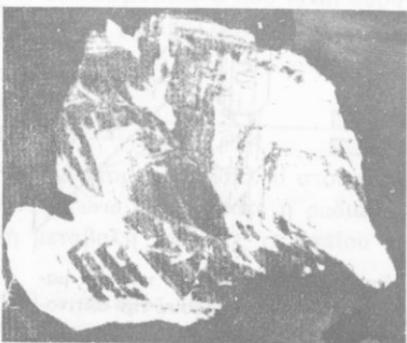
1 amu = 931 MeV.  $m_p = 1,007\,825$  amu.  $m_n = 1,008\,665$  amu.

146. "Η μάζα τού πυρήνα ήλιου ( ${}_1\text{He}^3$ ) είναι  $m_{\text{πυρ}} = 4,00260$  amu. 1) Πόσο είναι τό έλλειμμα μάζας ( $\Delta m$ ); 2) Πόση είναι ή ένέργεια συνδέσεως; 3) Πόση είναι ή ένέργεια συνδέσεως κατά νουκλεόνιο; Νά συγκριθεί αυτή ή ένέργεια μέτα έκείνη πού βρέθηκε γιά τό δευτερόνιο στό προηγούμενο πρόβλημα.

1 amu = 931 MeV.  $m_p = 1,00782$  amu.  $m_n = 1,00867$  amu.

147. Σε 1 gr νέου ( ${}_{10}\text{Ne}^{10}$ ) ύπαρχουν  $n = 3 \cdot 10^{22}$  άτομα. Γιά τόν πυρήνα νέου ή ένέργεια συνδέσεως είναι Εσυνδ = 160,6 MeV. Πόση ένέργεια σε Joule πρέπει νά δαπανήσουμε, γιά νά διαχωρίσουμε τελείως τούς πυρήνες στά συστατικά τους; 1 MeV =  $1,6 \cdot 10^{-13}$  Joule.

Αύτοραδιογράφημα δρυκτού τού ούρανίου (σαμαρκίτη). Διακρίνεται ή κατανομή τού ούρανίου μέσα στόν κρύσταλλο.



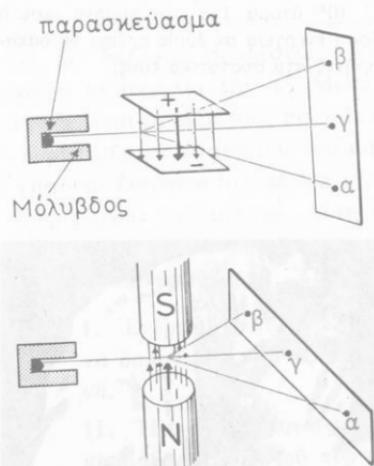
## Φυσική ραδιενέργεια

### 97. Ραδιενέργεια

Ο Becquerel (1896) άνακάλυψε ότι δρυκτά πού περιέχουν ουράνιο ή ένώσεις του έκπεμπουν συνεχῶς μιά άόρατη άκτινοβολία, ή όποια προσβάλλει τή φωτογραφική πλάκα, προκαλεῖ τό φθορισμό σέ δρισμένα σώματα και τόν ιονισμό τῶν αερίων. Ή ιδιότητα πού έχουν μερικά στοιχεῖα νύ έκπεμπουν αὐτόματα τέτοια άκτινοβολία όνομάζεται **ραδιενέργεια** και τά στοιχεῖα όνομάζονται **ραδιενεργά στοιχεῖα**. Έκτός από τό ουράνιο, φυσικά ραδιενεργά στοιχεῖα είναι τό άκτινιο, τό θόριο, τό πολώνιο, τό ράδιο κ.α. Τό πολώνιο και τό ράδιο τά άνακάλυψε τό ζεῦγος Curie. Τά φυσικά ραδιενεργά στοιχεῖα έχουν μεγάλο άτομικό άριθμό ( $Z > 80$ ).

### 98. Φύση τῆς άκτινοβολίας τῶν ραδιενεργῶν στοιχείων

Ένα κομμάτι μολύβδου έχει μιά στενόμακρη κοιλότητα και στό βάθος αυτῆς τῆς κοιλότητας ύπάρχει ένα ραδιενεργό παρασκεύασμα (σχ. 134). Ή συσκευή βρίσκεται μέσα σέ άερόκενο δοχείο. Ή λεπτή δέσμη τῆς άκτινοβολίας πού βγαίνει από τήν κοιλότητα περνάει μέσα από όμογενές ήλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο κάθετα στίς δυναμικές γραμμές τού πεδίου και έπειτα πέφτει πάνω σέ φωτογραφική πλάκα, πού είναι κάθετη στή δέσμη. Τότε τό ήλεκτρικό ή τό μαγνητικό πεδίο διαχωρίζουν τήν άκτινοβολία τού ραδιενεργού στοιχείου σέ τρία ειδή άκτινων, πού χαρακτηρίζονται διεθνῶς μέ τά γράμματα  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  τού έλληνικούν άλφαβητον. Οι άκτινες  $\alpha$  και  $\beta$  άποτελούνται από σωματίδια πού έχουν ήλεκτρικό φορτίο και  $\gamma$  αυτό μέ τήν έπιδραση τού ήλεκτρικού ή τού μαγνητικού πεδίου έκτρέπονται από τήν εύθυγραμμη τροχιά τους. Αντίθετα οι άκτινες  $\gamma$  είναι ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία, ή όποια δέν έκτρέπεται από τό ήλεκτρικό ή τό μαγνητικό πεδίο.



Σχ. 134. Τό ήλεκτρικό και τό μαγνητικό πεδίο άναλύουν τήν άκτινοβολία τού ραδίου σέ άκτινες  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$ .

Οι άκτινες α είναι σωματίδια και τό καθένα έχει δύο θετικά στοιχειώδη ήλεκτρικά φορτία (+2e). Κάθε σωματίδιο α είναι ένας άτομικός πυρήνας ήλιου, έχει μάζα περίπου ίση μέ 4 amu και ταχύτητα πού μπορεῖ νά φτάσει ώς 20 000 km/sec. "Ετσι τά σωματίδια α έχουν μεγάλη κινητική ένέργεια και, έπομένως, προκαλούν ίσχυρό ιονισμό.

Οι άκτινες β άποτελούνται από ήλεκτρόμα (e-), τά δποια έκτοξεύονται μέσα από τόν πυρήνα μέ πολύ μεγάλη ταχύτητα πού μπορεῖ νά φτάσει ώς 290 000 km/sec. "Έχουν μεγάλη διεισδυτική ίκανότητα.

Οι άκτινες γ είναι ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία, πού έχει μηκος κύματος πολύ μικρότερο από τό μηκος κύματος τῶν άκτινων Röntgen. Είναι πολύ περισσότερο διεισδυτικές από τίς άκτινες α και β και έξασκον έντονες βιολογικές δράσεις.

"Από τά παραπάνω βγάζουμε τό έξης συμπέρασμα:

**Η άκτινοβολία τῶν ραδιενέργων στοιχείων αποτελεῖται από τίς άκτινες α, πού είναι άτομικοι πυρήνες ήλιου, από τίς άκτινες β, πού είναι ήλεκτρόνια, και από τίς άκτινες γ, πού είναι ήλεκτρομαγνητική άκτινοβολία μέ πολύ μικρό μηκος κύματος.**

"Η ραδιενέργεια πυρηνικό φαινόμενο. Η άκτινοβολία πού έκπεμπει μιά δρισμένη ποσότητα ραδιενέργον στοιχείου (π.χ. ούρανίου) δέν έπηρεάζεται από καμιά έξωτερη αίτια (θερμοκρασία, πίεση), ούτε από τή χημική ένωση αύτοῦ τοῦ στοιχείου μέ αλλα στοιχεῖα. "Αρα η ραδιενέργεια είναι ένα πυρηνικό φαινόμενο και διφείλεται σέ αντόματη έκρηξη τοῦ άτομικοῦ πυρήνα.

## 99. Φυσική μεταστοιχείωση

"Ο πυρήνας ραδίου  $^{88}\text{Ra}^{226}$  έκπεμπει ένα σωματίδιο α πού είναι πυρήνας ήλιου  $^2\text{He}^4$ . "Ετσι ομως ό πυρήνας ραδίου μεταβάλλεται σέ έναν καινούριο πυρήνα πού έχει:

$$\text{άτομικό άριθμό } Z = 88 - 2 = 86$$

$$\text{μαζικό άριθμό } A = 226 - 4 = 222$$

Αύτός ό καινούριος πυρήνας άνήκει σέ άτομο ένός άλλου στοιχείου, πού είναι ευγενές άέριο και δονομάζεται ραδόνιο (Rn). "Ωστε η ραδιενέργεια προκαλεῖ μεταστοιχείωση, δηλαδή μεταβολή τοῦ ένός στοιχείου σέ άλλο.

Στούς πολύ βαριούς πυρήνες ( $Z > 80$ ) ό άριθμός τῶν νετρονίων είναι πολύ μεγαλύτερος από τόν άριθμό τῶν πρωτονίων. "Ετσι π.χ. στόν άτομικό

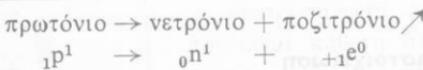
πυρήνα ούρανίου  $^{92}_{\Lambda}U^{238}$  ύπάρχουν  $Z = 92$  πρωτόνια και  $N = 146$  νετρόνια. Έξαιτίας αυτῆς τῆς μεγάλης διαφορᾶς μεταξύ τῶν νετρονίων και τῶν πρωτονίων ὁ πυρήνας ούρανίου είναι ἀσταθής και μέ τή διαδοχική ἀποβολή σωματιδίων τείνει νά μεταβληθεῖ σέ ἔνα σταθερό πυρήνα. "Ωστε:

**Οἱ ἀτομικοὶ πυρῆνες τῶν φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων εἰναι ἀσταθεῖς καὶ αὐτόματα μεταστοιχειώνονται ἐκπέμποντας σωματίδια (φυσική μεταστοιχείωση).**

### 100. Τό ποζιτρόνιο

Ξέρουμε ὅτι μέσα στὸν ἀτομικό πυρήνα ύπάρχουν μόνο πρωτόνια και νετρόνια. Σέ δρισμένες ὅμως περιπτώσεις μεταστοιχειώσεων βγαίνει μέσα ἀπό τὸν πυρήνα ἔνα νέο σωματίδιο, πού δνομάζεται **ποζιτρόνιο**. Αὐτό τὸ σωματίδιο ἔχει μάζα ἵση μὲ τή μάζα ( $m_e$ ) τοῦ ἡλεκτρονίου, ἀλλά ἔχει ἔνα θετικό στοιχειῶδες ἡλεκτρικό φορτίο ( $+e$ ). "Αρα τό ποζιτρόνιο είναι ἔνα ἀντιηλεκτρόνιο. Τό ποζιτρόνιο δέν ύπάρχει μέσα στὸν πυρήνα, ἀλλά σέ δρισμένες περιπτώσεις γεννιέται μέσα στὸν πυρήνα και ἀμέσως ἐκπέμπεται ἔξω ἀπό τὸν πυρήνα. Τό ποζιτρόνιο συμβολίζεται μέ  $+1e^0$  (ἢ  $e^+$ ).

**Γένεση τοῦ ποζιτρονίου.** Σέ μερικές περιπτώσεις μέσα στὸν πυρήνα ἔνα πρωτόνιο μετατρέπεται σέ **νετρόνιο**, πού ἔξακολουθεῖ νά παραμένει μέσα στὸν πυρήνα. Τό θετικό στοιχειῶδες φορτίο  $+e$  πού είχε τό πρωτόνιο τό παίρνει τό ποζιτρόνιο και τό μεταφέρει ἔξω ἀπό τὸν πυρήνα. "Η γένεση τοῦ ποζιτρονίου ἐκφράζεται μέ τήν ἀκόλουθη πυρηνική ἀντίδραση :



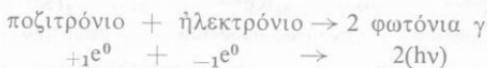
"Από τά παραπάνω συμπεραίνουμε τά ἔξῆς:

I. Τό ποζιτρόνιο ἔχει μάζα ἵση μὲ τή μάζα τοῦ ἡλεκτρονίου, ἀλλά ἔχει πάνω του ἔνα θετικό στοιχειῶδες ἡλεκτρικό φορτίο.

II. Τό ποζιτρόνιο γεννιέται μέσα στὸν πυρήνα, ὅταν ἔνα πρωτόνιο μετατρέπεται σέ νετρόνιο, και ἀμέσως ἀποβάλλεται ἀπό τὸν πυρήνα.

a. "Η ἔξαφάνιση τοῦ ποζιτρονίου Τό ποζιτρόνιο, μόλις βγεῖ ἀπό τὸν πυρήνα, ἔξαφανίζεται πολὺ γρήγορα (μέσα σέ χρονικό διάστημα μικρότερο ἀπό  $10^{-6}$  sec). Αὐτή ἡ ταχύτατη ἔξαφάνιση τοῦ ποζιτρονίου ὀφείλεται στήν ἔξῆς αιτίᾳ: "Η ὥλη ἀποτελεῖται ἀπό ἄτομα και μέσα σέ αὐτά κινεῖται ἔνα τεράστιο πλῆθος ἡλεκτρονίων. "Οταν τό ποζιτρόνιο ἀποβληθεῖ ἀπό

τόν πυρήνα, άμέσως βρίσκεται μέσα στό πληθος τῶν ήλεκτρονίων. Τό ποζιτρόνιο και τό πρῶτο ήλεκτρόνιο πού θά βρεθεῖ μπροστά του, ἐπειδή ἔχουν ἀντίθετα φορτία, ἔλκονται μεταξύ τους και συνενώνονται. Τότε ὀλόκληρη ἡ μάζα τῶν δύο ἑτερώνυμων ήλεκτρονίων μετατρέπεται σε ἰσοδύναμη ἐνέργεια δύο φωτονίων γ πού ἔχουν τήν ἴδια συχνότητα ν. Τό καθένα φωτόνιο ἔχει ἐνέργεια (hv) ἰσοδύναμη μέ τή μάζα ηρεμίας ( $m_e$ ) τοῦ ήλεκτρονίου.

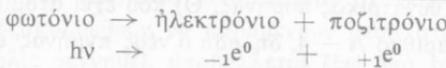


"Οταν τό ποζιτρόνιο ἔξαφανίζεται, τότε ἔξαφανίζεται μάζα ἵση μέ 2 $m_e$  και στή θέση της ἔμφανίζεται ἐνέργεια ἵση μέ 2(hv). Τά δύο φωτόνια προέρχονται ἀπό τήν ἔξασθλωση τῆς μάζας 2 $m_e$ . Αὐτή ἡ μετατροπή τῆς μάζας σέ ἐνέργεια γίνεται σύμφωνα μέ τήν ἔξισωση τοῦ Einstein  $E = mc^2$ . "Ωστε:

I. Ἡ ταχύτατη ἔξαφάνιση τοῦ ποζιτρονίου ὀφείλεται στήν ἔνωσή του μέ ἔνα ήλεκτρόνιο και τότε συμβαίνει μετατροπή τῆς μάζας τῶν δύο ἑτερώνυμων ήλεκτρονίων σέ ἰσοδύναμη ἐνέργεια δύο φωτονίων γ.

II. Καθένα ἀπό τά δύο φωτόνια ἔχει ἐνέργεια (hv) ἰσοδύναμη μέ τή μάζα ηρεμίας ( $m_e$ ) τοῦ ήλεκτρονίου.

β. Δίδυμη γένεση. Τό ήλεκτρόνιο και τό ποζιτρόνιο ἔχουν τήν ἴδια μάζα ηρεμίας ( $m_e$ ), πού ἰσοδυναμεῖ μέ ἐνέργεια 0,51 MeV. "Ενα φωτόνιο ἔχει ἐνέργεια hv διπλάσια ἀπό τήν παραπάνω ἐνέργεια, δηλαδή είναι  $hv = 1,02 \text{ MeV}$ . "Αν αὐτό τό φωτόνιο περάσει πολύ κοντά ἀπό ἔνα βαρύ πυρήνα, τότε ὀλόκληρη ἡ ἐνέργεια τοῦ φωτονίου μετατρέπεται σε ἰσοδύναμη μάζα ἐνός ποζιτρονίου και ἐνός ήλεκτρονίου. Αὐτά τά δύο σωματίδια γεννιοῦνται ἀπό τήν ὄλοποίηση τῆς ἐνέργειας πού μεταφέρει τό φωτόνιο, σύμφωνα μέ τήν ἔξισωση  $m = E/c^2$ . Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται δίδυμη γένεση ἡ γένεση ζεύγους ήλεκτρονίων.

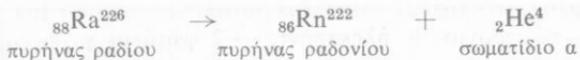


"Αν τό φωτόνιο ἔχει ἐνέργεια  $hv > 1,02 \text{ MeV}$ , τότε τό πλεόνασμα τῆς ἐνέργειας κατανέμεται ἔξισου στά δύο σωματίδια μέ τή μορφή κινητικῆς ἐνέργειας. "Ωστε:

"Από τήν ὄλοποίηση τῆς ἐνέργειας ἐνός φωτονίου, πού ἔχει ἐνέργεια τουλάχιστο ἵση μέ 1,02 MeV, σχηματίζεται ἔνα ζεύγος ἑτερώνυμων ήλεκτρονίων (ποζιτρόνιο, ήλεκτρόνιο).

## 101. 'Εξήγηση τῆς ἐκπομπῆς τῶν ἀκτινοβολιῶν

α. Οι δύο ἀρχές τῶν πυρηνικῶν ἀντιδράσεων. Ὁ πυρήνας ραδίου  $^{88}\text{Ra}^{226}$  ἐκπέμπει ἔνα σωματίδιο α, δηλαδὴ ἔναν πυρήνα ἡλίου  ${}_2\text{He}^4$  καὶ μεταστοιχειώνεται σὲ πυρήνα ραδονίου  $^{86}\text{Rn}^{222}$ . Αὐτή ἡ μεταστοιχείωση ἐκφράζεται μέ τὴν ἀκόλουθη πνοηνική ἀντίδραση:



Στήν πυρηνική αὐτή ἀντίδραση παρατηροῦμε τά ἔξης:

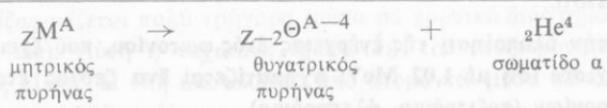
1) Ὁ μαζικός ἀριθμός  $A = 226$  τοῦ ἀρχικοῦ πυρήνα εἶναι ἵσος μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν μαζικῶν ἀριθμῶν τῶν προϊόντων τῆς ἀντιδράσεως. Αὐτό σημαίνει ὅτι κατὰ τὴν πυρηνική ἀντίδραση δέν μεταβάλλεται ὁ ἀριθμός τῶν νουκλεονίων.

2) Ὁ ἀτομικός ἀριθμός  $Z = 88$  τοῦ ἀρχικοῦ πυρήνα εἶναι ἵσος μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν ἀτομικῶν ἀριθμῶν τῶν προϊόντων τῆς ἀντιδράσεως. Αὐτό σημαίνει ὅτι κατὰ τὴν πυρηνική ἀντίδραση δέν μεταβάλλεται τό ἀρχικό ἡλεκτρικό φορτίο. Γενικά ἀποδεικνύεται ὅτι:

**Σέ κάθε πυρηνική ἀντίδραση ισχύουν δύο ἀρχές, ἡ ἀρχή τῆς διατηρήσεως τῶν νουκλεονίων καὶ ἡ ἀρχή τῆς διατηρήσεως τοῦ ἡλεκτρικοῦ φορτίου.**

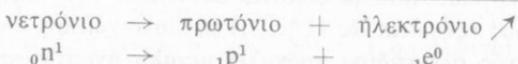
Ἡ μεταστοιχείωση ἐνός ραδιενεργοῦ πυρήνα εἶναι μιά πυρηνική ἀντίδραση, πού γίνεται αὐτόματα. Θά ἔξετάσουμε σέ γενικές γραμμές πῶς παράγονται οἱ ἀκτινοβολίες, ὅταν ἔνας ραδιενεργός πυρήνας μεταστοιχειώνεται.

β. Ἐκπομπή σωματιδίου α. Ὁ ἀρχικός πυρήνας (μητρικός πυρήνας,  $M$ ) ἔχει ἀτομικό ἀριθμό  $Z$  καὶ μαζικό ἀριθμό  $A$ , δηλαδὴ ὁ μητρικός πυρήνας εἶναι  $Z^M A$ . Αὐτός ὁ πυρήνας ἐκπέμπει ἔνα σωματίδιο α, δηλαδὴ ἔναν πυρήνα ἡλίου ( ${}_2\text{He}^4$ ). Ἔτσι ἀπό τὸν ἀρχικό πυρήνα δημιουργεῖται ἔνας νέος πυρήνας (θυγατρικός πυρήνας,  $\Theta$ ) πού ἔχει ἀτομικό ἀριθμό  $Z - 2$  καὶ μαζικό ἀριθμό  $A - 4$ , δηλαδὴ ὁ νέος πυρήνας εἶναι  $Z - 2 \Theta^{A-4}$ . Αὐτός ὁ πυρήνας ἀνήκει σέ ἄτομο ἄλλου στοιχείου. Ἐπομένως ἡ ἐκπομπή ἐνός σωματιδίου α προκαλεῖ μεταστοιχείωση καὶ ἐκφράζεται μέ τὴν πυρηνική ἀντίδραση:



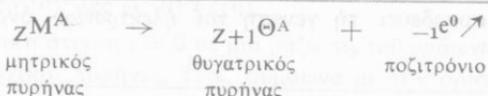
"Αν δέ θυγατρικός πυρήνας είναι καὶ αὐτός ἀσταθῆς, τότε θά συμβεῖ νέα ἐκπομπή σωματιδίου α καὶ ἐπομένως νέα μεταστοιχείωση.

γ. Ἐκπομπή ήλεκτρονίου. "Οπως ζέρουμε ὅ πυρήνας δέν περιέχει ήλεκτρόνια. "Αρα τό ήλεκτρόνιο (ἀκτίνες β) πού ἐκπέμπεται ἀπό τόν πυρήνα δημιουργεῖται μέσα στό μητρικό πυρήνα M. Αὐτό συμβαίνει, ὅταν ἔνα νετρόνιο μεταβάλλεται σέ πρωτόνιο πού ἔξακολουθεῖ νά παραμένει μέσα στόν πυρήνα. Τό ήλεκτρόνιο, μόλις δημιουργηθεῖ, ἐκτοξεύεται ἔξω ἀπό τόν πυρήνα μέ μεγάλη ταχύτητα. Ή γένεση τοῦ ήλεκτρονίου ἐκφράζεται μέ τήν ἀκόλουθη πυρηνική ἀντίδραση:



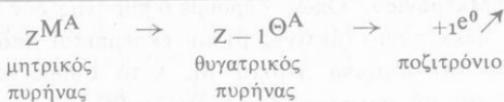
"Ετσι ἀπό τό μητρικό πυρήνα  $ZM^A$  σχηματίζεται ἔνας θυγατρικός πυρήνας, πού ἔχει τόν ἴδιο μαζικό ἀριθμό A, γιατί δέν ἄλλαξε ὁ ἀριθμός τῶν νουκλεονίων τοῦ πυρήνα, ἔχει δημος ἀτομικό ἀριθμό  $Z+1$ , γιατί αὐξήθηκε κατά μιά μονάδα ὁ ἀριθμός τῶν πρωτονίων. Ο θυγατρικός πυρήνας  $Z+1\Theta^A$  είναι *ισοβαρής* μέ τό μητρικό πυρήνα καὶ ἀνήκει σέ ἄτομο ἄλλου στοιχείου.

"Ἐπομένως ἡ ἐκπομπή ἑνός ήλεκτρονίου προκαλεῖ μεταστοιχείωση καὶ ἐκφράζεται μέ τήν πυρηνική ἀντίδραση:



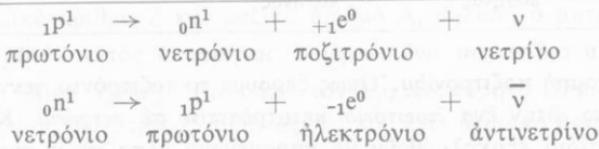
δ. Ἐκπομπή ποζιτρονίου. "Οπως ζέρουμε τό ποζιτρόνιο γεννιέται μέσα στόν πυρήνα, ὅταν ἔνα πρωτόνιο μετατρέπεται σέ νετρόνιο. Καὶ τά δύο αὐτά σωματίδια ἔξακολουθοῦν νά παραμένουν μέσα στόν πυρήνα, ἄλλα τό ποζιτρόνιο, μόλις γεννηθεῖ, ἀποβάλλεται ἔξω ἀπό τόν πυρήνα. "Ετσι ἀπό τό μητρικό πυρήνα  $ZM^A$  σχηματίζεται ἔνας θυγατρικός πυρήνας πού ἔχει τόν ἴδιο μαζικό ἀριθμό A, γιατί δέν ἄλλαξε ὁ ἀριθμός τῶν νουκλεονίων τοῦ πυρήνα, ἔχει δημος ἀτομικό ἀριθμό  $Z-1$ , γιατί ἐλαττώθηκε κατά μιά μονάδα ὁ ἀριθμός τῶν πρωτονίων. Ο θυγατρικός πυρήνας  $Z-1\Theta^A$  είναι *ισοβαρής* μέ τό μητρικό πυρήνα καὶ ἀνήκει σέ ἄτομο ἄλλου στοιχείου.

Έπομένως ή έκπομπή ένός ποζιτρονίου προκαλεῖ μεταστοιχείωση και έκφράζεται μέ τήν πυρηνική άντιδραση:



ε. Έκπομπή φωτονίου γ. "Όταν ένας ραδιενεργός πυρήνας μεταστοιχείωνται μέ τήν έκπομπή σωματιδίου α, ήλεκτρονίου ή ποζιτρονίου, πάντοτε αύτή ή μεταστοιχείωση συνοδεύεται από τήν έκπομπή ένός φωτονίου γ μέ μεγάλη ένέργεια. Αύτά τά φωτόνια άποτελούν τήν άκτινοβολία γ και ή παραγωγή τους έξηγεται ως έξης: Η μεταστοιχείωση ένός πυρήνα μέ τήν έκπομπή ένός σωματιδίου προκαλεῖ μεγάλη άναστάτωση μέσα στόν πυρήνα και γ' αυτό δ θυγατρικός πυρήνας πού σχηματίζεται, βρίσκεται σέ κατάσταση διεγέρσεως. Γιά νά έπανέλθει δ νέος πυρήνας στήν κανονική κατάσταση, άποβάλλει τό πλεόνασμα τής ένέργειας πού έχει πάνω του μέ τή μορφή ένός φωτονίου γ μεγάλης ένέργειας.

στ. Νετρίνο και άντινετρίνο. Τό ήλεκτρόνιο και τό ποζιτρόνιο δύνανται και σωματίδια β (ήλεκτρόνιο β-, ποζιτρόνιο β+). Θεωρητικά άποδείχτηκε και επειτα έπιβεβαιώθηκε και πειραματικά δτι κατά τή γένεση ένός σωματιδίου β μέσα στόν πυρήνα, ταυτόχρονα γεννιέται και ένα άλλο ούδετερο σωματίδιο, πού ή μάζα του θεωρεῖται ίση με μηδέν, γιατί είναι άσήμαντη σχετικά μέ τή μάζα του ήλεκτρονίου. Τό ούδετερο σωματίδιο πού συνοδεύει τή γένεση τοῦ ποζιτρονίου δνομάζεται νετρίνο (ν), ένω έκεινο πού συνοδεύει τή γένεση τοῦ ήλεκτρονίου δνομάζεται άντινετρίνο ( $\bar{\nu}$ ).



ζ. Γενικά συμπεράσματα γιά τήν έκπομπή τῶν άκτινοβολιῶν. Άπο τά παραπάνω καταλήγουμε στά άκόλουθα συμπεράσματα γιά τήν έκπομπή τῶν άκτινοβολιῶν άπό τούς ραδιενεργούς πυρήνες:

I. "Όταν ο ραδιενεργός πυρήνας έκπεμπει σωματίδιο α, ήλεκτρόνιο ή ποζιτρόνιο, συμβαίνει μεταστοιχείωση, η δποία πάντοτε συνοδεύεται από τήν έκπομπή φωτονίου γ, γιά νά μεταπέσει δ νέος πυρήνας άπό τήν κατάσταση διεγέρσεως στήν κανονική κατάσταση.

II. Τό ποζιτρόνιο ή τό ήλεκτρόνιο γεννιοῦνται μέσα στό ραδιενέργο πυρήνα καί ταυτόχρονα γεννιέται ἀντίστοιχα ἔνα νετρίνο (ν) ή ἔνα ἀντινετρίνο ( $\bar{\nu}$ ).

## 102. Νόμος τῆς ραδιενέργειας

a. Χρόνος ύποδιπλασιασμοῦ. Σὲ μιά ὄρισμένη χρονική στιγμή  $t = 0$ , ἔχουμε μιά μάζα  $m_0$  ἐνός ραδιενέργοῦ στοιχείου, π.χ. ραδίου 226 ( $Ra^{226}$ ). Στή μάζα αὐτή ἀρχικά ὑπάρχουν  $N_0$  πυρῆνες ραδίου. Ἐπειδή συνεχῶς πυρῆνες ραδίου διασπᾶνται, ὁ ἀρχικός ἀριθμός  $N_0$  τῶν πυρήνων ραδίου συνεχῶς ἐλαττώνεται. Στή διάρκεια ἐνός χρόνου  $T$  διασπᾶνται οἱ μισοί ἀπό τούς ἀρχικούς πυρῆνες ραδίου, δηλαδὴ διασπᾶνται  $N_0/2$  πυρῆνες. Ἔτσι κατά τή χρονική στιγμή  $t = T$  ἔχουν ἀπομείνει ἀδιάσπαστοι οἱ μισοί ἀπό τούς ἀρχικούς πυρῆνες, δηλαδὴ ἔχουν ἀπομείνει  $N_0/2$  πυρῆνες ραδίου. Ὁ χρόνος  $T$  εἶναι σταθερός καί ὀνομάζεται χρόνος ύποδιπλασιασμοῦ η ἡμιζωή τοῦ ραδίου. Γιά τό ράδιο 226 εἶναι  $T \approx 1620$  ἔτη. "Ωστε:

Χρόνος ύποδιπλασιασμοῦ ( $T$ ) η ἡμιζωή ἐνός ραδιενέργοῦ στοιχείου ὀνομάζεται ὁ χρόνος, μέσα στόν ὅποιο διασπᾶνται οἱ μισοί ἀπό τούς πυρῆνες ( $N_0$ ) πού ἀρχικά ὑπάρχουν σέ μιά μάζα ( $m_0$ ) τοῦ στοιχείου.

Ο χρόνος ύποδιπλασιασμοῦ εἶναι μιά σταθερή, χαρακτηριστική γιά κάθε ραδιενέργο στοιχείο (βλ. πίνακα σελ. 213) καί κυμαίνεται μεταξύ μεγάλων δρίων (ἀπό  $10^{-9}$  sec ὥς  $10^{10}$  ἔτη).

"Αν τή χρονική στιγμή  $t = 0$  σέ μιά μάζα  $m_0$  τοῦ ραδιενέργοῦ στοιχείου ὑπάρχουν  $N_0$  ἀρχικοί πυρῆνες, τότε, σύμφωνα μέ τόν ὄρισμό τοῦ χρόνου ύποδιπλασιασμοῦ  $T$ , οἱ ἀδιάσπαστοι πυρῆνες  $N$  πού ἀπομένουν κατά τή χρονική στιγμή  $t = T, 2T, 3T, \dots, nT$  εἶναι:

$$\begin{array}{ccccccccc} t: & 0 & T & 2T & 3T & \dots & nT \\ N: & N_0 & \frac{N_0}{2} & \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2} & \frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{2^3} & \dots & \frac{N_0}{2^n} \end{array}$$

"Ωστε τή χρονική στιγμή  $t = nT$  οἱ ἀδιάσπαστοι πυρῆνες  $N$  εἶναι :

ἀδιάσπαστοι πυρῆνες (γιά $t = nT$ )	$N = \frac{N_0}{2^n}$	(1)
--	-----------------------	-----

Μέ τόν ἴδιο ρυθμό ἐλαττώνεται καί ἡ ἀρχική μάζα  $m_0$  καί ἐπομένως

τή χρονική στιγμή  $t = nT$  άπομένει μάζα  $m$  του ραδιενεργού στοιχείου ίση μέ:

$$m = \frac{m_0}{2^n}$$

β. Νόμος της ραδιενέργειας "Αν κατά τή χρονική στιγμή  $t = 0$  ύπαρχουν  $N_0$  πυρήνες ένός ραδιενεργού στοιχείου, τότε κατά τή χρονική στιγμή  $t$  θά έχουν άπομείνει  $N$  άδιάσπαστοι πυρήνες και οι ίνπόλοιποι θά έχουν μεταστοιχειωθεί. Άποδεικνύεται ότι ισχύει ο έξης νόμος της ραδιενέργειας (η νόμος τῶν ραδιενεργῶν μετατροπῶν):

$$\text{νόμος της ραδιενέργειας } N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

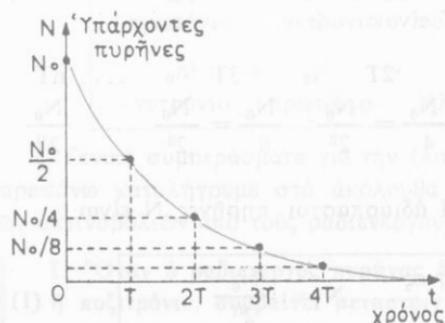
δπου  $e = 2,7$  είναι η βάση τῶν φυσικῶν λογαρίθμων και λ μιά σταθερή χαρακτηριστική γιά κάθε ραδιενεργό στοιχείο, η οποία δονομάζεται **σταθερή διασπάσεως** και είναι ίση μέ:

$$\text{σταθερή διασπάσεως } \lambda = \frac{0,693}{T}$$

Τό  $T$  είναι ο χρόνος ύποδιπλασιασμοῦ του ραδιενεργού στοιχείου. "Αν τή χρονική στιγμή  $t = 0$  ύπαρχουν  $N_0$  πυρήνες, τότε στή διάρκεια τῆς πρώτης χρονικῆς μονάδας διασπάται ένα ποσοστό  $\lambda$  άπο τούς πυρήνες  $N_0$ , δηλαδή οι πυρήνες πού διασπάνται είναι:

$$\text{διασπώμενοι πυρήνες } N_{\text{διασπ.}} = -\lambda \cdot N_0 / \text{κατά χρονική μονάδα}$$

Τό άρνητικό σημείο φανερώνει ότι στή διάρκεια τῆς χρονικῆς μονάδας (έτος, ήμέρα, δευτερόλεπτο) έλαττώνεται ο άρχικός άριθμός  $N_0$  τῶν πυρήνων. Ή καμπύλη τού σχήματος 135 έκφραζει τό νόμο της ραδιενέργειας.



Σχ. 135. Ο ρυθμός της έλαττώσεως τῶν ραδιενεργῶν πυρήνων.

"Άλλη μορφή τού νόμου της ραδιενέργειας. "Αν στήν έξισωση (1) βάλουμε  $n = t/T$ , βρίσκουμε μιά άλλη μορφή τού νόμου της ραδιενέργειας:

$$N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

γ. "Ενταση ραδιενεργού πηγῆς. Ή ραδιενέργεια μιᾶς ραδιενεργοῦ πηγῆς είναι άνάλογη μέ τόν άριθμό τῶν πυρήνων πού διασπάνται κατά δευτερόλεπτο, τή μετράμε μέ τή μονάδα πού ονομάζεται **κιουρί** (1 Curie, 1 Ci), καὶ ορίζεται ώς ἔξης:

**Μιά ποσότητα ἀπό οποιαδήποτε ραδιενεργό οὐσία ἔχει ἐνταση ραδιενέργειας ἵστη μέ 1 κιουρί, ὅταν σ' αὐτή τήν ποσότητα συμβαίνουν  $3,7 \cdot 10^{10}$  διασπάσεις πυρήνων κατά δευτερόλεπτο.**

$$1 \text{ κιουρί (1 Ci)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ διασπάσεις/sec}$$

Στήν πράξη χρησιμοποιοῦμε συνήθως τά ἔξης ὑποπολλαπλάσια τής μονάδας κιουρί:

$$1 \text{ μικροκιουρί (1 } \mu\text{Ci)} = 10^{-6} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ πικοκιουρί (1 pCi)} = 10^{-12} \text{ Ci}$$

### 103. Βιολογικά ἀποτελέσματα τῶν πυρηνικῶν ἀκτινοβολιῶν

"Ο ἄνθρωπος δέχεται τίς πνηγικές ἀκτινοβολίες πού προέρχονται ἀπό τό κοσμικό διάστημα (κοσμικές ἀκτίνες), ἀπό τά φυσικά ραδιενεργά στοιχεῖα πού περιέχονται στά πετρώματα καὶ ἀπό ραδιοϊστόπα πού ὑπάρχουν μέσα στούς ἴστούς (κάλιο 40, ἄνθρακας 14). Οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες προκαλοῦν βιολογικά ἀποτελέσματα πού δφείλονται κυρίως στόν ιονισμό πού συμβαίνει μέσα στούς ἴστούς. Ἀποτέλεσμα τοῦ ιονιμοῦ είναι ορισμένες βιοχημικές μεταβολές πού δημιουργοῦν πολύπλοκες διαταραχές. Αὐτές ἔχουν ώς συνέπεια νά ἐμφανιστοῦν ορισμένες παθήσεις (π.χ. λευχαιμία τραύματα τοῦ δέρματος κ.ἄ.).

Κατά γενικό κανόνα περισσότερο εὐαίσθητα στίς πυρηνικές ἀκτινοβολίες είναι τά κύτταρα πού ἀναπαράγονται γρήγορα. Οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες προκαλοῦν ἀποτελέσματα σωματικά, δηλαδή βλάβες στόν οργανισμό τοῦ ἴδιου τοῦ ἀτόμου, καὶ ἀποτελέσματα γενετικά, δηλαδή βλάβες στά δργανα ἀναπαραγωγῆς μέ συνέπεια ορισμένες μεταβολές στούς ἀπογόνους. Ἀποδείχτηκε δτι ὁ ἄνθρωπος σέ δλη τή διάρκεια τής ζωῆς του μπορεῖ νά προσλάβει ἀκίνδυνα μόνο μιά ορισμένη ποσότητα τής ζωῆς του μεταφέρουν οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες.

Οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες προσβάλλουν τόν ἀνθρώπινο δργανισμό μέ δύο τρόπους, πού ονομάζονται ἀκτινοβολία καὶ μόλυνση. "Οταν πάνω σ' ἔνα ἄτομο ᾥ (ἀντικείμενο) πέφτουν οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες, λέμε δτι τό ἄτομο παθαίνει ἀκτινοβολία. Αὐτή διαρκεῖ ὅσο χρόνο πέφτουν πάνω στό ἄτομο οἱ πυρηνικές ἀκτινοβολίες. "Οταν πάνω σέ διάφορα ἀντικεί-

μενα (π.χ. ένδύματα, τρόφιμα κ.ά.) έχουν κολλήσει ούσιες που έχουν ραδιενέργεια, λέμε ότι αυτά τά άντικείμενα έπαθαν μόλυνση. Ο άνθρωπος δργανισμός μπορεῖ νά πάθει είτε έξωτερική μόλυνση άπό ραδιενεργά σώματα που κόλλησαν πάνω στό σῶμα του είτε έσωτερική μόλυνση άπό ραδιενεργά σώματα που μπήκαν μέσα στόν δργανισμό μέ τις τροφές ή μέ τόν είσπνεόμενο άέρα. Ή μόλυνση διαρκεῖ σσο συνεχίζεται ή παρουσία τοῦ ραδιενεργοῦ σώματος.

#### 104. Οι σειρές τῶν φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων

Τά φυσικά ραδιοϊσότοπα κατατάσσονται σέ τεσσαρις σειρές, τοῦ οὐρανίου, τοῦ άκτινίου, τοῦ θορίου και τοῦ νεπτουνίου (βλ. πίνακα). Τό νεπτούνιο είναι τό πρώτο ύπερουράνιο στοιχείο που παρασκευάσαμε και φαίνεται ότι άλλοτε ύπηρχε στή Φύση, έπειδή ομως είναι σχετικά βραχύβιο έξαφανίσθηκε.

**Τά έλαφρά ραδιοϊσότοπα.** Τά φυσικά ραδιοϊσότοπα που έχουν άτομικό άριθμό  $Z$  μεγαλύτερο άπό 80 κατατάσσονται στίς παραπάνω τέσσερις σειρές. Άλλα στή Φύση βρέθηκαν και μερικά ραδιενεργά ίσότοπα που έχουν άτομικό άριθμό μικρότερο άπό 80, έκπεμπουν άσθενείς άκτινοβολίες και μεταστοιχειώνονται κυρίως μέ τήν έκπομπή ηλεκτρονίων. Από τά έλαφρά ραδιοϊσότοπα ένδιαφέροντα είναι ο ἄνθρακας 14 ( $C^{14}$ )

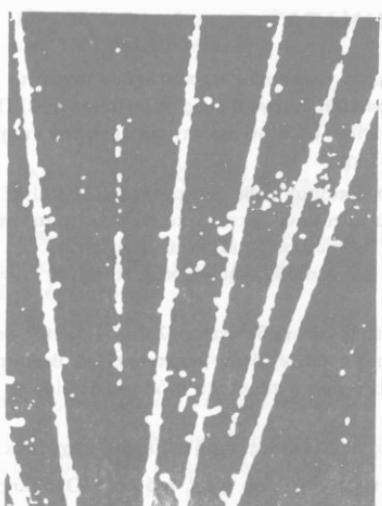
#### Τά φυσικά ραδιοϊσότοπα

Σειρά	Πρώτο μέλος	Τελικό προϊόν
Οὐρανίου	$_{92}U^{238}$	$_{82}Pb^{206}$
Άκτινίου	$_{89}Ac^{227}$	$_{82}Pb^{207}$
Θορίου	$_{90}Th^{232}$	$_{82}Pb^{208}$
Νεπτουνίου	$_{93}Np^{237}$	$_{83}Bi^{289}$

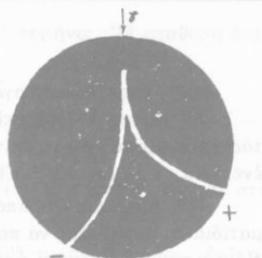
και τό κάλιο 40 ( $K^{40}$ ) που ύπάρχουν μέσα στούς ίστους τῶν δργανισμῶν (μέ άντιστοιχο χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ 5760 έτη και  $1,2 \cdot 10^9$  έτη).

#### 105. Η μελέτη τῶν πυρηνικῶν άκτινοβολιῶν

Γιά νά μελετήσουμε τίς πυρηνικές άκτινοβολίες, έφαρμόζουμε διάφορες μεθόδους οί όποιες βασίζονται στόν ιονισμό και στή διέγερση τῶν άτομων που προκαλοῦν οί πυρηνικές άκτινοβολίες, οταν διαδίδονται μέσα σέ ένα ήλικο. Τά σχήματα 136 και 137 δείχνουν τίς τροχιές φορτισμένων σωματιδίων που μποροῦμε νά τίς φωτογραφίζουμε.



Σχ. 136. Φωτογραφία τῶν τροχιῶν σωματιδίων α. Διακρίνονται τά ήλεκτρόνια πού ἔκτοξεύονται κατά τὸν ιονισμὸν τῶν μορίων τοῦ ἀερίου.



Σχ. 137. Φωτογραφία πού δείχνει τὴν ύλοποίηση τῆς ἐνέργειας ἐνός φωτονίου γ. Σχηματίστηκε ἔνα ηλεκτρόνιο ( $e^-$ ) καὶ ἔνα ποζιτρόνιο ( $e^+$ ), τά όποια, ἔξαιτιας τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου πού ὑπάρχει, διαγράφουν καμπύλες τροχιές μέν ἀντίθετη φορά.

### Ἡ σειρά τοῦ οὐρανίου

Ισότοπο	Χρόνος ύποδι- πλασιασμοῦ	Ἐνέργεια ἀκτινοβολίας σὲ MeV				
		α	β	γ		
Οὐράνιο	$^{92}_{\text{U}}\text{U}^{238}$	$4,5 \cdot 10^9$	y	4,18	—	0,045
Θόριο	$^{90}_{\text{Th}}\text{Th}^{234}$	24,1	d	—	0,19	0,09
Πρωτακτίνιο	$^{91}_{\text{Pa}}\text{Pa}^{234}$	1,14	min	—	2,32	1,50
Οὐράνιο	$^{92}_{\text{U}}\text{U}^{234}$	$2,48 \cdot 10^5$	y	4,76	—	0,055
Θόριο	$^{90}_{\text{Th}}\text{Th}^{230}$	$8,22 \cdot 10^4$	y	4,68	—	0,068
Ράδιο	$^{88}_{\text{Ra}}\text{Ra}^{226}$	1620	y	4,79	—	0,19
Ραδόνιο	$^{86}_{\text{Rn}}\text{Rn}^{222}$	3,825	d	5,49	—	—
Πολώνιο	$^{84}_{\text{Po}}\text{Po}^{218}$	3,05	min	5,998	—	—
Μόλυβδος	$^{82}_{\text{Pb}}\text{Pb}^{214}$	26,8	min	—	0,72	0,053
Βισμούθιο	$^{83}_{\text{Bi}}\text{Bi}^{214}$	19,7	min	5,44	3,15	0,426
Πολώνιο	$^{84}_{\text{Po}}\text{Po}^{214}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	sec	7,68	—	—
Μόλυβδος	$^{82}_{\text{Pb}}\text{Pb}^{210}$	25	y	—	0,025	0,047
Βισμούθιο	$^{83}_{\text{Bi}}\text{Bi}^{210}$	4,85	d	5,00	1,17	0,08
Πολώνιο	$^{84}_{\text{Po}}\text{Po}^{210}$	138	d	5,30	—	0,80
Μόλυβδος	$^{82}_{\text{Pb}}\text{Pb}^{206}$	σταθερό		—	—	—

(y = ἔτη, ἀπό τὸ year, καὶ d = ἡμέρες ἀπό τὸ day)

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

148. "Ενας ραδιενεργός πυρήνας έκπεμπει σωματίδια  $a$ , πού έχουν ταχύτητα  $v = 2 \cdot 10^7 \text{ m/sec.}$  1) Πόση είναι σέ MeV ή κινητική ένέργεια ένός σωματιδίου  $a$ ; 2) Πόση τάση χρειάζεται, για νά έπιταχνθεί ένα σωματίδιο  $a$  και νά άποκτήσει αυτή τήν κινητική ένέργεια;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb. } m_a = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kgr.}$

149. Βρήκαμε διτί από 1 gr ραδίου έκπεμπονται κάθε δευτερόλεπτο  $1,5 \cdot 10^{11}$  σωματίδια  $a$ . Αφήνουμε νά πέσουν πάνω σέ ένα μονωμένο μεταλλικό συλλέκτη τά σωματίδια  $a$  πού έκπεμπονται από 0,01 gr ραδίου. 'Ο συλλέκτης έχει χωρητικότητα  $C = 10^{-12} \text{ F}$ . Παρατηρούμε διτί μέσα σέ 1 sec ο συλλέκτης άποκτα δυναμικό  $U = 500 \text{ V}$ . Πόσο φορτίο έχει κάθε σωματίδιο  $a$ ;

150. Ξέρουμε διτί από 1 gr ραδίου έκπεμπονται κάθε δευτερόλεπτο  $1,5 \cdot 10^{11}$  σωματίδια  $a$ . 'Η κινητική ένέργεια αυτῶν τῶν σωματιδίων, διταν μετατραπεῖ σέ θερμότητα, δίνει 576 Joule τήν ώρα. Πόση είναι κατά μέσο δρο ή ταχύτητα ένός σωματιδίου  $a$ ;  $m_a = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ kgr.}$

151. Τά σωματίδια α πού έκπεμπει ένας ραδιενεργός πυρήνας έχουν ταχύτητα  $v = \sqrt{3} \cdot 10^7 \text{ m/sec}$  και στόν άέρα ή έμβλειά τους είναι ίση μέ  $l = 5 \text{ cm}$ . 'Ολόκληρη ή κινητική ένέργεια κάθε σωματιδίου χρησιμοποιείται γιά τόν ιονισμό τῶν μορίων τού άέρα τά όποια τό σωματίδιο συναντᾶ στό δρόμο του. Γιά τόν ιονισμό ένός μορίου τού άέρα πρέπει νά δαπανηθεί ένέργεια ίση μέ 25 eV. Κάθε σωματίδιο α πόσα ζεύγη ίόντων δημιουργεῖ κατά έκατοστόμετρο τής διαδρομῆς του;  $m_a = 6,67 \cdot 10^{-27} \text{ kgr.}$

152. 'Ο πυρήνας ούρανίου 238,  $_{92}\text{Pu}^{238}$ , μεταστοιχειώνται τελικά σέ πυρήνα μολύβδου 206,  $_{82}\text{Pb}^{206}$ , μέ μιά σειρά μεταστοιχειώσεων, κατά τίς όποιες έκπεμπονται καὶ σωματίδια  $a$  και ἡ ηλεκτρόνια. 1) Νά γραφει μιά συνοπτική πυρηνική άντιδραση, πού νά δείχνει τό σύνολο τῶν διασπάσεων. 2) Νά βρεθει πόσα σωματίδια  $a$  και πόσα ηλεκτρόνια έκπεμπονται, διταν συμβαίνουν αύτές οι διασπάσεις.

153. 'Από τήν ύλοποίηση τής ένέργειας ένός φωτονίου ( $h\nu$ ) σχηματίζεται ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο, πού τό καθένα έχει κινητική ένέργεια ίση μέ 0,09 MeV. 'Η μάζα ήρεμίας  $m_e$  τού ηλεκτρονίου και τού ποζιτρονίου ισοδυναμεῖ μέ ένέργεια 0,51 MeV. Πόση είναι ή ένέργεια τού φωτονίου, ή συχνότητα και τό μήκος κύματος;

154. Γιά τό πολώνιο 210 ( $\text{Po}^{210}$ ) ό χρόνος ύποδιπλασιασμού είναι  $T = 138,6 \text{ ήμέρες}$ . 'Από μιά άρχική μάζα  $m_0$  πολωνίου 210 ίση μέ  $m_0 = 0,8 \text{ mgr}$  πόση μάζα άπομένει έπειτα από χρονικό διάστημα  $t = 415,8 \text{ ήμέρες}$ ;

155. 'Έχουμε μιά άρχική μάζα  $m_0$  ραδονίου ( $\text{Rn}^{222}$ ). 'Εξαιτίας τῶν ραδιενεργῶν διασπάσεων έπειτα από χρονικό διάστημα  $t = 15,2 \text{ ήμέρες}$  άπομένει τό 1/16 τής άρχικης μάζας. Πόσος είναι γιά τό ραδονίο ό χρόνος ύποδιπλασιασμού  $T$ ;

156. "Ενα ραδιενεργό ίσότοπο ( $\text{Po}^{218}$ ) έχει χρόνο ύποδιπλασιασμού  $T = 3 \text{ min.}$  Πόσο τοις έκατο από τούς πυρήνες πού ύπάρχουν διασπάται στή διάρκεια 1 sec;

157. Σέ 1 gr ραδίου ( $\text{Ra}^{226}$ ) ύπάρχουν  $N_0 = 2,65 \cdot 10^{21}$  πυρήνες. 'Ο χρόνος ύποδιπλασιασμού τού ραδίου είναι  $T = 1600 \text{ έτη (y)}$  και ή σταθερή διασπάσεως είναι :

$$\lambda = \frac{0,693}{T} = \frac{0,693}{1600 \text{ y}} \quad \text{η} \quad \lambda = 43 \cdot 10^{-5} \text{ y}^{-1}$$

Στή διάρκεια ένός έτους (1 y) πόσοι πυρήνες διασπάνται κατά γραμμάριο ραδίου;

158. Σέ 1 gr ραδίου ( $\text{Ra}^{226}$ ) ύπάρχουν  $N_0 = 2,65 \cdot 10^{21}$  πυρήνες. Η σταθερή διασπάσεως τού ραδίου είναι :

$$\lambda = \frac{0,693}{7,24 \cdot 10^{10} \text{ sec}} \quad \text{ή} \quad \lambda = 1,73 \cdot 10^{-11} \text{ sec}^{-1}$$

Από άρχική μάζα ραδίου  $m_0 = 1 \text{ gr}$ , πόση μάζα ραδίου μεταστοιχειώνεται στή διάρκεια ένός δευτερολέπτου (1 sec) :

159. Σέ 1 mgr ραδίου  $\text{Ra}^{226}$  ύπάρχουν  $N_1 = 2,665 \cdot 10^{18}$  πυρήνες ραδίου, ένω σέ 1 mgr θορίου ( $\text{Th}^{232}$ ) ύπάρχουν  $N_2 = 2,596 \cdot 10^{18}$  πυρήνες θορίου. Η σταθερή διασπάσεως λείπει είναι αντίστοιχα :

$$\begin{aligned} \text{για τό ράδιο } \lambda_1 &= 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ sec}^{-1} \\ \text{για τό θόριο } \lambda_2 &= 1,58 \cdot 10^{-18} \text{ sec}^{-1} \end{aligned}$$

Πόσοι πυρήνες ραδίου και πόσοι πυρήνες θορίου διασπάνται στή διάρκεια 1 sec;

160. Σέ μιά μάζα  $m_0$  θορίου  $\text{Th}^{232}$  στή διάρκεια 1 sec διασπάται ό πυρήνας μόνο ένός άτομου. Πόσα άτομα ύπάρχουν σ' αυτή τή μάζα θορίου; Σταθερή διασπάσεως τού θορίου :  $\lambda = 1,58 \cdot 10^{-18} \text{ sec}^{-1}$

161. Τό τελικό προϊόν τῶν διαδοχικῶν μεταστοιχειώσεων τού οὐρανίου 238 ( $_{92}\text{U}^{238}$ ) είναι τό σταθερό ίστοτοπο μόδυβδος 206 ( $_{82}\text{Pb}^{206}$ ). 1) Πόσος είναι ό λόγος τῶν νετρονίων (N) πρός τά πρωτόνια (Z) σέ αύτούς τούς δύο πυρήνες; 2) Τί προσπαθεῖ νά πετύχει ξενας ραδιενεργός πυρήνας μέ τίς διαδοχικές μεταστοιχειώσεις του;

Δοτ (αι) απριγχητικό πρωτότοπο μόδυβδος 206 προσπαθεῖ νά γίνεται ηλεκτρικό θερμόμετρο μέσω θερμοπίνακα από την πρωτότοπη μέση γραμμή περιπολίας της περιφέρειας της Ελλάδος. Ο πρωτότοπος μόδυβδος 206 προσπαθεῖ νά γίνεται ηλεκτρικό θερμόμετρο μέσω θερμοπίνακα από την πρωτότοπη μέση γραμμή περιπολίας της περιφέρειας της Ελλάδος.

## Πυρηνικές άντιδράσεις

### 106. Πυρηνικές άντιδράσεις

Η φυσική μεταστοιχείωση πού παρατηρεῖται στά φυσικά ραδιενεργά στοιχεῖα δύνεται στό ότι οί πυρήνες μέ μεγάλο άτομικό άριθμό είναι άσταθεῖς και αύτόματα διασπάνται, γιά νά μεταπέσουν σέ σταθερούς πυρήνες. Άλλα και οί σταθεροί πυρήνες (π.χ. τού δέγυόνου, τού άζωτου) μποροῦν νά γίνουν άσταθεῖς πυρήνες, ἀν βομβαρδιστούν μέ κατάλληλα βλήματα. Τότε συμβαίνουν πυρηνικές άντιδράσεις και σχηματίζονται νέοι πυρήνες ή και σωματίδια. Μέ τήν πυρηνική άντιδραση προκαλοῦμε τεχνητή μεταστοιχείωση, δηλαδή τή μετατροπή τού ένός στοιχείου σέ άλλο. Κατά τίς πυρηνικές άντιδράσεις ισχύουν οί δύο άρχες, τής διατηρήσεως τῶν νουκλεονίων και τής διατηρήσεως τού ήλεκτρικού φορτίου.

Ιδιαίτερη άξια ώς βλήμα έχει τό νετρόνιο, ἐπειδή δέν έχει ήλεκτρικό φορτίο και μπορεῖ έλευθερα νά πλησιάζει τούς πυρήνες και νά ένωνται με

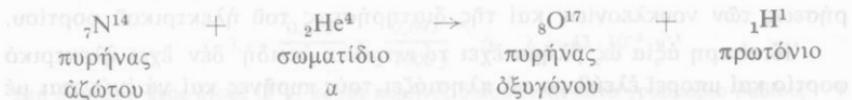
αύτούς. Άλλας ή πρόσθεση ένός νετρονίου σέ ενα σταθερό πυρήνα μεταβάλλει τόν πυρήνα σέ άσταθή και έτσι προκαλεῖται διάσπασή του.

"Άλλα βλήματα είναι τά σωματίδια πού έχουν θετικό φορτίο, όπως είναι τό πρωτόνιο ( $_1\text{H}^1$ ), τό δευτερόνιο ( $_1\text{H}^2$ ), τό σωματίδιο α ( $_2\text{He}^4$ ). Τά σωματίδια αύτά, για νά φτάσουν σέ ενα σταθερό πυρήνα, πρέπει νά έχουν μεγάλη κινητική ένέργεια, ώστε νά μπορέσουν νά ύπερνικήσουν τήν άπωση πού έξασκει πάνω τους τό ήλεκτρικό πεδίο τού σταθερού πυρήνα. Σημαντική κινητική ένέργεια έχουν τά σωματίδια α, πού έκπεμπονται άπο μερικά φυσικά ραδιοϊσότοπα (βλ. πίνακα σελ. 189). Σήμερα, για νά δημιουργήσουμε βλήματα μέ μεγάλη κινητική ένέργεια, χρησιμοποιούμε ειδικές διατάξεις, πού όνομάζονται έπιταχντές.

α. Έπιταχντές. "Ένα σωματίδιο μέ θετικό φορτίο, π.χ. ενα πρωτόνιο, άποκτα μεγάλη κινητική ένέργεια, ἄν έπιταχνθεῖ μέσα σέ ενα ήλεκτρικό πεδίο. "Αν ή τάση πού χρησιμοποιούμε είναι U, τότε τό πρωτόνιο άποκτα κινητική ένέργεια  $E_{\text{kin}} = eU$ . Έπειδή, όμως, δέν μπορούμε νά έχουμε πολύ μεγάλες τάσεις, γι' αύτό έπινοήσαμε διάφορες διατάξεις, στίς οποίες τό ήλεκτρικό πεδίο δίνει στό θετικά φορτισμένο σωματίδιο πολύ συχνές διαδοχικές έπιταχνσεις.

Ύπάρχουν δύο κατηγορίες έπιταχντών, οι εύθυγραμμοι και οι κυκλικοί έπιταχντές. Στούς εύθυγραμμους έπιταχντές ή ταχύτητα (v) τού σωματιδίου έχει πάντοτε τήν ίδια διεύθυνση, γιατί στό σωματίδιο έπιδρα μόνο τό ήλεκτρικό πεδίο. Στούς κυκλικούς έπιταχντές στό σωματίδιο έπιδρα έκτός άπο τό ήλεκτρικό πεδίο και ένα μαγνητικό πεδίο, πού δέ δίνει έπιτάχνση, άλλα δόηγει τό σωματίδιο πάνω σέ μιά κυκλική τροχιά. Τό σωματίδιο άποκτα έπιτάχνση ρυθμικά, π.χ. στό τέλος κάθε μισῆς στροφής. Τά σωματίδια α πού έκπεμπονται άπο τά φυσικά ραδιοϊσότοπα έχουν ένέργεια μικρότερη άπο 10 MeV (βλ. πίνακα σελ. 189), ένω μέ τούς σημερινούς έπιταχντές δημιουργούμε βλήματα πού ή ένέργειά τους φτάνει σέ δεκάδες ή και έκατοντάδες GeV (1 GeV =  $10^3$  MeV).

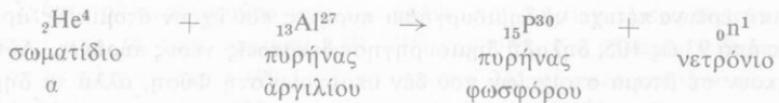
β. Η πρώτη τεχνητή μεταστοιχείωση. Ό Rutherford (1919) έκαμε τήν πρώτη πυρηνική άντιδραση και πέτυχε τήν πρώτη τεχνητή μεταστοιχείωση. Μέ σωματίδια α βομβάρδισε πυρήνες άζωτου και παρατήρησε ότι σχηματίστηκαν ιόντα άνδρογόνου, δηλ. πρωτόνια. Άργότερα διαπιστώθηκε ότι έκτός άπο τά πρωτόνια σχηματίζονται και πυρηνες άξυγονον. Τό πείραμα τού Rutherford έκφραζεται μέ τήν έξης πυρηνική άντιδραση:



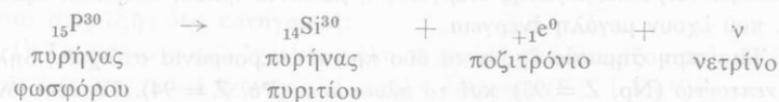
"Ωστε τό πείραμα τοῦ Rutherford άπέδειξε ότι μπορούμε νά πετύχουμε τήν τεχνητή μεταστοιχείωση τῶν σταθερῶν φυσικῶν πυρήνων.

### 107. Τεχνητή ραδιενέργεια

Σέ πολλές περιπτώσεις πυρηνικῶν άντιδράσεων ἐμφανίζονται νέοι πυρῆνες πού είναι ἀσταθεῖς καὶ αὐτόματα διασπᾶνται, γιά νά μεταβληθοῦν σέ σταθερούς πυρῆνες. Οἱ νέοι ἀσταθεῖς πυρῆνες μεταστοιχείωνται ἐκπέμποντας πυρηνικές ἀκτινοβολίες (σωματίδια α, ήλεκτρόνια, φωτόνια γ). "Ετσι δημιουργοῦνται τεχνητοί ραδιενεργοί πυρῆνες, πού ἀνήκουν σέ ἄξομα στοιχείων τά ὅποια είναι ίστοπα μέ τά σταθερά φυσικά στοιχεῖα. Αύτά τά καινούρια ίστοπα στοιχεῖα δέν ύπάρχουν στή Φύση, ἀλλά τά δημιουργοῦμε μέ δρισμένες πυρηνικές ἀντιδράσεις καὶ γι' αὐτό ὀνομάζονται τεχνητά ραδιοϊστόπα. Καὶ γιά τήν τεχνητή ραδιενέργεια ίσχύει ὁ νόμος τῆς ραδιενέργειας, δπως καὶ στή φυσική ραδιενέργεια. Κάθε τεχνητό ραδιοϊστόπο εἶχει χαρακτηριστικό χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ (T). "Eva παράδειγμα πυρηνικῆς ἀντιδράσεως, κατά τήν ὅποια δημιουργεῖται τεχνητό ραδιοϊστόπο είναι τό ἔξης: "Αν βομβαρδίσουμε μέ σωματίδια α τούς πυρῆνες ἀργιλίου, σχηματίζεται ραδιενεργός φωσφόρος καὶ νετρόνιο:



Ο πυρήνας τοῦ ραδιενεργοῦ φωσφόρου είναι ἀσταθής καὶ ἐκπέμποντας ἔνα ποζιτρόνιο καὶ ἔνα νετρίνο μεταστοιχείωνται σέ σταθερό πυρήνα πυριτίου.



Ο ραδιενεργός φωσφόρος  $\text{P}^{30}$  εἶχει χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ  $T = 2,5 \text{ min}$ .

Στόν πίνακα τῆς σελίδας 194 ἀναφέρονται μερικοί ίστοποι πυρῆνες. "Οσοι σημειώνονται μέ μαῦρα στοιχεῖα δημιουργήθηκαν μέ πυρηνικές ἀντιδράσεις καὶ είναι ἀσταθεῖς (τεχνητά ραδιοϊστόπα).

11. Ο πυρήνης πυριτίου  $\text{Fe}^{30}$  εἶναι πολύτιμη πηγή μέταλλου γιά την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, ἵνα μέ τεχνητούς νετρίνους  $\text{Fe}^{32}$  μετατυπώνεται σε  $\text{Fe}^{30}$  παραγόμενος  $\text{Fe}^{30}$  παραγόμενος

## Μερικοί ίστοτοποι πυρήνες

Άτομικός άριθμός Z	Στοιχείο	Μαζικός άριθμός A	Ηλεκτρόνια Z	Πρωτόνια Z
1	H	1 2 3	1	1
2	He	3 4 5 6	2	2
3	Li	6 7 8	3	3
4	Be	7 8 9 10	4	4
5	B	8 9 10 11 12	5	5
6	C	10 11 12 13 14	6	6
7	N	12 13 14 15 16 17	7	7
8	O	14 15 16 17 18 19	8	8

## 108. Τά ύπερουράνια στοιχεῖα

Στή Φύση ό βαρύτερος πυρήνας είναι ό πυρήνας τοῦ ούρανίου 238, δηλαδή ό πυρήνας  $^{92}\text{U}^{238}$  πού έχει άτομικό άριθμό  $Z = 92$ . Ή πειραματική έρευνα πέτυχε νά δημιουργήσει πυρήνες πού έχουν άτομικούς άριθμούς από 93 ώς 105, δηλαδή δημιούρηγησε δεκατρεῖς νέους πυρῆνες. Αύτοί άνήκουν σέ ατόμα στοιχείων πού δέν ένπάρχουν στή Φύση, άλλα τά δημιουργούμε μέ δρισμένες πυρηνικές άντιδράσεις. Τά στοιχεῖα αυτά δονομάζονται ύπερουράνια στοιχεῖα, είναι δόλα ραδιενέργα και σχηματίζονται, δταν πυρῆνες τοῦ ούρανίου η άλλου ύπερουράνιου στοιχείου βομβαρδίζονται μέ νετρόνια μεγάλης ένέργειας η μέ ιόντα ήλιον, ανθρακα, άζωτου κ.α. πού έχουν μεγάλη ένέργεια.

Ίδιαίτερη σημασία έχουν τά δύο πρώτα ύπερουράνια στοιχεῖα, δηλατό νεπτούνιο ( $\text{Np}$ ,  $Z = 93$ ) και τό πλουτάνιο ( $\text{Pu}$ ,  $Z = 94$ ). Τό νεπτούνιο σχηματίζεται, δταν οί πυρῆνες ούρανίου 238 βομβαρδίζονται μέ νετρόνια. Τότε σχηματίζεται ο άσταθής πυρήνας ούρανίου 239, πού μεταστοιχειώνεται σέ πυρήνα νεπτούνιου 239. Αύτός ό πυρήνας μεταστοιχειώνεται τελικά σέ πυρήνα πλουτωνίου 239. Τό ίστοτο αυτό έχει χρόνο ύποδιπλασιασμού  $T = 24\,000$  έτη και παίζει σήμερα σπουδαῖο ρόλο στήν έκμετάλλευση τής πυρηνικής ένέργειας. Οί παραπάνω ένδιαφέρουσες μεταστοιχειώσεις έκφραζονται σχηματικά ώς έξης:



Οι δύο πυρήνες ούρανίου είναι *ἰσότοποι*, ένω οι πυρήνες του νεπτουπτουνίου και τού πλουτωνίου είναι *ἰσοβαρεῖς*

Τά γνωστά ύπερουράνια στοιχεία είναι τά έξης:

93 Νεπτούνιο	Np	98 Καλιφόρνιο	Cf	103 Λωρέντσιο	Lw
94 Πλουτώνιο	Pu	99 Ἀϊνστάνιο	Es	104 Κουρτσατόβιο	Ku
95 Ἄμερικιο	Am	100 Φέρμιο	Fm	105 Χάνιο	Ha
96 Κιούριο	Cm	101 Μεντελέβιο	Md		
97 Μπερκέλιο	Bk	102 Νομπέλιο	No		

### 109. Σχάση τῶν βαριῶν πυρήνων

Οι βαριοί πυρήνες, ὅταν βομβαρδίζονται μέ σωματίδια (νετρόνια, πρωτόνια, δευτερόνια, σωματίδια α) ή και μέ φωτόνια γ πολύ μεγάλης ἐνέργειας ( $hv > 5 \text{ MeV}$ ), διασπώνται σέ δύο ἄλλους πυρῆνες πού ἔχουν περίπου ίσες μάζες. Τό φαινόμενο αὐτό δονομάζεται **σχάση**. Μερικοί βαριοί πυρῆνες και κυρίως πυρῆνες πού ἀνήκουν σέ πολλά ύπερουράνια ισότοπα παθαίνουν αὐτόματη σχάση, χωρίς νά προηγηθεῖ βομβαρδισμός τους μέ σωματίδια. "Ωστε ή σχάση είναι ἔνα φαινόμενο πού ἐμφανίζεται κυρίως στούς βαριούς πυρῆνες. Ιδιαίτερη σημασία ἔχει ή σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου.

Σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου. Τό ούρανιο πού βρίσκουμε στή Φύση ἀποτελεῖται ἀπό τά τρία ισότοπα  $U^{238}$ ,  $U^{235}$  και  $U^{234}$ . Τό ούρανιο 238 ὑπάρχει σέ μεγάλη ἀναλογία (99,3 %), τό ούρανιο 235 σέ πολύ μικρή ἀναλογία (0,7 %) και τό ούρανιο 234 σέ ἀσήμαντη ἀναλογία (0,006 %).

"Οταν οι πυρῆνες ούρανίου 238 και ούρανίου 235 συλλάβουν ἔνα νετρόνιο, τότε συμβαίνει σχάση αὐτῶν τῶν δύο πυρήνων. Τά νετρόνια πού μποροῦν νά προκαλέσουν τή σχάση τῶν δύο πυρήνων ούρανίου, κατατάσσονται στίς έξης δύο κατηγορίες:

1) Τά νετρόνια πού ἔχουν μεγάλη ταχύτητα και δονομάζονται *νετρόνια ψηλῆς ἐνέργειας*, γιατί ἔχουν πολύ μεγάλη ἐνέργεια ( $E > 1 \text{ MeV}$ ).

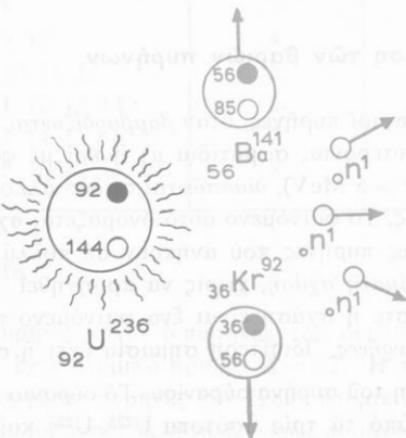
2) Τά νετρόνια πού ἔχουν μικρή ταχύτητα και δονομάζονται *θερμικά νετρόνια*, γιατί ἔχουν μικρή ἐνέργεια ( $0,025 \text{ eV}$ ) τήσ περίπου μέ τήν ἐνέργεια πού ἔχουν τά μόρια τῶν ἀερίων ἐξαιτίας τής θερμικῆς κινήσεώς τους. 'Αποδείχτηκε ὅτι:

I. 'Ο πυρήνας ούρανίου 235 παθαίνει σχάση κυρίως μέ θερμικά νετρόνια.

II. 'Ο πυρήνας ούρανίου 238 παθαίνει σχάση μόνο μέ νετρόνια ψηλῆς ἐνέργειας, ένω μέ τά θερμικά νετρόνια μεταστοιχειώνεται σέ πυρήνα νεπτουνίου (Np) και τελικά σέ πυρήνα πλουτωνίου (Pu).

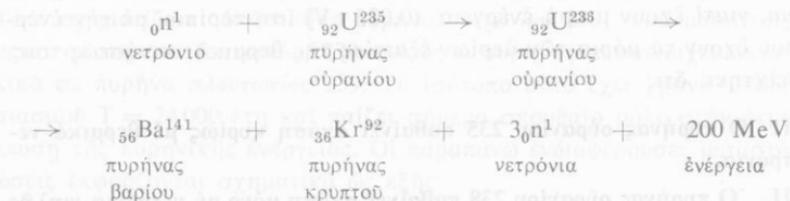
### 110. Σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου 235

α. Προϊόντα τῆς σχάσεως. Ἡ σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου μέ τά θερμικά νετρόνια ἔχει σήμερα μεγάλες ἐφαρμογές. "Οταν ὁ πυρήνας ούρανίου 235 συλλάβει ἔνα θερμικό νετρόνιο, τότε σχηματίζεται ὁ πυρήνας οὐρανίου 236 πού εἶναι ἀσταθῆς καὶ ἀμέσως διασπᾶται σέ δύο μικρότερους πυρήνες πού ὁ καθένας ἔχει μάζα περίπου ἵση μὲ τή μισή μάζα τοῦ ἀρχικοῦ πυρήνα. Ταυτόχρονα ἐλευθερώνονται μερικά νετρόνια (σχ. 138). Οἱ δύο νέοι πυ-



Σχ. 138. Σχηματική παράσταση τῆς σχάσεως τοῦ πυρήνα ούρανίου 235 σέ πυρήνα βαρίου 144 καὶ πυρήνα κρυπτοῦ 89.

ρήνες ἐκτοξεύονται μέ μεγάλη ταχύτητα καὶ ἐπομένως ἔχουν μεγάλη κινητική ἐνέργεια, ἡ ὁποία τελικά μετατρέπεται σέ θερμότητα. Οἱ δύο νέοι πυρήνες εἶναι φασιεροί καὶ με μιά σειρά διαδοχικῶν μεταστοιχειώσεων καταλήγουν σέ σταθερούς πυρήνες. Ἡ ἐπόμενη πυρηνική ἀντίδραση ἐκφράζει ἔναν τρόπο σχάσεως τοῦ πυρήνα ούρανίου 235:



\*Από τά παραπάνω βγάζουμε τό ἑξῆς συμπέρασμα:

Ο πυρήνας ούρανίου 235, όταν συλλάβει ένα θερμικό νετρόνιο, μεταβάλλεται σέ ασταθή πυρήνα ούρανίου 236, ό όποιος άμεσως διασπάται σέ δύο νέους ραδιενεργούς πυρήνες και ταυτόχρονα έκπεμπονται νετρόνιακαί έλευθερώνεται μεγάλη ένέργεια (200 MeV κατά πυρήνα ούρανίου 235).

β. Μορφή της ένέργειας πού έλευθερώνεται. Από κάθε διασπώμενο πυρήνα ούρανίου 235 έλευθερώνεται ένέργεια 200 MeV (βλ. πίνακα). Από αυτή την ένέργεια τά 190 MeV είναι κινητική ένέργεια σωματιδίων (νέοι πυρήνες, νετρόνια, ήλεκτρόνια) και ένέργεια φωτονίων γ. Αύτές δημοσιεύονται άπο τήν ίδη, μετατρέπονται σέ θερμότητα πού μπορούμε άμεσως νά τήν έκμεταλλευτούμε. Μόνο η ένέργεια τῶν άντινετρίνων, πού συνοδεύουν τήν έκπομπή τῶν ήλεκτρονίων, διαφεύγει. "Ωστε :

Ένέργεια πού έλευθερώνεται κατά τή σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου 235

Μορφή της ένέργειας	Ένέργεια σε MeV
Κινητική ένέργεια νέων πυρήνων	168,8
Κινητική ένέργεια νετρονίων	5,0
Κινητική ένέργεια ήλεκτρονίων	4,8
Ένέργεια φωτονίων γ	11,4
Ένέργεια άντινετρίνων	10,0
Σύνολο	200

Από τήν ένέργεια πού έλευθερώνεται κατά τή σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου 235 τά 95 % αυτῆς της ένέργειας μετατρέπονται άμεσως σέ έκμεταλλεύσιμη θερμότητα.

γ. Προέλευση της πυρηνικής ένέργειας. Η ένέργεια πού έλευθερώνεται κατά τή σχάση τοῦ πυρήνα δύναμέται πυρηνική ένέργεια. Θά ξετάσουμε άπο πού προέρχεται αυτή η ένέργεια. "Οπως ξέρουμε, μιά μάζα  $m$  ισοδύναμε μέ ένέργεια  $E = mc^2$ . Κατά τή σχάση ένός πυρήνα ούρανίου 235 βρίσκουμε ότι τό άθροισμα τῶν μαζῶν δλων τῶν προϊόντων της σχάσεως είναι μικρότερο άπο τή μάζα τοῦ άσταθούς πυρήνα ούρανίου 236 (βλ. πυρηνική άντιδραση σχάσεως)." Ωστε, όταν συμβαίνει σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου 235 παρουσιάζεται μιά άπωλεια μάζας Δm. Αύτή η μάζα Δm μετετρέπεται σέ ίσοδύναμη ένέργεια (πυρηνική ένέργεια) σύμφωνα μέ τήν έξισσωση

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Είδαμε ότι άπο κάθε διασπώμενο πυρήνα ούρανίου 235 έλευθερώνεται

ένέργεια 200 MeV. Αυτή ή ένέργεια είναι τεράστια. Εύκολα βρίσκουμε ότι κατά τή διάσπαση τῶν πυρήνων πού περιέχονται σέ ἓνα γραμμάριο ούρανίου 235 έλευθερώνεται ένέργεια ΐση με  $8,2 \cdot 10^{10}$  Joule (δηλαδή περίπου 23 000 kWh). Άπο τά παραπάνω καταλήγουμε στά έξης συμπεράσματα:

**I.** Η πυρηνική ένέργεια πού έλευθερώνεται κατά τή σχάση τῶν πυρήνων ούρανίου 235 πρόερχεται από τή μετατροπή έλαχιστης πυρηνικής μάζας σέ ίσοδύναμη ένέργεια.

**II.** Η πυρηνική ένέργεια πού έλευθερώνεται κατά τή σχάση τοῦ πυρήνα ούρανίου 235 είναι τεράστια ( $8,2 \cdot 10^{10}$  Joule κατά γραμμάριο).

**δ.** Άλλοι πυρήνες διασπώμενοι μέθερμικά νετρόνια. Άπο τή σχάση τῶν πυρήνων ούρανίου 235 παίρνουμε έκμεταλλεύσιμη πυρηνική ένέργεια. Άλλα τό ούράνιο 235 είναι ἓνα σπάνιο φυσικό ίσότοπο. Πειραματικά ἀποδείχτηκε ότι:

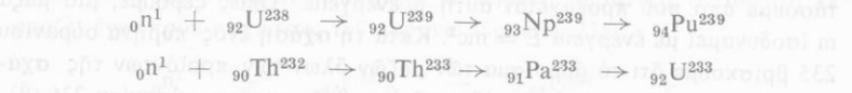
Μέθερμικά νετρόνια παθαίνουν σχάση μόνο οι πυρήνες τοῦ ούρανίου 235, τοῦ πλουτωνίου 239 καὶ τοῦ ούρανίου 233.

Τό πλουτώνιο 239 καὶ τό ούράνιο 233 δέν ύπάρχουν στή Φύση καὶ τά δημιουργοῦμε μέ δρισμένες πυρηνικές ἀντιδράσεις.

Τό πλουτώνιο 239 σχηματίζεται, όταν τό ούράνιο 238 (πού είναι ἄφθονο) βομβαρδίζεται μέ νετρόνια κατάλληλης ένέργειας. Αυτό συμβαίνει μέσα στούς πυρηνικούς ἀντιδραστήρες καὶ ἔτσι μποροῦμε νά ξχουμε ἀρκετό πλουτώνιο, πού είναι μακρόβιο ( $T = 24\,000$  ἔτη).

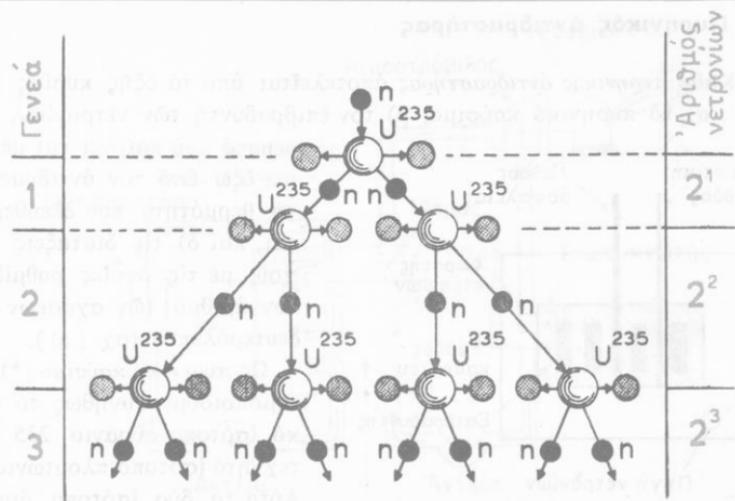
Τό ἄλλο σχηματίσιμο ίσότοπο, δηλαδή τό ούράνιο 233, πού καὶ αὐτό είναι μακρόβιο ( $T = 163\,000$  ἔτη), τό παίρνουμε βομβαρδίζοντας μέ νετρόνια τό φυσικό ίσότοπο θόριο 232.

Σχηματικά ή παραγωγή τοῦ πλουτωνίου 239 καὶ τοῦ ούρανίου 233 έχει ώς έξης:



### 111. Άλυσιδωτή ἀντίδραση

Κατά τή σχάση ένός πυρήνα ούρανίου 235 έλευθερώνονται δύο ώς τρία νετρόνια. Άς δεχθοῦμε ότι μέσα σέ μιά μάζα ούρανίου 235 έλευθερώνονται 2 νετρόνια (πρώτη γενεά) από ἓναν πυρήνα ούρανίου πού ἀρχικά διασπᾶται. Άν αὐτά τά 2 νετρόνια συναντήσουν δύο πυρήνες ούρανίου

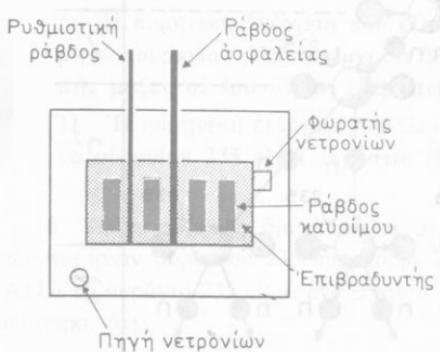


Σχ. 139. Άλυσιδωτή άντιδραση συμβαίνει, δταν τά νετρόνια κάθε γενεᾶς προκαλούν καινούριες σχάσεις πυρήνων ούρανου

235, θά προκαλέσουν δύο καινούριες σχάσεις και τότε θά έλευθερωθούν 4 νετρόνια ή  $2^2$  νετρόνια (δεύτερη γενεά). Αυτά τά 4 νετρόνια θά προκαλέσουν τέσσερις καινούριες σχάσεις και έτσι θά σχηματιστούν  $2^3$  νετρόνια (τρίτη γενεά) κ.ο.κ. "Ωστε ή έβδομηκοστή γενεά θά άποτελεῖται από  $2^{70}$  νετρόνια ( $12 \cdot 10^{20}$  νετρόνια), πού θά προκαλέσουν ίσαριθμες σχάσεις. Αυτή ή αύτοσυντηρούμενη πυρηνική άντιδραση δονομάζεται άλυσιδωτή άντιδραση (σχ. 139). Ό χρόνος πού μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικῶν γενεῶν νετρονίων είναι έλάχιστος (της τάξεως τοῦ  $10^{-9}$  sec). Επομένως, οι παραπάνω έβδομήντα γενεές νετρονίων παράγονται μέσα σέ χρονικό διάστημα μικρότερο από τό ένα έκατομμυριοστό τοῦ δευτερολέπτου. Άλλα μέσα σέ αυτό τό έλάχιστο χρονικό διάστημα έλευθερώνεται τεράστια ποσότητα ένεργειας, δηλαδή συμβαίνει έκρηξη (άτομική βόμβα). "Αν δώμας, μπορέσουμε νά έπιδράσουμε στήν έξέλιξη τῶν σχάσεων έτσι, ώστε έπειτα από κάθε σχάση πυρήνα ούρανίου 235 ένα καὶ μόνο νετρόνιο νά προκαλεῖ καινούρια σχάση, τότε ο ἀριθμός τῶν σχάσεων διατηρεῖται σταθερός καὶ ή άλυσιδωτή άντιδραση είναι έλεγχόμενη. Αυτό τό πετυχαίνουμε στόν πυρηνικό άντιδραστήρα.

## 112. Πυρηνικός άντιδραστήρας

Κάθε πυρηνικός άντιδραστήρας άποτελείται από τά εξής κυρίως στοιχεία : α) τό πυρηνικό καύσιμο, β) τόν έπιβραδυντή τῶν νετρονίων, γ) τό



Σχ. 140. Σχηματική παράσταση πυρηνικού άντιδραστήρα. Οι ράβδοι άσφαλειας και έλέγχου είναι τελείων κατεβασμένες μέσα στόν άντιδραστήρα, ή πηγή τῶν νετρονίων έχει άπομακρυνθεί από τό πυρηνικό καύσιμο κι έτσι ο άντιδραστήρας δέν λειτουργεί.

καθώς δύως περνοῦν μέσα από τόν έπιβραδυντή συγκρούονται μέτά τά από μα τού έπιβραδυντή και τελικά μεταβάλλονται σέ θερμικά νετρόνια. Τό πυρηνικό καύσιμο έχει τή μορφή ράβδων και βυθίζεται μέσα στόν έπιβραδυντή.

Ως ρευστό μεταφορᾶς τῆς θερμότητας χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο ύγρο ή άέριο, πού θερμαίνεται και μεταφέρει έξω από τόν άντιδραστήρα τεράστια ποσότητα θερμότητας. Αύτή προκαλεῖ τήν έξαέρωση νερού. Οι ύδρατμοι πού παράγονται κινοῦν άτμοστρόβιλο (τουρμπίνα), δύο όποιος έξασφαλίζει τή λειτουργία μιᾶς γεννήτριας ήλεκτρικοῦ ρεύματος (σχ. 141) η τήν κίνηση πλοίου.

Οι διατάξεις έλέγχου είναι ράβδοι από κάδμιο ή βόριο. Αύτά τά δύο στοιχεία έχουν τήν ίδιότητα νά άπορροφούν ισχυρά τά νετρόνια.

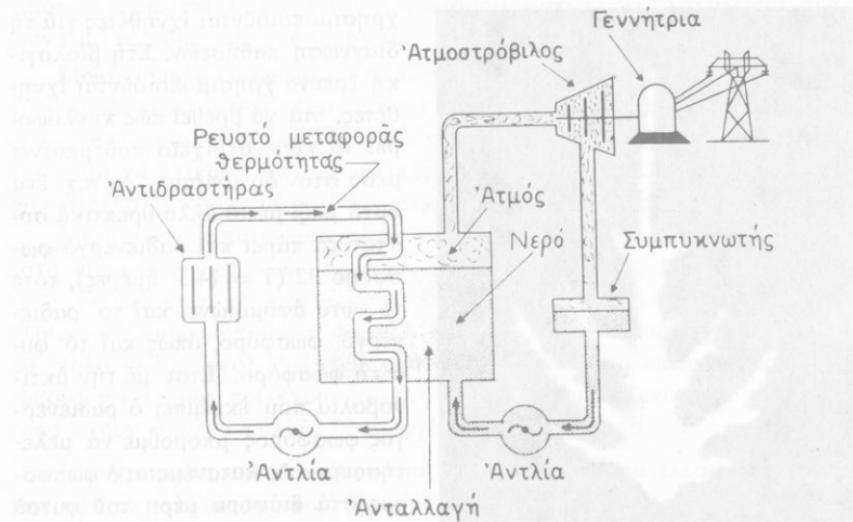
Σήμερα υπάρχουν διάφοροι τύποι πυρηνικῶν άντιδραστήρων. Οι άντιδραστήρες ίσχυός χρησιμοποιούνται γιά τήν παραγωγή ήλεκτρικοῦ ρεύματος ή γιά τήν κίνηση μεγάλων πλοίων και ύποβρυχίων. Οι άντιδραστή-

ρευστό πού παίρνει και μεταφέρει έξω από τόν άντιδραστήρα τή θερμότητα πού έλευθερώνεται, και δ) τίς διατάξεις έλέγχου, μέτις όποιες ρυθμίζουμε τόν άριθμό τῶν σχάσεων κατά δευτερόλεπτο (σχ. 140).

Ως πυρηνικό καύσιμο (\*) χρησιμοποιούμε συνήθως τό φυσικό ίσότοπο ούρανιο 235 ή τό τεχνητό ίσότοπο πλούτινο 239. Αύτά τά δύο ίσότοπα διασπώνται μέθερμικά νετρόνια.

Γιά έπιβραδυντή χρησιμοποιούμε συνήθως μαρύ νερό ή γραφίτη. Τά νετρόνια πού παράγονται κατά τή σχάση έχουν μεγάλη ένέργεια (πάνω από 1 MeV),

(\*) Κατ' άναλογία μέτις κλασικές πηγές παραγωγής θερμικής ένέργειας (γαιάνθρακας, πετρέλαιο, γαιαέρια κ.ά.).



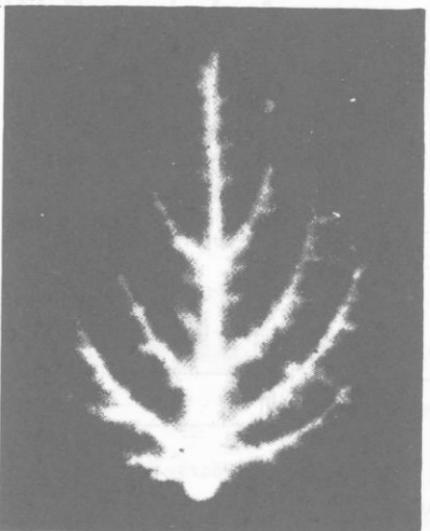
Σχ. 141. Σχηματική παράσταση έγκαταστάσεως που παράγει ήλεκτρική ένέργεια από πυρηνική ένέργεια.

Ως έρευνας χρησιμοποιούνται για έπιστημονικές έρευνες. Τέτοιος άντιδραστήρας υπάρχει στο Ελληνικό Κέντρο Πυρηνικῶν Έρευνῶν «Δημόκριτος» και είναι τύπου «κολυμβητικῆς δεξαμενῆς», δηλαδή οι ράβδοι ουρανίου είναι βυθισμένες μέσα στο νερό, που είναι και ο έπιβραδυτής.

### 113. Έφαρμογές τῶν τεχνητῶν ραδιοϊστόπων

Σε πολλές έφαρμογές χρησιμοποιούμε τεχνητά ραδιοϊστόπα, δηλαδή ραδιενέργυα ίστοπα τῶν φυσικῶν στοιχείων, π.χ. τοῦ ιωδίου, τοῦ νατρίου, τοῦ φωσφόρου, τοῦ χρυσοῦ κ.ἄ. Συνήθως τά ραδιοϊστόπα παρασκεύαζονται μέ τόν πυρηνικό άντιδραστήρα. Τοποθετοῦμε τά φυσικά στοιχεῖα μέσα στόν άντιδραστήρα και τότε οι πυρήνες βομβαρδίζονται μέ νετρόνια και μεταστοιχειώνονται σέ ραδιενέργονύς πυρηνές.

**Ίχνηθέτες.** Τά ραδιοϊστόπα, μέ τήν άκτινοβολία που έκπεμπουν, δείχνουν τήν παρουσία τους και ἔτσι μποροῦμε νά παρακολουθήσουμε τήν πορεία ένός φαινομένου. Σ' αὐτή τήν περίπτωση τά ραδιοϊστόπα δονομάζονται ίχνηθέτες. Μέ αὐτούς μποροῦμε π.χ. νά παρακολουθήσουμε τή ροή ένός ύγρου ή τή μετακίνηση τῆς ἄμμου σέ ἔναν κόλπο κ.ἄ. Ίχνηθέτες χρησιμοποιοῦν και οι βιομηχανίες που κατεργάζονται μίγματα (ὅπως είναι τά ψιλικά τοῦ τσιμέντου, τῶν λιπασμάτων, τοῦ γυαλιοῦ κ.ἄ.). Στήν Ιατρική



Σχ. 142. Αύτοραδιογράφημα φύλλου ξπειτα  
άπό τήν άφομοίωση τοῦ ραδιενεργοῦ φω-  
σφόρου.

η τά λείψανα δργανισμῶν (κόκκαλα, ἀπολιθώματα, ξύλο, στάχτη), μποροῦμε νά προσδιορίσουμε πότε σχηματίστηκαν αὐτά τά δρυκτά η πότε έζησαν δρισμένα ζῶα και φυτά. Ετσι ἀπό τό ρυθμό μέ τόν δόποιο τό οὐράνιο  $^{238}$  (U) μεταστοιχειώνεται τελικά σέ σταθερό μόλυβδο 206 (Pb) βρίσκουμε δτι ή πιθανή ήλικιά τῆς Γῆς είναι 4,5 δισεκατομμύρια ἔτη και δτι δ στερεός φλοιού τῆς Γῆς σχηματίστηκε πρίν ἀπό 3,5 δισεκατομμύρια ἔτη.

Γιά νά προσδιορίσουμε μέ ἀκρίβεια τήν ήλικιά πού έχουν δρισμένα ἀρχαιολογικά εύρήματα, στηριζόμαστε στή ραδιενέργεια τοῦ ἄνθρακα 14 ( $C^{14}$ ) πού βρίσκεται στό διοξείδιο τοῦ ἄνθρακα τῆς ἀτμόσφαιρας και έχει χρόνο ὑποδιπλασιασμοῦ  $T = 5600$  ἔτη. Ο ἄνθρακας 14 σχηματίζεται (\*), δταν οι πυρῆνες ἀζώτου ( $N^{14}$ ) βομβαρδίζονται μέ νετρόνια τῶν κοσμικῶν ἀκτίνων. Ο ἄνθρακας 14 ἀφομοίώνεται ἀπό τά φυτά, δπως και δ φυσικός ἄνθρακας 12.

Μετά τό θάνατο τοῦ δργανισμοῦ ή ποσότητα τοῦ ἄνθρακα 14, πού

(\*) Ο ἄνθρακας 14 σχηματίζεται και μεταστοιχειώνεται ως ἐξῆς :  $_{0}n^1 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$        ${}_{-1}e^0 + \bar{v}$

χρησιμοποιοῦνται ίχνηθέτες γιά τή διάγνωση παθήσεων. Στή βιολογική ἔρευνα χρησιμοποιοῦνται ίχνηθέτες, γιά νά βρεθεῖ πῶς κυκλοφορεῖ τό κάθε στοιχείο πού μπαίνει μέσα στόν δργανισμό "Αν π.χ. ἔνα φυτό μαζί μέ τά ἄλλα θρεπτικά συστατικά πάρει και ραδιενεργό φωσφόρο  $T = 14,3$  ήμέρες), τότε τό φυτό ἀφομοιώνει και τό ραδιενεργό φωσφόρο, δπως και τό φυσικό φωσφόρο. Ετσι μέ τήν ἀκτινοβολία πού ἐκπέμπει δ ραδιενεργός φωσφόρος μποροῦμε νά μελετήσουμε πῶς κατανέμεται δ φωσφόρος στά διάφορα μέρη τοῦ φυτοῦ (σχ. 142).

**Χρονικοί προσδιορισμοί.** Από τά φαινόμενα τῆς ραδιενέργειας πού παρουσιάζουν σήμερα τά δρυκτά

νπάρχει μέσα στά λείψανα του δργανισμού, άρχιζει νά έλαττώνεται σύμφωνα μέ τό νόμο της ραδιενέργειας.

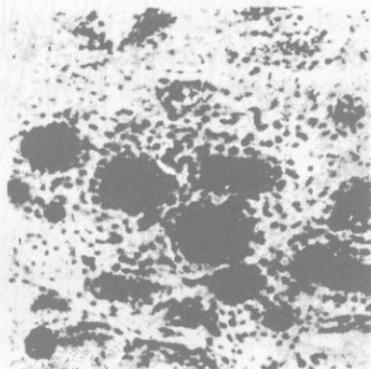
**Βιομηχανικές έφαρμογές.** Οι άκτινοβολίες πού έκπεμπουν τά ραδιοϊστόπα, δταν περνοῦν μέσα από τά διάφορα ύλικά, παθαίνουν *ἀπορρόφηση*. "Ετσι μποροῦμε νά έλέγξουμε τό πάχος πού έχουν φύλλα ή πλάκες από αυτά τά ύλικα (χαρτί, πλαστικές υλες, νήματα κ.λ.) ή ἀν ένα ύλικό έχει σταθερή πυκνότητα και έπομένως δέν περιέχει άλλα ύλικά.

Μέ άκτινες γ παίρνουμε πάνω σέ φωτογραφικές πλάκες ραδιογραφήματα κομματιδών μετάλλων (*ραδιομεταλλογραφία*) και έξετάζουμε τή δομή ένός ύλικού (π.χ. ἀν υπάρχουν κενά ή άλλα έλαττώματα). Σ' αυτή τήν περίπτωση χρησιμοποιοῦμε φορητή συσκευή πού λειτουργεῖ μέ κοβάλτιο 60 (πολύ ραδιενεργό). Ραδιοϊστόπα χρησιμοποιοῦνται και σέ δρισμένους τύπους γεννητριῶν πού έχουν μεγάλη διάρκεια ζωῆς. Γενικά τά ραδιοϊστόπα έχουν σήμερα πολλές έφαρμογές στή βιομηχανία.

**Άποστειρωση και ραδιοθεραπεία.** Τά βιολογικά άποτελέσματα τῶν πυρηνικῶν άκτινοβολιῶν έχουν έφαρμογές στήν άποστειρωση και τή ραδιοθεραπεία. Τό γάλα και τό κρέας πού πρόκειται νά διατηρηθοῦν άποστειρώνονται μέ άκτινες γ, οι οποίες σταματοῦν τίς ζυμώσεις, χωρίς νά καταστρέφουν τίς βιταμίνες. Οι άκτινες γ έμποδίζουν τίς πατάτες νά βλαστήσουν και ἔτσι μποροῦν νά διατηρηθοῦν γιά πολλά χρόνια. Μέ τίς άκτινες γ λύθηκε τό πρόβλημα τής άποστειρώσεως δρισμένων φαρμακευτικῶν προϊόντων και ίδιως τῶν άντιβιοτικῶν.

Γιά τή ραδιοθεραπεία μέ άκτινοβολία άκτινων γ χρησιμοποιεῖται τό κοβάλτιο 60, άντι γιά τό πανάκριβο ράδιο. Σέ μερικές περιπτώσεις μέσα στούς δγκους πού δημιουργοῦνται στό σῶμα, βάζουν μικρή ποσότητα άπο ένα κατάλληλο ραδιενεργό ίστοπο, π.χ. ίριδιο 192, χρυσό 198, ίώδιο 131 (σχ. 143).

**Πρόκληση μεταλλάξεων.** Οι πυρηνικές άκτινοβολίες προκαλοῦν τροποποιήσεις στά γονίδια, πού είναι οι φορεῖς τῶν κληρονομικῶν ίδιοτήτων, και ἔτσι προκαλοῦν μεταλλάξεις. Μέ αυτό τόν τρόπο δημιουργήθηκαν καινούριες ποικιλίες φυτῶν, πού έχουν νέες ίδιότητες (π.χ. άντέχουν περισσότερο στίς άσθενειες ή μποροῦν νά

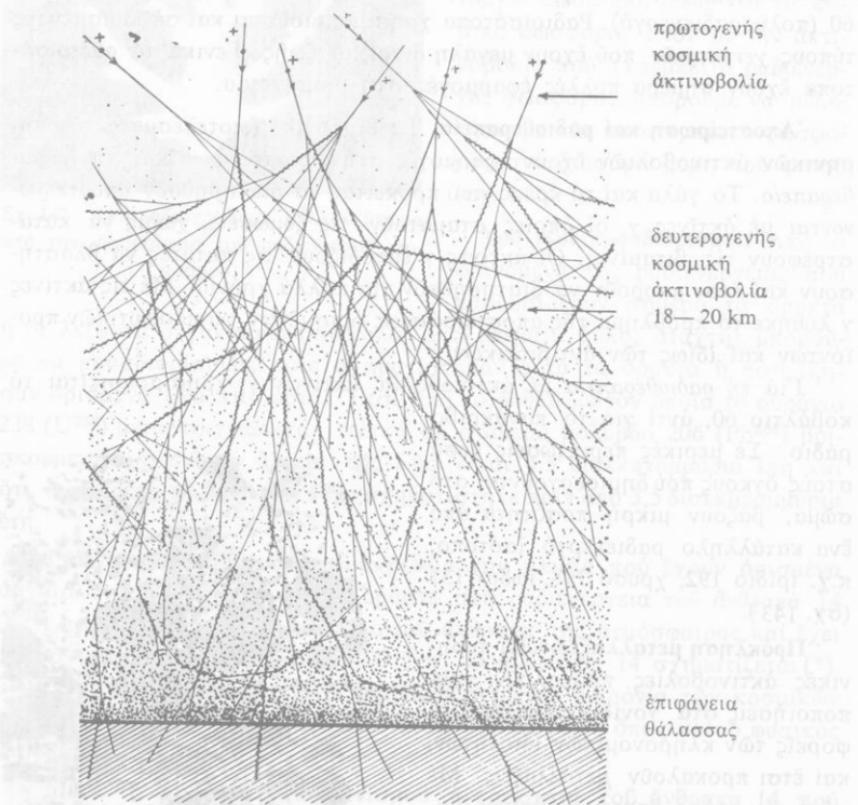


Σχ. 143. Συγκέντρωση τοῦ ίωδίου 131 στό έσωτερικό τῶν λοβῶν τοῦ θυρεοειδῆ άδενα.

ἀναπτυγθοῦν σέ περισσότερο ψυχρά ή θερμά κλίματα). Ο νέος αὐτός κλάδος τῆς γενετικῆς δέν ξέρουμε τί μπορεῖ νά μᾶς δώσει στό μέλλον.

## 114. Κοσμικές ἀκτίνες

"Ενα ήλεκτροσκόπιο πού ἔχει θετικό ή άρνητικό φορτίο, δταν μείνει μέσα στόν ἄέρα, χάνει τό φορτίο του, γιατί, δπως ξέρουμε, πάντοτε μέσα στόν ἄέρα ύπάρχουν ίόντα. Ο διαρκής ιονισμός τοῦ ἄέρα δφείλεται σέ ἀκτινοβολίες πού προέρχονται ἀπό τό κοσμικό διάστημα καί δνομάζονται κοσμικές ἀκτίνες ή κοσμική ἀκτινοβολία. Στά ἀνώτατα στρώματα τῆς



Σχ. 144. Σχηματική παράσταση τῆς παραγωγῆς τῶν δευτερογενῶν κοσμικῶν ἀκτίνων μέσα στά κατώτερα στρώματα τῆς ἀτμόσφαιρας.

άτμοσφαιρας φτάνουν άπό δλες τίς διευθύνσεις οἱ πρωτογενεῖς κοσμικές ἀκτίνες, πού ἀποτελοῦνται κυρίως ἀπό πρωτόνια (85%), ύπάρχουν δμως σ' αὐτές καὶ ἡλεκτρόνια, φωτόνια, σωματίδια α καὶ μερικοί βαρύτεροι πυρήνες (ἄνθρακα, ἀζώτου, σιδήρου κ.ἄ.). Τά σωματίδια τῶν πρωτογενῶν κοσμικῶν ἀκτίνων ἔχουν συνήθως πολὺ μεγάλη ἐνέργεια, πού μπορεῖ νά φτάσει ὡς  $10^{10}$  GeV (ἐνῷ μέ τούς σύγχρονους ἐπιταχυντές μας δίνουμε στά σωματίδια ἐνέργεια ὡς 400 GeV). Αὐτή ή ἐνέργεια συγκεντρωμένη πάνω σέ ἔνα σωματίδιο είναι τεράστια.

"Οταν ἔνα πρωτόνιο τῶν πρωτογενῶν κοσμικῶν ἀκτίνων μπεῖ μέσα στήν ἀτμόσφαιρα, τό πρωτόνιο συγκρόνεται μέ ἔναν πυρήνα ἀζώτου ἢ δξυγόνου. Τότε ὁ πυρήνας αὐτός διαιμελίζεται σέ πολλά νουκλεόνια πού ἔχουν μεγάλη ἐνέργεια καὶ καθώς κατεβαίνουν μέσα στήν ἀτμόσφαιρα προκαλοῦν καινούριες πυνηρικές ἀντιδράσεις. "Ἐνα μεγάλο δμως μέρος ἀπό τήν ἐνέργεια πού είχε τό πρωτογενές πρωτόνιο μεταβάλλεται κατά τή σύγκρουσή του σέ ἀσταθεῖς μορφές ὅλης, πού είναι μιόνια καὶ κυρίως πιόνια (\*). Αὐτά ἀμέσως διασπᾶνται καὶ σχηματίζονται ἡλεκτρόνια, ποζιτρόνια καὶ φωτόνια γ. Ἐτσι στά κατώτερα στρώματα τῆς ἀτμόσφαιρας φτάνουν οἱ δευτερογενεῖς κοσμικές ἀκτίνες, πού ἀποτελοῦνται ἀπό μιόνια (75%), ἡλεκτρόνια, ποζιτρόνια, νουκλεόνια, μερικά σωματίδια α καὶ φωτόνια γ (σχ. 144).

Ὑπολογίζεται δτι κάθε δευτερόλεπτο σέ κάθε τετραγωνικό ἑκατοστόμετρο τῆς ἐπιφάνειας τῆς Γῆς φτάνει ἔνα κοσμικό σωματίδιο. Μερικά πρωτογενή κοσμικά σωματίδια πού ἔχουν πάρα πολὺ μεγάλη ἐνέργεια κατορθώνουν νά φτάσουν ὡς τήν ἐπιφάνεια τῆς Γῆς (σχ. 145). Αὐτά τά κοσμικά σωματίδια μέ τήν ἐνέργειά τους ἵσως νά ἔξασκοῦν ἐπιδραση σέ δρισμένα κύτταρα τῶν δργανισμῶν.

Οἱ κοσμικές ἀκτίνες βοήθησαν σημαντικά στήν ἐξέλιξη τῆς Πυρηνικῆς Φυσικῆς, γιατί στίς κοσμικές ἀκτίνες ἀνακαλύψαμε γιά πρώτη φορά τό ποζιτρόνιο (Anderson 1932), καὶ πολλά ἀπό τά ἄλλα στοιχειώδη σωματίδια (μιόνια, πιόνια, ὑπερόνια) πού ἤταν ἄγνωστα ὡς τότε.

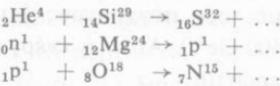
Τούτη η σημαντικότερη μεροτεχνή επιτύχησε την πτώση της πυρηνικής φυσικής στην παραγωγή της ενέργειας. Η πυρηνική φυσική μεροτεχνή επιτύχησε την πτώση της πυρηνικής φυσικής στην παραγωγή της ενέργειας. Οι πυρηνικές φυσικές μεροτεχνήσεις επιτύχησαν την πτώση της πυρηνικής φυσικής στην παραγωγή της ενέργειας.

\* Τά μιόνια καὶ τά πιόνια είναι ἀσταθή σωματίδια πού ἀντίστοιχα ἔχουν μάζα 207 καὶ 270 φορές μεγαλύτερη ἀπό τή μάζα τοῦ ἡλεκτρονίου.

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

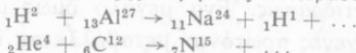
162. Ο ατομικός πυρήνας άζωτου  $_7N^{14}$ , όταν βομβαρδίζεται με νετρόνιο, μεταστοιχειώνεται έκπεμποντας δύο σωματίδια α. Νά γραφεί ή πυρηνική άντιδραση.

163. Νά συμπληρωθούν οι έπομενες πυρηνικές άντιδράσεις :



164. Οι δύο τεχνητοί ραδιενεργοί πυρήνες  ${}_9F^{20}$  και  ${}_{28}Ni^{65}$  μεταστοιχειώνονται με έκπομπή ήλεκτρονίου, έναν οι δύο τεχνητοί ραδιενεργοί πυρήνες  ${}_7N^{13}$  και  ${}_{19}K^{38}$  μεταστοιχειώνονται με έκπομπή ποζιτρονίου. Νά γραφούν οι άντιδρασεις της μεταστοιχειώσεως.

165. Νά συμπληρωθούν οι έξις πυρηνικές άντιδράσεις :



166. Νά βρεθεί πόση ένέργεια σέ Joule έλευθερώνεται, όταν συμβαίνει ή έξις πυρηνική άντιδραση :



Ατομικές μάζες σέ amu :

$$\begin{array}{ll} {}_2He^4 = 4,002\,604 & {}_9Be^9 = 9,012\,186 \\ {}_6C^{12} = 12,000\,000 & {}_0n^1 = 1,008\,665 \end{array}$$

167. Νά βρεθεί πόση έξιτερική ένέργεια σέ Joule άπορροφᾶται, όταν συμβαίνει ή έξις πυρηνική άντιδραση :



Ατομικές μάζες σέ amu :

$$\begin{array}{ll} {}_0n^1 = 1,008\,665 & {}_{10}Ne^{20} = 19,992\,440 \\ {}_8O^{17} = 16,999\,133 & {}_2He^4 = 4,002\,604 \end{array}$$

168. Οταν ο πυρήνας λιθίου  ${}_3Li^7$  βομβαρδίζεται με πρωτόνιο πού έχει κινητική ένέργεια  $E_p = 0,25$  MeV, τότε σχηματίζονται δύο σωματίδια α και τό καθένα άπό αυτά έχει την ίδια κινητική ένέργεια. Πόση κινητική ένέργεια  $E_x$  έχει τό κάθε σωματίδιο α;  $H^1 = 1,007\,825$  amu,  $Li^7 = 7,016\,004$  amu,  $He^4 = 4,002\,604$  amu

169. Στό σῶμα τοῦ άνθρώπου ύπαρχουν περίπου 0,3 gr ραδιενεργοῦ καλίου 40 ( ${}_{19}K^{40}$ ), δηλαδή  $N_0 = 4,5 \cdot 10^{21}$  άτομα καλίου 40. Τό στοιχείο αυτό έχει χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ  $T = 1,3 \cdot 10^9$  έτη και μεταστοιχειώνεται με έκπομπή ήλεκτρονίου. 1) Νά γραφεί ή έξισωση της διασπάσεως. 2) Πόσες διασπάσεις συμβαίνουν κάθε δευτερόλεπτο μέσα στό σῶμα τοῦ άνθρώπου;

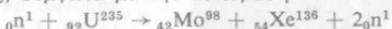
170. Τό ραδιενεργό βράχιο 82 ( ${}_{35}Br^{82}$ ) έχει χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ  $T = 36$  h. Από μιά άρχική μάζα βρωμίου έπειτα άπό πόσο χρονικό διάστημα θά έχει άπομείνει τό  $1/32$  ή τό  $1/2^{10}$  της άρχικής μάζας το;

171. Ο ραδιενεργός φωσφόρος 32 ( ${}_{15}P^{32}$ ) μεταστοιχειώνεται με έκπομπή ήλεκτρονίου και έχει χρόνο ύποδιπλασιασμοῦ  $T = 14$  ήμέρες. Μέ μιά κατάλληλη διάταξη (άπαριθμητή Geiger) βρίσκουμε δτί ένα διάλυμα φωσφόρου 32 έκπεμπει 1000 ήλεκτρόνια κατά λεπτό. "Αν έπαναλάβουμε τό πείραμα έπειτα άπό χρονικό διάστημα  $t = 28$  ήμέρες, πόσα ήλεκτρόνια θά καταμετρηθούν κατά λεπτό;

172. Κατά τή διάσπαση ένός πυρήνα ούρανίου 235 ( $^{235}\text{U}$ ) έλευθερώνεται ένέργεια 200 MeV. Πόση ένέργεια σέ κιλοβατώρια έλευθερώνεται, όταν διασπάνται οι πυρήνες πού υπάρχουν μέσα σέ 1 gr ούρανίου; Πόσος είναι ό συντελεστής άποδόσεως σ' αυτή τήν περίπτωση; Πυρήνες ούρανίου  $N = 2,55 \cdot 10^{21}$  πυρήνες/gr.

173. Κατά τή διάσπαση τού πυρήνα ούρανίου 235 ( $^{235}\text{U}$ ) σχηματίζονται δύο νέοι πυρήνες πού δικαίως έχει άτομικό άριθμό  $Z = 92/2$  και άκτινα  $6 \cdot 10^{-15}$  m. Γιά μιά στιγμή οι δύο νέοι πυρήνες βρίσκονται σέ έπαφή. Πόση είναι τότε ή άπωση πού άναπτύσσεται μεταξύ τῶν δύο νέων πυρήνων;

174. Από τή διάσπαση τού πυρήνα ούρανίου 235 μπορεῖ νά σχηματιστούν άμέσως δύο σταθεροί πυρήνες, σύμφωνα μέ τήν άντιδραση :



1) Πόση ένέργεια σέ MeV έλευθερώνεται, όταν συμβαίνει αυτή ή άντιδραση;

2) Πόση ένέργεια σέ Joule έλευθερώνεται κατά γραμμάριο ούρανίου;

$N = 2,55 \cdot 10^{21}$  πυρήνες/gr.

Άτομικές μάζες σέ αυτο :

$$n^1 = 1,009 \quad U^{235} = 235,044 \quad Mo^{98} = 97,905 \quad Xe^{136} = 135,917.$$

175. Κατά τήν έκρηξη μιᾶς βόμβας ούρανίου 235 ένας άπο τούς νέους πυρήνες είναι ό ραδιενέργος πυρήνας ξένου 143,  ${}_{54}\text{Xe}^{143}$ . Αυτός ό πυρήνας μέ διαδοχικές έκπομπές ένός ήλεκτρονίου μεταστοιχειώνεται τελικά σέ σταθερό πυρήνα νεοδύμιου 143,  ${}_{60}\text{Nd}^{143}$ . Νά γραφει παραστατικά ή σειρά τῶν διαδοχικῶν μεταστοιχειώσεων τού άρχικον πυρήνα  ${}_{54}\text{Xe}^{143}$ .

176. Βρέθηκε ότι κατά τήν έκρηξη μιᾶς βόμβας ούρανίου 235 διασπάνται  $n = 5 \cdot 10^{23}$  πυρήνες ούρανίου μέσα σέ χρονικό διάστημα  $\Delta t = 0,001$  sec. 1) Πόση ένέργεια σέ Joule έλευθερώνεται κατά τήν έκρηξη, ἄν άπο κάθε έναν πυρήνα ούρανίου έλευθερώνεται ένέργεια 200 MeV; 2) Πόση είναι κατά μέσο όρο ή ίσχυς πού έλευθερώνεται;

177. Μιά μηχανή σιδηρόδρομου άναπτύσσει σταθερή ίσχυ  $P = 1200$  kW έπι 10 ώρες. Ή μηχανή κινεῖται μέ πυρηνικό άντιδραστήρα, πού τροφοδοτεῖται μέ ούράνιο 235 και έχει συντελεστή άποδόσεως  $\eta = 0,20$ . Πόση μάζα ούρανίου θά καταναλωθεί γι' αυτή τή διαδρομή; Πυρήνες ούρανίου  $N = 2,55 \cdot 10^{21}$  πυρήνες/gr. Ένέργεια πού έλευθερώνεται 180 MeV/πυρήνα.

178. Σέ έναν πυρηνικό άντιδραστήρα τά 8/10 000 τής μάζας τού ούρανίου 235 μετατρέπονται σέ ίσοδύναμη ένέργεια. Άν κάθε ήμέρα ό άντιδραστήρας καταναλώνει 24 gr ούρανίου 235, πόση είναι ή ίσχυς τού άντιδραστήρα.

179. Σέ 1 gr ραδίου υπάρχουν  $N_0 = 2,65 \cdot 10^{21}$  πυρήνες και ή σταθερή διασπάσεως τού ραδίου είναι :

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \quad \text{ή} \quad \lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ sec}^{-1}$$

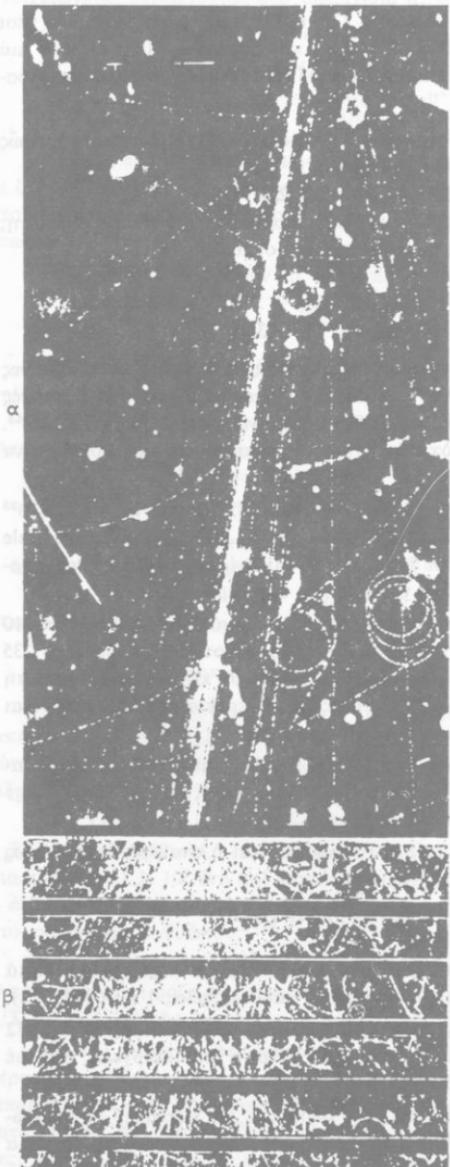
Πόσες διασπάσεις τό δευτερόλεπτο συμβαίνουν μέσα στή μάζα 1 gr ραδίου; Ποιά σχέση έχουν αύτές οι διασπάσεις μέ τή μονάδα έντάσεως ραδιενέργειας 1 κιουρί (1 Ci);

180. Τό ραδιενέργο κοβάλτιο 58 ( ${}_{27}\text{Co}^{58}$ ) έχει χρόνο ύποδιπλασιασμού  $T = 72$  ήμέρες. Πόση μάζα τ' άπο αύτό τό ραδιοϊσότοπο έχει ένταση ραδιενέργειας ίση μέ 1 μιλικιουρί (1 mCi);  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  άτομα/gr - atom.

181. Στή διάρκεια ένός δευτερολέπτου μιά μάζα ούρανίου 238 έκπεμπει 18 500 σωματίδια a. Πόση είναι σέ μικροκιουρί (μCi) ή ένταση ραδιενέργειας γι' αυτή τή μάζα τού ούρανίου;

182. Πόση μάζα το άπο ραδιενέργειας ίση με 10 μιλικιουρί (mCi); Χρόνος ύποδιπλασιασμού  $T = 18$  h.  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  άτομα/gr-atom.

183. Το αίμα ένός άσθενη έχει όγκο  $3500 \text{ cm}^3$ . Στό αίμα αύτού τού άσθενη είσάγεται μιά ποσότητα ραδιενέργειο φωσφόρου  $32_{(15)} \text{P}^{32}$  ή δόση η οποία έχει ένταση ραδιενέργειας  $A = 5 \text{ mCi}$ .



Σχ. 145. "Ενα πρωτογενές κοσμικό σωματίδιο με ένέργεια πολλών εκατομμυρίων MeV μπήκε μέσα στόν πρώτο θάλαμο Wilson (α) και έπειτα μπήκε σέ δεύτερο θάλαμο Wilson πού είχε πολλές παράλληλες μεταλλικές πλάκες (β)." Εκεί τό σωματίδιο διαμελίζοντας πυρηνες των άτομων τού μετάλλου δημιουργησε πάρα πολλά σωματίδια και φωτόνια γ μεγάλης ένέργειας.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 1

## Φυσικές σταθερές

Ταχύτητα φωτός στό κενό	c	$3 \cdot 10^8$ m/sec
*Επιτάχυνση βαρύτητας ( $45^\circ$ , 0 m)	g	$9,80665$ m/sec <sup>2</sup>
Σταθερή Faraday	F	96 490 Cb/γραμμοϊσοδύναμο
Σταθερή Planck	h	$6,6256 \cdot 10^{-34}$ Joule · sec
Στοιχειώδες ήλεκτρικό φορτίο	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Cb
Μονάδα άτομικης μάζας	1 amu	$1,6604 \cdot 10^{-27}$ kgr
*Ηλεκτρονιοβόλτ	1 eV	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Joule
*Ακτίνα θεμελιώδους τροχιᾶς	r <sub>1</sub>	$0,529 \cdot 10^{-10}$ m
Μαγνητική διαπερατότητα κενού	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A <sup>2</sup>
Διηλεκτρική σταθερή κενού	$\epsilon_0$	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Cb <sup>2</sup> /(N · m <sup>2</sup> )

Μάζες ήρεμίας στοιχειωδῶν σωματιδίων

*Ηλεκτρόνιο me	Πρωτόνιο mp	Νετρόνιο mn
0,000 548 amu	1,007 825 amu	1,008 665 amu
$9,109 \cdot 10^{-31}$ kgr	$1,6725 \cdot 10^{-27}$ kgr	$1,6748 \cdot 10^{-27}$ kgr
0,511 MeV	938,26 MeV	939,55 MeV

1. Ηλεκτρόνιο me	Πρωτόνιο mp	Νετρόνιο mn
0,000 548 amu	1,007 825 amu	1,008 665 amu
$9,109 \cdot 10^{-31}$ kgr	$1,6725 \cdot 10^{-27}$ kgr	$1,6748 \cdot 10^{-27}$ kgr
0,511 MeV	938,26 MeV	939,55 MeV

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

## Οι κυριότερες μονάδες του συστήματος MKSA

Μέγεθος	Μονάδα	
Μῆκος	1 μέτρο	1 m
Μάζα	1 χιλιόγραμμο	1 kgr
Χρόνος	1 δευτερόλεπτο	1 sec
Ένταση ρεύματος	1 Ampère	1 A
Δύναμη	1 Newton	$1 N = 1 \text{ kgr} \cdot \text{m/sec}^2$
Ένέργεια	1 Joule	$1 J = 1 N \cdot \text{m}$
Ίσχυς	1 Watt	$1 W = 1 J/\text{sec}$
Ηλεκτρικό φορτίο	1 Coulomb	$1 Cb = 1 A \cdot \text{sec}$
Δυναμικό	1 Volt	$1 V = 1 J/Cb$
Ένταση ηλεκτρικού πεδίου	1 Newton/Cb	$1 N/Cb = 1 V/m$
Χωρητικότητα	1 Farad	$1 F = 1 Cb/V = 1 Cb^2/J$
Αντίσταση άγωγού	1 Ohm	$1 \Omega = 1V/A$
Συντελεστής αύτεπαγωγής	1 Henry	$1 H = 1 V \cdot \text{sec}/A =$ $= 1 J/A^2 = 1 \Omega \cdot \text{sec}$
Ποσότητα μαγνητισμού	1 Ampère · m	$1 A \cdot m$
Μαγνητική ροή	1 Weber	$1 Wb = 1 V \cdot \text{sec} = 1 J/A$
Μαγνητική έπαγωγή	1 Tesla	$1 T = 1 N/(A \cdot m) =$ $= 1 Wb/m^2$
Μαγνητική ροπή	1 Ampère · m <sup>2</sup>	$1 A \cdot m^2$

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Τά ισότοπα τῶν 30 πρώτων φυσικῶν στοιχείων

(Οσα σημειώνονται μέ μαῦρα στοιχεῖα εἶναι φυσικά ἢ τεχνητά ραδιοισότοπα)

Z	Στοιχεῖο		Μαζικός ἀριθμός A
1	Υδρογόνο	H	1 2 3
2	Ηλίο	He	3 4 5 6
3	Λίθιο	Li	6 7 8 9
4	Βηρύλλιο	Be	7 8 9 10
5	Βόριο	B	9 10 11 12
6	Ανθρακας	C	10 11 12 13 14
7	Αζωτο	N	12 13 14 15 16 17
8	Οξυγόνο	O	14 15 16 17 18 19
9	Φθόριο	F	17 18 19 20
10	Νέο	Ne	19 20 21 22 23
11	Νάτριο	Na	21 22 23 24 25
12	Μαγνήσιο	Mg	23 24 25 26 27
13	Αργίλιο	Al	25 26 27 28 29
14	Πυρίτιο	Si	27 28 29 30 31
15	Φωσφόρος	P	29 30 31 32 33
16	Θεῖο	S	31 32 33 34 35 36 37
17	Χλώριο	Cl	33 34 35 36 37 38 39
18	Αργό	A	35 36 37 38 39 40 41
19	Κάλιο	K	37 38 39 40 41 42 43 44
20	Ασβέστιο	Ca	39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49
21	Σκάνδιο	Sc	40 41 43 44 45 46 47 48 49
22	Τιτάνιο	Ti	43 44 45 46 47 48 49 49 50 51
23	Βανάδιο	V	46 47 48 49 50 51 52
24	Χρώμιο	Cr	49 50 51 52 53 54 55
25	Μαγγάνιο	Mn	50 51 52 53 54 55 56 57
26	Σίδηρος	Fe	52 53 54 55 56 57 58 59
27	Κοβάλτιο	Co	54 55 56 57 58 59 60 61 62
28	Νικέλιο	Ni	57 58 59 60 61 63 63 64 65 66
29	Χαλκός	Cu	58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68
30	Ψευδάργυρος	Zn	62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΜΗΧΑΝΙΚΗ

### Άρμονική ταλάντωση

'Άρμονική ταλάντωση μεταλλικής σφαιράς. — Μελέτη της άρμονικής ταλάντωσεως. — 'Απλό έκκρεμές. — 'Αμειώστη καί φθίνουσα ταλάντωση. — Ελεύθερη καί έξαναγκασμένη ταλάντωση.

Σελ.

5

## Κύματα

Διάδοση ένέργειας μέ δύναμα. — Έγκάρσια καί διαμήκη κύματα. — Μήκος κύματος καί έξισωση τῶν κυμάτων. — Διάδοση τῶν κυμάτων έλαστικότητας μέσα στήν όλη. — Κύματα στό χώρο καί στήν έπιφάνεια ύγρου. — Ανάκλαση καί διάθλαση τῶν κυμάτων έλαστικότητας, Συμβολή τῶν κυμάτων. — Περίθλαση τῶν κυμάτων. — Στάσιμα κύματα. ....

## ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

### Ήχητικά κύματα

Παραγωγή τοῦ ήχου. — Διάδοση τοῦ ήχου. — Ειδη ήχων. — 'Ανάκλαση τῶν ήχητικῶν κυμάτων. — Διάθλαση τῶν ήχητικῶν κυμάτων. — Περίθλαση τῶν ήχητικῶν κυμάτων. — Συμβολή τῶν ήχητικῶν κυμάτων. — Ένταση τοῦ ήχου. ....

16

33

### Φυσιολογικά χαρακτηριστικά τοῦ ήχου

Φυσιολογικά χαρακτηριστικά τῶν μουσικῶν ήχων. — "Υψος τοῦ ήχου. — 'Ακουστότητα ή ένταση τοῦ άκουστικού αισθήματος. — Χροιά τοῦ ήχου. — 'Υπέρηχοι. ....

46

## Πηγές τῶν μουσικῶν ήχων

Μουσικοί ήχοι. — Χορδές. — Συντονισμός δύο ήχητικῶν πηγῶν. — 'Αντηχεία. — Ήχητικοί σωλήνες. ....

51

## ΟΠΤΙΚΗ

### Κυματική φύση τοῦ φωτός

Φυσική 'Οπτική. — 'Η φύση τοῦ φωτός. — Περίθλαση τοῦ φωτός.

60

## ΗΚΙΨΥΦ ΗΚΙΜΟΤΑ

### Φάσματα ἐκμπομπῆς καὶ ἀπορροφήσεως

Φύσματα ἐκπομπῆς. — Φάσματα ἀπορροφήσεως. — Φωταύγεια. — Τό<sup>πος</sup>  
χρόνια τοῦ οὐρανοῦ. .... 64

## ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

### Ἐπαγωγικά ρεύματα

Ἐπαγωγή. — Ἐπαγωγικά ρεύματα. — Ἐνταση τοῦ ἐπαγωγικοῦ ρεύματος. — Ἀμοιβαία ἐπαγωγή. — Αὐτεπαγωγή. — Ἐπαγωγικό πηνίο. .... 71

### Ἐναλλασσόμενο ρεύμα

Ἐξισώσεις τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. — Ἀποτελέσματα τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. — Ἐνεργός ἔνταση ἐναλλασσόμενου ρεύματος. — Ἐνεργός τάση. — Ο νόμος τοῦ Ohm σὲ κύκλωμα μὲ ώμική ἀντίσταση. — Μέση ἴσχυς τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. — Τριφασικό ρεῦμα. — Ή μεταφορά τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας. — Μετασχηματιστής. — Ἀνόρθωση τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. .... 84

### Ἀγωγιμότητα τῶν ἀερίων

Ἡ ἀγωγιμότητα τῶν ἀερίων. — Ἡλεκτρικές ἐκκενώσεις μέσα σὲ ἄραιω-  
μένα ἀέρια. — Καθοδικές ἀκτίνες. — Θετικές ἀκτίνες. .... 109

### Ἀγωγιμότητα στό κενό

Ἡ ἀγωγιμότητα στό κενό. — Σωλήνας Brawn. — Ἄκτινες Röntgen.  
— Φωτοήλεκτρικό φαινόμενο. — Ἡχητικός κινηματογράφος. .... 120

### Ἡλεκτρομαγνητικά κύματα

Ἡλεκτρικές ταλαντώσεις. — Παραγωγή ἡλεκτρικῶν ταλαντώσεων. —  
Παλλόμενο ἡλεκτρικό δίπολο. — Ἐκπομπή ἡλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων.  
— Ἡλεκτρομαγνητική ἀκτινοβολία. — Ραδιοτηλεπικοινωνίες. — Πομπός  
ἐρτζιανῶν κυμάτων. — Δέκτης ἐρτζιανῶν κυμάτων. — Διάδοση τῶν ἡλε-  
κτρομαγνητικῶν κυμάτων. — Τηλεόραση. .... 134

## ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Εἰσαγωγή

Ἡ θεωρία τῶν κβάντα. — Ἡ θεωρία τῆς σχετικότητας. .... 153

## ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Τά ήλεκτρόνια τοῦ ἀτόμου

- Ατομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου. — Μονάδα ἀτομικῆς μάζας. — Τὸ ἀτόμο καὶ ὁ πυρήνας του. — Δομή τοῦ ἀτόμου. .... 157

### Συνθῆκες τοῦ Bohr

- Στοιχειώδης μελέτη τοῦ ἀτόμου ύδρογόνου. — \*Ατόμα μὲ πολλά ήλεκτρόνια. — Περιοδικό σύστημα τῶν στοιχείων. .... 166

## ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Ο ἀτομικός πυρήνας

- Πυρηνική Φυσική. — Ισότοποι καὶ ισοβαρεῖς πυρήνες. — Ελλειμμα μάζας καὶ ἐνέργεια συνδέσεως. .... 174

### Φυσική ραδιενέργεια

- Ραδιενέργεια. — Φύση τῆς ἀκτινοβολίας τῶν ραδιενεργῶν στοιχείων. — Φυσική μεταστοιχείωση. — Τό ποζιτρόνιο. — Ἐξήγηση τῆς ἐκπομπῆς τῶν ἀκτινοβολιῶν. — Νόμος τῆς ραδιενέργειας. — Βιολογικά ἀποτέλεσματα τῶν πυρηνικῶν ἀκτινοβολιῶν. — Οἱ σειρές τῶν φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων. — \*Ἡ μελέτη τῶν πυρηνικῶν ἀκτινοβολιῶν. .... 178

### Πυρηνικές ἀντιδράσεις

- Πυρηνικές ἀντιδράσεις. — Τά υπερουράνια στοιχεῖα. — Σχάση τῶν βαριῶν πυρήνων. — Σχάση τοῦ πυρήνα οὐρανίου 235. — \*Ἀλυσιδωτή ἀντιδραση. — Πυρηνικός ἀντιδραστήρας. — Εφαρμογές τῶν τεχνητῶν ραδιοϊσοτόπων. — Κοσμικές ἀκτίνες. .... 191

### Πίνακες

1. Φυσικές σταθερές. — 2. Οἱ κυριότερες μονάδες τοῦ συστήματος MKSA. — 3. Τά ισότοπα τῶν 30 πρώτων φυσικῶν στοιχείων. .... 209

Η ΚΙΣΣΦΗ Η ΚΙΝΗΣΗ Η ΚΙΛΟΤΑ



024000019625

ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΚΟΙΖΕΝΔΟΣ - ΓΑΒΒΡΙΩΝ ΔΙΕΘΝΕΣ ΑΓΩΓΩΝΑΚΙΟΣ  
ΕΛΛΑΣ Η ΕΛΛΑΣ ΙΩΑΝΝΙΝΑ ΤΟ ΑΙΓΑΙΟΝ ΣΩΜΑΤΙΑΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣ

## ΑΤΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Τά ήλεκτρόνια τοῦ άτομου

Ατομική θεωρία τοῦ Δημόκριτου. — Μονάδα άτομικής μάζας. — Τὸ άτομο καὶ ὁ πυρήνας του. — Δομή τοῦ άτομου. .... 157

### Συνθῆκες τοῦ Bohr

Στοιχειώδης μελέτη τοῦ άτομου ύδρογόνου. — Ατομα μέ πολλά ήλεκτρόνια. — Περιοδικό σύστημα τῶν στοιχείων. .... 161

## ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

### Ο άτομικός πυρήνας

Πυρηνική Φυσική. — Ισότοποι καὶ ίσοβαρεῖς μάζας καὶ ένέργεια συνδέσεως. .... 164

### Φυσική της ατομικής διάταξης

Πολιτική της ατομικής διάταξης. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. .... 169

### Πυρηνική συγγραφας

Πυρηνική συγγραφας. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. .... 171

### Πυρηνική

Πυρηνική συγγραφας. — Ταταράκης της ατομικής διάταξης. — Η ατομική διάταξη της φύσης. .... 173





Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής