



ΧΡΥΣΟΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ

ΑΝΤΩΝΙΟΥ Χ. ΒΡΟΥΛΟΥ
ΣΤΕΦΑΝΟΥ Ι. ΚΑΡΝΑΒΑ

δ' έκδοση

ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ + ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ

ΑΝΤΩΝΙΟΥ Χ. ΒΡΟΥΛΟΥ
Φυσικού

ΣΤΕΦΑΝΟΥ Ι. ΚΑΡΝΑΒΑ
Μαθηματικού (M.Ed.),
Επικ. Καθηγητή, Α.Ε.Ν. Οινουσών

Δ' ΕΚΔΟΣΗ

1954

ΑΘΗΝΑ
2025

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Α' ΕΚΔΟΣΗΣ

Το βιβλίο αυτό απευθύνεται σε όλους τους πρωτοετείς και δευτεροετείς σπουδαστές των Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, στους αυριανούς πλοιάρχους ή μηχανικούς της ελληνικής ή ελληνόκτητης ναυτιλίας.

Έχει γραφτεί σύμφωνα με τα οριζόμενα στα αναμορφωμένα αναλυτικά και ωρολόγια προγράμματα σπουδών των Α.Ε.Ν., όπως αυτά περιγράφονται στο Φ.Ε.Κ. 1224 Β' /2007, που εκδόθηκε σε εφαρμογή των module courses του International Maritime Organization κατ' απαίτηση της Διεθνούς Συμβάσεως STCW.

Για τους σκοπούς του παρόντος βιβλίου χρησιμοποιήσαμε ως σημείο αφετηρίας την προϋπάρχουσα γνώση, την οποία γνωρίζουμε από την πολύχρονη εμπειρία μας ότι κατέχει ο μέσος σπουδαστής που εισάγεται στις Α.Ε.Ν.. Αποδεχόμενοι ότι η μάθηση έχει ενεργητικό και όχι παθητικό χαρακτήρα, απαιτεί την εποικοδομητική συμμετοχή του σπουδαστή και είναι μία πολύπλοκη γνωσιακή δραστηριότητα που δεν χωράει βιασύνη, προχωρήσαμε στη συγγραφή του.

Το βιβλίο αυτό θα έχει εκπληρώσει τον στόχο του αν καταφέρει να συμβάλει επιτυχώς στο να κατανοήσουν οι ενεργοί σπουδαστές στοιχειώδεις έννοιες της φυσικής, τις οποίες συναντούν τόσο στην καθημερινή τους ζωή στην ξηρά, όσο και μέσα στα πλοία και όχι όταν απομνημονεύσουν απομονωμένα στοιχεία και διαδικασίες.

Αισθανόμαστε επιτακτική την ανάγκη να ευχαριστήσουμε θερμά όλο το προσωπικό του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την πλήρη και αποδοτική συνεργασία που είχαμε τα τέσσερα τελευταία έτη και ειδικά τον Ομότιμο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και Πρόεδρο της Επιτροπής Εκδόσεων κ. Εμμανουήλ Αντ. Δρη, για την υπομονή του, τον άφθονο χρόνο που διέθεσε, τις εύστοχες υποδείξεις του, καθώς και την αμέριστη συμπαράσταση και ουσιαστική βοήθειά του σε όλα τα στάδια μέχρι την ολοκλήρωση της συγγραφής, ως κριτής και ειδικός επιστημονικός σύμβουλος για το βιβλίο αυτό. Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε το συνάδελφο φυσικό Στέργιο Παπακωνσταντίνου για τη σημαντική βοήθεια που μας προσέφερε στο ξεκίνημα αυτής της προσπάθειας.

Τα κεφάλαια 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16 και 17 εκπονήθηκαν αυτοτελώς από τον κ. Βρούλο και τα κεφάλαια 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 και 12 από τον κ. Καρναβά.

Ως ανθρώπινο δημιούργημα το βιβλίο, δεν μπορεί να είναι τέλειο. Ελπίζουμε ότι αυτή μας η προσπάθεια θα τύχει καλόπιστης κριτικής εκ μέρους των αναγνωστών και των συναδέλφων μας. Μην διστάσετε να επικοινωνήσετε μαζί μας για οποιεσδήποτε παρατηρήσεις, σχόλια ή υποδείξεις, που θεωρείτε ότι θα συντελέσουν στην βελτίωση του παρόντος βιβλίου, επ' ωφελεία της παρεχόμενης ναυτικής εκπαίδευσης.

Καλλιθέα – Οινούσσες, Μάιος 2012
Αντώνης Χ. Βρούλος – Στέφανος Ι. Καρναβάς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Β' ΕΚΔΟΣΗΣ

Στην παρούσα Β' έκδοση του βιβλίου Φυσική διορθώθηκαν οι αβλεψίες και παραλείψεις της 1^{ης} έκδοσης και η ύλη δομήθηκε κατά πιο παιδαγωγικό τρόπο, με απλότητα, σαφήνεια, πληρότητα και συστηματική ταξινόμηση. Βασικός σκοπός και της παρούσας έκδοσης είναι η βαθιά κατανόηση της θεωρίας της Φυσικής και ιδίως των εφαρμογών της στην καθημερινή ζωή πάνω στο πλοίο, η ανάπτυξη σωστής κριτικής σκέψεως και η απόκτηση εμπειρίας στη λύση ασκήσεων, προκειμένου οι αυριανοί αξιωματικοί γέφυρας και μηχανής να αποκτήσουν μία στέρεη γνώση του αντικειμένου της Φυσικής.

Σε κάθε κεφάλαιο περιέχεται η βασική θεωρία και αρκετά επιλεγμένα παραδείγματα, υποδειγματικά λυμένα, ώστε οι σπουδαστές, σύμφωνα με αυτά, να μπορούν να επιλύσουν μόνοι τους τις άλυτες ασκήσεις, η δυσκολία των οποίων αυξάνεται σταδιακά, καθιστώντας έτσι το βιβλίο ένα χρήσιμο εργαλείο μελέτης και εξάσκησης.

Θεωρούμε, λοιπόν, ότι το βιβλίο θα τους προσφέρει ουσιαστική βοήθεια, καλύπτοντας πλήρως την ύλη της θεωρίας και των εφαρμογών της Φυσικής σύμφωνα με το ΦΕΚ 2303 Β'/16-09-2013 «Ωρολόγια και Αναλυτικά Προγράμματα ΑΕΝ/ Π-Μ», το οποίο έχει ενσωματώσει τις αλλαγές της αναθεωρημένης Διεθνούς Συμβάσεως STCW 1978 (2010 τροποποιήσεις Manila).

Επιθυμούμε να εκφράσουμε για άλλη μία φορά τις ευχαριστίες μας στο προσωπικό της Ομάδας Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επίπονη απασχόλησή τους στην άρτια προετοιμασία και ολοκλήρωση αυτής της εκδόσεως και κυρίως στον Επιστημονικό Σύμβουλο του βιβλίου, Ομότιμο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και Πρόεδρο της Επιτροπής Εκδόσεων κ. Εμμανουήλ Δρη για τις καίριες επισημάνσεις του.

Οι Συγγραφείς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Γ' ΕΚΔΟΣΗΣ

Το παρόν σύγγραμμα απευθύνεται σε σπουδαστές/στριες των σχολών Πλοιάρχων (Α', Β', Γ' εξαμήνων) και Μηχανικών (Α', Β' εξαμήνων) των ΑΕΝ, σύμφωνα με τα νέα ωρολόγια και αναλυτικά προγράμματα (2321 Β713.06.2019) που καταρτίστηκαν αντίστοιχα, από την επιτροπή εμπειρογνομόνων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τις σχολές Πλοιάρχων και την πρόταση της ομάδας εργασίας για τις σχολές Μηχανικών (ΑΔΑ: Ω00Ζ4653ΠΩ-ΝΑ4 & αρ. πρωτ. 2231.2-9/42341/07.06.2019).

Οι γνώσεις που προαπαιτούνται για τη μελέτη του βιβλίου δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, λόγω της ανομοιογενούς προέλευσης των εισαγόμενων στις ΑΕΝ. Απαιτείται η καλή γνώση της φυσικής, γυμνασιακού επιπέδου. Οι άλυτες ασκήσεις, αποτελούν ουσιαστικό μέρος του βιβλίου. Ο/η αναγνώστης/στρια θα χρειασθεί να ασχοληθεί, με ένα μεγάλο μέρος από αυτές, για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών και αποτελεσμάτων της θεωρίας. Το επίπεδο τους κυμαίνεται από απλές εφαρμογές ορισμών, έως πιο απαιτητικές και ενδιαφέρουσες. Στην παρούσα έκδοση, στο τέλος του βιβλίου, παρατίθεται πίνακας με ελληνικούς και αγγλικούς τεχνικούς και επιστημονικούς όρους που πραγματεύονται στα αντίστοιχα κεφάλαια, ώστε να γίνεται χρήση της αγγλικής ορολογίας που συναντάται στο πλοίο, όπως ορίζει στον προτεινόμενο τρόπο διδασκαλίας το ανωτέρω ΦΕΚ.

Επιθυμούμε να εκφράσουμε για άλλη μία φορά τις ευχαριστίες μας στο προσωπικό της Ομάδας Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την επίπονη απασχόλησή τους και τις καίριες επισημάνσεις τους στην άρτια προετοιμασία και ολοκλήρωση αυτής της έκδοσης.

Οι Συγγραφείς

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Δ' ΕΚΔΟΣΗΣ

Η παρούσα δ' έκδοση αποτελεί βελτίωση της γ', με στόχο την καλύτερη κάλυψη των αναγκών των σπουδαστών/τριών των σχολών Πλοιάρχων και Μηχανικών των ΑΕΝ.

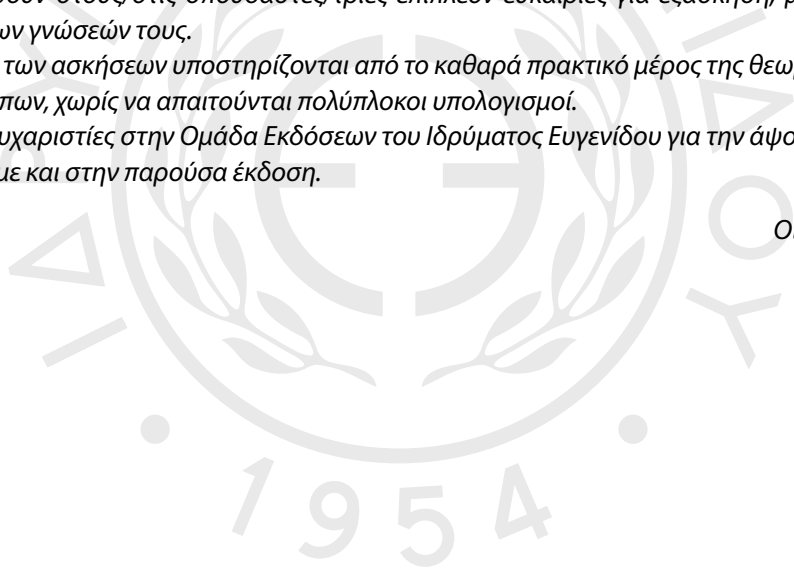
Σε αυτήν διορθώθηκαν τα λίγα και επουσιώδη τυπογραφικά λάθη που είχαν επισημανθεί, κυρίως σε μαθηματικούς τύπους και δευτερευόντως σε κείμενο και σχήματα.

Επιπλέον, προστέθηκαν στα κεφάλαια 1, 3, 6, 10, 12 και 16 μερικές χαρακτηριστικές ασκήσεις, κλιμακούμενης δυσκολίας, για την πληρέστερη κάλυψη περισσότερων εννοιών της θεωρίας, ώστε να δοθούν στους/στις σπουδαστές/τριες επιπλέον ευκαιρίες για εξάσκηση, με στόχο την εμπέδωση των γνώσεών τους.

Οι λύσεις των ασκήσεων υποστηρίζονται από το καθαρά πρακτικό μέρος της θεωρίας, με χρήση απλών τύπων, χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκοι υπολογισμοί.

Θερμές ευχαριστίες στην Ομάδα Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για την άψογη συνεργασία που είχαμε και στην παρούσα έκδοση.

Οι Συγγραφείς



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

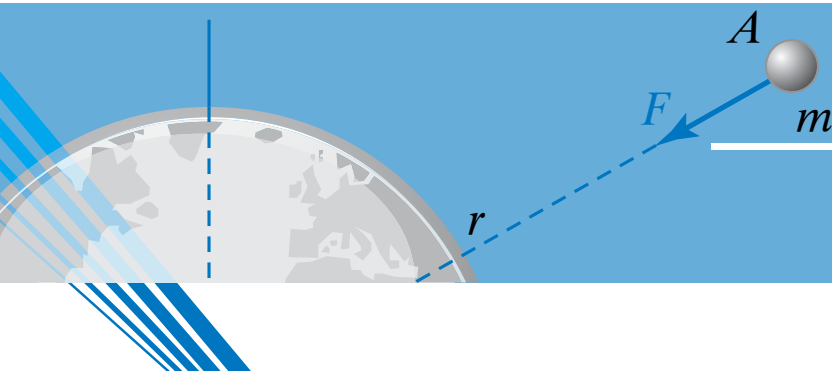
15.1 Παραγωγή, διάδοση και χαρακτηριστικά του ήχου.	335
15.2 Πηγές ήχου	337
15.3 Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.	337
15.4 Διάδοση ενέργειας με ηχητικά κύματα.	338
15.5 Υπόηχοι – Υπέρηχοι	339

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 δεύτερου 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

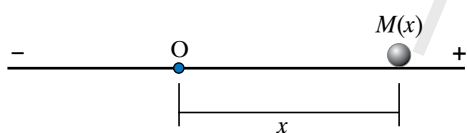
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κινηματική

2.1 Μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση

Κίνηση είναι η αλλαγή θέσης ενός σώματος σε σχέση με κάποιο σύστημα αναφοράς. Το σύνολο των διαδοχικών θέσεων, απ' τις οποίες διέρχεται ένα (υλικό) σημείο κατά τη διάρκεια της κίνησής του αποτελούν την **τροχιά** του κινητού (σημείου). Η κίνηση διακρίνεται σε **ευθύγραμμη** και **καμπυλόγραμμη**. Η καμπυλόγραμμη διακρίνεται σε **επίπεδη** και **τροχιαστική**.

Για τον προσδιορισμό της θέσης του κινητού στην ευθύγραμμη κίνηση, χρησιμοποιείται ένας προσανατολισμένος άξονας με μια αρχή μετρήσεων O και μια συντεταγμένη θέσης x , που μετρείται από την αρχή του άξονα. Η τιμή της συντεταγμένης έχει απόλυτη τιμή ίση με την απόσταση του σώματος απ' την αρχή του άξονα και το πρόσημό της δείχνει αν το σώμα βρίσκεται δεξιά (θετικός ημιάξονας) ή αριστερά (αρνητικός ημιάξονας) από το O (σχ. 2.1). Αν γνωρίζουμε τη συνάρτηση $x(t)$, δηλαδή τη θέση του σημείου κάθε χρονική στιγμή, έχουμε περιγράψει πλήρως την κίνηση. Συνήθως, στα πλαίσια της Γενικής Φυσικής, η συνάρτηση $x = x(t)$ ονομάζεται **εξίσωση κίνησης**.

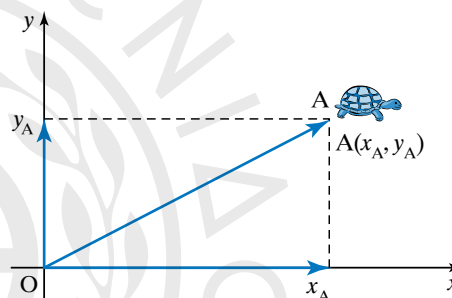


Σχ. 2.1

Κίνηση σε ευθεία γραμμή,
1 βαθμός ελευθερίας

Στην περίπτωση κίνησης στο επίπεδο, χρησιμοποιείται ένα σύστημα αναφοράς από δύο ορθογώνιους άξονες συντεταγμένων (καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων) και χρειάζονται δύο συντεταγμένες θέσης (x, y) . Τα μέτρα των συντεταγμένων θέσης είναι οι αποστάσεις του σημείου από την αρχή O των αξόνων που είναι θετικές αν μετρούνται στον θετικό ημιάξονα και αρνητικές στον αρνητικό

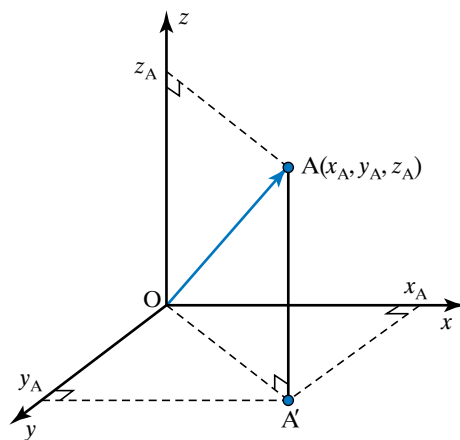
ημιάξονα. Η διατεταγμένη δυάδα $[x(t), y(t)]$ προσδιορίζει πλήρως τη θέση του σημείου (υλικού σημείου, σωματίου) στο επίπεδο τη χρονική στιγμή t . Διάνυσμα θέσης $\vec{OA}$ ενός κινητού (σημείου) είναι το διάνυσμα που σε κάθε σύστημα αναφοράς έχει ως αρχή την αρχή O του συστήματος και ως πέρας τη θέση A του σώματος (σχ. 2.2).



Σχ. 2.2

Κίνηση στην επιφάνεια, 2 βαθμοί ελευθερίας

Στην περίπτωση κίνησης στον τρισδιάστατο χώρο, χρειάζεται ένα τρισσορθογώνιο (καρτεσιανό) σύστημα αναφοράς και τρεις συντεταγμένες θέσης, (x, y, z) . Για τις τιμές τους ισχύουν όσα είπαμε και στα προηγούμενα (σχ. 2.3). Η διατεταγμένη τριάδα



Σχ. 2.3

Κίνηση στον χώρο, τρεις βαθμοί ελευθερίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δυναμική



3.1 Δυνάμεις

Δύναμη ονομάζεται η αιτία της παραμορφώσεως ή αλλαγής της κινητικής καταστάσεως ενός σώματος.

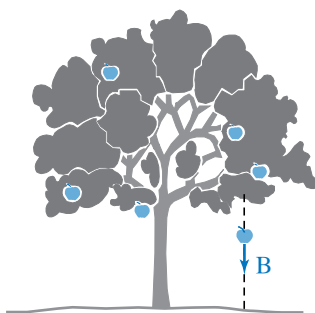
Οι δυνάμεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1) **Δυνάμεις εξ επαφής** που ασκούνται από ένα σώμα σε άλλο εκεί που ακουμπούν, όταν για παράδειγμα σπρώχνουμε (σχ. 3.1), τραβάμε ή σηκώνουμε ένα σώμα. Τέτοιες δυνάμεις είναι η τριβή, η άνωση και η αντίσταση του αέρα.



Σχ. 3.1
Δύναμη εξ επαφής

2) **Δυνάμεις εξ αποστάσεως**, οι οποίες λέγονται και **δυνάμεις πεδίου**. Τέτοιες είναι η δύναμη της βαρύτητας (σχ. 3.2), οι ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις.



Σχ. 3.2
Η δύναμη της βαρύτητας είναι δύναμη εξ αποστάσεως

Η δύναμη είναι διανυσματικό φυσικό μέγεθος, άρα για να την προσδιορίσουμε χρειάζεται να γνωρίζουμε το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της. Όλα όσα γνωρίζουμε ότι ισχύουν για τα διανύσματα (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός), ισχύουν και για τις δυνάμεις.

3.1.1 Μονάδες μέτρησης της δύναμης

Στο SI μονάδα μέτρησης της δύναμης είναι το **N (newton, νιούτον)** που ισούται με τη δύναμη που πρέπει να ασκήσουμε σε σώμα μάζας 1 kg, προκειμένου να αποκτήσει επιτάχυνση 1 m/s^2 .

Συνισταμένη δύο ή περισσότερων δυνάμεων (συνιστωσών), που ασκούνται στο ίδιο σημείο, ονομάζεται η δύναμη που έχει το ίδιο αποτέλεσμα με εκείνο που προκαλούν οι δύο ή περισσότερες δυνάμεις μαζί. Η συνισταμένη ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των συνιστωσών δυνάμεων,

$$\vec{F}_{\text{ολ}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_r.$$

Για την περίπτωση δύο δυνάμεων έχουμε:

$$\vec{F}_{\text{ολ}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (1)$$

Αν οι δυνάμεις είναι:

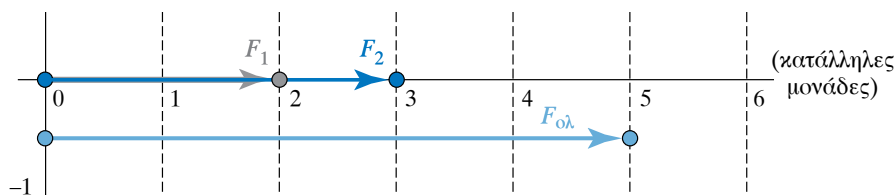
1) **Ομόρροπες** ($\vec{F}_1 \nearrow \nearrow \vec{F}_2$), από τη σχέση (1) βρίσκουμε

$$F_{\text{ολ}} = F_1 + F_2 \quad (\text{σχ. 3.3})$$

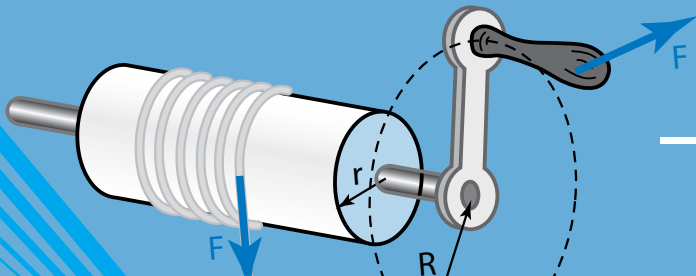
2) **Αντίρροπες** ($\vec{F}_1 \nearrow \nwarrow \vec{F}_2$), από τη σχέση (1) βρίσκουμε

$$F_{\text{ολ}} = F_1 - F_2 \quad (\text{σχ. 3.4})$$

3) **Κάθετες** μεταξύ τους ($\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$), από τη σχέση (1) καταλήγουμε στη σχέση $F_{\text{ολ}}^2 = F_1^2 + F_2^2$ (σχ. 3.5).



Σχ. 3.3
Πρόσθεση
ομόρροπων δυνάμεων



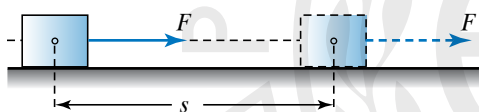
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Έργο - Ενέργεια - Ισχύς

4.1 Έργο δύναμης

Στη Μηχανική είναι χρήσιμη η έννοια του έργου δύναμης, την οποία θα ορίσουμε και θα αναφερόμαστε στη χρήση της.

Έργο W μίας σταθερής δύναμης που μετακινεί το σημείο εφαρμογής της κατά τη διεύθυνσή της, ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που ισούται με το γινόμενο της δύναμης F επί τη μετατόπιση s του σημείου εφαρμογής της. Δηλαδή $W = Fs$. Η δύναμη ασκείται σε σημείο κάποιου υλικού σώματος και λέμε ότι η δύναμη παράγει έργο επί του σώματος (σχ. 4.1).



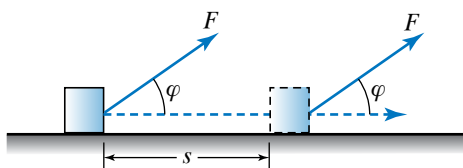
Σχ. 4.1

Σταθερή δύναμη που μετακινεί το σημείο εφαρμογής της κατά τη διεύθυνσή της

Όταν η διεύθυνση της δύναμης σχηματίζει γωνία φ με τη μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της, το έργο της δίνεται απ' τον τύπο $W = Fs \cos \varphi$ (σχ. 4.2).

Όταν $\varphi = 90^\circ$, η δύναμη είναι κάθετη στη μετατόπιση και άρα το έργο της είναι μηδέν, διότι $W = Fs \cos 90^\circ = Fs \cdot 0 = 0$.

Το στοιχειώδες έργο δύναμης $\vec{F}$, η οποία ασκείται σε σώμα και μετατοπίζει το σημείο εφαρ-



Σχ. 4.2

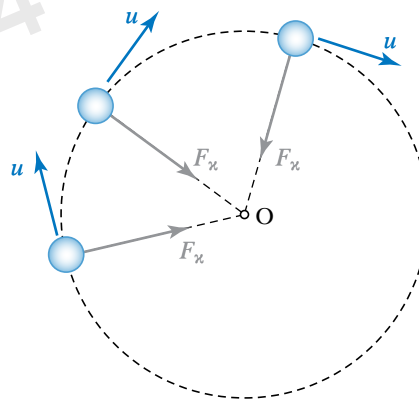
Δύναμη που σχηματίζει γωνία φ με τη μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της

μογής της κατά τη στοιχειώδη μετατόπιση $d\vec{s}$, ισούται με $dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F ds \cos \varphi$, όπου φ είναι η γωνία μεταξύ δύναμης και στοιχειώδους μετατοπίσεως.

Αν η μετατόπιση γίνεται σε ευθεία γραμμή και η δύναμη είναι σταθερή και σχηματίζει σταθερή γωνία φ με τη μετατόπιση, ισχύει $W = F s \cos \varphi$.

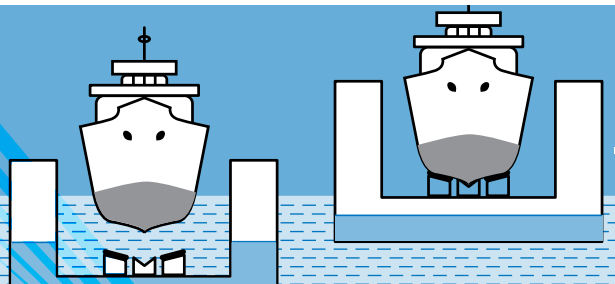
Αν η δύναμη είναι συνεχώς κάθετη στη μετατόπιση, τότε το στοιχειώδες έργο είναι μηδέν. Πράγματι, $dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F ds \cos \varphi = F ds \cos 90^\circ = F ds \cdot 0 = 0$. Για παράδειγμα, όταν ένα σώμα μετακινείται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο, το έργο του βάρους του είναι μηδέν. Ακόμη και αν κατά τη μετατόπιση μεταβάλλεται η δύναμη ως διάνυσμα, εφόσον σε κάθε σημείο της διαγραφόμενης τροχιάς του σημείου αυτού έχουμε $\varphi = 90^\circ$, έπεται ότι και το συνολικό έργο είναι μηδέν, $W = 0$.

Όταν ένα σώμα εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση, η κεντρομόλος δύναμη $\vec{F}_κ$, η οποία έχει την κατεύθυνση της ταχύτητας $\vec{u}$ είναι συνεχώς κάθετη στη στοιχειώδη μετατόπιση του σώματος, άρα το έργο της είναι μηδέν (σχ. 4.3).



Σχ. 4.3

Το έργο της κεντρομόλου δύναμης είναι ίσο με μηδέν



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.

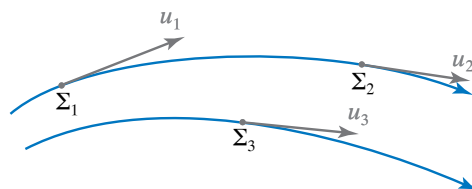
Υπάρχουν περιπτώσεις που η ταχύτητα δεν διατηρείται εντελώς σταθερή, αλλά μεταβάλλεται λίγο, γύρω από κάποια μέση τιμή (**ημιμόνιμη ροή**).

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).

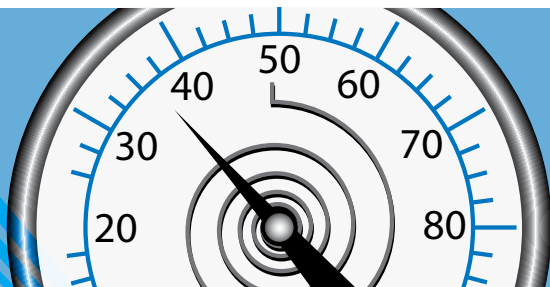
Συνήθως σχεδιάζουμε τις ρευματικές γραμμές έτσι, ώστε η πυκνότητά τους σε μία περιοχή του πεδίου ροής να δείχνει το μέτρο της ταχύτητας του ρευστού στην περιοχή αυτή. Μεγάλη πυκνότητα ρευματικών γραμμών σημαίνει μεγάλη ταχύτητα και μικρή πυκνότητα ρευματικών γραμμών σημαίνει μικρή ταχύτητα.

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



Σχ. 5.1

Ρευματικές γραμμές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Θερμότητα

6.1 Θερμοκρασία

Το κρύο ή το ζεστό είναι μία εντύπωση που προσδιορίζεται απ' την αίσθηση της αφής και είναι αρκετά ασαφής και υποκειμενική. Η εντύπωση αυτή εισάγει την έννοια της **θερμοκρασίας ενός σώματος**, που μπορούμε να προσδιορίζουμε αντικειμενικά μετρώντας ιδιότητες της ύλης που εξαρτώνται απ' αυτήν.

Μπορούμε για παράδειγμα να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία από τη μεταβολή του όγκου ενός υγρού, από τη μεταβολή του μήκους μιας ράβδου, από τη μεταβολή του χρώματος μιας φλόγας, από τη μεταβολή της πίεσης ενός αερίου, από τη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός μετάλλου και από άλλες ιδιότητες, που μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία.

Τα όργανα που μετρούν τη θερμοκρασία είναι τα **θερμόμετρα**.

Μια βασική ιδιότητα χρήσιμη για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι το γεγονός ότι αν δύο σώματα έρθουν σε θερμική επαφή, τότε αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, και όταν η θερμοκρασία τους σταθεροποιηθεί, θα έχουν αποκτήσει την ίδια θερμοκρασία. Το σύστημα έτσι φτάνει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

– Θερμόμετρα

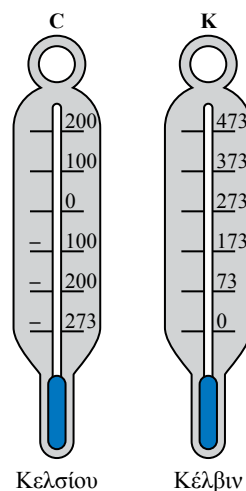
Στα θερμόμετρα, η θερμοκρασία κάθε σώματος εκφράζεται μ' έναν αριθμό και την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης, που αντιστοιχεί στο πόσο θερμό είναι το σώμα σύμφωνα με κάποια δεδομένη κλίμακα. Η βαθμονόμηση της κλίμακας είναι αυθαίρετη. Η πιο γνωστές κλίμακες που χρησιμοποιούμε είναι η κλίμακα Κελσίου (Celsius), σωστότερα Κέλσιους ή Κέλσιο, η κλίμακα Κέλβιν (Kelvin) και η κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit).

Το μηδέν (0) της κλίμακας **Κελσίου** αντιστοιχεί στη θερμοκρασία πήξης του καθαρού νερού και το 100 στη θερμοκρασία βρασμού του καθαρού νερού

και τα δύο υπό πίεση ίση με $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$ (1 κανονική ατμόσφαιρα). Η περιοχή μεταξύ των δύο θερμοκρασιών διαιρείται σε 100 ίσα μέρη, που τα ονομάζουμε βαθμούς Κελσίου, $^{\circ}\text{C}$. Οι θερμοκρασίες καταστάσεων που είναι πιο κρύες από το σημείο πήξης του νερού εκφράζονται με αρνητικές ενδείξεις. Η κλίμακα Κελσίου είναι πολύ διαδεδομένη και χρησιμοποιείται στην καθημερινή μας ζωή, αλλά και στην επιστήμη. Ως σύμβολα για τη θερμοκρασία στην κλίμακα Κελσίου, συνιστώνται τα θ και t .

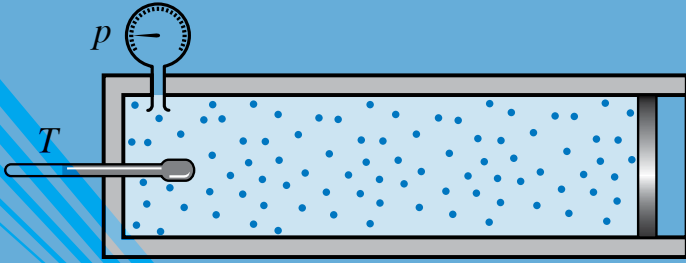
Μια άλλη πολύ γνωστή θερμοκρασιακή κλίμακα που χρησιμοποιείται απ' την επιστημονική κοινότητα είναι η κλίμακα **Kelvin**, στην οποία το μηδέν αντιστοιχεί στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία (**το απόλυτο μηδέν**) (σχ. 6.1).

Το απόλυτο μηδέν αντιστοιχεί σε $-273,15^{\circ}\text{C}$. Η κλίμακα ορίζεται θεωρώντας ότι το τριπλό σημείο του καθαρού νερού έχει θερμοκρασία ίση με $273,16 \text{ K}$. Το σύμβολο που συνιστάται για τη θερμοκρασία κέλβιν είναι το T ή το Θ . Οι μονάδες της κλίμακας Kelvin έχουν το ίδιο μέγεθος με τους βαθμούς της κλίμακας Κελσίου και λέγονται Κέλβιν (Kelvin, K). Παλαιότερα η θερμοκρασία T ονομαζόταν **από-**



Σχ. 6.1

Σύγκριση βαθμών Κελσίου – Κέλβιν



7.1 Στατιστική ισορροπία

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά των αερίων με τη βοήθεια της στατιστικής επιτήρησης.

Αρχικά θα αναφερθούμε στην περίπτωση ιδανικού αερίου, που εξετάζεται μέσα στα πλαίσια της κλασικής μηχανικής. Το αέριο χαρακτηρίζεται από μακροσκοπικά φυσικά μεγέθη, όπως η πίεση και η θερμοκρασία, τα οποία σχετίζονται με μεγάλο πλήθος δομικών λίθων του αερίου (μόρια, άτομα) και από μικροσκοπικά μεγέθη που σχετίζονται με τους επιμέρους δομικούς λίθους. Είναι ευνόητο ότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε κάθε χρονική στιγμή τι κάνει ο κάθε δομικός λίθος του αερίου (το πλήθος τους εξάλλου είναι της τάξης του 10^{23}), μπορούμε όμως να περιγράψουμε το αέριο με τα γνωστά μας μακροσκοπικά μεγέθη και με τη στατιστική μηχανική να βρούμε τις σχέσεις μεταξύ των μακροσκοπικών και των μικροσκοπικών μεγεθών. Για παράδειγμα, η πίεση του αερίου μπορεί να ερμηνευτεί απ' τις συγκρούσεις των δομικών λίθων του αερίου με τα τοιχώματα του δοχείου.

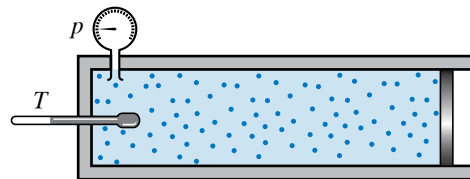
Ας φανταστούμε μία σταθερή ποσότητα ιδανικού αερίου σ' ένα κλειστό θερμομονωμένο δοχείο, με σταθερό όγκο, σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία σε κάθε σημείο του αερίου είναι σταθερή με τον χρόνο. Επίσης, η θερμοκρασία είναι ίδια σε κάθε σημείο του χώρου που καταλαμβάνει το αέριο και δεν υπάρχει ροή ενέργειας ή μάζας από ένα σημείο στο άλλο, ούτε από και προς το περιβάλλον.

Αυτό το ιδανικό αέριο αποτελεί ένα σύστημα με πολύ μεγάλο αριθμό, N , σωματιδίων και το κάθε σωματίδιο μπορεί να έχει μία απ' τις ενέργειες E_i . Κάθε χρονική στιγμή, το κάθε σωματίδιο του αερίου χαρακτηρίζεται απ' τις συντεταγμένες θέσης και ορμής του. Αυτό είναι μια μικροκατάσταση του συστήματος, η οποία γενικώς δεν είναι κατάσταση (θερμοδυναμικής) ισορροπίας. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αντιστοιχεί σε μακροκατάσταση, όπου στις δια-

φορετικές θέσεις μέσα στο αέριο να έχουμε διαφορετική θερμοκρασία (μακροσκοπικό μέγεθος) και διαφορετική πίεση (επίσης μακροσκοπικό μέγεθος). Έτσι, δύναται να υπάρχει ροή μάζας και ενέργειας μεταξύ των διάφορων σημείων του αερίου. Ένα θεμελιώδες αίτημα της στατιστικής μηχανικής είναι ότι όλες οι μικροκαταστάσεις έχουν την ίδια πιθανότητα να υπάρχουν.

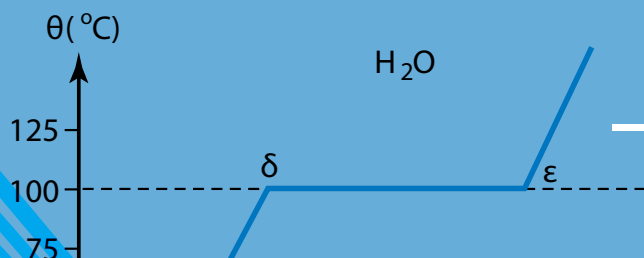
Έστω ότι n_1 σωματίδια έχουν ενέργεια E_1 , n_2 σωματίδια ενέργεια E_2 , ... n_i σωματίδια E_i . Η ολική ενέργεια του συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση $U = \sum n_i E_i = n_1 E_1 + n_2 E_2 + \dots + n_i E_i$ είναι σταθερή με τον χρόνο και ο ολικός αριθμός των σωματιδίων είναι δεδομένος (σταθερός), δηλαδή ίσος με $N = \sum n_i = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$. Λόγω των αλληλεπιδράσεων και των συγκρούσεων των μορίων του συστήματος η κατανομή των σωματιδίων μεταξύ των ενεργειακών καταστάσεων μεταβάλλεται. Δηλαδή απ' τις συγκρούσεις αλλάζει το πλήθος των σωματιδίων, που βρίσκονται κατανεμημένα σε διάφορες μικροσκοπικές ενεργειακές καταστάσεις E_i , παρόλο που η ολική ενέργεια του συστήματος παραμένει σταθερή.

Η στατιστική μελέτη του φαινομένου της κατανομής των σωματιδίων δείχνει ότι για δεδομένο σύστημα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (πλήθος σωματιδίων και δομή) και για δεδομένη ολική ενέργεια υπάρχει μία ενεργειακή κατανομή των σωματιδίων, που είναι πολύ πιο πιθανή απ' τις άλλες. Αυτή είναι η κατανομή της κατάστασης (θερμοδυναμικής) ισορροπίας. Αν τα σωματίδια έχουν ενέργεια που δεν εξαρτάται απ' τη θέση τους στον χώρο, τότε θα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στο δοχείο (σχ. 7.1), δη-



Σχ. 7.1

Σύστημα πολλών σωματιδίων. Αέριο σε δοχείο



8.1 Αλλαγές φάσεων υλικών σωμάτων

Με τον όρο **φάση** ενός υλικού εννοούμε τη στερεή, την υγρή και την αέρια κατάσταση, στην οποία είναι δυνατό να βρίσκεται το υλικό. Στη συνέχεια θυμίζουμε τις διαφορές μεταξύ των τριών καταστάσεων της ύλης.

Στα στερεά σώματα, τα στοιχειώδη δομικά σωματίδια ή δομικοί λίθοι (μόρια, άτομα, ιόντα) διατηρούν σχετικά σταθερές θέσεις και εξασκούν ισχυρές δυνάμεις μεταξύ τους, υπό την επίδραση των οποίων έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν ταλαντώσεις γύρω απ' τη θέση ισορροπίας τους. Οι αποστάσεις μεταξύ των δομικών λίθων διατηρούνται σταθερές, γι' αυτό έχουν και συγκεκριμένο σχήμα και όγκο σε δεδομένη θερμοκρασία.

Στα υγρά, οι δυνάμεις μεταξύ των δομικών μονάδων είναι λιγότερο ισχυρές απ' τις δυνάμεις που υπάρχουν στα στερεά. Έτσι, λόγω της θερμικής κίνησης οι δομικοί λίθοι δεν διατηρούνται σε συγκεκριμένες θέσεις, με αποτέλεσμα τα υγρά να μην έχουν συγκεκριμένο σχήμα, αλλά να παίρνουν κάθε φορά το σχήμα του δοχείου που τα περιέχει. Διατηρούν όμως συγκεκριμένο όγκο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Στα αέρια, οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων είναι μικρές, με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα για σημαντική κίνηση των μορίων, κίνηση άτακτη και τυχαία. Τα αέρια παίρνουν το σχήμα του δοχείου που τα περιέχει, δεν έχουν συγκεκριμένο όγκο, αλλά καταλαμβάνουν όλο τον όγκο του δοχείου που τα περιέχει.

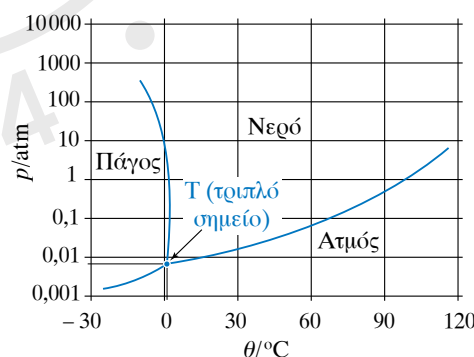
Γενικώς, τα υλικά μπορούν να βρεθούν σε οποιαδήποτε απ' τις τρεις φάσεις της ύλης, εκτός αν διασπώνται πριν την αλλαγή φάσης, όταν αλλάζουν οι διάφορες συνθήκες.

Μεταβάλλοντας τις συνθήκες, στις οποίες βρίσκεται ένα σώμα μπορούμε να μετατρέψουμε τη φάση του. Η μεταβολή αυτή απαιτεί προσφορά ή αφαίρεση θερμότητας. Αν η μεταβολή γίνεται αργά

(ένα είδος ισορροπίας) για όσο χρόνο διαρκεί η μετατροπή της φάσης, η θερμοκρασία του υλικού παραμένει σταθερή, παρόλο που παρέχουμε ή αφαιρούμε θερμότητα απ' το υλικό. Στο διάγραμμα του σχήματος 8.1 απεικονίζονται σε άξονες πίεσης-θερμοκρασίας (p - θ) οι μετατροπές φάσεων του νερού.

Κάθε σημείο (p , θ) στο επίπεδο p - θ αντιστοιχεί σε μια κατάσταση (θερμοδυναμικής) ισορροπίας. Τα σημεία που βρίσκονται εκτός των καμπυλών αντιστοιχούν σε μια φάση, ενώ τα σημεία των καμπυλών σε δυο και το σημείο τομής των τριών καμπυλών σε τρεις φάσεις.

Οι καμπύλες χωρίζουν στο διάγραμμα τις περιοχές του στερεού, του υγρού και του ατμού (αέριο) (σχ. 8.1). Η καμπύλη που διαχωρίζει τη στερεά από την υγρή περιοχή ονομάζεται **καμπύλη τήξης** (ή **πήξης**) και κάθε σημείο της αντιπροσωπεύει ένα ζεύγος τιμών πίεσης και θερμοκρασίας, στις οποίες έχουμε συνύπαρξη (ισορροπία) της στερεής και της υγρής φάσης του υλικού.



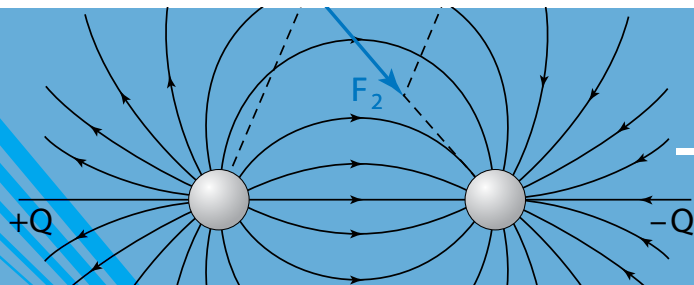
Σχ. 8.1

Τριπλό σημείο ως σημείο τομής των καμπυλών εξάερωσης και εξάχνωσης

Ένα καθαρό υγρό, όταν ψύχεται πολύ αργά, μπορεί να διατηρηθεί σε υγρή κατάσταση ακόμη και όταν η θερμοκρασία του γίνει κατώτερη από τη θερμοκρασία πήξης. Το αποσταγμένο νερό, όταν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Ηλεκτρικά φορτία



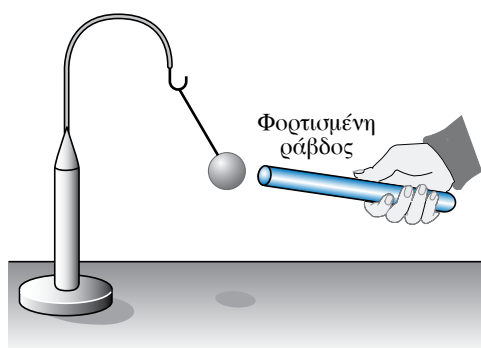
9.1 Θετικά και αρνητικά φορτία

Όταν δύο διαφορετικά υλικά σώματα έρθουν σε στενή επαφή μεταξύ τους (π.χ. τρίβοντας το ένα με το άλλο) ακόμη και αν μετά απομακρυνθούν λίγο, ασκούν δυνάμεις το ένα στο άλλο ή και σε άλλα σώματα που τα πλησιάζουν. Τα υλικά αυτά αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο (ηλεκτρίζονται). Η δύναμη που ασκείται μεταξύ των ηλεκτρισμένων σωμάτων ονομάζεται **ηλεκτρική**. Τα φαινόμενα που προκαλούνται από τα ηλεκτρισμένα σώματα ονομάζονται **ηλεκτρικά φαινόμενα** και η συστηματική τους μελέτη ξεκίνησε τον 16^ο αιώνα από τον Άγγλο φυσικό και ιατρό της Ελισάβετ, Gilbert William (1544-1604).

Ένα απλό όργανο μελέτης των ηλεκτρικών φαινομένων είναι το ηλεκτροσκόπιο, που σε μια παραλλαγή του είναι ένα είδος (ηλεκτρικού) εκκρεμούς. Αποτελείται από ελαφρύ σφαιρίδιο, κατασκευασμένο από φελλό ή χαρτί, που έχει αναρτηθεί με μεταξωτό νήμα σε σταθερό σημείο (σχ. 9.1). Η λειτουργία του είναι πολύ απλή:

1) Αν το σώμα που φέρνουμε κοντά στο σφαιρίδιο είναι φορτισμένο, τότε το σφαιρίδιο έλκεται και παρατηρούμε εκτροπή του νήματος από την κατακόρυφη θέση του (σχ. 9.1).

2) Αν το σώμα που φέρνουμε κοντά στο σφαιρί-



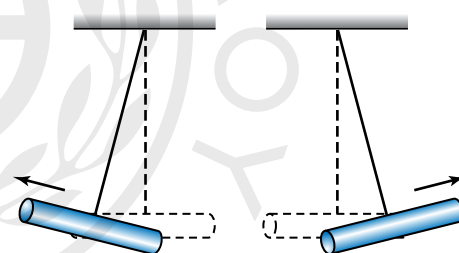
Σχ. 9.1

Το ηλεκτρικό εκκρεμές έλκεται από τη φορτισμένη ράβδο

διο δεν είναι φορτισμένο, τότε το σφαιρίδιο παραμένει ακίνητο.

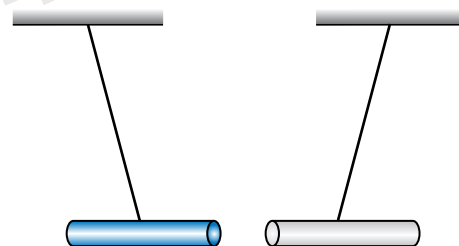
Οι ηλεκτρικές δυνάμεις μπορούν να ασκηθούν από απόσταση και είναι ελκτικές ή απωστικές.

Δύο γυάλινες ράβδοι που τρίφτηκαν με μεταξωτό ύφασμα και έχουν αναρτηθεί με μεταξωτό σχοινί, όταν έρθουν κοντά, απωθούν η μία την άλλη (σχ. 9.2). Αν όμως μία γυάλινη ράβδος τριφτεί με μεταξωτό ύφασμα και μία από εβονίτη (σκληρό σκούρο μονωτικό υλικό που προέρχεται από τη θείωση του καουτσούκ) με μάλλινο ύφασμα, τότε όταν θα έρθουν κοντά, παρατηρούμε ότι η μία έλκει την άλλη (σχ. 9.3).



Σχ. 9.2

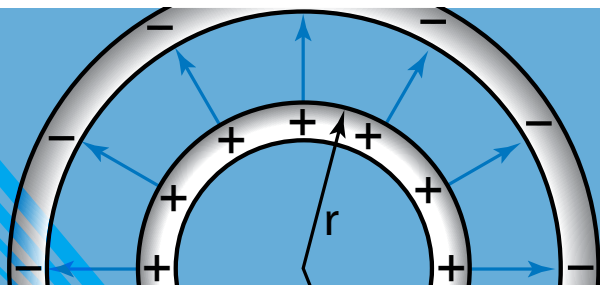
Το ομώνυμα απωθούνται



Σχ. 9.3

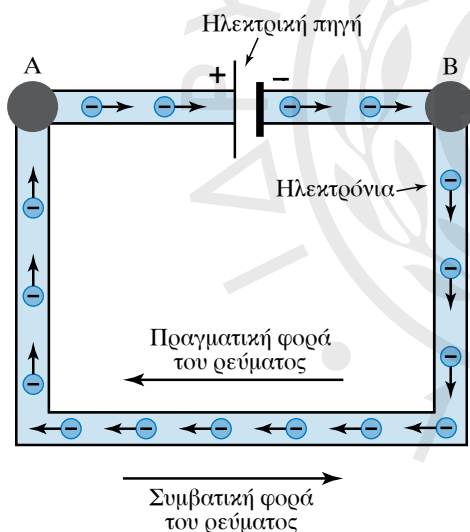
Τα ετερόνυμα έλκονται

Τα πειράματα αυτά μπορούμε να τα ερμηνεύσουμε παραδεχόμενοι την ύπαρξη μιας φυσικής οντότητας, και ονομάζεται **ηλεκτρικό φορτίο** που αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα της ύλης. Υπάρχει σε



10.1 Ηλεκτρικό ρεύμα και πυκνότητα ρεύματος

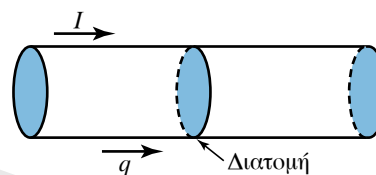
Ηλεκτρικό ρεύμα ή απλώς **ρεύμα** ονομάζεται η προσανατολισμένη (σε μια κατεύθυνση) κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων (φορτισμένων σωματιδίων) μέσα σε αγωγό (σχ. 10.1). Φορείς του ρεύματος είναι τα ηλεκτρικά φορτία που κινούνται προσανατολισμένα. Στους μεταλλικούς αγωγούς φορείς του ρεύματος είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, στους ηλεκτρολύτες τα κατιόντα και τα ανιόντα (θετικά και αρνητικά ιόντα) του διαλύματος και στους αέριους αγωγούς είναι τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια.



Σχ. 10.1
Ροή φορτίων
σε μεταλλικό αγωγό

Το ηλεκτρικό ρεύμα, είναι μονόμετρο φυσικό μέγεθος που περιγράφει τον ρυθμό, με τον οποίο το ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από τυχαία διατομή αγωγού. Συμβολίζεται με i ή I και ισούται με το πηλίκο του στοιχειώδους φορτίου dq που διέρχεται από διατομή αγωγού σε στοιχειώδη χρόνο dt ($dt \rightarrow 0$), προς τον χρόνο αυτόν (σχ. 10.2).

$$\text{Δηλαδή } I = dq/dt$$



Σχ. 10.2

Εγκάρσια διατομή αγωγού που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι το I :

- 1) Εκφράζει τον ρυθμό ροής του φορτίου που διέρχεται από διατομή αγωγού,
- 2) και αναφέρεται σε κάποια χρονική στιγμή, αφού $dt \rightarrow 0$.

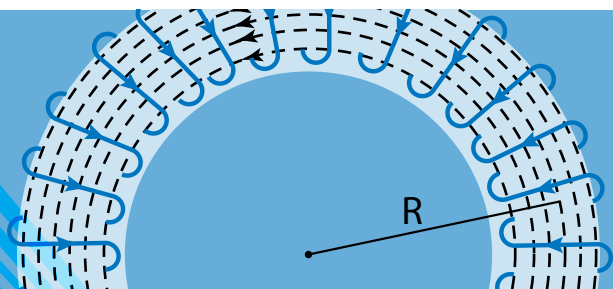
Όταν η φορά του ρεύματος δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο, το ρεύμα είναι συνεχές. Αν στο συνεχές ρεύμα ο ρυθμός ροής του φορτίου είναι σταθερός, τότε ισχύει:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{q}{t}$$

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και γενικώς τα ιόντα μέσα σε αγωγό κινούνται άτακτα και η κίνησή τους δεν έχει προσανατολισμό. Αν θεωρήσουμε μια επιφάνεια μέσα στον αγωγό, ο ρυθμός με τον οποίο τα φορτία διέρχονται μέσα από την επιφάνεια, από τα αριστερά προς τα δεξιά είναι ίδιος με τον ρυθμό που διέρχονται από τα δεξιά προς τα αριστερά. Έτσι, ο συνολικός αριθμός διέλευσης φορτίων από την επιφάνεια είναι μηδέν.

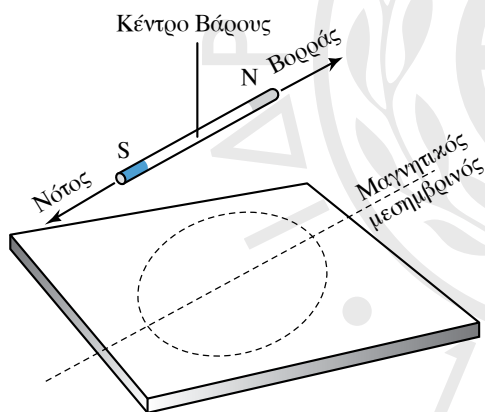
Αν τα άκρα του αγωγού συνδεθούν με συσσωρευτή (μπαταρία), τότε σε κάθε σημείο μέσα στον αγωγό δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο που κάνει τα φορτία να κινούνται προς τη διεύθυνση του πεδίου. Δηλαδή, προστίθεται στην ταχύτητα της άτακτης (θερμικής) κίνησης μία, συνήθως πολύ μικρότερη, συνιστώσα ταχύτητας κατά τη διεύθυνση του πεδίου που δημιουργεί το (ηλεκτρικό) ρεύμα.

Με τον όρο μπαταρία ή συσσωρευτής ή ηλεκτρική πηγή ονομάζουμε κάθε συσκευή που δημιου-



11.1 Μαγνητισμός

Ορισμένα υλικά που απαντούν στη φύση έλκουν κομματάκια (ρινίσματα) σιδήρου. Αυτό οφείλεται στο ότι αυτά τα υλικά παρουσιάζουν το φαινόμενο του μαγνητισμού. Τα υλικά είναι μόνιμοι, φυσικοί μαγνήτες. Από τέτοιο υλικό μπορεί να φτιαχτεί λεπτός μαγνήτης σε μορφή ράβδου, που όταν στερεωθεί από το κέντρο βάρους του, ώστε να μπορεί να στρέφεται περί το σημείο εξάρτησης του, προσανατολίζεται έτσι που το ένα άκρο του να δείχνει προς τον βόρειο γεωγραφικό πόλο της Γης και το άλλο προς τον νότιο (σχ. 11.1).



Σχ. 11.1

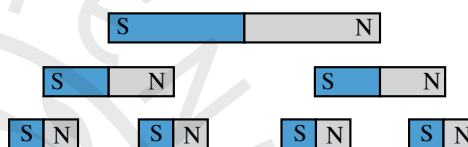
Οι δύο πόλοι του μαγνήτη

Το άκρο που δείχνει προς το Βορρά λέγεται **βόρειος μαγνητικός πόλος** και παριστάνεται διεθνώς με το σύμβολο N (από την αγγλική λέξη north για το «βορράς») και ο άλλος με το S, λέγεται **νότιος μαγνητικός πόλος** (από το south «νότος»). Αυτό είναι ένα **μαγνητικό δίπολο**.

Αν έχουμε δύο ραβδόμορφους μαγνήτες με βόρειο και νότιο πόλο, όταν πλησιάσουμε τους δύο ομώνυμους πόλους τους, οι μαγνήτες απωθούνται, ενώ όταν πλησιάσουμε τους ετερόνυμους πόλους, οι μαγνήτες έλκονται. Οι ραβδόμορφοι μαγνήτες

μπορεί να έχουν τη μορφή μαγνητικής βελόνας με βόρειο και νότιο πόλο.

Αν κόψουμε μία μαγνητική ράβδο στα δύο, κάθε τμήμα γίνεται ένας νέος μαγνήτης, μαγνητικό δίπολο, με το δικό του βόρειο και νότιο πόλο (σχ. 11.2).



Σχ. 11.2

Κόβοντας το μαγνήτη παίρνουμε συνεχώς νέους μαγνήτες, μαγνητικά δίπολα

Πάντα οι μαγνητικοί πόλοι εμφανίζονται κατά ζεύγη, βόρειος – νότιος, δηλαδή ως δίπολα. Μαγνητικά μονόπολα (απομονωμένοι βόρειοι ή νότιοι πόλοι) δεν έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα.

11.1.1 Μαγνητικό πεδίο

Μαγνητικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Το φυσικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή του μαγνητικού πεδίου είναι το διανυσματικό μέγεθος $\vec{B}$, που ονομάζεται **πυκνότητα μαγνητικής ροής** ή **μαγνητική επαγωγή** ή **μαγνητικό πεδίο B** . Το διάνυσμα $\vec{B}$ σε ένα σημείο του χώρου έχει τη διεύθυνση του άξονα της μαγνητικής βελόνας και φορά από το νότιο προς το βόρειο πόλο της. Στο σύστημα SI το B μετρείται σε tesla (T). Θα δούμε παρακάτω τον ορισμό αυτής της μονάδας. Άλλη μονάδα είναι το gauss (G), $1 \text{ T} = 10.000 \text{ G}$.

Δυναμική γραμμή είναι η συνεχής γραμμή που σε κάθε σημείο της το διάνυσμα του πεδίου $\vec{B}$ είναι εφαπτόμενο σ' αυτήν. Οι δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται ούτε εφάπτονται (παρά μόνο σε ανώμαλα σημεία, όπου το B μηδενίζεται ή απειρίζεται) και η πυκνότητά τους λαμβάνεται να είναι ανάλογη της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

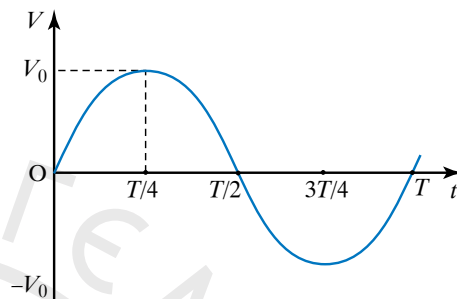
Εναλλασσόμενα ρεύματα

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.

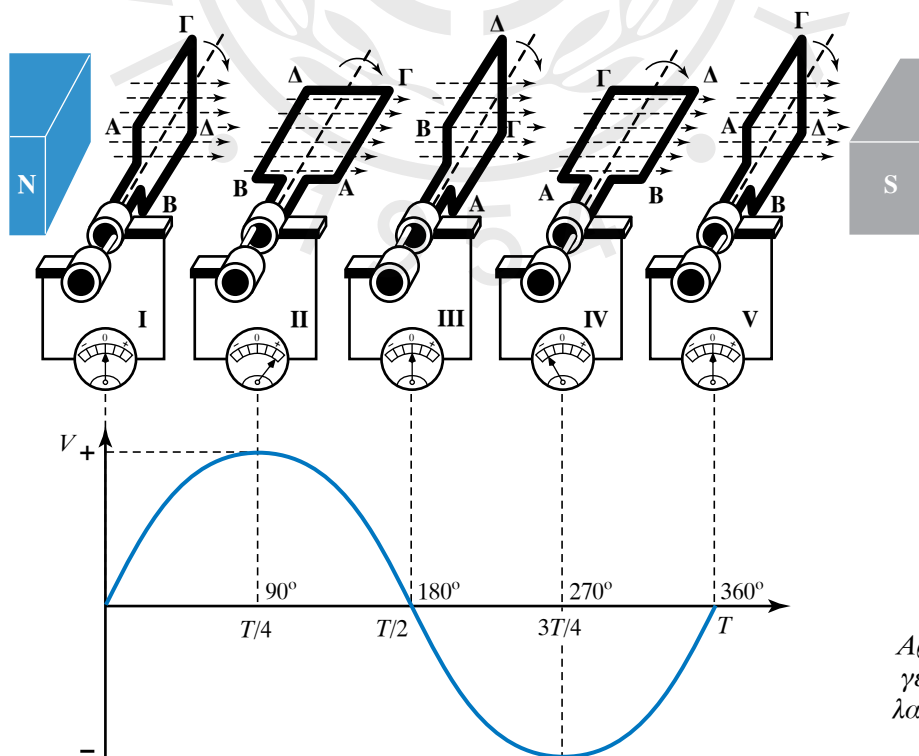
Οι διατάξεις που παράγουν εναλλασσόμενη τάση ονομάζονται γεννήτριες εναλλασσόμενης τάσης. Η αρχή λειτουργίας μίας γεννήτριας εναλλασσόμενης τάσης φαίνεται στο σχήμα 12.2, όπου ο εμ-



Σχ. 12.1

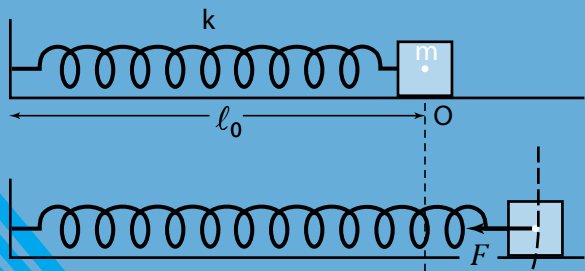
Γραφική παράσταση εναλλασσόμενης τάσης

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



13.1 Απλή αρμονική ταλάντωση

Οι ταλαντώσεις ανήκουν σε μία ευρύτερη κατηγορία κινήσεων, που ονομάζονται **περιοδικές**. Είναι οι κινήσεις που επαναλαμβάνονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σε ίσα χρονικά διαστήματα.

Περιοδική είναι η κίνηση της Σελήνης γύρω από τη Γη, η κίνηση της προπέλας του πλοίου, της κούβιας, η κίνηση του εκκρεμούς κ.λπ..

Βασικά χαρακτηριστικά μιας περιοδικής κίνησης είναι η περίοδος T και η συχνότητα f .

Περίοδο ονομάζουμε τον χρόνο, στον οποίο επαναλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο η περιοδική κίνηση. Συμβολίζεται με T και μονάδα μέτρησής της στο SI είναι το 1 s.

Συχνότητα ονομάζουμε το πλήθος των επαναλήψεων της περιοδικής κίνησης στη μονάδα του χρόνου. Συμβολίζεται με το f . Ορίζεται από τη σχέση $f = N/t$, όπου N το πλήθος των επαναλήψεων σε χρόνο t . Μονάδα μέτρησής της στο SI είναι το $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$.

Συχνότητα 1 Hz σημαίνει ότι έχουμε 1 επανάληψη της κίνησης κάθε 1 δευτερόλεπτο. Σημαντικός αριθμός περιοδικών κινήσεων έχουν μικρή έως πάρα πολύ μικρή περίοδο (10^{-6} s ή 10^{-9} s), άρα μεγάλη συχνότητα, γι' αυτό πολύ συχνά στην πράξη για τη συχνότητα χρησιμοποιούμε τα πολλαπλάσια της μονάδας Hz , όπως το $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$, το $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ και το $1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$.

Ισχύει η σχέση περιόδου και συχνότητας, $f = 1/T$, διότι απ' τον ορισμό της συχνότητας έχουμε $f = N/t$. Από τον ορισμό της περιόδου έχουμε ότι για $N = 1$ είναι $t = T$, άρα $f = 1/T$.

Οι ταλαντώσεις είναι κινήσεις παλινδρομικές ως προς μια θέση ισορροπίας. Τις ταλαντώσεις μπορούμε να τις κατατάξουμε σε διάφορες κατηγορίες σε σχέση με τον τρόπο ταλάντωσης του συστήματος, με τη διατήρηση ή όχι της ενέργειας κατά την ταλάντωση και με το αν πρόκειται για ταλάντωση μηχανικού, ηλεκτρικού ή άλλου μεγέθους.

Έτσι, έχουμε διαφόρων τύπων ταλαντώσεις, όπως:

1) **Γραμμικές ταλαντώσεις**. Είναι οι ταλαντώσεις που η παλινδρομική κίνηση του σώματος γίνεται πάνω σε ευθεία γραμμή.

2) **Στροφικές ταλαντώσεις**. Είναι οι ταλαντώσεις που η παλινδρομική κίνηση των σωμάτων είναι στροφική γύρω απ' τη θέση ισορροπίας.

3) **Αμείωτες ταλαντώσεις**. Είναι οι ταλαντώσεις, στις οποίες η ενέργεια διατηρείται σταθερή κατά τη διάρκεια της ταλάντωσης.

4) **Φθίνουσες ταλαντώσεις**. Είναι οι ταλαντώσεις, στις οποίες έχουμε απώλεια ενέργειας, με αποτέλεσμα τη μείωση του μέγιστου του μεγέθους που ταλαντεύεται (π.χ. του μέγιστου της απομάκρυνσης του εκκρεμούς ή του μέγιστου του ρεύματος, αν πρόκειται για ταλάντωση ηλεκτρικού κυκλώματος).

Η απλή αρμονική ταλάντωση είναι μία ειδική περίπτωση της γραμμικής ταλάντωσης, όπου η απομάκρυνση του σώματος από τη θέση ισορροπίας είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου. Δηλαδή περιγράφεται από μια αρμονική σχέση της μορφής $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. Στοιχεία μιας απλής αρμονικής ταλάντωσης είναι τα παρακάτω:

1) Στη **μηχανική ταλάντωση** η θέση ισορροπίας είναι η θέση γύρω απ' την οποία εξελίσσεται η ταλάντωση κι εκεί η δύναμη που είναι η αιτία της ταλάντωσης είναι μηδέν.

2) Η **στιγμιαία τιμή** του ταλαντούμενου μεγέθους που για μηχανικό σύστημα είναι η απομάκρυνση απ' τη θέση ισορροπίας.

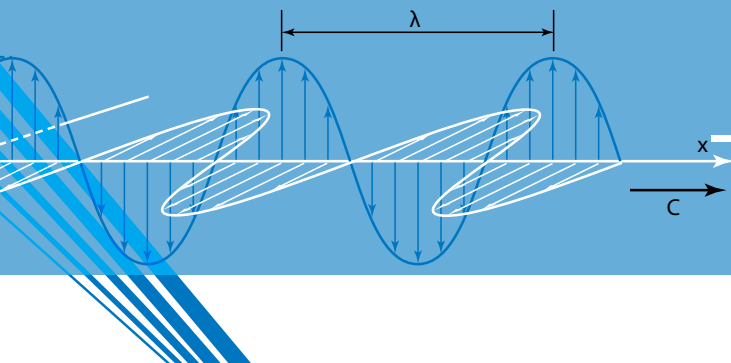
3) Το **πλάτος** είναι η μέγιστη τιμή του ταλαντούμενου μεγέθους, το οποίο για μηχανικό σύστημα είναι η μέγιστη απομάκρυνση απ' τη θέση ισορροπίας.

4) Η **περίοδος** είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να εκτελέσει μια πλήρη ταλάντωση.

5) **Συχνότητα** είναι το πλήθος των ταλαντώσεων ανά μονάδα χρόνου.

6) **Κυκλική συχνότητα** $\omega = 2\pi f$, $\omega = 2\pi/T$, μονάδα μέτρησής της είναι το rad/s .

7) **Στιγμιαία φάση** είναι η έκφραση $(\omega t + \varphi_0)$. Μονάδα μέτρησής της είναι το rad .



14.1 Ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε κύκλωμα LC

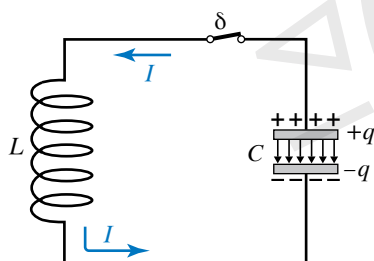
Θυμίζουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή δίνεται από τις σχέσεις:

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

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 $i = i_{\max} = I$.

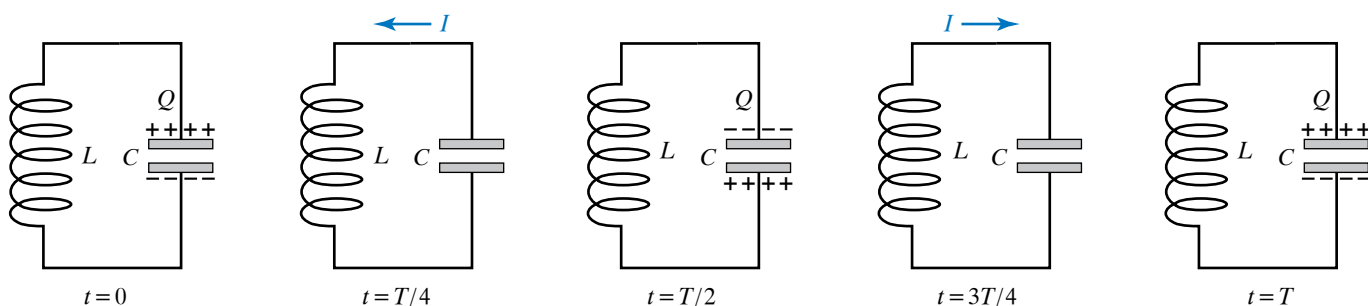
Στη συνέχεια, το ρεύμα αρχίζει να μειώνεται, ο πυκνωτής φορτίζεται ξανά, αλλά με αντίθετη πολικότητα. Όταν το ρεύμα μηδενιστεί, το φορτίο του πυκνωτή θα πάρει πάλι τη μέγιστη τιμή του (με αντίθετο πρόσημο απ' αυτό που είχε στην αρχή) και τότε $q = -Q$ και $i = 0$.

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: $q = Q \cos \omega t$.

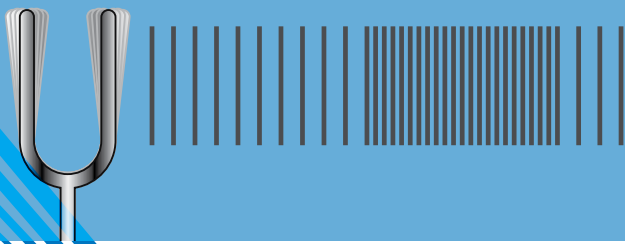
Για την τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα και φυσικά το πηνίο:

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



Σχ. 14.2

Φάσεις ταλάντωσης του κυκλώματος Thomson



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

Ήχος

15.1 Παραγωγή, διάδοση και χαρακτηριστικά του ήχου

Ο κοσμοναύτης Aleksei Leonov περιέγραψε έναν περίπατό του έξω από το διαστημόπλοιο ως εξής: «Αυτό που με εντυπωσίασε ήταν η ησυχία. Τέτοια ησυχία δεν μπορεί να φανταστεί κανένας στη Γη. Μια ησυχία τόσο βαθιά και τόσο απόλυτη, που μπορεί κανείς ν' ακούσει τους ήχους του σώματός του: τους χτύπους της καρδιάς και τους παλμούς των αρτηριών, ακόμη και τον ήχο που κάνουν οι μύες, καθώς συσπώνται».

Από την άλλη, στη Γη ακούμε γύρω μας διάφορους ήχους, τη φωνή μας, τα γέλια των φίλων μας, τραγούδια, θορύβους, το γάβγισμα του σκύλου, το κελάηδημα των πουλιών, τον παφλασμό των κυμάτων της θάλασσας, τον ήχο της βροντής, το θρόισμα των φύλλων. Τι είναι όμως όλοι αυτοί οι ήχοι, πώς παράγονται και γιατί, ενώ τους ακούμε στη Γη, στο διάστημα επικρατεί απόλυτη ησυχία;

Ήχο ονομάζουμε ό,τι αντιλαμβανόμαστε με την αίσθηση της ακοής.

Οι ήχοι παράγονται από τις ταλαντώσεις (δονήσεις) κάποιου σώματος (της πηγής του ήχου) και διαδίδονται ως κύματα μέσω κάποιου υλικού μέσου.

Κύμα είναι η διάδοση μιας διαταραχής στο χώρο. Κατά τη διάδοση του κύματος μεταφέρεται ενέργεια, ενώ δεν μεταφέρεται ύλη.

Πιο συγκεκριμένα, οι ήχοι είναι μηχανικά κύματα. Στα αέρια και στα υγρά είναι διαμήκη κύματα, ενώ στα στερεά είναι διαμήκη και εγκάρσια. Οι ήχοι, προκειμένου να διαδοθούν, χρειάζονται ένα ελαστικό μέσο.

Στα στερεά διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι στα υγρά, και στα υγρά με μεγαλύτερη ταχύτητα απ' ό,τι στα αέρια. Δηλαδή: $u_{\text{στερ}} > u_{\text{υγρ}} > u_{\text{αερ}}$.

Η ταχύτητα του ήχου στον αέρα εξαρτάται απ' τη θερμοκρασία και την υγρασία. Η ταχύτητά του δεν εξαρτάται απ' την έντασή του, δηλαδή από το αν είναι ισχυρός ή ασθενής. Για παράδειγμα στον

αέρα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, αυξάνεται και η ταχύτητα του ήχου. Η ταχύτητά του στον αέρα είναι $u = 331 \text{ m/s}$ στους 0°C και στους 20°C είναι $u = 344 \text{ m/s}$.

Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται και από την υγρασία. Η διάδοσή του είναι ταχύτερη στον υγρό αέρα απ' ό,τι στον ξηρό. Αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα της διάδοσης του ήχου σ' ένα αέριο δίνεται από τον τύπο:

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

όπου $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων του

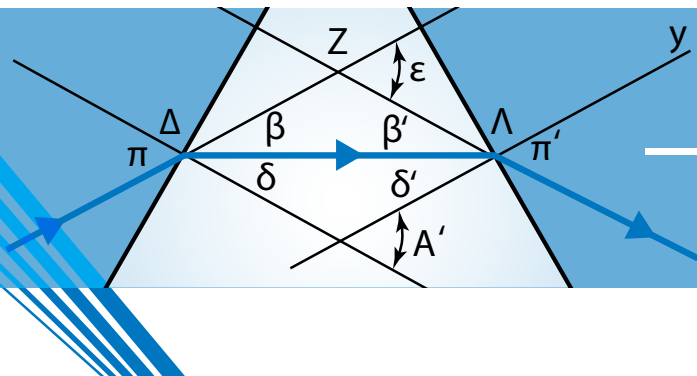
αερίου, R η παγκόσμια σταθερά των αερίων, M η μάζα ενός γραμμομορίου του αερίου και T η απόλυτη θερμοκρασία του.

Για τον αέρα στους 0°C η ταχύτητα υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο. Εάν θέσουμε: $\gamma = 1,4$, $T = 273 \text{ K}$, $M = 28,96 \times 10^{-3} \text{ kg}$ και $R = 8,31 \text{ J/(mol} \times \text{K)}$ προκύπτει ότι στους 0°C η ταχύτητα στον αέρα είναι $u_0 = 331 \text{ m/s}$.

Εάν στους 0°C η ταχύτητα του ήχου στον αέρα είναι u_0 , τότε στη θερμοκρασία θ (σε $^\circ\text{C}$) υπολογίζεται από τη σχέση: $u_\theta = u_0(1 + a\theta)$, όπου a είναι συντελεστής που εξαρτάται από τη σύνθεση του αέρα. Στον πίνακα 15.1 δίδονται ενδεικτικές τιμές της ταχύτητας του ήχου σε διάφορα υλικά.

Στο κενό ο ήχος δεν διαδίδεται. Για να μεταδοθεί ο ήχος, απαιτείται ταλάντωση κάποιου υλικού ελαστικού μέσου.

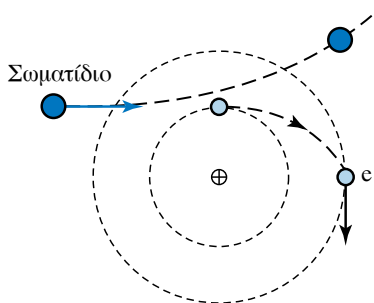
Τα ηχητικά κύματα στα αέρια και στα υγρά είναι διαμήκη κύματα, είναι δηλαδή κύματα, στα οποία έχουμε ταλάντωση του μέσου παράλληλα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα αέρια και στα υγρά δεν μπορούν να δημιουργηθούν σημαντικές διατμητικές τάσεις, υπάρχει μόνο συμπίεση και αποσυμπίεση. Κατά τη διάδοση διαμήκων κυμάτων στον χώρο, δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα κι αυτό έχει



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).

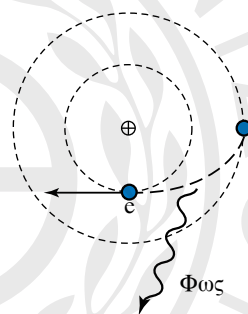


Σχ. 16.1
Διέγερση του ατόμου του υδρογόνου σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη

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.

