



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ

ΑΝΤΩΝΙΟΥ Χ. ΒΡΟΥΛΟΥ
ΣΤΕΦΑΝΟΥ Ι. ΚΑΡΝΑΒΑ

γ' έκδοση

ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ + ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Μετρήσεις

1.1 Έννοιες μήκους, εμβαδού, όγκου, χρόνου – Μονάδες μέτρησής τους – Συσχετισμός των μονάδων	1
1.2 Έννοια της μάζας. Μονάδες μέτρησης – Έλξη της Γης στα σώματα. Βαρυντική επιτάχυνση – Μεταβολή του βάρους σώματος συναρτήσει του ύψους και του γεωγραφικού πλάτους	4
1.3 Πυκνότητα και ειδικό βάρος σώματος. Μονάδες μέτρησής τους. Συσχετισμός ειδικού βάρους και πυκνότητας.	8
1.4 Συστήματα μονάδων.	12

Κεφάλαιο 2: Κινηματική

2.1 Μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση	15
2.2 Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση.	19
2.3 Ευθύγραμμη ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση	21
2.4 Ομαλή κυκλική κίνηση και κυκλική ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση	24
2.5 Σύνθεση κινήσεων – Απόλυτη και σχετική κίνηση	34

Κεφάλαιο 3: Δυναμική

3.1 Δυνάμεις	43
3.2 Οι νόμοι του Νεύτωνα	49
3.3 Αδρανειακά και μη αδρανειακά συστήματα αναφοράς.	52
3.4 Τριβή	54
3.5 Ορμή – Αρχή διατήρησης της ορμής – Κέντρο μάζας – Κίνηση κέντρου μάζας	57
3.6 Νόμος του Hooke. Ελαστικότητα. Διάτμηση και στρέψη.	64
3.7 Ροπή δύναμης	69
3.8 Ισορροπία στερεού σώματος.	72
3.9 Μεταφορική και στροφική κίνηση στερεού. Στροφορμή. Θεμελιώδης Νόμος της Στροφικής Κίνησης.	75

Κεφάλαιο 4: Έργο – Ενέργεια – Ισχύς

4.1 Έργο δύναμης.	91
4.2 Μηχανική, κινητική και δυναμική ενέργεια. Διατηρητικές και μη διατηρητικές δυνάμεις	95
4.3 Αρχή διατήρησης της ενέργειας – Διατήρηση της μηχανικής ενέργειας	100
4.4 Ισχύς. Συντελεστής απόδοσης μηχανής	102
4.5 Ενεργειακή μελέτη στροφικών κινήσεων στερεών σωμάτων	104
4.6 Αρχή των δυνατών έργων. Απλές μηχανές	107
4.7 Μηχανικό πλεονέκτημα (ή μόχλευση), λόγος ταχυτήτων, απόδοση	112

Κεφάλαιο 5: Υδροστατική – Υδροδυναμική

5.1 Ορισμοί. Παροχή. Ροή. Δυναμική γραμμή. Στρωτή και τυρβώδης ροή	117
5.2 Πίεση. Ατμοσφαιρική πίεση και εξάρτησή της από το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας. Αρχή του Pascal.	119
5.3 Υδροστατική πίεση. Θεώρημα Torricelli	123
5.4 Δυναμική πίεση. Αρχή του Bernoulli	134
5.5 Αρχή του Αρχιμήδη	136
5.6 Αριθμός Reynolds. Κρίσιμη ταχύτητα ρευστού. Συντελεστές αντίστασης για ρευστά. Νόμος Stokes. Αντίσταση σε τυρβώδη ροή	139
5.7 Δυναμική άνοση – Υποπίεση, υπερπίεση και φαινόμενο Magnus	144

Κεφάλαιο 6: Θερμότητα

6.1 Θερμοκρασία	149
6.2 Θερμοδυναμική ενέργεια. Θερμότητα	151
6.3 Διάδοση της θερμότητας.	153
6.4 Θερμική διαστολή στερεών και υγρών.	156
6.5 Θερμική διαστολή των αερίων. Καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων. Νόμοι της θερμοδυναμικής.	159
6.6 Θερμικές μηχανές.	167

Κεφάλαιο 7: Στατιστική Μηχανική

7.1 Στατιστική ισορροπία	175
7.2 Κατανομή των Maxwell-Boltzmann.	176
7.3 Κινητική θεωρία και καταστατική εξίσωση ιδανικών αερίων	178
7.4 Εντροπία	180

Κεφάλαιο 8: Μετατροπές φάσεων

8.1 Αλλαγές φάσεων υλικών σωμάτων.	183
8.2 Κορεσμένοι ατμοί.	185
8.3 Θερμότητες μεταβολής φάσεων	186
8.4 Υγρασία απόλυτη και σχετική. Σημείο δρόσου.	187

Κεφάλαιο 9: Ηλεκτρικά φορτία

9.1 Θετικά και αρνητικά φορτία	189
9.2 Νόμος του Coulomb.	192
9.3 Ηλεκτρικό πεδίο.	194
9.4 Ηλεκτρικό δυναμικό.	199
9.5 Ηλεκτρικές εκκενώσεις	205
9.6 Κίνηση φορτισμένου σωματίου μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο.	210
9.7 Κατανομή φορτίων σε αγωγούς	214

Κεφάλαιο 10: Ηλεκτρικό ρεύμα

10.1 Ηλεκτρικό ρεύμα και πυκνότητα ρεύματος	219
---	-----

10.2 Αντίσταση και αγωγιμότητα αγωγού. Νόμος του Ohm.	222
10.3 Χωρητικότητα αγωγού. Πυκνωτής. Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτή. Φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτή. Συνδεσμολογία πυκνωτών	229
10.4 Ηλεκτρεγερτική δύναμη ηλεκτρικής πηγής. Εσωτερική αντίσταση ηλεκτρικής πηγής. Νόμοι του Kirchhoff. Συνδεσμολογία αντιστάσεων	234
10.5 Συνδεσμολογία πηγών συνεχούς ρεύματος	241
10.6 Ενέργεια και ισχύς ηλεκτρικού ρεύματος.	245
10.7 Συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας	256

Κεφάλαιο 11: Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

11.1 Μαγνητισμός	263
11.2 Μαγνητικό πεδίο του ρεύματος.	266
11.3 Νόμος Laplace. Επίδραση του μαγνητικού πεδίου πάνω σε κινούμενο φορτίο	271
11.4 Μονάδα μέτρησης του πεδίου B	274
11.5 Μαγνητική ροή.	274
11.6 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή	275
11.7 Δινορρεύματα ή ρεύματα του Foucault.	281

Κεφάλαιο 12: Εναλλασσόμενα ρεύματα

12.1 Εναλλασσόμενο ρεύμα. Διανυσματικά διαγράμματα.	285
12.2 Ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος	289
12.3 Αντιστάσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα.	292
12.4 Μετασχηματιστές – Γεννήτριες	300
12.5 Τριφασικό ρεύμα – Μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος – Κινητήρες.	303
12.6 Συγκόλληση.	310

Κεφάλαιο 13: Ταλαντώσεις

13.1 Απλή αρμονική ταλάντωση.	313
------------------------------------	-----

Κεφάλαιο 14: Ηλεκτρικές ταλαντώσεις

14.1 Ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε κύκλωμα LC.	323
14.2 Μετατροπή του κυκλώματος του Thomson σε κεραία εκπομπής–λήψης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.	325
14.3 Το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	327
14.4 Χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ως προς τον τρόπο μετάδοσής τους στον αέρα, στο έδαφος και στο κενό.	328
14.5 Παράγοντες που επιδρούν στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.	331

Κεφάλαιο 15: Ήχος

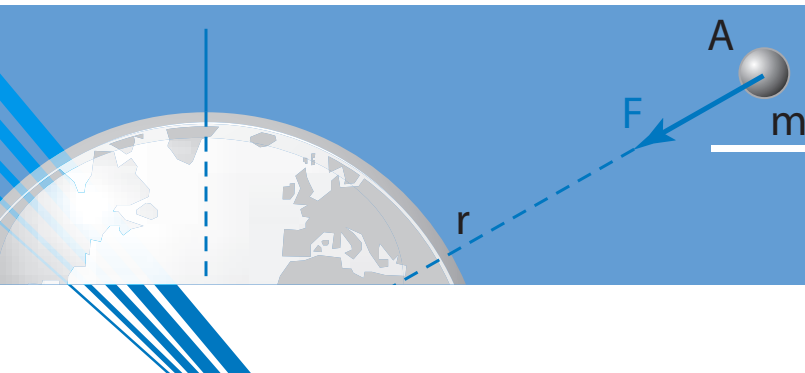
15.1 Παραγωγή, διάδοση και χαρακτηριστικά του ήχου.	335
15.2 Πηγές ήχου	337
15.3 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.	337
15.4 Διάδοση ενέργειας με ηχητικά κύματα.	338
15.5 Υπόηχοι – Υπέρηχοι	339

15.6 Φαινόμενο Doppler.....	340
-----------------------------	-----

Κεφάλαιο 16: Γεωμετρική οπτική

16.1 Παραγωγή και διάδοση του φωτός.....	345
16.2 Ανάκλαση και διάθλαση του φωτός. Πρίσματα.....	347
16.3 Λεπτοί φακοί.....	354
Γλωσσάριο ελληνοαγγλικών όρων.....	359
Ευρετήριο όρων.....	369
Ενδεικτική βιβλιογραφία.....	373





ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Μετρήσεις

1.1 Έννοιες μήκους, εμβαδού, όγκου, χρόνου – Μονάδες μέτρησής τους – Συσχετισμός των μονάδων

Για την περιγραφή και τη μελέτη ενός φυσικού φαινομένου χρησιμοποιούνται τα διάφορα φυσικά μεγέθη ή φυσικές ποσότητες. Τα φυσικά μεγέθη εκφράζονται με την τιμή τους, που περιλαμβάνει την αριθμητική τιμή και τη μονάδα μέτρησης. Για παράδειγμα, ταχύτητα κατά μήκος του άξονα x είναι $u_x = -35,6 \text{ m/s}$. Το $-35,6 \text{ m/s}$ είναι η τιμή της ταχύτητας και το $-35,6$ η αριθμητική τιμή της.

Το **μήκος** είναι φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει μία διάσταση. Για παράδειγμα, χαρακτηρίζει πόσο μεγάλη είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται σε μια ευθεία ή πόσο μεγάλη είναι η απόσταση δύο σημείων μετρούμενη κατά μήκος μιας καμπύλης διαδρομής που περνά απ' τα σημεία αυτά. Μονάδα μέτρησης του μήκους στο **Διεθνές Σύστημα Μονάδων** (Système International–SI) είναι το μέτρο (m).

Το μέτρο είναι, κατά προσέγγιση, ίσο με το ένα δεκάκις εκατομμυριοστό ($1/10\,000\,000$) της απόστασης του Βορείου Πόλου από τον Ισημερινό της Γης. Επίσης είναι ίσο, κατά προσέγγιση, με το πρότυπο μέτρο, το οποίο είναι η απόσταση μεταξύ δυο χαραγών σε μία ράβδο από ιριδιούχο λευκόχρυσο που φυλάσσεται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (Bureau International des Poids et Mesures) στις Σέβρες (Sèvres) κοντά στο Παρίσι.

Πολλαπλάσιο του 1 m είναι το 1 χιλιόμετρο ($1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$) και υποπολλαπλάσια το δεκατόμετρο ή παλάμη ($1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$), το εκατοστόμετρο ($1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$), το χιλιοστόμετρο ($1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$) και το μικρόμετρο ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

Έτος φωτός ($\text{ly} = \text{light year}$, $\text{la} = \text{light annum}$) ονομάζεται η απόσταση που διανύει το φως, κινούμενο στο κενό επί ένα έτος, και ισούται με $9,46 \times 10^{15} \text{ m}$. Στην αστρονομία μονάδα μέτρησης του μήκους είναι το παρσέκ (1pc), ονομασία που προέρχεται

από τις λέξεις **parallaxe** και **second**. Εκφράζει την απόσταση του Ήλιου από σημείο, από το οποίο ο μέσος μεγάλος ημιάξονας της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο φαίνεται υπό γωνία ενός δευτέρου λεπτού της μοίρας.

$$1 \text{ παρσέκ (1 pc)} = 3,26 \text{ ly} = 3,09 \times 10^{16} \text{ m}$$

Στη ναυτιλία ως μονάδα μέτρησης του μήκους χρησιμοποιείται το ναυτικό μίλι (ν.μ.), όπου: $1 \text{ ν.μ.} = 1852 \text{ m}$. Ισούται περίπου με την απόσταση δύο σημείων του ίδιου μέγιστου κύκλου στην επιφάνεια της Γης (π.χ. μεσημβρινού), που απέχουν μεταξύ τους ένα πρώτο λεπτό της μοίρας. Οι κανόνες του SI δεν περιλαμβάνουν σύμβολο για το ν.μ., αλλά ανεπίσημα χρησιμοποιούνται τα εξής διάφορα σύμβολα 1 M, 1 NM, 1 Nm, 1 nmi. Κατά τη μετατροπή από μία μονάδα σε άλλη ακολουθούνται κανόνες της άλγεβρας, όπως φαίνεται στα παραδείγματα που ακολουθούν:

$$\begin{aligned} 32,1 \text{ pc} &= 32,1 \times (1 \text{ pc}) = 32,1 \times (3,09 \times 10^{16} \text{ m}) = \\ &= (32,1 \times 3,09) \times 10^{16} \text{ m} = \\ &= 99,2 \times 10^{16} \text{ m} = 9,92 \times 10^{17} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6,7 \text{ km} &= 6,7 \times (10^3 \text{ m}) = 6,7 \times (10^3 \times 10^2 \text{ cm}) = \\ &= 6,7 \times 10^5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ο πίνακας 1.1 δείχνει τις σχέσεις μεταξύ διαφόρων μονάδων μήκους. Σήμερα κυριαρχούν οι μονάδες του SI. Ο πίνακας 1.2 παρουσιάζει τα προθέματα στο SI. Στον πίνακα 1.3 δίνονται τιμές για διάφορα αντιπροσωπευτικά μήκη.

Το **εμβαδόν** είναι φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει επιφάνειες, δηλαδή δύο διαστάσεις. Για παράδειγμα, εκφράζει πόσο μεγάλη είναι η επιφάνεια

Πίνακας 1.1
Μονάδες μέτρησης μήκους

1 έτος φωτός	ly	$9,46 \times 10^{15} \text{ m}$
1 παρσέκ	pc	$3,09 \times 10^{16} \text{ m}$
1 ναυτικό μίλι	M	1852 m

$$\text{Για το σχήμα 2.30(α) } \Lambda.T. = \frac{60}{15} \cdot \frac{45}{60} = \frac{3}{1}$$

$$\text{Για το σχήμα 2.30(β) } \Lambda.T. = \frac{15}{15} \cdot \frac{45}{15} = \frac{3}{1}$$

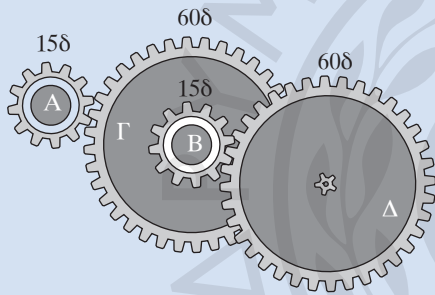
Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη μεταβολή (αύξηση ή μείωση) των στροφών, από αυτή που προσφέρουν δύο γρανάζια, γίνεται χρήση σύνθετων συρμών (κοινώς κιβωτίων ταχυτήτων).



Παράδειγματα

1. Στο σχήμα 2.31, ο λόγος ταχυτήτων είναι

$$\Lambda.T. = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A} \frac{z_A}{z_\Gamma} = \frac{60}{15} \frac{60}{15} = \frac{16}{1}$$

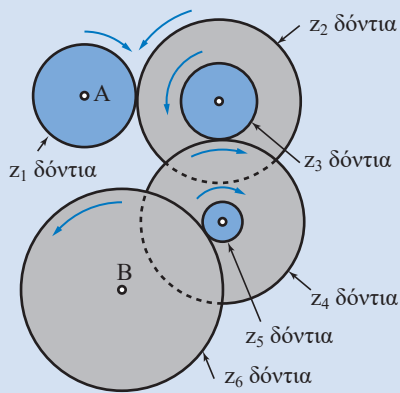


Σχ. 2.31

Σύνθετος συρμός (ή κιβώτιο ταχυτήτων)

2. Στο σχήμα 2.32, ο λόγος ταχυτήτων είναι

$$\Lambda.T. = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} \frac{z_6}{z_5}$$



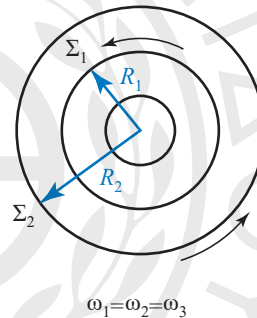
Σχ. 2.32

Υπάρχουν κινήσεις γραναζιών με παράλληλα γρανάζια, όταν οι δυο άξονες είναι παράλληλοι (σχ. 2.31), κωνικά γρανάζια, όταν οι δυο άξονες διασταυρώνονται κάθετα οπότε επιτυγχάνεται μετάδοση περιστροφικής κίνησης με γωνία 90°, ελικοειδή γρανάζια, που καθιστούν δυνατή τη μετάδοση περιστροφικών κινήσεων με άξονες ασύμβατους.

Ομοκεντρικό σύστημα. Δυο σημεία Σ_1, Σ_2 , που ανήκουν στο ίδιο περιστρεφόμενο γρανάζι και απέχουν από το κέντρο του αποστάσεις R_1, R_2 αντίστοιχα, έχουν ίδιες γωνιακές ταχύτητες $\omega_1 = \omega_2 = \omega$, περιόδους $T_1 = T_2 = T$ και συχνότητες $f_1 = f_2 = f$, αλλά διαφορετικές γραμμικές ταχύτητες (σχ. 2.33). Είναι

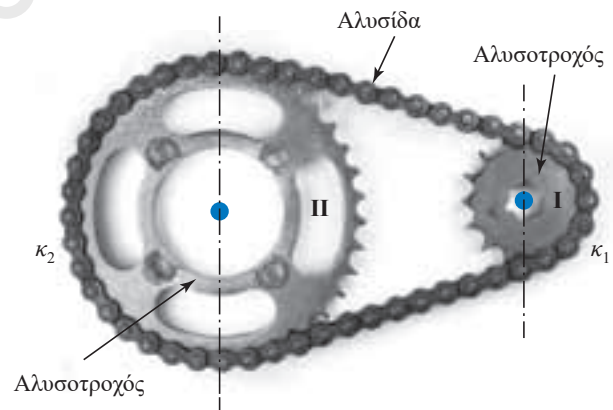
$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \omega \cdot R_1 \\ u_2 &= \omega \cdot R_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{u_1}{u_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Άρα, τα μέτρα των γωνιακών ταχυτήτων είναι ανάλογα προς τις ακτίνες περιστροφής.

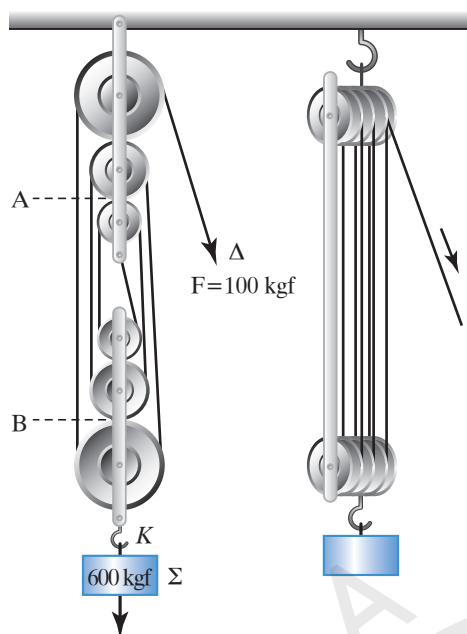


Σχ. 2.33
Περιστρεφόμενο
γρανάζι

Αλυσοκίνηση. Διαφέρει από την κίνηση με μιάνα στο ότι αντί για τροχαλίες χρησιμοποιούνται γρανάζια και αντί για μιάντες ατέρμονη αλυσίδα (σχ. 2.34). Η μετάδοση κίνησης από τον κινητήριο



Σχ. 2.34
Αλυσοκίνηση γραναζιών



Σχ. 4.36

Πολύσπαστο με $3+3=6$ τροχαλίες

σχοινί κατά 6 m. Είναι προφανές ότι λόγω των πολλών επαφών του σχοινοῦ εμφανίζεται αξιόλογη τριβή, συνεπώς η κινητήρια δύναμη F που απαιτείται να καταβάλουμε για τη μετακίνηση του φορτίου είναι στην πράξη κάπως μεγαλύτερη απ' την τιμή B/n .

Οι πάνω τροχαλίες έχουν ως μοναδικό προορισμό τη μεταβολή της κατεύθυνσης άσκησης της δύναμης, χωρίς να παίζουν ρόλο στο μέτρο της δύναμης. Οι κάτω τροχαλίες μικραίνουν το μέτρο της κινητήριας δύναμης που χρειάζεται, ώστε να ανυψωθεί ορισμένο βάρος. Η κάθε μία «υποβιβάζει» το βάρος κατά παράγοντα $1/2$.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις υποθέσαμε ότι οι κινητήριες δυνάμεις και οι δυνάμεις-αντιστάσεις, που ήταν το βάρος που ανυψώνουμε είναι παράλληλες μεταξύ τους. Στο επόμενο παράδειγμα αυτό δεν ισχύει.

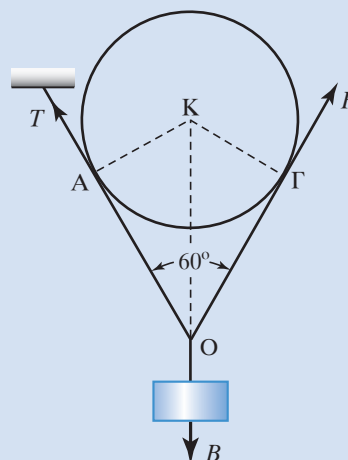


Παράδειγμα

Να υπολογίσετε το μέγιστο φορτίο που μπορούμε να ανυψώσουμε με ελεύθερη τροχαλία, όταν η διεύθυνση της κινητήριας δύναμης F και της δύναμης-αντίστασης σχηματίζουν γωνία 60° , σε διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 4.37.

Λύση

Το μέγιστο φορτίο ισούται με τη συνισταμέ-



Σχ. 4.37

νη των δυνάμεων F και T (τάση του νήματος), που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 60° . Αυτή η συνισταμένη θα ισούται κατά μέτρο με το βάρος B .

Ισχύει ότι $T = F$, διότι οι ροπές τους ως προς το σημείο K , είναι ίσες μεταξύ τους, δηλαδή $KA \cdot T = KG \cdot F$ και επειδή $KA = KG$ έπεται ότι $T = F$.

Συνεπώς:

$$B = \sqrt{F^2 + T^2 + 2FT \cos 60^\circ} =$$

$$= \sqrt{F^2 + F^2 + 2FF \frac{1}{2}} = \sqrt{3F^2} = F\sqrt{3}$$

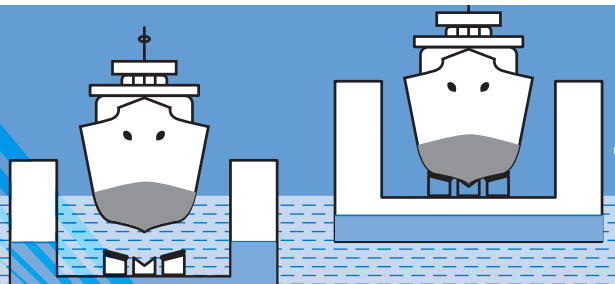
$$\text{άρα: } F = \frac{B}{\sqrt{3}} > \frac{B}{2}$$

Δηλαδή χρειάζεται μεγαλύτερη δύναμη απ' τη δύναμη $B/2$ που είδαμε στα προηγούμενα, με παράλληλα σχοινιά.

4.6.7 Βαρούλκο

Το βαρούλκο αποτελείται από κυλινδρικό τύμπανο (ξύλινο ή μεταλλικό) ακτίνας R , που περιστρέφεται περί άξονα AE με τη βοήθεια στρόφαλου $ΓΕ$, στην άκρη του οποίου υπάρχει χειρολαβή (μανιβέλα) $ΓΔ$ (σχ. 4.38).

Στην κυλινδρική επιφάνεια δένεται το άκρο σχοινοῦ που τυλίγεται γύρω απ' τον κύλινδρο. Στο άλλο άκρο του σχοινοῦ δένεται το σώμα που επιθυμούμε να ανυψώσουμε. Από την ισορροπία των



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υδροστατική -Υδροδυναμική

5.1 Ορισμοί. Παροχή. Ροή. Δυναμική γραμμή. Στρωτή και τυρβώδης ροή

Ρευστά ονομάζονται τα σώματα που ρέουν. Στα ρευστά ανήκουν τα **αέρια** και τα **υγρά**. Τα υγρά είναι σχεδόν ασυμπίεστα και έχουν σχεδόν σταθερό όγκο, ενώ τα αέρια είναι συμπίεστα και τείνουν να καταλάβουν όλο τον όγκο που τους προσφέρεται.

Τέλεια ή **ιδανικά** ονομάζονται τα ρευστά, τα οποία είναι τελείως ασυμπίεστα και δεν παρουσιάζουν τριβές στο εσωτερικό τους ούτε με τα τοιχώματα των δοχείων που τα περιέχουν.

Πραγματικά ονομάζονται τα ρευστά τα οποία παρουσιάζουν, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα, τριβή. Η τριβή παρουσιάζεται στο εσωτερικό του ρευστού οπότε ονομάζεται **εσωτερική τριβή** και με τα τοιχώματα του δοχείου, εντός του οποίου βρίσκονται.

Μερικοί θεωρούν ως ιδανικά τα ρευστά που δεν παρουσιάζουν τριβές, αλλά μπορεί να είναι συμπίεστα.

Ροή ονομάζεται η κίνηση του ρευστού προς μία κατεύθυνση και **πεδίο ροής** ονομάζεται ο χώρος, μέσα στον οποίο το ρευστό κινείται (ρέει).

Μπορούμε να περιγράψουμε τη ροή ενός ρευστού ως εξής: θεωρούμε ότι διαιρείται σε απείρως μικρούς στοιχειώδεις όγκους που ονομάζουμε **σώματα του ρευστού** και το κάθε σωματίο έχει ορισμένη ταχύτητα u και πυκνότητα ρ . Για την πυκνότητα χρησιμοποιείται και το σύμβολο d . Η ροή μπορεί να εξετασθεί εάν ξέρουμε την ταχύτητα και την πυκνότητα σε κάθε σημείο του ρευστού κάθε χρονική στιγμή, δηλαδή τις συναρτήσεις $\vec{u} = u(x, y, z, t)$, $\rho = \rho(x, y, z, t)$. Τα υγρά και υπό κάποιες συνθήκες τα αέρια, έχουν σταθερή πυκνότητα σε σχέση με τη θέση και τον χρόνο.

Με αυτήν τη μεθοδολογία επικεντρωνόμαστε στο τι συμβαίνει μία χρονική στιγμή σ' ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου. Επομένως, κάθε φυσικό μέγεθος που σχετίζεται με το ρευστό (π.χ. η πίεση p) έχει σε κάθε σημείο του χώρου κάθε χρονική στιγμή, μία ορισμένη τιμή, δηλαδή $p = p(x, y, z, t)$.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ροής, αλλά εδώ θα αναφέρουμε τις εξής:

1) **Μόνιμη** ή **στρωτή ροή**, όταν η ταχύτητα του ρευστού σε κάθε σημείο δεν μεταβάλλεται με το χρόνο, δηλαδή είναι χρονικά σταθερή. Οι συνθήκες για στρωτή ροή μπορούν να πραγματοποιηθούν με μικρές ταχύτητες ροής (π.χ. όταν κυλά ένα ήρεμο ρυάκι ή ο αέρας κινείται με μικρές ταχύτητες).

2) **Μη μόνιμη** ή **τυρβώδης ροή**, όταν η ταχύτητα του ρευστού σε κάθε σημείο του χώρου δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με τον χρόνο. Αυτό μπορεί να παρατηρείται σε ορμητικό ποτάμι, σε καταρράκτη ή σε πολύ δυνατό άνεμο.

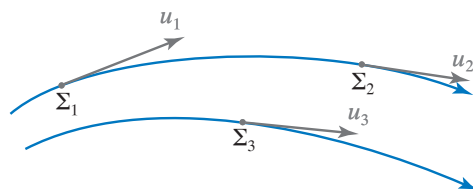
Υπάρχουν περιπτώσεις που η ταχύτητα δεν διατηρείται εντελώς σταθερή, αλλά μεταβάλλεται λίγο, γύρω από κάποια μέση τιμή (**ημιμόνιμη ροή**).

Ρευματική ή **ροϊκή γραμμή** ονομάζεται η γραμμή που είναι εφαπτόμενη στη στιγμιαία ταχύτητα των σωματίων του ρευστού μία χρονική στιγμή.

Όταν η ροή είναι στρωτή (μόνιμη), τότε οι ρευματικές γραμμές δεν αλλάζουν με τον χρόνο και δείχνουν τη διαδρομή που ακολουθεί ένα σωματίο του ρευστού κατά την κίνησή του (σχ. 5.1).

Συνήθως σχεδιάζουμε τις ρευματικές γραμμές έτσι, ώστε η πυκνότητά τους σε μία περιοχή του πεδίου ροής να δείχνει το μέτρο της ταχύτητας του ρευστού στην περιοχή αυτή. Μεγάλη πυκνότητα ρευματικών γραμμών σημαίνει μεγάλη ταχύτητα και μικρή πυκνότητα ρευματικών γραμμών σημαίνει μικρή ταχύτητα.

Οι ρευματικές γραμμές δεν τέμνονται μεταξύ τους, διότι αν τέμνονταν, η ταχύτητα (διάνυσμα)

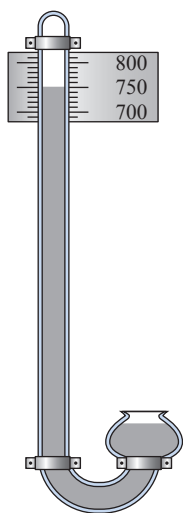


Σχ. 5.1

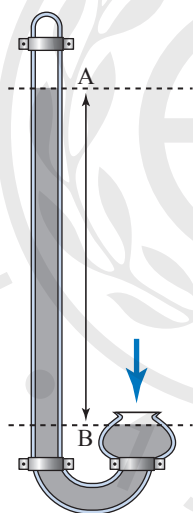
Ρευματικές γραμμές

ρή, άρα επηρεάζεται η ακρίβεια της μέτρησης. Επίσης στοιχίζει ακριβά. Για τους λόγους αυτούς, κατασκευάστηκαν τα **σιφωνοειδή βαρόμετρα**, που είναι εύκολα στη μετακίνηση και παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το σιφωνοειδές βαρόμετρο αποτελείται από γυάλινο σωλήνα γυρισμένο σε σχήμα *U* και μία μικρή λεκάνη (σχ. 5.33).

Ο χώρος στην κορυφή της υδραγυρικής στήλης, στον σωλήνα, είναι ο βαρομετρικός χώρος. Η ένδειξη που αντιστοιχεί στην απόσταση της κλίμακας των δύο ελεύθερων επιφανειών του υδραργύρου, δίνει την ατμοσφαιρική πίεση σε *mm* στήλης υδραργύρου (σχ. 5.34). Αν η ατμοσφαιρική πίεση μεταβληθεί, η ελεύθερη επιφάνεια του υδραργύρου, στο αριστερό σκέλος, μεταβάλλεται (ανεβαίνει ή κατεβαίνει) και αυτή η μεταβολή ύψους της υδραγυρικής στήλης επιδρά ανεπαίσθητα στο ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του υδραργύρου στη λεκάνη, διότι αυτή έχει διατομή πολύ μεγαλύτερη από ό,τι ο σωλήνας.



Σχ. 5.33
Σιφωνοειδές
βαρόμετρο



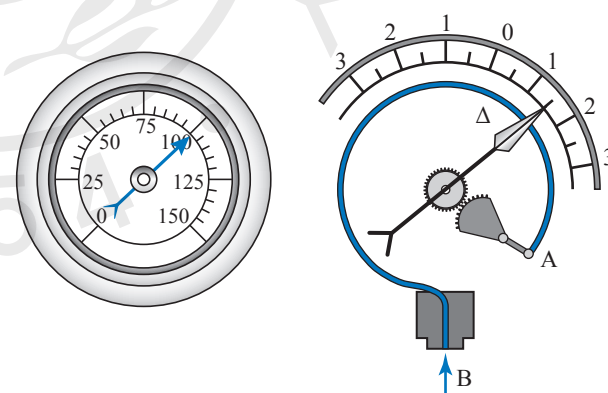
Σχ. 5.34
Η απόσταση *AB* δίνει
την ατμοσφαιρική πίεση

5.3.9 Μανόμετρο

Το μανόμετρο ή θλιβόμετρο είναι το όργανο με το οποίο μετράμε την πίεση αερίων ή υγρών. Αποτελεί απαραίτητο εξάρτημα ατμολεβήτων και δοχείων που περιέχουν αέρια (οξυγόνο, ασετυλίνη) υπό πίεση. Υπάρχουν πολλοί τύποι, βαθμολογημένοι, ώστε να δείχνουν τη μανομετρική πίεση. Οι κυριότεροι, είναι τα μανόμετρα με υγρό και τα μεταλλικά μανόμετρα. Ειδικότερα:

Μεταλλικό μανόμετρο, χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία, για μέτρηση πίεσης υγρών ή αερίων, μεγαλύτερης ή μικρότερης από την ατμοσφαιρική. Αποτελείται από μεταλλικό δοχείο, με ελαστικά τοιχώματα, που παθαίνουν παραμορφώσεις λόγω της πίεσης που τους ασκείται και την οποία θέλουμε να μετρήσουμε. Οι παραμορφώσεις αυτές, μέσω συστήματος μοχλών, αναγκάζουν το δείκτη να μετακινείται μπροστά από βαθμολογημένη κλίμακα. Βαθμολογούνται εμπειρικά.

Μανόμετρο Bourdon, είναι εύχρηστο μανόμετρο, αλλά όχι μεγάλης ακρίβειας. Αποτελείται από καμπύλο, ελαστικό, μεταλλικό σωλήνα, πεπλατυσμένο, κλειστό στο ένα άκρο του *A* (σχ. 5.35). Ο σωλήνας κάμπτεται σε σχήμα τόξου και η διατομή του είναι σε σχήμα έλλειψης που τείνει να γίνει κυκλικό και ο σωλήνας να γίνει ευθύς (ξετυλίγεται), όσο η πίεση του αερίου (ή του ατμού) μέσα του αυξάνεται, καθώς εισρέει από το ανοικτό του άκρο *B*. Η κίνηση του σωλήνα μεταδίδεται με σύστημα οδοντωτών τροχών στον δείκτη *Δ*, ο οποίος κινούμενος γύρω από βαθμολογημένη κλίμακα μας δίνει την πίεση του αερίου (ή του ατμού). Ένα κιλό νερό, αν θερμανθεί μέχρις ότου μετατραπεί σε ατμό, υπό κανονική πίεση, θα καταλάβει όγκο 1.696 φορές μεγαλύτερο από τον όγκο του νερού από τον οποίο προήλθε, άρα θα ασκεί πίεση στα εσωτερικά τοιχώματα του δοχείου που τον περιέχει.



Σχ. 5.35
Μανόμετρο Bourdon

Τα **μανόμετρα με υγρό**, διακρίνονται σε ανοικτά και κλειστά. Είναι όργανα μεγάλης ακρίβειας, πλην όμως εύθραυστα και δύσχρηστα. Ειδικότερα:

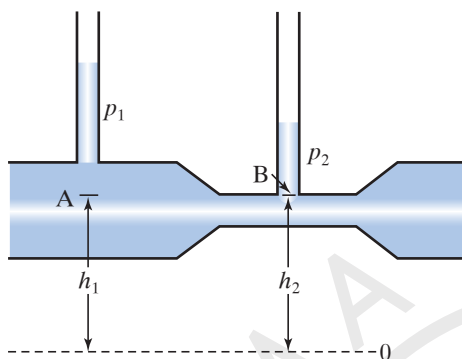
α) Το **ανοικτό μανόμετρο** αποτελείται από γυάλινο σωλήνα σχήματος *U* με κατακόρυφα ανοικτά σκέλη, που περιέχει υγρό γνωστής πυκνότητας, συνήθως νερό ή υδράργυρο. Το ένα σκέλος συνδέε-

Η μαθηματική του διατύπωση είναι:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 = \text{σταθερό.}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι στις στενότητες οριζόντιου σωλήνα, που η ταχύτητα του ρευστού είναι μεγάλη, η στατική του πίεση είναι μικρή.

Αυτή η σχέση είναι ο Νόμος του Bernoulli.

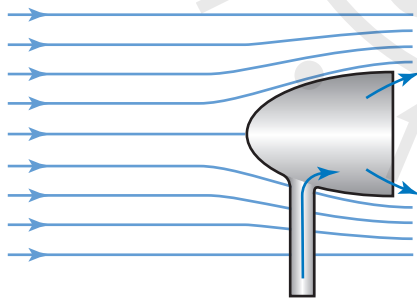


Σχ. 5.51

Οριζόντιος σωλήνας μη σταθερής διατομής

– Εφαρμογές του Νόμου του Bernoulli

Υπάρχουν εφαρμογές του Νόμου του Bernoulli σε υγρά και αέρια. Σε αυτόν τον Νόμο στηρίζεται η λειτουργία των εξαεριστήρων των πλοίων και των λεωφορείων (σχ. 5.52). Μερικές από τις εφαρμογές του Νόμου του Bernoulli είναι οι ακόλουθες:



Σχ. 5.52

Εξαεριστήρας πλοίου

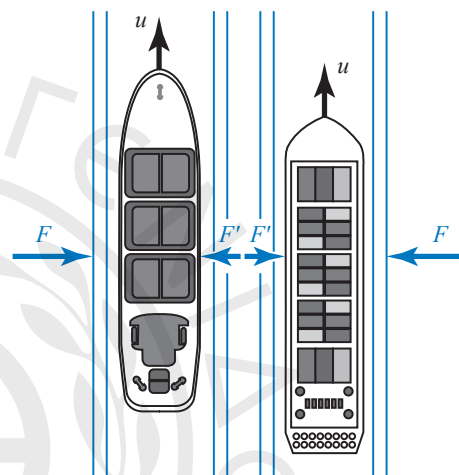
1) Εξαεριστήρας πλοίου

Στα άκρα του εξαεριστήρα πλοίου δημιουργείται συμπίκνωση των γραμμών ροής του αέρα, η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από ό,τι στο εσωτερικό του πλοίου, οπότε η πίεση είναι μικρότερη και ο αέρας «πιέζεται» να βγει έξω από το εσωτερικό του πλοίου και με αυτόν τον τρόπο γίνεται ο εξαερισμός. Οι διαφορές υψομετρικής πίεσης δεν είναι σημαντικές

σε σχέση με τις διαφορές της στατικής και δυναμικής πίεσης.

2) Σύγκρουση πλοίων

Όταν δύο πλοία κινούνται το ένα πολύ κοντά στο άλλο, τότε η ταχύτητα του νερού που βρίσκεται ανάμεσά τους γίνεται πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα του νερού στα άλλα σημεία (σχ. 5.53). Συνεπώς, οι στατικές πιέσεις του νερού που βρίσκεται ανάμεσα στα πλοία είναι μικρότερες, άρα τα πλοία ωθούνται το ένα προς το άλλο.

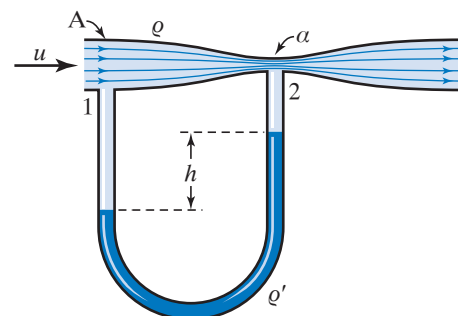


Σχ. 5.53

Σύγκρουση πλοίων λόγω μικρότερων στατικών πιέσεων ανάμεσά τους σε σχέση με τις εξωτερικές

3) Βεντουρίμετρο

Το βεντουρίμετρο είναι ένα όργανο μέτρησης πίεσης (μανόμετρο). Συνδέεται με σωλήνα, μέσα στον οποίο ρέει ρευστό πυκνότητας ρ την ταχύτητα ροής του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε (υπολογίσουμε) (σχ. 5.54).



Σχ. 5.54

Σχηματικό διάγραμμα βεντουρίμετρου



Σχ. 5.73

Πλάγιος άνεμος
ασκεί δύναμη σε σκάφος



Σχ. 5.74

Η καρίνα του σκάφους
προβάλλει αντίσταση στην
πλάγια κίνηση



Σχ. 5.75

Ο συνδυασμός των δυνάμεων
έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση
του σκάφους κατά μήκος του
άξονά του



ΑΣΚΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- Αγωγός ύδρευσης (διαμέτρου 3 cm) συνδέεται με τρεις σωλήνες ύδρευσης (διαμέτρων 1, 0,75 και 0,5 cm), των οποίων αντίστοιχα οι παροχές είναι $\Pi_1 = 20 \text{ L/min}$, $\Pi_2 = 10 \text{ L/min}$, $\Pi_3 = 8 \text{ L/min}$. Ποια η παροχή του αγωγού ύδρευσης; Ποια η ταχύτητα του νερού στο σωλήνα διαμέτρου μισής ίντσας;
- Αγωγός ύδρευσης εμβαδού διατομής $S = 30 \text{ cm}^2$ γεμίζει δεξαμενή χωρητικότητας 10 m^3 σε 25 ώρες. Να υπολογίσετε την παροχή του αγωγού και την ταχύτητα εκροής του νερού από αυτόν.
- Πύργος στηρίζεται σε 16 υδραυλικά πιεστήρια και έχει μάζα 8000 t. Πόση δύναμη πρέπει να ασκείται στο μικρό έμβολο κάθε πιεστηρίου, εάν η διατομή του μεγάλου εμβόλου είναι εκατονταπλάσια της διατομής του μικρού;
- Το μικρό έμβολο υδραυλικού πιεστηρίου έχει διάμετρο $D_1 = 1 \text{ cm}$ και ασκείται σε αυτό δύναμη $F_1 = 10 \text{ N}$. Πόση πρέπει να είναι η διάμετρος D_2 του μεγάλου εμβόλου, ώστε να ασκείται σ' αυτό δύναμη $F_2 = 200\,000 \text{ N}$;
- Το μικρό έμβολο υδραυλικού πιεστηρίου έχει επιφάνεια $S_1 = 4 \text{ cm}^2$ και του ασκείται δύναμη $F_1 = 20 \text{ kgf}$. Αν το μεγάλο έμβολο έχει επιφάνεια $S_2 = 40 \text{ cm}^2$, να υπολογίσετε:
 - Το μέτρο της δύναμης F_2 που ασκείται στο μεγάλο έμβολο,
 - Τη μετατόπιση ℓ_2 του μεγάλου εμβόλου, όταν το μικρό έμβολο μετατοπιστεί κατά $\ell_1 = 15 \text{ cm}$.
 - Τι συμπεράσματα βγάζετε για τα έργα στα δύο έμβολα;
- Το εμβαδό των μικρών εμβόλων σε δύο υδραυλικά πιεστήρια είναι το ίδιο και ισούται με $S_1 = 10 \text{ cm}^2$. Τα μεγάλα τους έμβολα έχουν εμβαδό $S_2 = 150 \text{ cm}^2$ και $S_2' = 1500 \text{ cm}^2$ αντίστοιχα. Αν στο μικρό έμβολο κάθε πιεστηρίου ασκήσουμε δύναμη $F_1 = 1 \text{ N}$, να υπολογίσετε:
 - Την πίεση που δέχεται κάθε μεγάλο έμβολο.
 - Τις δυνάμεις που ασκούνται στο μεγάλο έμβολο κάθε πιεστηρίου.
- Δύο κατακόρυφα κυλινδρικά συγκοινωνούντα δοχεία διατομών 100 cm^2 και 25 cm^2 , αντίστοιχα, περιέχουν νερό. Ρίχνουμε στο ένα 2,5 L νερό. Να υπολογίσετε πόσο θα ανεβεί η στάθμη στο κάθε δοχείο.
- Να υπολογίσετε την πίεση p_A που επικρατεί στην ελεύθερη επιφάνεια του σιφωνίου του σχήματος 1 που περιέχει νερό ύψους $h = 15 \text{ cm}$. Δίνεται $\varepsilon_{\text{NEPOY}} = 1 \text{ p/cm}^3$.

τητα Q_H που απορροφάται απ' το σύστημα για να παραχθεί το έργο αυτό. Έχουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι:

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_C|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

Ο συντελεστής απόδοσης e μιας θερμικής μηχανής είναι καθαρός αριθμός, διότι είναι λόγος δύο ομοειδών μεγεθών (ποσοτήτων ενέργειας).

Ο συντελεστής απόδοσης, e , μιας μηχανής είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας, συμφωνώντας απόλυτα με τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο.

6.6.2 Κύκλος Carnot

Ο Γάλλος μηχανικός Nicolas Carnot μελέτησε και παρουσίασε μια κυκλική μεταβολή, πάνω στην οποία θα μπορούσε θεωρητικά να εργαστεί μια θερμική μηχανή. Η θερμική μηχανή που ακολουθεί την κυκλική μεταβολή του κύκλου Carnot είναι μια ιδανική μηχανή με τον μέγιστο δυνατό συντελεστή απόδοσης μεταξύ δύο δεδομένων θερμοκρασιών T_1 και T_2 , που χρησιμοποιεί ιδανικό αέριο ως ενεργό υλικό. Στο σχήμα 6.27 περιγράφουμε τον κύκλο

Carnot, ο οποίος περιλαμβάνει τις εξής μεταβολές:

1) Ισόθερμη εκτόνωση σε θερμοκρασία T_H , κατά τη διάρκεια της οποίας απορροφά θερμότητα Q_H . (Μεταβολή a-b).

2) Αδιαβατική εκτόνωση μέχρι η θερμοκρασία του να πέσει σε T_C . (Μεταβολή b-c).

3) Ισόθερμη συμπίεση σε θερμοκρασία T_C , κατά τη διάρκεια της οποίας το αέριο αποβάλλει θερμότητα Q_C . (Μεταβολή c-d).

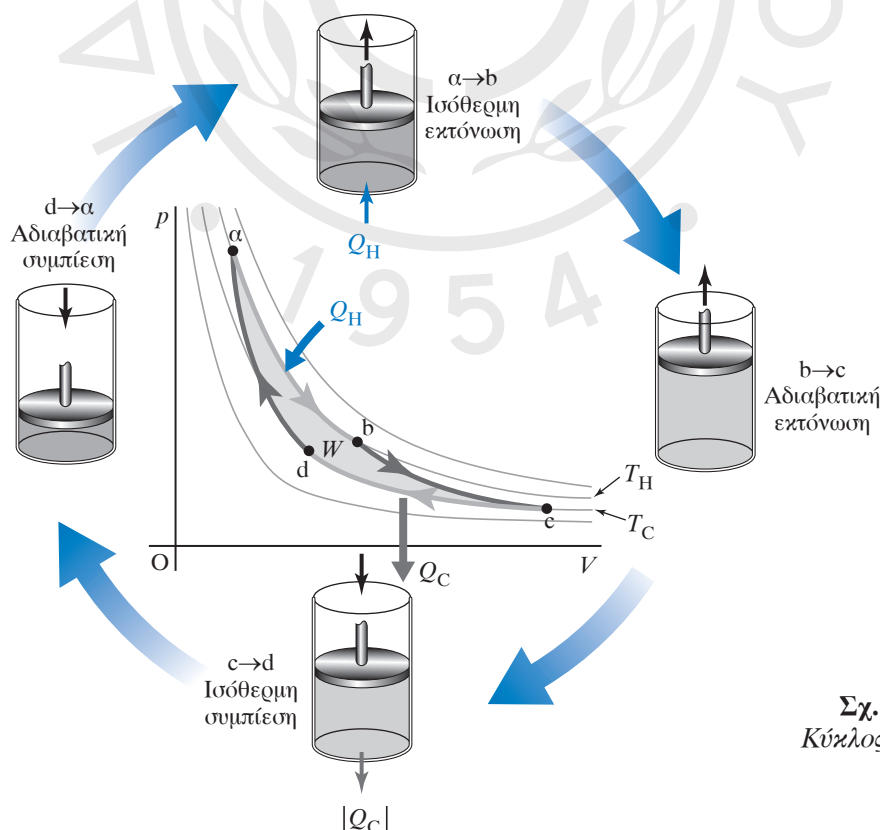
4) Αδιαβατική συμπίεση μέχρι να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση σε θερμοκρασία T_H . (Μεταβολή d-a).

Ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής Carnot εξαρτάται μόνο απ' τις θερμοκρασίες T_C και T_H των δύο δεξαμενών θερμότητας. Θα δείξουμε ότι ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής Carnot υπολογίζεται από τη σχέση:

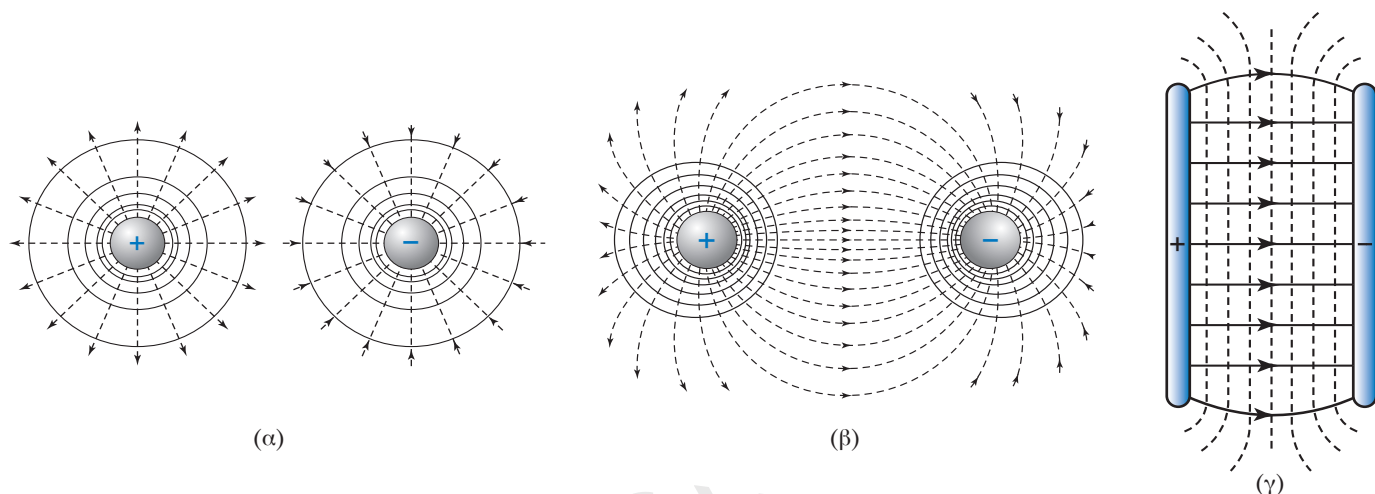
$$e_c = 1 - \frac{T_C}{T_H} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

Απόδειξη

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, ο συντελεστής απόδοσης μίας μηχανής υπολογίζεται

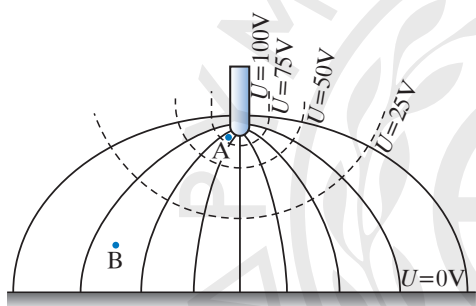


Σχ. 6.27
Κύκλος Carnot



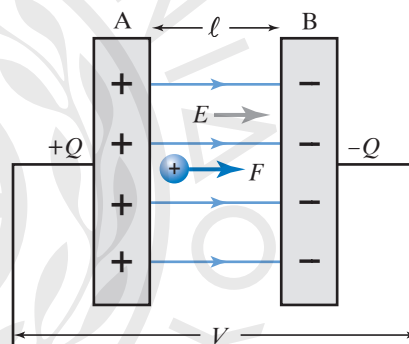
Σχ. 9.36

Δυναμικές γραμμές και ισοδυναμικές επιφάνειες (α) γύρω από θετικό και αρνητικό σημειακό φορτίο, (β) πεδίου δύο ετερώνυμων σημειακών ηλεκτρικών φορτίων, και (γ) πεδίου δύο φορτισμένων επιπέδων και παράλληλων πλακών



Σχ. 9.37

Δυναμικές γραμμές και ισοδυναμικές επιφάνειες πεδίου μεταξύ ακίδας και επίπεδης επιφάνειας



Σχ. 9.38

Η ένταση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου ανάμεσα σε δύο φορτισμένες πλάκες εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού (V) και τη μεταξύ τους απόσταση (ℓ)

9.4.10 Σχέση μεταξύ διαφοράς δυναμικού και έντασης ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου

Δύο επίπεδες μεταλλικές πλάκες A, B έχουν ίσα αλλά ετερώνυμα ηλεκτρικά φορτία και η μεταξύ τους απόσταση είναι ℓ . Ανάμεσα στις πλάκες σχηματίζεται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, με σταθερή ένταση E . Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλακών είναι V (σχ. 9.38). Δοκιμαστικό φορτίο q αφήνεται αρχικά πολύ κοντά στον οπλισμό A. Στο φορτίο ενεργεί δύναμη $F = Eq$ και το μετακινεί μέχρι τον οπλισμό B. Κατά τη μετακίνηση αυτή η δύναμη του πεδίου παράγει έργο $W = F\ell = Eq\ell$ ή $W = qV$, δηλαδή ισχύει $Eq\ell = qV$ ή $E\ell = V$, συνεπώς:

$$E = V/\ell.$$

Η εξίσωση αυτή είναι ειδική περίπτωση της σχέσης $E = dV/d\ell$ και φανερώνει ότι η ένταση E ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου ισούται με τη μεταβολή του δυναμικού κατά μονάδα μήκους της δυναμικής γραμμής. Απ' τη σχέση $E = V/\ell$ διαπιστώνουμε ότι μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι το 1 V/m, που είναι ισοδύναμο με το 1 N/C. Πράγματι ισχύει:

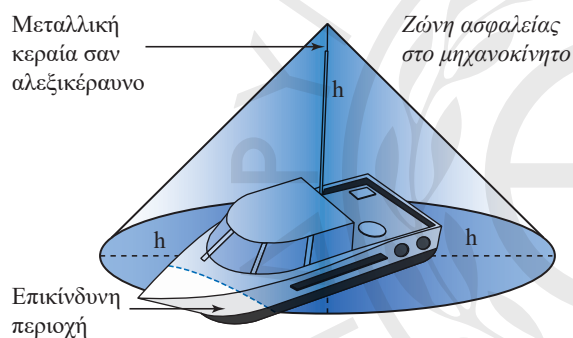
$$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{coulomb} \cdot \text{m}} = 1 \frac{\text{N} \times \text{m}}{\text{m} \times \text{C}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}.$$

Οι τιμές έντασης και δυναμικού σφαίρας ακτίνας R , φορτισμένης με θετικό φορτίο $+Q$, σε σχέση

φή του αλουμινένιου καταρτιού για τα ιστιοφόρα) με την ακίδα του να προεξέχει ακόμη και από τις κεραίες επικοινωνιών (VHF) διότι το ενδεχόμενο ο κεραυνός να χτυπήσει το κατάρτι είναι η πιο ασφαλής εκδοχή για το πλήρωμα. Το αλουμινένιο κατάρτι ενός ιστιοφόρου είναι ο πιο κατάλληλος αγωγός μίας ηλεκτρικής εκκένωσης (σχ. 9.45).

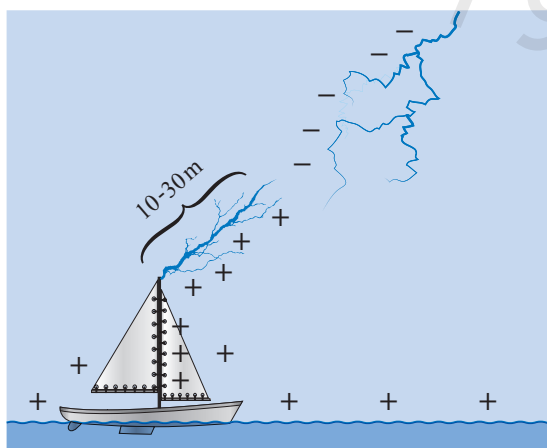
Σε περίπτωση απουσίας ή βλάβης του αλεξικέρανου, για την αντικεραυνική προστασία του πλοίου δύνανται να χρησιμοποιηθεί μία μεταλλική (όχι πλαστική) κεραία επικοινωνιών, τοποθετημένη όσο το δυνατόν υψηλότερα και εφοδιασμένη με συλλέκτη ηλεκτρικής εκκένωσης. Η ηλεκτρική εκκένωση πρέπει να διοχετευτεί στη γείωση, η οποία είναι σε επαφή με τη θάλασσα, από τη συντομότερο οδό (π.χ. μεταλλικό κατάρτι ιστιοπλοϊκού).

Τα σιδερένια πλοία εκ κατασκευής, είναι απόλυτα εγγενώς γειωμένα διότι τα μεταλλικά τους μέρη είναι σε επαφή το ένα με το άλλο. Στα πλαστικά και



Σχ. 9.44

Αντικεραυνική προστασία μηχανοκίνητου πλοίου



Σχ. 9.45

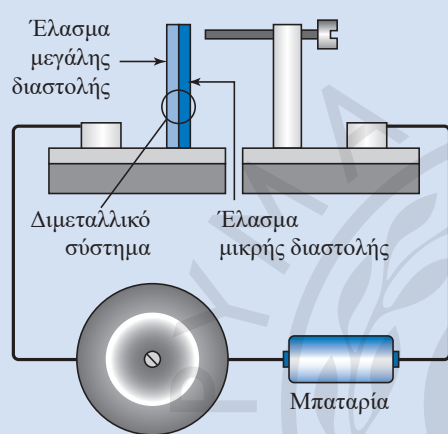
Κεραυνός χτυπά ιστιοφόρο

ξύλινα πλοία, το κατάρτι συνδέεται μέσω χάλκινου καλωδίου μεγάλης διατομής ή μεταλλικού πλέγματος με την καρίνα. Το μέγεθος κάθε νήματος του γυμνού καλωδίου χαλκού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,71mm. Τα μονωμένα καλώδια χαλκού πρέπει να έχουν τουλάχιστον 19 νήματα. Το πάχος κάθε μεταλλικής λωρίδας του πλέγματος πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 1mm.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πλοίων είναι ανθεκτικά στη διάβρωση. Γενικά, αποφεύγεται η διασταύρωση δύο ανόμοιων μετάλλων, στην περίπτωση όμως που κριθεί σκόπιμο να γίνει, οι επιπτώσεις της διάβρωσης περιορίζονται με χρήση κατάλληλων επιμεταλλώσεων ή συνδέσεων γαλβανικά συμβατών και με τα δύο μέταλλα. Για την καλύτερη προστασία, συνιστάται για τα πλοία που ταξιδεύουν εν μέσω καταιγίδας, να αποσυνδέονται από το ηλεκτρικό δίκτυο όλες εκείνες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που δεν είναι άκρως απαραίτητες για την ασφαλή πλεύση, με την αφαίρεση τους από τις πρίζες παροχής ρεύματος. Η ύπαρξη γείωσης ή το είδος της, δε σχετίζονται με την πιθανότητα να χτυπήσει ή όχι ο κεραυνός το πλοίο. Δεν υπάρχουν συγκεντρωτικά επιστημονικά δεδομένα για τη συχνότητα με την οποία τα πλοία πλήττονται από κεραυνούς. Οι υλικές ζημιές (βλάβες ή καταστροφή σε δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, ράδιο VHF, ράδιο μετεωρολογικής ενημέρωσης, συστήματα μέτρησης ταχύτητας ανέμου, γεννήτριες 12V και πιθανές διατρήσεις στο σκελετό του πλοίου) που προκαλεί ο κεραυνός στο δίχως αντικεραυνική προστασία πλοίο που πλήττει, είναι μεγαλύτερες αν αυτό πλέει σε ποτάμι ή λίμνη (γλυκό νερό) απ' ό,τι στην ανοιχτή θάλασσα διότι το γλυκό νερό είναι χειρότερος αγωγός από το θαλασσινό. Το πλοίο θεωρείται ότι έχει αντικεραυνική προστασία αν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ τερματικού αέρα και τερματικού γείωσης.

Τύποι γειώσεων πλοίων. Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων γειώνεται με τους εξής τρόπους: **αγείωτο** (με μονωμένο ουδέτερο αγωγό), συμπαγώς γειωμένο, γειωμένο μέσω αντίδρασης (χωρητικής ή επαγωγικής) και γειωμένο μέσω αντίστασης (υψηλής και χαμηλής). Οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας που βρίσκονται κοντά στην καλωδίωση του πλοίου, δεν πρέπει να δρομολογούνται παράλληλα με αυτήν. Επίσης, πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 2 m από δεξαμενές και καζάνια.

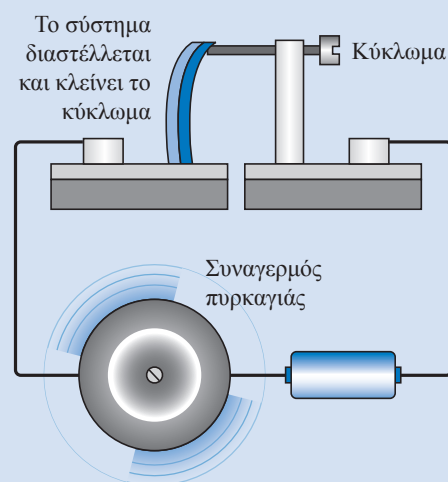
4. Οι ανιχνευτές καπνού που υπάρχουν στα πλοία, προκειμένου σημάνουν συναγερμό σε περίπτωση πυρκαγιάς, περιέχουν στο εσωτερικό τους μία πολύ ασθενή ραδιενεργό πηγή που ιονίζει τον αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό ανιχνευτή. Όταν δημιουργηθεί καπνός λόγω φωτιάς, παράγονται πολύ περισσότερα ιόντα που εισερχόμενα στον ανιχνευτή ενεργοποιούν τον συναγερμό. Παλαιότερα το σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς που χρησιμοποιούνταν λειτουργούσε με χρήση διμεταλλικού ελάσματος (σχ. 9.59).



Σχ. 9.59
Ανοιχτό κύκλωμα

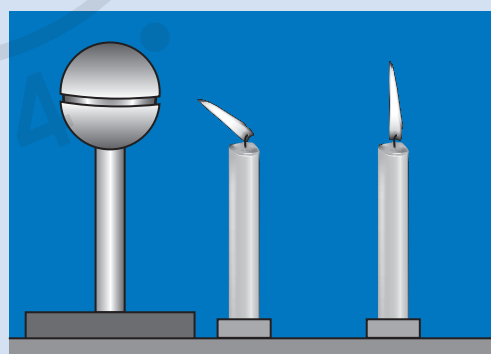
Το διμεταλλικό έλασμα αποτελείται από δυο επιμήκη μεταλλικά ελάσματα, κατασκευασμένα από διαφορετικό υλικό, τα οποία είναι συγκολλημένα κατά μήκος. Σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία έχει τη μορφή ευθύγραμμης ράβδου, όταν όμως θερμανθεί, τα δυο ελάσματα διαστέλλονται. Επειδή αποτελούνται από μέταλλα με διαφορετικό συντελεστή γραμμικής διαστολής, το ένα επιμηκύνεται περισσότερο απ' το άλλο και έτσι το σύστημα τους καμπυλώνεται. Όταν το σύστημα θερμανθεί, το διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται, το κύκλωμα κλείνει και το κουδούνι χτυπά (σχ. 9.60).

5. Τοποθετούμε δύο ίδια κεριά έτσι, ώστε οι φλόγες τους να βρίσκονται στο ίδιο οριζό-



Σχ. 9.60
Κλειστό κύκλωμα

ντιο επίπεδο με το κέντρο της σφαίρας μίας γεννήτριας Van de Graaf, που είναι αρνητικά φορτισμένη. Το φορτίο της γεννήτριας ασκεί ελκτικές δυνάμεις στα θετικά ιόντα που βρίσκονται κοντά στα κεριά. Έτσι, δημιουργείται ένα ρεύμα ιόντων με κατεύθυνση προς τη σφαίρα, το οποίο προκαλεί καμπύλωση στις φλόγες των κεριών. Πιο έντονα παρατηρείται η καμπύλωση στη φλόγα του κεριού που είναι κοντύτερα στη σφαίρα, ενώ η φλόγα του άλλου κεριού επηρεάζεται πολύ λιγότερο (σχ. 9.61). Το φαινόμενο αυτό αποτελεί εφαρμογή του νόμου Coulomb.



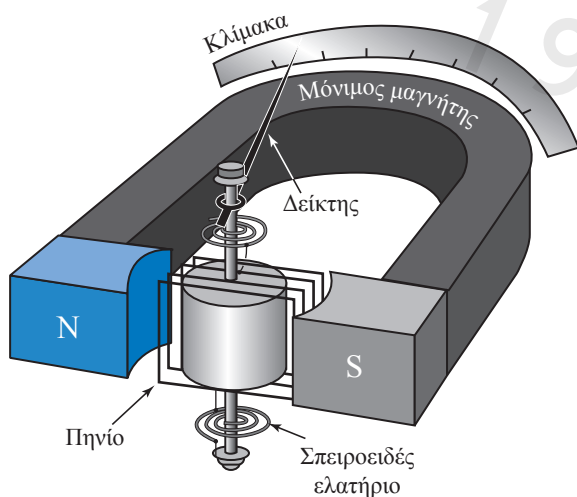
Σχ. 9.61
Καμπύλωση της φλόγας του κεριού

κομμάτια έτσι ώστε οι δύο βόρειοι και νότιοι πόλοι να είναι απέναντι ο ένας από τον άλλο. Συνεπώς, τα κομμάτια απωθούνται. Η άπωση προκαλεί την απόκλιση του δείκτη. Αν η φορά του ρεύματος αλλάξει, αλλάζουν ταυτόχρονα και οι δύο πόλοι. Άρα, η άπωση εξακολουθεί να υπάρχει. Συνεπώς, το όργανο είναι κατάλληλο για μετρήσεις και σε εναλλασσόμενα ρεύματα.

– Χρήση γαλβανόμετρου ως αμπερόμετρο και βολτόμετρο

Το αμπερόμετρο του σχήματος 10.30, αποτελείται από μόνιμο πεταλοειδή μαγνήτη. Στο διάκενο των πόλων του μαγνήτη, υπάρχει ορθογώνιο πλαίσιο, με πολλές σπείρες, κατάλληλα τοποθετημένο, ώστε να μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα. Σπειροειδή ελατήρια, προσαρμοσμένα στο πλαίσιο, το συγκρατούν ελαστικά, σε μία θέση ισορροπίας. Ο δείκτης που είναι τοποθετημένος στον άξονα πλαισίου, μετακινείται μπροστά από βαθμολογημένη κλίμακα και δείχνει το ρεύμα. Όταν διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα από το πλαίσιο, αυτό στρέφεται, τα ελατήρια παραμορφώνονται και τείνουν να στρέψουν το πλαίσιο αντίθετα. Συνεπώς, το πλαίσιο ισορροπεί στη θέση που θα εξισωθούν οι δυο ροπές, (του ζεύγους δυνάμεων που προκαλούνται από το ρεύμα και η προκαλούμενη από την ελαστική παραμόρφωση των ελατηρίων).

Αν το πλαίσιο οργάνου κατασκευαστεί με μεγάλη εσωτερική αντίσταση και η κλίμακα βαθμολογηθεί σε volt, προκύπτει βολτόμετρο με κινητό πλαίσιο. Τα όργανα που περιγράφηκαν είναι αδύνατο



Σχ. 10.30

Τομή αμπερόμετρου με κινητό πλαίσιο

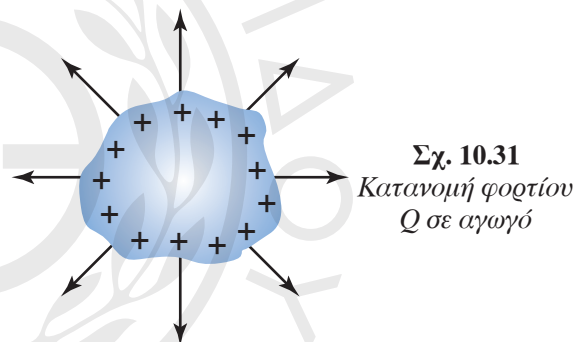
να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις σε εναλλασσόμενο ρεύμα, διότι η αλλαγή της φοράς του, προκαλεί αλλαγή στη φορά περιστροφής του πλαισίου. Έτσι, λόγω της αδράνειας του, το πλαίσιο δεν μπορεί να παρακολουθεί τις εναλλαγές της φοράς του ρεύματος και ακινητεί στη θέση μηδέν.

Αν στο εσωτερικό του συνδεθεί ανορθωτής, (όργανο που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές) το αμπερόμετρο (ή το βολτόμετρο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εναλλασσόμενο ρεύμα.

10.3 Χωρητικότητα αγωγού. Πυκνωτής. Υπολογισμός χωρητικότητας πυκνωτή. Φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτή. Συνδεσμολογία πυκνωτών

10.3.1 Χωρητικότητα αγωγού και υπολογισμός της

Στον αγωγό του σχήματος 10.31 προσφέρουμε φορτίο Q , που κατανέμεται στην εξωτερική του επιφάνεια, κάθε σημείο της οποίας αποκτά δυναμικό V .



Το πηλίκο Q/V παραμένει σταθερό, ανεξάρτητα απ' το φορτίο που δίνουμε στον αγωγό. Το σταθερό πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου αγωγού προς το δυναμικό του ονομάζεται **χωρητικότητα** του αγωγού, C .

Αποδεικνύεται ότι η χωρητικότητα σφαιρικού αγωγού ακτίνας R στο SI δίνεται από τον τύπο $C = 4\pi\epsilon_0\kappa R$, όπου κ είναι η διηλεκτρική σταθερά του μέσου, μέσα στο οποίο βρίσκεται ο αγωγός. Αν το μέσον είναι το κενό, τότε $\kappa = 1$. Αυτό ισχύει κατά προσέγγιση και για τον αέρα.

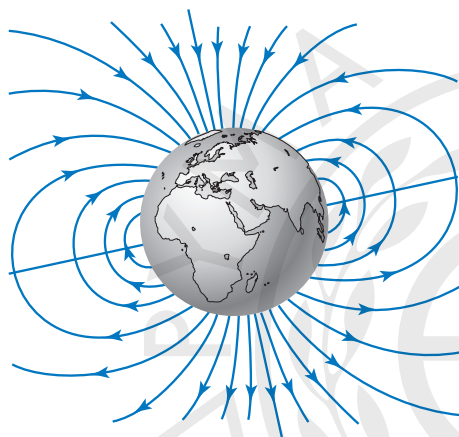
Μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας στο SI είναι το 1C/V . Αυτή η μονάδα μέτρησης ονομάζεται **φαράντ**, (farad – F), ($1\text{F} = 1\text{C}/1\text{V} = 1\text{C/V}$). Υποπολλαπλάσια του 1 F είναι: $1\text{mF} = 10^{-3}\text{F}$ (μιλifarad), $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ (μικροφαράντ), $1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$ (νανοφαράντ), $1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$ (πικοφαράντ).

Για παράδειγμα, η Γη έχει χωρητικότητα ίση με περίπου $710\mu\text{F}$.

Την κατάργηση των μαγνητικών ιδιοτήτων ενός μαγνήτη επιτυγχάνουμε σφυρηλατώντας τον καταστρέφοντας με τον τρόπο αυτό τον συγκεκριμένο προσανατολισμό των μαγνητικών περιοχών Weiss. Αν τυλίξουμε έναν μαγνήτη με ρευματοφόρο αγωγό, του οποίου το ρεύμα συνεχώς μειώνεται ενώ ταυτόχρονα αναστρέφεται περιοδικά η φορά του, ο μαγνήτης απομαγνητίζεται.

11.1.2 Μαγνητικό πεδίο της Γης

Στη Γη υπάρχει μαγνητικό πεδίο (σχ. 11.6) και για κάθε μικρή περιοχή θεωρείται ομογενές. Το διάνυσμα $\vec{B}$ σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της Γης βρίσκεται σ' ένα κατακόρυφο επίπεδο, που είναι ο μαγνητικός μεσημβρινός του τόπου.



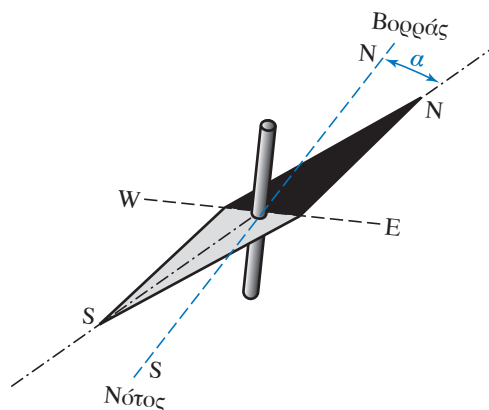
Σχ. 11.1.6

Σχηματική παράσταση του γήινου μαγνητικού πεδίου

Μαγνητική απόκλιση (α) ονομάζεται η διέδρη γωνία που σχηματίζουν ο μαγνητικός μεσημβρινός ενός τόπου με τον γεωγραφικό μεσημβρινό του τόπου αυτού (σχ. 11.7 και 11.8). Η μαγνητική απόκλιση χαρακτηρίζεται ως ανατολική ή δυτική, ανάλογα με το αν ο βόρειος πόλος της μαγνητικής βελόνας βρίσκεται αντίστοιχα ανατολικά ή δυτικά του γεωγραφικού μεσημβρινού.

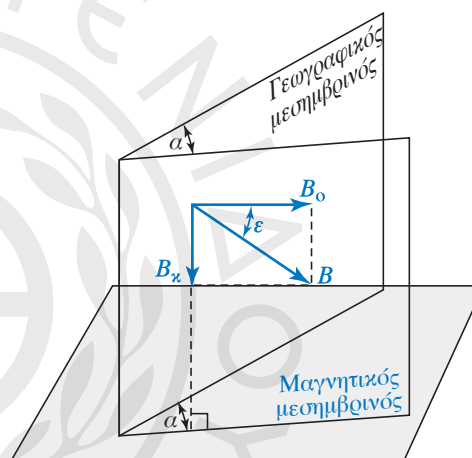
Μαγνητική έγκλιση (ϵ) ονομάζεται η γωνία που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο το $\vec{B}$ του γήινου μαγνητικού πεδίου (σχ. 11.9). Στο βόρειο μαγνητικό πόλο η έγκλιση είναι $+90^\circ$ (το $\vec{B}$ είναι κατακόρυφο με φορά προς τα κάτω), στον νότιο μαγνητικό πόλο είναι -90° και στον Ισημερινό είναι περίπου μηδέν.

Το διάνυσμα $\vec{B}$ αναλύεται σε δύο συνιστώσες κάθετες μεταξύ τους, την οριζόντια B_o και την κατακόρυφη B_K (σχ. 11.8). Το μαγνητικό πεδίο της Γης σε κάθε τόπο, κάθε χρονική στιγμή, προσδιορίζεται από τη μαγνητική απόκλιση, τη μαγνητική έγκλιση και την οριζόντια συνι-



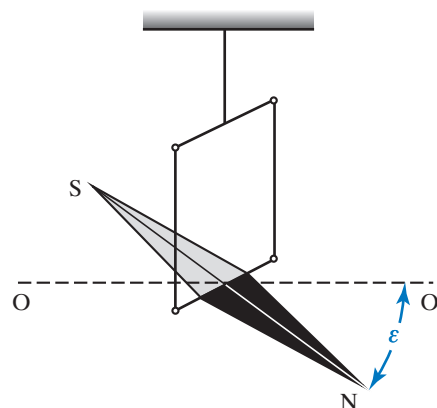
Σχ. 11.1.7

Μαγνητική απόκλιση (α)



Σχ. 11.8

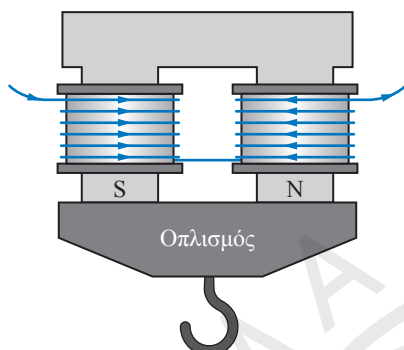
Μαγνητική απόκλιση (α) και μαγνητική έγκλιση (ϵ)



Σχ. 11.9

Μαγνητική έγκλιση

1) **Ηλεκτρομαγνητικός γερανός.** Πρόκειται για ισχυρό πεταλοειδή μαγνήτη (σχ. 11.21) που έλκει με μεγάλη δύναμη τον από μαλακό σίδηρο οπλισμό του. Προκειμένου αποσπαστεί ο οπλισμός, απαιτείται μία δύναμη που ονομάζεται φέρουσα δύναμη του ηλεκτρομαγνήτη. Όταν πρέπει να ανυψωθούν σιδερένια αντικείμενα, τότε αυτά αποτελούν τον οπλισμό του ηλεκτρομαγνήτη.

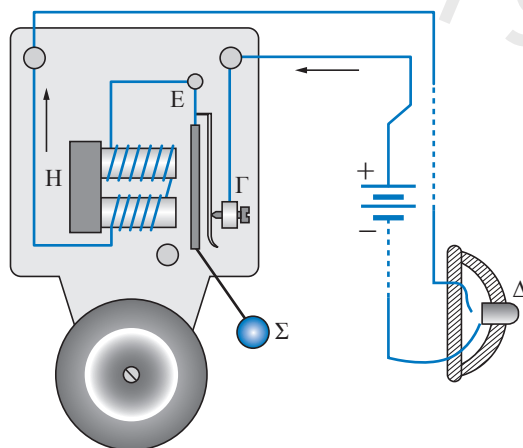


Σχ. 11.21

Πεταλοειδής ηλεκτρομαγνήτης

2) **Ηλεκτρομαγνήτης εργαστηρίου.** Στα εργαστήρια χρησιμοποιούνται ηλεκτρομαγνήτες που δημιουργούν ισχυρό ομογενές μαγνητικό πεδίο.

3) **Ηλεκτρικό κουδούνι.** Όταν πιέζουμε τον διακόπτη (Δ) κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα (σχ. 11.22) οπότε ο ευκίνητος οπλισμός (Ο) του ηλεκτρομαγνήτη (Η) έλκεται, άρα διακόπτεται το κύκλωμα στο σημείο Γ, συνεπώς ο οπλισμός γυρίζει στη θέση του και το κύκλωμα κλείνει. Ακολουθώντας, ο οπλισμός έλκεται εκ νέου και η όλη διαδικασία

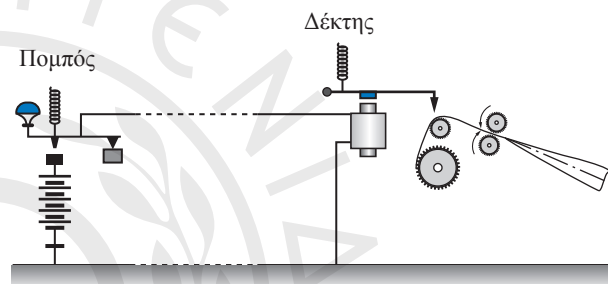


Σχ. 11.22

Ηλεκτρικό κουδούνι

επαναλαμβάνεται. Σε κάθε έλξη του οπλισμού, αντιστοιχεί ένα χτύπημα της σφαίρας. Η αυτόματη διακοπή και αποκατάσταση του ρεύματος γίνεται πολλές φορές στη διάρκεια ενός δευτερολέπτου.

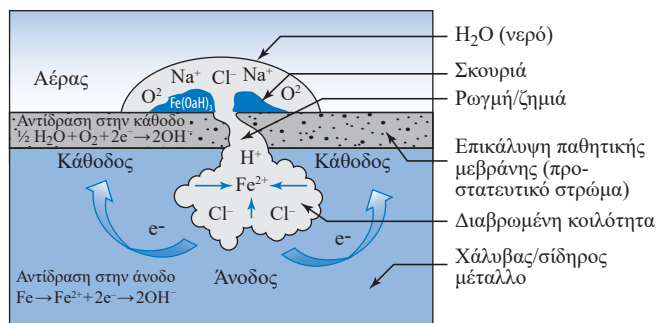
4) **Ηλεκτρικός τηλεγράφος.** Η λειτουργία του στηρίζεται στην εξής αρχή: Από τον πομπό αφήνεται να φύγουν ρεύματα μικρής (τελείες) ή μεγάλης διάρκειας (παύλες), τα οποία όταν φτάνουν στον δέκτη, που βρίσκεται μακριά από την περιοχή του πομπού, περνούν από ηλεκτρομαγνήτη εφοδιασμένο με πολύ ευκίνητο οπλισμό (σχ. 11.23). Όταν ο οπλισμός έλκεται, η μία άκρη του γράφει πάνω σε χαρτινή ταινία που ξετυλίγεται ομαλά, τελείες ή παύλες, ανάλογα με τη διάρκεια του ηλεκτρικού ρεύματος που πέρασε από τον ηλεκτρομαγνήτη.



Σχ. 11.23

Ηλεκτρικός τηλεγράφος

Εφαρμογή. Διάβρωση (pitting corrosion) χάλυβα. Η μικροδιάβρωση λαμβάνει χώρα όταν ο (ανοξειδωτός) χάλυβας εκτίθεται σε ουδέτερα ή όξινα περιβάλλοντα που περιέχουν χλωρίδια. Ιόντα από χλωριούχα διαλύματα συντελούν στην τοπική κατάρρευση του παθητικού στρώματος Cr_2O_3 . Μία ρωγμή στο στρώμα αυτό πυροδοτεί μια γαλβανική αντίδραση όπου η περιοχή του απροστάτευτου μετάλλου καθίσταται η άνοδος ενώ αυτή που την περιβάλλει (με το άθικτο στρώμα) η κάθοδος. Αυτή η δυσμενής αναλογία στις επιφάνειες ανόδου και καθόδου πυροδοτεί ραγδαία διάβρωση στην ευπαθή επιφάνεια του μετάλλου που αποτελεί την άνοδο. Όταν το μέταλλο διαβρώνεται, διαλυμένα μεταλλικά ιόντα δημιουργούν συνθήκες χαμηλού pH και τα χλωριούχα ιόντα μεταναστεύουν στο ευάλωτο σημείο ώστε να ισορροπήσουν το θετικό φορτίο των μεταλλικών ιόντων. Συνεπώς, επέρχεται επιδείνωση του περιβάλλοντος της απροστάτευτης περιοχής, αδυναμία λειτουργίας της παθητικοποίησης και διασπορά της διάβρωσης με γοργό ρυθμό (σχ. 11.24).



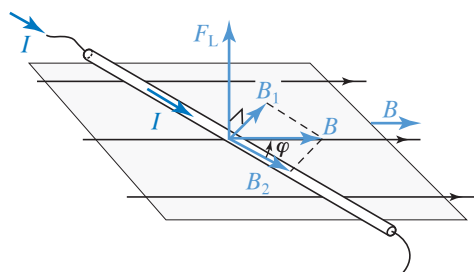
Σχ. 11.24
Διάβρωση χάλυβα

11.3 Νόμος Laplace. Επίδραση του μαγνητικού πεδίου πάνω σε κινούμενο φορτίο

11.3.1 Δύναμη Laplace

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο, δέχεται δύναμη.

Έστω ότι έχουμε ευθύγραμμο αγωγό μήκους l , μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο B , ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα I . Η γωνία μεταξύ της φοράς του ρεύματος και του πεδίου είναι φ (σχ. 11.25). Πάνω στον αγωγό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο δύναμη, που ονομάζεται, στη γαλλική βιβλιογραφία (κυρίως), **δύναμη Laplace** η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά, σημείο εφαρμογής το μέσον του τμήματος του αγωγού, που βρίσκεται εντός του μαγνητικού πεδίου, διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται απ' τον αγωγό και τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών, φορά που καθορίζεται από τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, φέρνουμε τα τρία δάκτυλα του δεξιού χεριού (αντίχειρας, δείκτης, μέσος) έτσι ώστε, ανά δύο, να είναι κάθετα μεταξύ τους και τα τοποθετούμε, ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος I που διαρρέει τον αγωγό και ο δείκτης τη φορά του πεδίου $\vec{B}$. Τότε ο μέσος δείχνει τη φορά της δύναμης Laplace $\vec{F}_L$.



Σχ. 11.25
Δύναμη Laplace σε ρευματοφόρο αγωγό

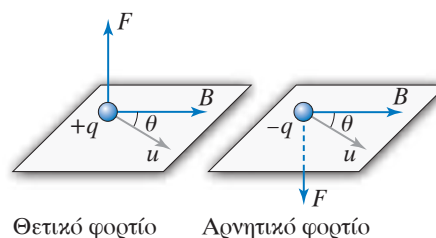
Επί πλέον της μεθόδου των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού, υπάρχει η μέθοδος της δεξιάς παλάμης για τον προσδιορισμό της φοράς της δύναμης Laplace. Σύμφωνα μ' αυτήν, τοποθετούμε ενωμένα και τεντωμένα τα τέσσερα δάκτυλα της παλάμης του δεξιού χεριού, ώστε να δείχνουν τη φορά του $\vec{B}$ και ο αντίχειρας να δείχνει τεντωμένος τη φορά του ρεύματος I , που διαρρέει τον αγωγό. Τότε η φορά της δύναμης Laplace είναι απ' το εξωτερικό προς το εσωτερικό μέρος της παλάμης.

Το μέτρο F_L της δύναμης Laplace δίνεται από τη σχέση, $F_L = BIl \sin \varphi$.

Αν ο αγωγός σχηματίζει γωνία φ με το $\vec{B}$, μπορούμε να αναλύσουμε το πεδίο $\vec{B}$ σε δύο συνιστώσες, στη B_1 που είναι κάθετη στον αγωγό και στη B_2 που είναι παράλληλη στον αγωγό (σχ. 11.25). Έτσι ο αγωγός είναι σαν να βρίσκεται μέσα σε δύο μαγνητικά πεδία. Εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου B_2 , ο αγωγός δεν δέχεται καμμία δύναμη, διότι είναι παράλληλος στο $\vec{B}_2$. Εξαιτίας του μαγνητικού πεδίου B_1 , ο αγωγός δέχεται δύναμη Laplace μέτρου $F_L = B_1 I l$. Επειδή $B_1 = B \sin \varphi$, είναι $F_L = B I l \sin \varphi$.

Αν ο αγωγός δεν είναι ευθύγραμμος, τον χωρίζουμε σε στοιχειώδη τμήματα μήκους Δl , που το καθένα μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο, και υπολογίζουμε τη δύναμη, που ασκείται στο κάθε τμήμα ξεχωριστά. Η συνισταμένη των δυνάμεων αυτών είναι η δύναμη που δέχεται ο αγωγός.

Το πεδίο ασκεί σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο μαγνητική δύναμη μέτρου $F = q u B \sin \theta$, όπου θ η γωνία που σχηματίζει η ταχύτητα του σωματιδίου με την κατεύθυνση του πεδίου (σχ. 11.26). Η δύναμη είναι κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του πεδίου. Η φορά της δύναμης προσδιορίζεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού. Ο αντίχειρας, ο δείκτης και ο μέσος σχηματίζουν τρισορθογώνιο σύστημα. Τοποθετούμε τον αντίχειρα στην κατεύθυνση της κίνησης του θετικού φορτίου και στην αντίθετη,



Σχ. 11.26
Μαγνητική δύναμη που ασκείται σε ηλεκτρικό φορτίο, το οποίο κινείται σε μαγνητικό πεδίο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

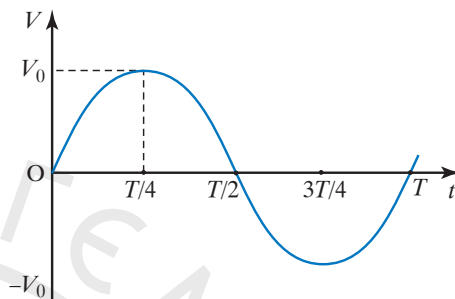
Εναλλασσόμενα ρεύματα

12.1 Εναλλασσόμενο ρεύμα. Διανυσματικά διαγράμματα

Αν η τάση είναι αρμονική (ημιτονοειδής) συνάρτηση του χρόνου, λέμε ότι έχουμε εναλλασσόμενο ρεύμα, διεθνώς αυτό συμβολίζεται με το σύμβολο AC (alternating current).

Η εναλλασσόμενη τάση περιγράφεται μαθηματικά από τη σχέση $V = V_0 \sin \omega t$, όπου V η στιγμιαία τάση τη χρονική στιγμή t , V_0 το πλάτος της τάσης, ωt η φάση και ω η κυκλική συχνότητα. Η γραφική παράσταση της ημιτονοειδούς τάσης σε σχέση με τον χρόνο φαίνεται στο σχήμα 12.1, όπου T η περίοδος.

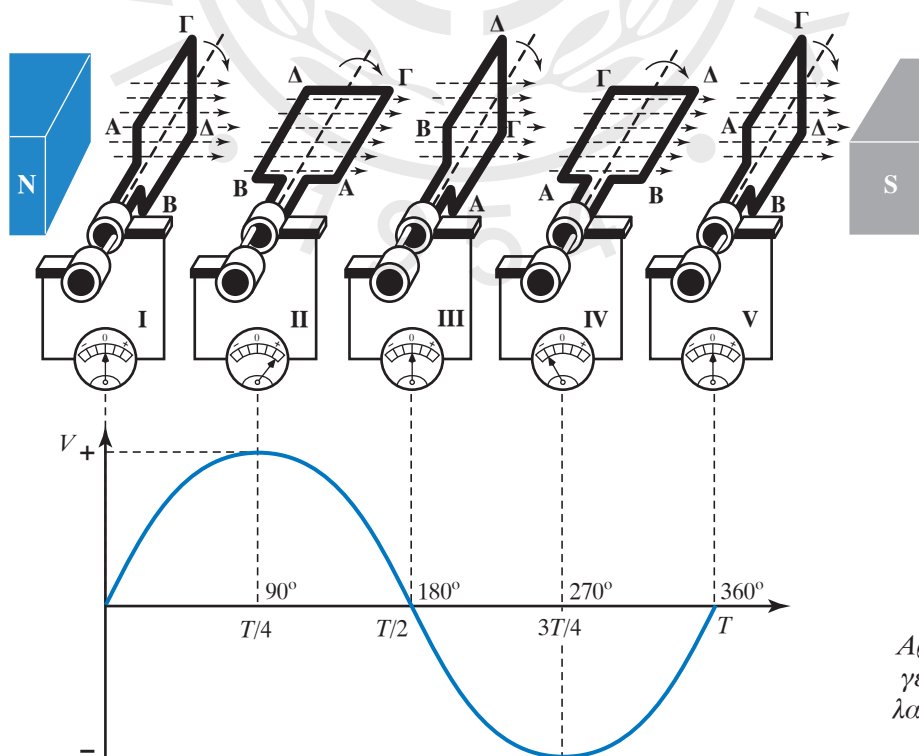
Οι διατάξεις που παράγουν εναλλασσόμενη τάση ονομάζονται γεννήτριες εναλλασσόμενης τάσης. Η αρχή λειτουργίας μίας γεννήτριας εναλλασσόμενης τάσης φαίνεται στο σχήμα 12.2, όπου ο εμ-



Σχ. 12.1

Γραφική παράσταση εναλλασσόμενης τάσης

βαδού S αγωγός σε σχήμα πλαισίου, βρίσκεται στο εσωτερικό ομογενούς μαγνητικού πεδίου και περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από άξονα κάθετο στο πεδίο.

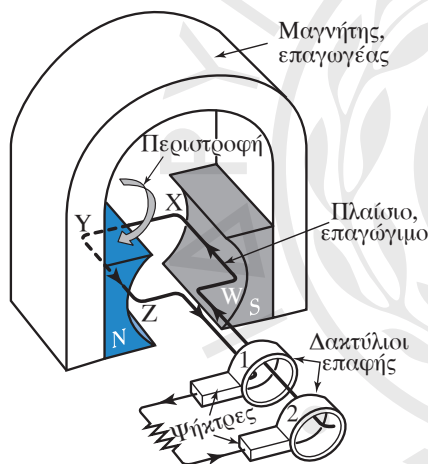


Σχ. 12.2

Αρχή λειτουργίας γεννήτριας εναλλασσόμενης τάσης

Ο συλλέκτης είναι το σύστημα των δύο μονωμένων μεταλλικών δακτυλίων μαζί με δύο τεμάχια γραφίτη (ψήκτρες), που παραμένουν ακίνητα και βρίσκονται σε τέλεια επαφή με τη λεία επιφάνεια των δακτυλίων. Οι ψήκτρες (κοινώς καρβουνάκια) χρησιμεύουν για μεταβίβαση του ρεύματος που παράγεται, στο εξωτερικό κύκλωμα.

Στο σχήμα 12.35 φαίνεται μία απλή μορφή γεννήτριας, όπου ο επαγωγέας είναι πεταλοειδής μαγνήτης και το επαγωγίμο ένα ορθογώνιο συρμάτινο πλαίσιο, στα άκρα του οποίου είναι στερεωμένοι δύο μεταλλικοί δακτύλιοι που περιστρέφονται μαζί του. Στους εναλλακτήρες μεγάλης ισχύος, αντί να περιστρέφονται τα πλαίσια (επαγωγίμο) περιστρέφεται ο ηλεκτρομαγνήτης, που παράγει το μαγνητικό πεδίο (επαγωγέας). Το ακίνητο μέρος της γεννήτριας ονομάζεται **στάτορας** (stator) και το περιστρεφόμενο **ρότορας** (rotor).



Σχ. 12.35

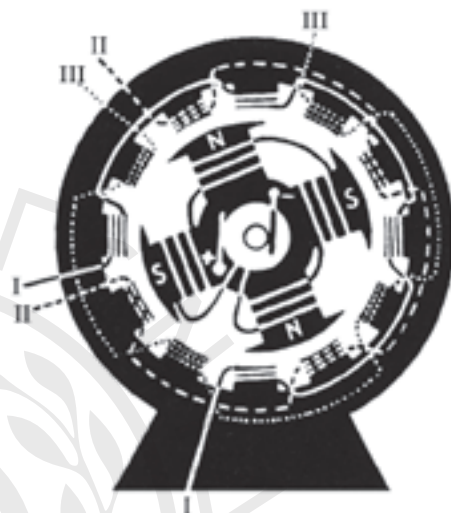
Γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος

12.4.5 Μονοφασικός εναλλακτήρας

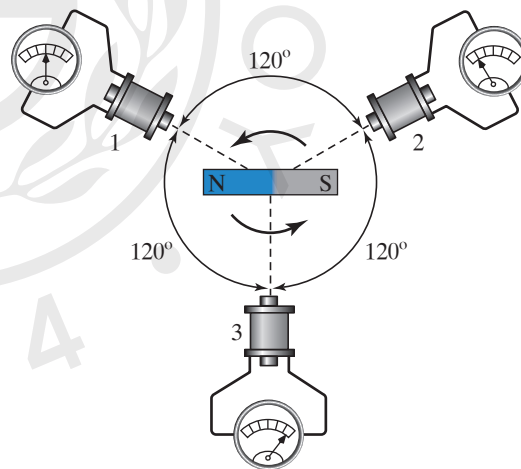
Το στρεφόμενο πλαίσιο είναι η πιο απλή μορφή γεννήτριας εναλλασσομένου ρεύματος. Το παραγόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζεται **μονοφασικό**. Τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και όταν ένας μαγνήτης ή ηλεκτρομαγνήτης (επαγωγέας) στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα μπροστά από ακίνητο πλαίσιο ή πηνίο (επαγωγίμο). Συνήθως ο επαγωγέας αποτελείται από ζεύγη μαγνητικών πόλων και το επαγωγίμο αποτελείται από τόσα πηνία, όσοι είναι οι μαγνητικοί πόλοι του επαγωγέα [σχ. 12.36(α)].

12.4.6 Τριφασικός εναλλακτήρας

Στις γεννήτριες τριφασικού ρεύματος που χρησιμοποιεί η βιομηχανία, ο αριθμός των πηνίων (επαγωγίμο) είναι τριπλάσιος από τον αριθμό των μαγνητικών πόλων (επαγωγέας). Στο σχήμα 12.36(β) φαίνεται το διάγραμμα τριφασικής γεννήτριας, καθώς και οι άκρες του συστήματος των τριών κυκλωμάτων του ακίνητου επαγωγίμου.



(α)

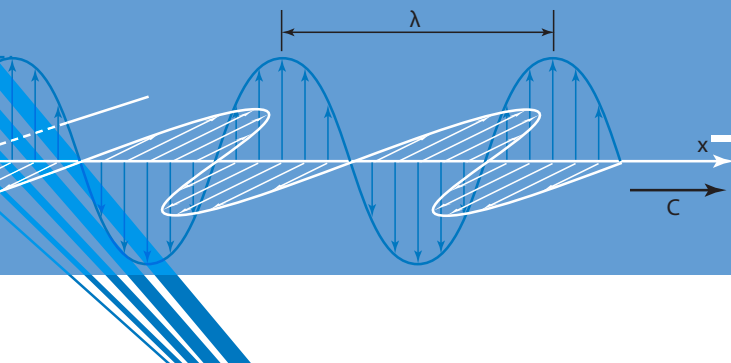


(β)

Σχ. 12.36

Τριφασικός εναλλακτήρας

Σε κάθε ζεύγος αγωγών του επαγωγίμου (1, 2, 3) αναπτύσσεται εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, που η συχνότητά της ισούται με τον αριθμό των περιστροφών, που κάνει ο μαγνήτης σ' ένα δευτερόλεπτο. Κάθε μία από αυτές τις ΗΕΔ καθυστερεί κατά $\frac{1}{3}$ της περιόδου σχετικά με την προηγούμενη, δηλαδή παρουσιάζει διαφορά φάσης 120° (σχ. 12.37).



14.1 Ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε κύκλωμα LC

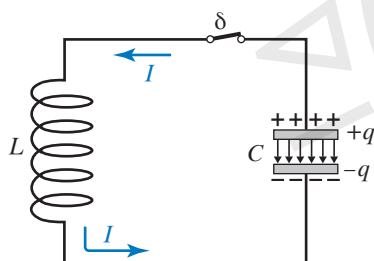
Θυμίζουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή δίνεται από τις σχέσεις:

$$U_C = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} qV,$$

η μαγνητική ενέργεια πηνίου που διαρρέεται από ρεύμα δίνεται από τη σχέση:

$$U_L = \frac{1}{2} Li^2.$$

Έστω κύκλωμα με πυκνωτή, πηνίο και διακόπτη (σχ. 14.1). Το κύκλωμα αυτό λέγεται **κύκλωμα Thomson**. Έστω ότι ο διακόπτης είναι ανοιχτός και ο πυκνωτής φορτισμένος με φορτίο $Q > 0$.



Σχ. 14.1
Κύκλωμα Thomson ηλεκτρομαγνητικών ταλαντώσεων ή κύκλωμα LC

Τη χρονική στιγμή $t = 0$ κλείνουμε τον διακόπτη και αρχίζει η εκφόρτιση του πυκνωτή. Τότε το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα.

Κάθε στιγμή η τάση $V_c = q/C$ είναι ίση με την $V_L = L di/dt$.

Αρχικά, όταν ο πυκνωτής έχει εκφορτιστεί λίγο, η V_c είναι μεγάλη, άρα και η V_L . Επειδή το πηνίο, άρα η τάση V_L , αντιστέκεται στην αύξηση του ρεύματος, το ρεύμα στην αρχή έχει μικρή τιμή που σταδιακά αυξάνεται όσο προχωράει η εκφόρτιση, μέχρις ότου πάρει τη μέγιστη τιμή του, όταν ο πυκνωτής έχει εκφορτιστεί πλήρως. Τότε $q = 0$ και $i = i_{\max} = I$.

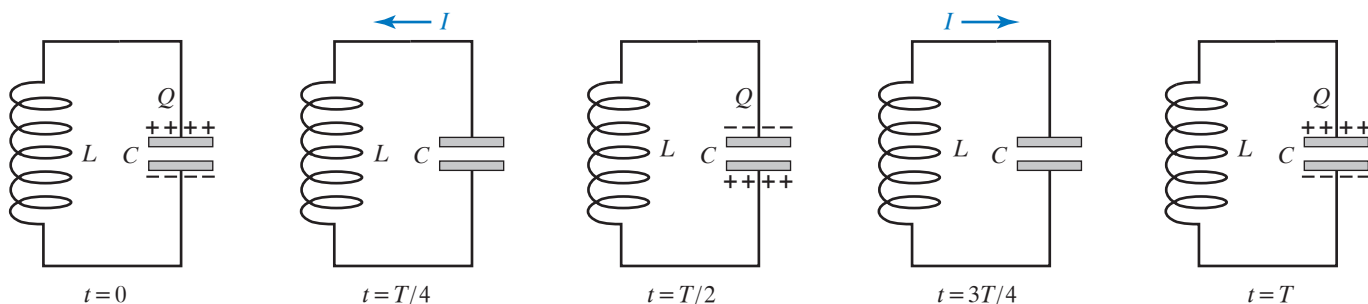
Στη συνέχεια, το ρεύμα αρχίζει να μειώνεται, ο πυκνωτής φορτίζεται ξανά, αλλά με αντίθετη πολικότητα. Όταν το ρεύμα μηδενιστεί, το φορτίο του πυκνωτή θα πάρει πάλι τη μέγιστη τιμή του (με αντίθετο πρόσημο απ' αυτό που είχε στην αρχή) και τότε $q = -Q$ και $i = 0$.

Κατόπιν, το φαινόμενο επαναλαμβάνεται αντίστροφα. Ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται, το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα αντίθετης φοράς και το κύκλωμα επανέρχεται στην κατάσταση που βρισκόταν τη χρονική στιγμή $t = 0$. Η διαδικασία απεικονίζεται στο σχήμα 14.2.

Για το φορτίο του πυκνωτή ισχύει: $q = Q \cos \omega t$.

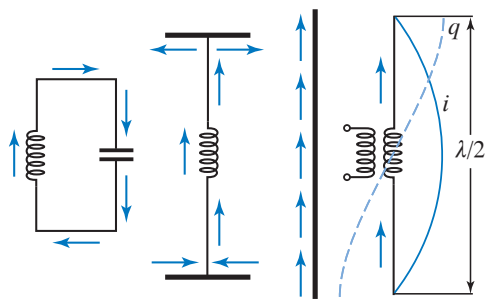
Για την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα και φυσικά το πηνίο:

$$i = \frac{dq}{dt} = -Q\omega \sin \omega t = -I \sin \omega t, \quad I = Q\omega$$



Σχ. 14.2

Φάσεις ταλάντωσης του κυκλώματος Thomson



Σχ. 14.7

Μετατροπή του κυκλώματος Thomson σε κεραία ηλεκτρο-μαγνητικών κυμάτων

Το 1887 πρώτος ο Hertz πέτυχε την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στηριζόμενος στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Μετά τον Hertz ακολούθησαν εντατικές προσπάθειες από επιστήμονες για μετάδοση μηνυμάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα πρώτα σημαντικά αποτελέσματα ήρθαν το 1900 από τους Ρορον στη Ρωσία και Marconi στην Ιταλία, που μετέδωσαν μηνύματα με ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε απόσταση δεκάδων χιλιομέτρων.

Στο σχήμα 14.8 παρατηρούμε σχηματικά την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από το τροποποιημένο σε κεραία κύκλωμα ταλαντώσεων.

Αρχικά έχουμε φορτίο καταμεμημένο στον αγωγό, το οποίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Στη συνέχεια, με την κίνηση των φορτίων έχουμε ρεύμα

που προκαλεί μαγνητικό πεδίο, το οποίο αντλεί την ενέργειά του από το ηλεκτρικό πεδίο με αποτέλεσμα σε χρόνο $T/4$ όλη η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου να έχει μετασχηματιστεί σε ενέργεια του μαγνητικού πεδίου. Τότε το ρεύμα είναι μέγιστο και η τάση μηδέν. Στο επόμενο χρονικό διάστημα, από $T/4$ έως $T/2$, το ρεύμα ελαττώνεται μέχρι να μηδενιστεί και αναπτύσσεται στην κεραία τάση από αυτεπαγωγή αντίθετης πολικότητας, οπότε η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου μετασχηματίζεται σε ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με αντίθετη φορά για τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα της περιόδου. Η κεραία λειτουργεί ως απλός ταλαντωτής και εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Για να συντηρήσουμε τις ταλαντώσεις, τροφοδοτούμε την κεραία με πηγή εναλλασσόμενης τάσης, που παρέχει την κατάλληλη ενέργεια.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (σχ. 14.9) που παράγεται περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, όπως διαδίδονται σε μία διεύθυνση x :

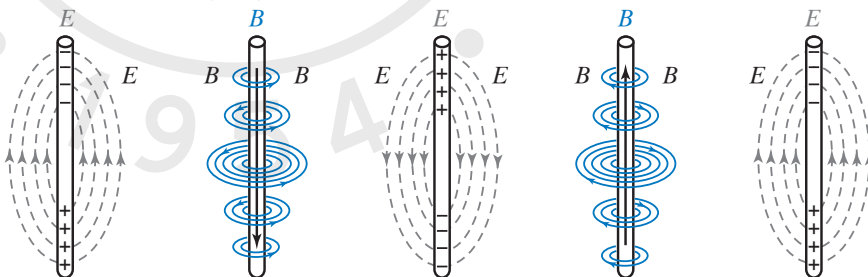
$$E = E_o \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$B = B_o \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right),$$

όπου E_o η μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού πεδίου και

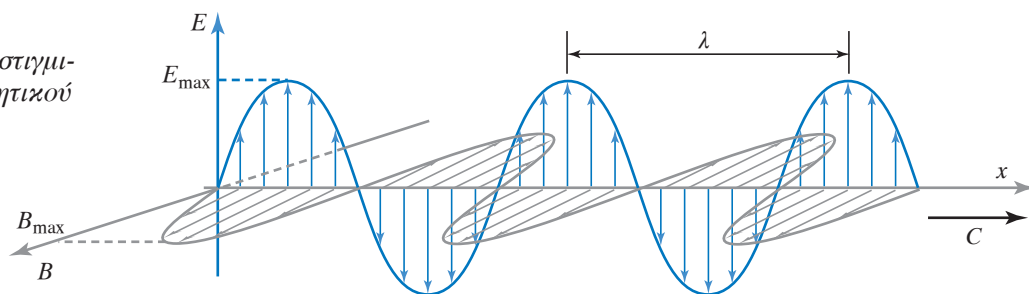
Σχ. 14.8

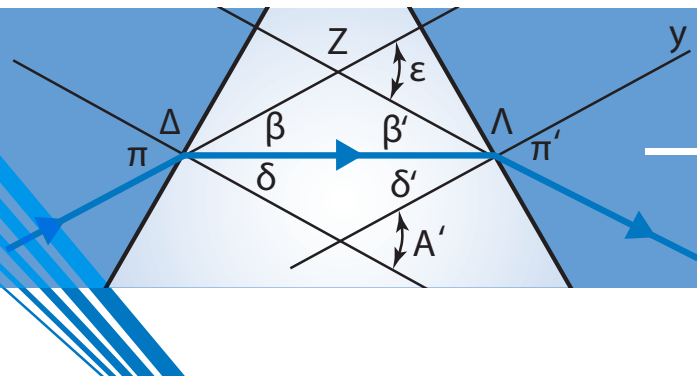
Σχηματική παράσταση εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από τροποποιημένο σε κεραία κύκλωμα ταλαντώσεων



Σχ. 14.9

Γραφική παράσταση στιγμιότυπου ηλεκτρομαγνητικού κύματος

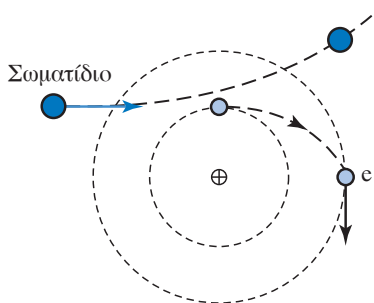




16.1 Παραγωγή και διάδοση του φωτός

Το φως είναι ένα είδος ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που διαδίδονται στον χώρο και μεταφέρουν ενέργεια. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικά κύματα με κατάλληλες συχνότητες, που είναι σε θέση να διεγείρουν το ανθρώπινο μάτι.

Το φως παράγεται κατά την αποδιέγερση ατόμων. Δηλαδή κάθε φορά που ένα ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από μια διεγερμένη ενεργειακή στάθμη σε μια άλλη μικρότερης ενέργειας εκπέμπεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια ίση με την ενεργειακή διαφορά των δύο σταθμών. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται απ' αυτήν τη διαδικασία είναι δυνατόν να βρίσκεται στην περιοχή του ορατού, ανάλογα με την ενεργειακή διαφορά των δύο σταθμών ανάμεσα στις οποίες γίνεται η αποδιέγερση. Για την παραγωγή φωτός απαιτείται δαπάνη ενέργειας, ώστε να προκληθεί διέγερση των ηλεκτρονίων από τη θεμελιώδη σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη (σχ. 16.1).

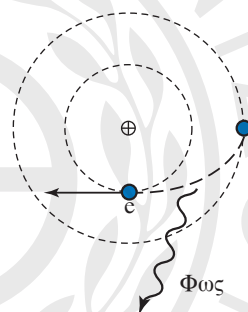


Σχ. 16.1
Διέγερση του ατόμου του υδρογόνου σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη

Παραγωγή φωτεινής ενέργειας μπορούμε να έχουμε με διέγερση που προέρχεται από διάφορες μορφές ενέργειας, όπως από θερμική, ηλεκτρική, χημική κ.ά.. Τα συστήματα από τα οποία εκπέμπεται φωτεινή ενέργεια τα ονομάζουμε **φωτεινές πηγές**. Χαρακτηριστικές φωτεινές πηγές είναι ο Ήλιος, στον οποίο πραγματοποιείται μετατροπή μέρους της πυρηνικής ενέργειας σε φωτεινή, οι ηλεκτρικοί

λαμπτήρες, στους οποίους μετατρέπεται μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή, τα διάφορα υλικά που παράγουν φως κατά την καύση τους, μετατρέποντας τη χημική τους ενέργεια σε φωτεινή, όπως το κερί κ.ά..

Το «πακέτο» ενέργειας που εκπέμπεται από κάθε αποδιέγερση (σχ. 16.2) το ονομάζουμε **φωτόνιο** και έχει σχέση με τη συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται.



Σχ. 16.2
Αποδιέγερση του ατόμου του υδρογόνου με ταυτόχρονη εκπομπή φωτονίου

Οι διαφορετικές συχνότητες της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, μας προκαλούν τη διαφορετική χρωματική αίσθηση. Σε κάθε αποδιέγερση εκπέμπεται φωτόνιο ενέργειας $E_{\phi} = E_{\alpha} - E_{\tau}$, το οποίο χαρακτηρίζεται από συχνότητα f , όπως προκύπτει απ' τη σχέση $hf = E_{\alpha} - E_{\tau}$, όπου h η σταθερά Planck, f η συχνότητα του εκπεμπόμενου φωτονίου, ενώ E_{α} , και E_{τ} οι ενέργειες της αρχικής και τελικής στάθμης, ανάμεσα στις οποίες συμβαίνει η αποδιέγερση (σχ. 16.3).

– Διάδοση του φωτός

Μετά την παραγωγή του, το φως διαδίδεται αυτόνομα, μεταφέροντας ενέργεια. Η ενέργειά του μπορεί να απορροφηθεί από την ύλη και να μετατραπεί σε διάφορες μορφές, για παράδειγμα σε θερμοδυναμική ενέργεια (ή εσωτερική θερμική ενέργεια), όπως συμβαίνει με το φως του Ήλιου που θερμαίνει κάθε γωνιά του πλανήτη, σε χημική στα φυτά, σε ηλεκτρική, όπως συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά συστήματα κ.ά..

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται σε όλους τους πρωτοετείς και δευτεροετείς σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, τους αυριανούς Πλοιάρχους ή Μηχανικούς της ελληνικής ή ελληνόκτητης ναυτιλίας. Στόχος του είναι να συμβάλει επιτυχώς στο να κατανοήσουν οι σπουδαστές στοιχειώδεις έννοιες της Φυσικής, τις οποίες συναντούν τόσο στην καθημερινή τους ζωή στην ξηρά, όσο και στα πλοία. Με το βιβλίο αυτό θα αποκτήσουν βασικές γνώσεις μηχανικής, υδροστατικής, υδροδυναμικής, ηλεκτρομαγνητισμού, θερμότητας, οπτικής, ταλαντώσεων και ήχου, με πλήθος παραδειγμάτων.

