

Θ. ΚΑΡΑΚΩΣΤΑΣ

Καθηγητής
Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ.

Φ. ΚΟΜΝΗΝΟΥ

Επικ. Καθηγήτρια
Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ.



**ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ
ΦΥΣΙΚΗΣ**

Πρόλογος δεύτερης έκδοσης

Η νέα έκδοση του Πανεπιστημιακού αυτού συγγράμματος είναι ένα προϊόν συνεργασίας των συγγραφέων στη διδασκαλία της Φυσικής, στο αντίστοιχο μάθημα του πρώτου εξαμήνου του τμήματος Κτηνιατρικής. Η εξέλιξη του μαθήματος, όπως προέκυψε από τις παραδόσεις των τελευταίων ετών, οδήγησε στην ανάγκη εκσυγχρονισμού της ύλης ώστε να μπορεί να καλύπτει τις σημερινές απαιτήσεις. Αν και δεν χρειάστηκε να μεταβληθούν οι τίτλοι των κεφαλαίων που υπήρχαν στην προηγούμενη έκδοση, έγινε γενική αλλαγή του περιεχομένου των πέντε πρώτων κεφαλαίων με σημαντική προσθήκη νέων εννοιών και στοιχείων. Τα τρία τελευταία κεφάλαια παρέμειναν ίδια.

Ελπίζουμε η προσπάθεια μας να προσφέρει στους φοιτητές μας τη δυνατότητα καλύτερης κατανόησης των θεμάτων της φυσικής τα οποία πραγματεύεται το σύγγραμμα.

Θεσσαλονίκη 1992

Οι συγγραφείς

Πρόλογος πρώτης έκδοσης

Το βιβλίο αυτό περιέχει ορισμένα ανεξάρτητα κεφάλαια Φυσικής και έχει γραφτεί με βάση το νέο πρόγραμμα σπουδών του τμήματος της Κτηνιατρικής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Επειδή υπάρχει περιορισμός στη χρησιμοποίηση μαθηματικών, το περιεχόμενο αναπτύχθηκε κατ' ανάγκη περιγραφικά. Η προσπάθεια όμως ήταν να μην αλλοιωθεί το πνεύμα της επιστήμης. Η ανεξαρτησία των κεφαλαίων μας υποχρέωσε να παρουσιάσουμε μόνο τις βασικές έννοιες του κάθε θέματος. Κατά συνέπεια, η ύλη πρέπει να θεωρηθεί ως εισαγωγική.

Πιστεύω ότι οι φοιτητές θα μπορέσουν να ασκήσουν κριτική επί του συγγράμματος, γεγονός που θα οδηγήσει στην περαιτέρω βελτίωση και του βιβλίου και του περιεχόμενου του μαθήματος.

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 1986

Θ. Καρακάστας

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗ ΦΥΣΗ

1.1	Ενέργεια	1
1.2	Η χρησιμοποιούμενη ενέργεια.....	11
1.3	Ισχύς.....	13
1.4	Απλές μηχανές	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

2.1	Διάδοση της θερμότητας.....	17
2.2	Μέτρηση της θερμοκρασίας.....	21
2.3	Είδη θερμομέτρων.....	22
2.4	Θερμιδομετρία	27
2.5	Εφαρμογές θερμιδομετρίας	30
2.6	Μεταβολές της κατάστασης των σωμάτων.....	37
2.7	Βασικές έννοιες της θερμοδυναμικής.....	39
2.8	Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής.....	41
2.9	Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής	43
2.10	Θερμοδυναμικά δυναμικά σε απλά συστήματα	46
2.11	Γενικές μεταβολές της ενέργειας σε ανοικτά συστήματα.....	48
2.12	Η θερμοδυναμική μελέτη των βιολογικών φαινομένων.....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

3.1	Εισαγωγή.....	59
3.2	Η πυκνότητα.....	61
3.3	Η τάση.....	62
3.4	Η πίεση	65
3.5	Υγρά σε ισορροπία (Υδροστατική)	67
3.6	Αέρια σε ισορροπία.....	69
3.7	Μετρήσεις πίεσης	70
3.8	Ιδανικά ρευστά σε κίνηση.....	72
3.9	Μέτρηση της ταχύτητας ροής.....	77
3.10	Πραγματικά ρευστά.....	78

3.11	Η ελεύθερη επιφάνεια των πραγματικών ρευστών.....	79
3.12	Επιφανειακή τάση	82
3.13	Δυνάμεις συνεπαφής	86
3.14	Ροή των πραγματικών ρευστών	89
3.15	Νηματώδης ροή των πραγματικών ρευστών	90
3.16	Σύνθετη ροή.....	93
3.17	Αντίσταση στην κίνηση σώματος μέσα σε ρευστό.....	95
3.18	Κατηγορίες πραγματικών ρευστών	99
3.19	Ώσμωση.....	101
3.20	Φαινόμενα μεταφοράς	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

4.1	Εισαγωγή.....	107
4.2	Ανάκλαση και διάθλαση του φωτός	109
4.3	Το οπτικό σύστημα.....	114
4.4	Λεπτοί φακοί.....	117
4.5	Οι παχείς φακοί.....	125
4.6	Η οπτική του οφθαλμού	128
4.7	Η φωτογραφική μηχανή.....	138
4.8	Απλός μεγεθυντής (απλό μικροσκόπιο ή μεγεθυντικός φακός)	141
4.9	Το μικροσκόπιο	142
4.10	Τα Lasers και οι εφαρμογές τους	150

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ

5.1	Εισαγωγή.....	155
5.2	Οι βασικές κυματικές ιδιότητες του ηλεκτρονίου.....	156
5.3	Τεχνικές ηλεκτρονικής μικροσκοπίας.....	158
5.4	Η περίθλαση των ηλεκτρονίων	163
5.5	Η οπτική του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου διερχόμενης δέσμης	165
5.6	Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	175
5.7	Παρατήρηση βιολογικών παρασκευασμάτων	179
5.8	Στοιχειομετρική ανάλυση με ακτίνες - X	183

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΙΟΛΟΓΟΥΣ

6.1	Εισαγωγή.....	189
6.2	Βασικές συσκευές	189

6.3	Μεταλλάξεις	195
6.4	Όργανα ένδειξης και καταγραφής	198
6.5	Ο θόρυβος κατά τις μετρήσεις	202
6.6	Βιοηλεκτρομετρία	203

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΜΟΡΙΩΝ

7.1	Γενικές έννοιες	205
7.2	Φασματικές περιοχές	210
7.3	Φασματοσκόπια και φάσματα	210
7.4	Φασματοσκοπία μικροκυμάτων	212
7.5	Φασματοσκοπία υπέρυθρου	215
7.6	Φασματοσκοπία Raman	221
7.7	Ηλεκτρονική φασματοσκοπία των μορίων	223
7.8	Φασματοσκοπία μαγνητικού συντονισμού	228

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

8.1	Εισαγωγή	233
8.2	Ο πυρήνας των ατόμων	233
8.3	Το δυναμικό των πυρήνων	238
8.4	Ραδιενεργός διάσπαση	240
8.5	Εκπομπή σωματιδίων α (α διάσπαση)	242
8.6	Εκπομπή σωματιδίων β (β- διάσπαση)	243
8.7	Εκπομπή ακτινοβολίας γ	245
8.8	Δέσμες νετρονίων	246
8.9	Τεχνητή διάσπαση των πυρήνων	247
8.10	Σχάση των πυρήνων	247
8.11	Σύντηξη	248
8.12	Μέτρηση της ραδιενέργειας	250
8.13	Μονάδες μέτρησης των ραδιενεργών ακτινοβολιών	252
8.14	Βιολογικά ισοδύναμη δόση	254
8.15	Βιολογικά αποτελέσματα των ακτινοβολιών	256
8.16	Ιατρικές χρήσεις των ακτινοβολιών και των ισοτόπων	257
8.17	Θωράκιση από ακτινοβολίες	259
	Ευρετήριο όρων	261

1.1. Ενέργεια

Η ύλη που έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής στο Σύμπαν εμφανίζεται με δύο γενικές μορφές: **τα σώματα** και **τα πεδία**. Η πρώτη μορφή περιλαμβάνει τα πρωτόνια, τα ηλεκτρόνια, τα άτομα, τα μόρια και οτιδήποτε μπορεί να οικοδομηθεί από αυτά. Η δεύτερη περιέχει τα μέχρι στιγμής γνωστά πεδία, δηλαδή το πεδίο βαρύτητας, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το πεδίο ισχυρών αλληλεπιδράσεων και το πεδίο ασθενικών αλληλεπιδράσεων. Οι δύο μορφές της ύλης μπορούν να αλληλομετατρέπονται. Ως παράδειγμα αναφέρεται το φαινόμενο της εξαΰλωσης ηλεκτρονίου-ποζιτρονίου. Κατ' αυτό, όταν ένα ηλεκτρόνιο και ένα ποζιτρόνιο βρεθούν σε απόσταση αλληλεπίδρασης αντιδρούν και μετατρέπονται σε φωτόνια, δηλαδή σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το αντίστροφο φαινόμενο, η αλληλεπίδραση φωτονίου και ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με δημιουργία ηλεκτρονίου -ποζιτρονίου, έχει επίσης παρατηρηθεί και ονομάζεται δίδυμη γένεση.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των βασικών συστατικών της ύλης έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δομών που ιεραρχούνται σε διάφορα επίπεδα σύνθεσης όπως είναι για παράδειγμα οι πυρήνες των ατόμων, τα άτομα, τα μόρια των στοιχείων, τα σύνθετα μόρια, τα κρυσταλλικά στερεά, τα κύτταρα, οι οργανισμοί.

Η Φυσική έχει ως βασικό σκοπό τη μελέτη των θεμελιωδών νόμων που περιγράφουν την κίνηση όλων των μορφών της ύλης. Η προσέγγιση αυτού του στόχου είναι, όπως έχει αποδειχθεί, εξαιρετικά δύσκολη και έτσι ένα σημαντικό μέρος της προσπάθειας που καταβάλλεται επικεντρώνεται στη μελέτη των καταστάσεων στις οποίες βρίσκεται η ύλη, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες είτε εσωτερικές είτε του περιβάλλοντος. Το θεμελιώδες μέγεθος που περιγράφει τέτοιες καταστάσεις είναι η ενέργεια.

Η ενέργεια είναι η βασική ιδιότητα της ύλης που χαρακτηρίζει την κατάσταση της. Αν και δεν υπάρχει ορισμός που να την ορίζει πλήρως, θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής:

Ενέργεια είναι ένα μέγεθος χαρακτηριστικό της κατάστασης ενός σώματος ή ενός φυσικού συστήματος, που σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα του σώματος ή του συστήματος να μπορεί να παράγει έργο ή να αλλάξει την κατάσταση του εαυτού του ή του περιβάλλοντός του.

Ο ορισμός αυτός στηρίζεται στην κλασική αντίληψη και θεωρεί το έργο ως το βασικό μέγεθος για τη μέτρηση της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ ενός σώματος και του περιβάλλοντός του. Το δεύτερο Φυσικό μέγεθος που αποτελεί γενικό μέτρο ανταλλαγής ενέργειας είναι η θερμοότητα.

Οι μεταβολές της ενέργειας των σωμάτων ή των Φυσικών συστημάτων γενικότερα αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της θερμοδυναμικής στοιχεία της οποίας παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο του βιβλίου.

Ανάλογα με τις μορφές της ύλης υπάρχουν και διάφορες μορφές ενέργειας όπως η μηχανική, η ηλεκτρική, η χημική κ.λπ. που στα διάφορα φαινόμενα μετατρέπονται η μία στην άλλη με ανταλλαγές ύλης, έργου και θερμοότητας με το περιβάλλον.

Πρέπει όμως να τονίσουμε ότι δε θα έπρεπε να μιλάμε για "μορφές" ενέργειας αλλά για "φορείς" ενέργειας. Η πρόταση αυτή στηρίζεται στο επιχείρημα ότι η ενέργεια είναι ενιαία ιδιότητα της ύλης. Δηλαδή εκείνο που αλλάζει κάθε φορά είναι η κατάσταση του συστήματος, όπως η ύπαρξη ή όχι ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων ή η άτακτη θερμοκή κίνηση των μορίων του. Άρα αλλάζει ο "φορέας" της αντίστοιχης ενεργειακής κατάστασης. Παρ' όλα αυτά, εμείς εδώ θα κρατήσουμε, για λόγους παράδοσης, τους όρους "είδη" και "μορφές" ενέργειας χωρίς να μας διαφεύγει ότι η ενέργεια είναι ενιαίο μέγεθος.

Ο θεμελιώδης νόμος που έχει προκύψει για την ενέργεια, από όλα τα μέχρι τώρα πειράματα, είναι ο **νόμος της διατήρησης**, σύμφωνα με τον οποίο η ολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή σε οποιαδήποτε μεταβολή του συστήματος.

Κατ' επέκταση, όταν ένα σύστημα δεν είναι απομονωμένο, οι αλλαγές της ενέργειάς του που οφείλονται σε εξωτερικές επιδράσεις είναι ίσες και αντίθετες προς το αλγεβρικό άθροισμα των μεταβολών της ενέργειας όλων των εξωτερικών σωμάτων και πεδίων που αλληλοεπιδρούν με το σύστημα.

Ο νόμος της διατήρησης της ενέργειας είναι ένας από τους σπουδαιότερους. Αποδεικνύει ότι η κίνηση της ύλης που μέτρο της είναι η ενέργεια, δεν είναι δυνατό ούτε να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί αλλά μόνο να αλλάξει.

Η ενέργεια έχει την προσθετική ιδιότητα. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ενέργεια ενός συστήματος θα είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους ενεργειών των μερών του.

Η ενέργεια της σωματιδιακής ύλης διαχωρίζεται σε τρία βασικά είδη: **την**

κινητική ενέργεια, τη δυναμική ενέργεια και την ενέργεια ισοδύναμης μάζας. Ανάλογα όμως με το σύστημα που μελετάται και το είδος των αλληλεπιδράσεων (ηλεκτρικές, βαρυτικές κ.λπ.) έχουμε τις διάφορες μορφές ενέργειας όπως χημική, θερμική, ηλεκτρική κ.λπ.

Κινητική ενέργεια

Αν ένα σώμα μάζας m κινείται με μεταφορική ταχύτητα v ως προς ένα σύστημα αναφοράς, τότε η κινητική του ενέργεια ορίζεται ως

$$\text{Κινητική ενέργεια } T = \frac{1}{2} m v^2. \quad (1.1)$$

Η κινητική ενέργεια, όπως και όλες οι μορφές ενέργειας, έχει ως μονάδα μέτρησης, στο σύστημα SI, το Joule.

Οι μεταβολές της κινητικής ενέργειας περιγράφονται από ένα θεώρημα σύμφωνα με το οποίο *το έργο όλων των δυνάμεων που ενεργούν σε ένα σώμα ισούται με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του σώματος.*

$$W = \Delta T. \quad (1.2)$$

Αυτό σημαίνει ότι όταν το έργο είναι θετικό, δηλαδή προσφέρεται στο σώμα, η ταχύτητα του σώματος αυξάνεται, ενώ όταν είναι αρνητικό η ταχύτητα ελαττώνεται.

Εκτός από την παραπάνω ενέργεια υπάρχει και η κινητική ενέργεια λόγω περιστροφικής κίνησης περί άξονα που διέρχεται μέσα από το σώμα. Αν θ είναι η ροπή αδράνειας του σώματος, η κινητική ενέργεια περιστροφής θα ισούται με

$$T_{\text{περ}} = \frac{1}{2} \theta \omega^2, \quad (1.3)$$

όπου ω , η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής.

Η κινητική ενέργεια λόγω περιστροφής αποκτά ιδιαίτερη σημασία όταν εξετάζεται η σωματιδιακή ύλη επειδή έχει βρεθεί ότι, όπως δεν υπάρχει ακίνητο σωματίδιο όμοια δεν υπάρχει σωματίδιο που να μην εκτελεί ενδογενή περιστροφική κίνηση. Η ενδογενής περιστροφική κίνηση ονομάζεται spin και η ενέργεια περιστροφής του κάθε σωματιδίου είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος.

Δυναμική ενέργεια

Αν ένα σώμα μάζας m βρίσκεται μέσα σε ένα πεδίο δυνάμεων π.χ. στο πεδίο βαρύτητας της γης ή στο ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb, τότε για να μεταφερθεί από ένα σημείο του πεδίου σε ένα άλλο θα πρέπει να προσφέρει

ή να δαπανήσει έργο ανάλογα με τον τρόπο δράσης της δύναμης του πεδίου. Το έργο αυτό, που για τα συντηρούμενα πεδία εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική θέση του σώματος, είναι ίσο και αντίθετο με τη μεταβολή της δυναμικής του ενέργειας, που είναι η ενέργεια που σχετίζεται άμεσα με τη θέση του σώματος μέσα στο χώρο του πεδίου.

Η δυναμική ενέργεια ενός σώματος σε ένα σημείο του πεδίου θα έχει τιμή ίση με το έργο που χρειάζεται για να μεταφερθεί το σώμα από το σημείο αυτό του πεδίου μέχρι το σημείο στο οποίο η τιμή της ενέργειας θεωρείται αυθαίρετα ίση με το μηδέν.

Έτσι, αν υποθέσουμε ότι η δυναμική ενέργεια στην επιφάνεια της Γης ισούται με μηδέν τότε η δυναμική ενέργεια ενός σώματος μάζας 1 kg που βρίσκεται σε ύψος 10^6 m θα ισούται με

$$E_{\Delta} = mgh = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/sec}^2 \cdot 10^6 \text{ m} = 9,81 \cdot 10^6 \text{ J}. \quad (1.4)$$

Αν όμως υποθέσουμε ότι η δυναμική ενέργεια είναι μηδέν σε άπειρη απόσταση τότε, για την ίδια θέση, η δυναμική ενέργεια θα δίδεται από τη σχέση

$$E_{\Delta} = -G \frac{M_{\Gamma} \cdot m}{(R_{\Gamma} + h)}, \quad (1.5)$$

όπου $G = 6,670 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ η σταθερά της παγκόσμιας έλξης,
 $M_{\Gamma} = 5,983 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ η μάζα της Γης και
 $R_{\Gamma} = 6,368 \cdot 10^6 \text{ m}$ η ακτίνα της.

Αντικαθιστώντας τις τιμές των μεγεθών προκύπτει ότι στην περίπτωση αυτή $E_{\Delta} = -8,9 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Δυναμική ενέργεια μπορεί να έχει ένα σώμα λόγω ελαστικών παραμορφώσεων και οφείλεται στην ύπαρξη ενός εσωτερικού πεδίου ελαστικών δυνάμεων. Το βασικό μοντέλο είναι η παραμόρφωση ελατηρίου κατά την οποία, όταν ένα γραμμικό ελατήριο σταθερής K μετατοπιστεί κατά x από τη θέση του φυσικού του μήκους τότε, η δυναμική του ενέργεια παίρνει την τιμή

$$V = \frac{1}{2} Kx^2, \quad (1.6)$$

αν η τιμή της στη θέση ισορροπίας θεωρηθεί ίση με μηδέν.

Ο ορισμός της δυναμικής ενέργειας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όταν σε ένα σώμα ενεργεί μόνο η δύναμη ενός πεδίου δυνάμεων, τότε η ελάττωση της δυναμικής του ενέργειας θα ισούται με την αύξηση της κινητικής του ενέργειας. Δηλαδή, *το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας σώματος ελεύθερου να κινηθεί εντός πεδίου δυνάμεων είναι σταθερό.*

Ενέργεια ισοδύναμης μάζας

Σύμφωνα με τη θεωρία που διατύπωσε ο Einstein, η ενέργεια και η μάζα είναι ισοδύναμα μεγέθη. Η μεταξύ τους σχέση εκφράζεται με την περίφημη εξίσωση

$$E = m c^2, \quad (1.7)$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και m η **μάζα αδράνειας** του σώματος.

Η μάζα αδράνειας είναι ένα μέγεθος που αποκτά σημασία όταν ένα σώμα κινείται με ταχύτητα v που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός και ισούται με

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}, \quad (1.8)$$

όπου m_0 η **μάζα ηρεμίας** του σώματος. Όταν το v είναι μικρό, $m = m_0$.

Η μάζα μπορεί να μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε ενέργεια και μπορούμε να πούμε ότι περιέχει ενδογενώς ενέργεια. Αντίστροφα, η ενέργεια ενός πεδίου (δηλαδή μιας ακτινοβολίας) αντιστοιχεί σε κάποιο ισοδύναμο ποσό μάζας αδράνειας.

Το ποσό της ενέργειας που εκλύεται κατά την εξάϋλωση μάζας είναι τεράστιο. Η ανθρώπινη προσπάθεια για την εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής συγκεντρώνεται είτε σε στρατιωτικούς στόχους, με τα γνωστά ολέθρια αποτελέσματα, είτε σε οικονομικούς, όπου έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές όπως η πυρηνική ιατρική, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ραδιοχρονολόγηση κ.λπ.

Ας θεωρήσουμε την εξίσωση (1.7) αφού αντικαταστήσουμε σ' αυτήν το m από την (1.8). Προκύπτει ότι

$$E = \frac{m_0 c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2}}. \quad (1.9)$$

Αναλύοντας την παραπάνω σχέση σε σειρά έχουμε

$$E = m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} + \frac{3m_0 v^4}{8c^2} + \frac{15m_0 v^8}{48c^2} + \dots + \frac{m_0 (2n)! v^{2n}}{2^{2n} (n!)^2 c^{(2n-2)}}. \quad (1.10)$$

Επειδή δεν ενδιαφερόμαστε για πολύ μεγάλες ταχύτητες, η v είναι πολύ μικρότερη από τη c , οπότε μόνο οι δύο πρώτοι όροι της παραπάνω εξίσωσης είναι σημαντικοί και έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση

$$E = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2}. \quad (1.11)$$

Δηλαδή, η ολική ενέργεια ενός σώματος είναι ίση με το άθροισμα της ισοδύναμης ενέργειας της μάζας ηρεμίας του συν την κινητική του ενέργεια. Αν τώρα λάβουμε υπόψη και την ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της θέσης του σε κάποιο πεδίο ή λόγω της κατάστασής του, τότε προκύπτει η γενικευμένη σχέση που περιγράφει την ενέργεια ενός σώματος

$$E_{ολ} = m_0c^2 + \frac{m_0v^2}{2} + E_p. \quad (1.12)$$

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις αρκεί να θεωρηθεί ότι στον E_p περιέχονται όλες οι πληροφορίες για την ενέργεια του σώματος.

Θερμότητα – Θερμική ενέργεια

Θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο ή από ένα σημείο του σώματος σε ένα διαφορετικό σημείο, λόγω μιας διαφοράς θερμοκρασίας, με μια διεργασία όπως η αγωγή, η ακτινοβολία ή η μεταφορά μάζας.

Η θερμοκρασία ενός σώματος χαρακτηρίζει την κατάστασή του και περιγράφει την ικανότητά του να μπορεί να ανταλλάσσει θερμότητα με άλλα σώματα. Η θερμοκρασία είναι γενικά μια βασική έννοια στη φυσική και δεν ορίζεται με ακρίβεια.

Αν η θερμοκρασία ενός σώματος αυξηθεί κατά ΔT , τότε το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται στο σώμα ισούται με

$$\Delta Q = m c \Delta T, \quad (1.13)$$

όπου m η μάζα του σώματος και c η ειδική του θερμότητα.

Μονάδα θερμότητας είναι το Joule (J). Παραδοσιακά εξακολουθεί όμως να χρησιμοποιείται ως μονάδα το calorie (cal), που είναι η μονάδα που ήταν σε χρήση πριν γίνει αντιληπτό ότι η θερμότητα είναι μορφή ενέργειας.

Ένα calorie είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται για να ανεβεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού από τους 14,5 μέχρι τους 15,5 βαθμούς Κελσίου σε κανονική πίεση και ισούται με 4,1868 J.

Η θερμοκρασία αποτελεί μέτρο της κινητικής ενέργειας των μορίων ενός σώματος. Η κινητική θεωρία προβλέπει ότι, η μέση ενέργεια ενός μορίου ανά βαθμό ελευθερίας ισούται με

$$E_0 = \frac{1}{2} kT, \quad (1.14)$$

όπου T η θερμοκρασία του σε βαθμούς Kelvin και k η σταθερή του Boltzmann ίση με $1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$.

Ένα μονοατομικό μόριο ενός αερίου που έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας έχει ενέργεια ίση με $E = 3E_0$. Η μεταφορική ή η δονητική κίνηση των μορίων ενός σώματος λόγω της θερμοκρασίας του χαρακτηρίζει αυτό που ονομάζεται θερμική ενέργεια.

Στα προηγούμενα ορίσαμε τα κύρια είδη της ενέργειας αναφερόμενοι σε σώμα μάζας m που θεωρείται σαν υλικό σημείο δίχως καμία άλλη ενδογενή ιδιότητα. Η πραγματικότητα όμως επιβάλλει να εξεταστούν οι ιδιότητες πολλών σωμάτων διακριτών ή αδιακριτών που όπως λέγεται σχηματίζουν ένα **Φυσικό σύστημα** ή απλώς **σύστημα**. Θα ονομάζουμε *σύστημα κάθε χώρο ή κάθε συλλογή σωμάτων που περικλείονται μέσα σε καθορισμένα όρια*, τα σύνορα του συστήματος. Για παράδειγμα, το ανθρώπινο σώμα είναι ένα σύστημα με σύνορα την εξωτερική επιφάνεια των διαφόρων μερών από τα οποία αποτελείται. Το σύνορο του συστήματος είναι ένα αναλυτικό κατασκευάσμα και μπορεί να είναι μια φανταστική επιφάνεια που διαχωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον του. Έτσι διαμορφώνεται η αντίληψη του εντός και εκτός του συστήματος.

Με βάση τα παραπάνω το έργο που ανταλλάσσει ένα σύστημα ορίζεται ως: *έργο είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται στα σύνορα ενός συστήματος δια μέσου της μετατόπισης μιας δύναμης επί μια απόσταση κατά τη διεύθυνσή της*.

Αντίστοιχα η θερμότητα που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον του ορίζεται ως: *θερμότητα είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται στα σύνορα ενός συστήματος λόγω μιας διαφοράς θερμοκρασίας*.

Τα δύο αυτά μεγέθη είναι μεταβατικά δηλαδή υπάρχουν μόνο κατά τη διάρκεια της πορείας του φαινομένου και δεν έχουν νόημα όταν το σύστημα βρίσκεται σε μια κατάσταση ισορροπίας. Εκείνο που συμβαίνει είναι ότι κατά την ανταλλαγή έργου ή θερμότητας μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του, μεταβάλλεται η εσωτερική ενέργεια του συστήματος.

*Το σύνολο της ενέργειας των σωμάτων που αποτελούν ένα σύστημα όπως μετριέται από έναν παρατηρητή που βρίσκεται διαρκώς στο κέντρο μάζας του συστήματος, δηλαδή μέσα στο σύστημα, καλείται **εσωτερική ενέργεια του συστήματος**.*

Εδώ πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι μορφές και τα είδη ενέργειας· συνήθως όμως στα κλασικά φαινόμενα εξαιρείται η ισοδύναμη ενέργεια της μάζας.

Για να γίνει κατανοητή η έννοια της εσωτερικής ενέργειας θα δώσουμε

ένα απλό παράδειγμα ενός μηχανικού συστήματος. Έστω δύο σφαίρες μάζας 10 kg η κάθε μία που κινούνται ευθύγραμμα και ομαλά κατά τη θετική φορά του άξονα x . Κατά τη χρονική στιγμή $t=0$, βρίσκονται η πρώτη στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων και η δεύτερη σε απόσταση 2000 m και έχουν αντίστοιχα ταχύτητες 100 m/s και 20 m/s ως προς έναν ακίνητο παρατηρητή. Πόση είναι η εσωτερική κινητική ενέργεια;

Με βάση τον ορισμό, η εσωτερική κινητική ενέργεια θα είναι εκείνη την οποία προσδιορίζει ένας παρατηρητής ο οποίος βρίσκεται διαρκώς επάνω στο κέντρο μάζας του συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτό είναι πάντοτε στο μέσο της απόστασης των δύο σφαιρών αφού έχουν ίσες μάζες. Έτσι, κατά την αρχική στιγμή το κέντρο μάζας θα βρίσκεται στη θέση 1000 m από την αρχή και θα έχει ταχύτητα ως προς τον ακίνητο παρατηρητή

$$v = \frac{100+20}{2} = 60 \text{ m/sec} . \quad (1.15)$$

Ο παρατηρητής του κέντρου μάζας θα μετρά για την πρώτη σφαίρα μια ταχύτητα $v_A=40 \text{ m/s}$ και για τη δεύτερη $v_B=-40 \text{ m/sec}$. Επομένως η εσωτερική κινητική ενέργεια του συστήματος θα ισούται με

$$E_{\text{εσ}} = \frac{1}{2} m v_A^2 + \frac{1}{2} m v_B^2 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ J} . \quad (1.16)$$

Μετά από παρέλευση 10 sec η πρώτη σφαίρα θα βρίσκεται στη θέση 1000 m και η δεύτερη στη θέση 2200 m και το κέντρο μάζας στη θέση 1600 m. Η ταχύτητα του κέντρου μάζας θα παραμένει σταθερή και επομένως η τιμή της εσωτερικής κινητικής ενέργειας θα παραμένει η ίδια όπως άλλωστε αναμένεται.

Ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η ενέργεια της δεύτερης γενικής μορφής της ύλης, δηλαδή του πεδίου, είναι επίσης θεμελιώδους σημασίας. Το πεδίο διαδίδεται με πεπερασμένη ταχύτητα, η οποία στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός και αποτελεί μια αυτοδύναμη φυσική ύπαρξη. Από τα πεδία, το πιο μελετημένο αλλά και το πιο ενδιαφέρον για τους βιολόγους είναι το ηλεκτρομαγνητικό. Η ενεργειακή του περιγραφή μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της έννοιας της ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία θεωρείται ως μια κυματική κατάσταση η οποία διαδίδεται και χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά της (ακτίνες X, φως, ραδιοφωνικά κύματα). Το μικροσκοπικό μοντέλο περιγραφής της στηρίζεται στη θεωρία των quanta, σύμφωνα με την οποία η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια διαδίδεται με ποσά τα οποία είναι πολλαπλάσια ενός ελάχιστου διακριτού ποσού, του quantum.

Η εξίσωση από την οποία υπολογίζεται το quantum είναι η

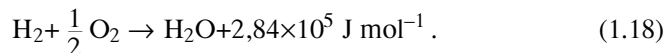
$$\varepsilon = h f , \quad (1.17)$$

όπου f η συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και h η σταθερά του Planck ίση με $6,626 \times 10^{-34}$ Js.

Χημική ενέργεια

Το μεγαλύτερο μέρος της δραστηριότητας του βιολογικού κόσμου είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων. Η χημική ενέργεια αποθηκεύεται ως δυναμική ενέργεια των ηλεκτρονίων σθένους και των ιόντων στους σχηματισμούς των ατόμων και των μορίων. Οι διάφορες χημικές ενώσεις σχηματίζονται με τη βοήθεια των ηλεκτρονίων σθένους. Η δημιουργία ή η διάσπαση ενώσεων χαρακτηρίζεται ως χημική αντίδραση. Οι χημικές αντιδράσεις διανέμουν ξανά τη δυναμική αυτή ενέργεια. Οι εξώθερμες αντιδράσεις την απελευθερώνουν ως κινητική ενέργεια των προϊόντων. Οι ενδόθερμες αντιδράσεις χρειάζονται ενέργεια για να πραγματοποιηθούν και ως παράδειγμα αναφέρεται η ενέργεια που απορροφούν τα φυτά από τον ήλιο για τη φωτοσύνθεση.

Για να γίνει αντιληπτό το ποσό της ενέργειας που ανταλλάσσεται στις χημικές αντιδράσεις, εξετάζεται η αντίδραση 2 γραμμαρίων H_2 που αντιδρά με 16 γραμμάρια O_2 για την παραγωγή ενός γραμμομορίου ή 18 γραμμάρια H_2O . Το ποσό θερμότητας που απελευθερώνεται είναι ίσο με $2,84 \times 10^5$ J, οπότε



Το ποσό αυτό είναι αρκετά σημαντικό. Αν ήταν δυνατό να μετατραπεί σε έργο με συντελεστή απόδοσης 30% θα μπορούσε να ανεβάσει έναν άνδρα 70 kg σε ένα ύψος 122 m περίπου.

Ηλεκτρική ενέργεια

Είναι η δυναμική ενέργεια που έχει ένα φορτίο (φορτισμένο σώμα) όταν βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Αν το σώμα έχει φορτίο Q και βρίσκεται σε δυναμικό V , τότε η ενέργειά του είναι ίση με

$$W = I V t . \quad (1.19)$$

Μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας είναι επίσης το Joule. Μια μικρή μονάδα που χρησιμοποιείται ονομάζεται **ηλεκτρονιοβόλτ** (eV). 1eV ισούται με το

έργο που παράγεται κατά την ελεύθερη μετακίνηση ενός ηλεκτρονίου μεταξύ δύο σημείων διαφοράς δυναμικού 1 Volt.

$$1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} . \quad (1.20)$$

Πυρηνική ενέργεια

Τα ραδιενεργά άτομα έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν σωματίδια τα οποία κατέχουν πολύ μεγάλα ποσά κινητικής ενέργειας. Με βάση τις γνώσεις μας για το άτομο, τα σωματίδια αυτά προέρχονται από τους πυρήνες. Θεωρούμε λοιπόν τους πυρήνες ως φορείς μεγάλων αποθεμάτων πυρηνικής ενέργειας. Σε όλα τα πυρηνικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα αλληλομετατροπές μάζας-ενέργειας. Υπάρχουν δύο σπουδαίες διαδικασίες όπου παρατηρείται η αλληλομετατροπή αυτή. Η μια ονομάζεται **σχάση** και η άλλη **σύντηξη**.

Η σχάση είναι η διάσπαση των πυρήνων στοιχείων μεγάλου ατομικού βάρους όπως ουράνιο, θόριο, πλουτώνιο, ράδιο που είναι γνωστά ως ραδιενεργά. Η σχάση μπορεί να είναι αυθόρμητη ή τεχνητή. Η τεχνητή σχάση επιτυγχάνεται συνήθως με βομβαρδισμό του πυρήνα με νετρόνια και έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπασή του σε δύο πυρήνες (θραύσματα) ίσου περίπου ατομικού βάρους. Η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από τη μάζα των αντιδρώντων. Η διαφορά των μαζών εκλύεται ως ενέργεια. Συνήθως συνοδεύεται από εκπομπή νετρονίων και ακτίνων γ . Χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας των πυρηνικών όπλων και των πυρηνικών αντιδραστήρων παραγωγής ενέργειας. Το βασικό πρόβλημα για την εκμετάλλευση του φαινομένου της σχάσης είναι ότι παράγονται ακτινοβολίες επικίνδυνες για τους βιολογικούς οργανισμούς καθώς και ραδιενεργά κατάλοιπα.

Η σύντηξη είναι η πυρηνική αντίδραση των πυρήνων στοιχείων μικρού ατομικού βάρους όπως υδρογόνου, δευτέρου ή τρίτιου, κατά την οποία παράγεται ένας βαρύτερος πυρήνας (π.χ. ${}^4_2\text{He}$). Η μάζα των προϊόντων είναι και εδώ μικρότερη από τη μάζα των αντιδρώντων. Η διαφορά εκλύεται ως ενέργεια. Η διαδικασία αυτή είναι η βάση της παραγωγής ενέργειας στους αστέρες. Στη Γη επιδείχθηκε με την έκρηξη της πρώτης βόμβας Υδρογόνου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσπάθεια για την κατασκευή αντιδραστήρων που να έχουν ως αρχή λειτουργίας τη σύντηξη επειδή, σε πρώτη άποψη, κατά τη σύντηξη δεν παράγονται προϊόντα με δυσμενή βιολογικά αποτελέσματα. Η προσπάθεια αυτή έχει αρχίσει από καιρό αλλά καθυστερεί γιατί απαιτούνται ιδιαίτερα μεγάλες ταχύτητες και θερμοκρασίες για να συντηχθούν οι πυρήνες. Τέτοιες συνθήκες επιτυγχάνονται όταν οι πυρήνες του στοιχείου που θα συντηχθεί απογυμνωθούν από τα ηλεκτρόνιά τους και

σχηματίσουν ένα φορτισμένο νέφος πυρήνων που ονομάζεται πλάσμα.

1.2. Η χρησιμοποιούμενη ενέργεια

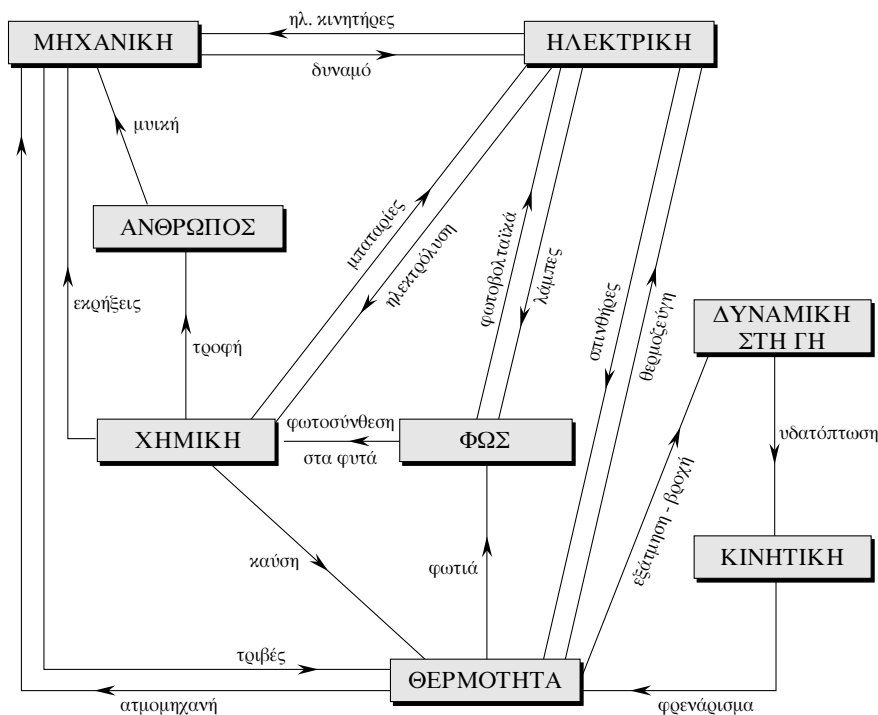
Η ενέργεια είναι ένα μέτρο της κίνησης της ύλης. Ακόμη και ένα σώμα που μακροσκοπικά φαίνεται ακίνητο στην πραγματικότητα αποτελείται από άτομα και μόρια στο εσωτερικό των οποίων συμβαίνουν πολύπλοκες κινήσεις. Απλώς, τα εξωτερικά σύνορά του δε μεταβάλλονται σε σχέση με το περιβάλλον του. Τα άτομα και τα μόρια του καθώς και τα στοιχειώδη σωματίδια που τα αποτελούν όχι μόνο κινούνται αλλά ανταλλάσσουν και αλληλομετατρέπουν την ενέργειά τους. Από τη σκοπιά της Φυσικής αλληλομετατροπή ενέργειας σημαίνει μεταβίβαση του ενός ή του άλλου τρόπου κίνησης από ένα σώμα στο άλλο. Η γενική έννοια όμως της ενέργειας έχει αποκτήσει αυτοδύναμη σημασία. Χρησιμοποιείται ως ένα ποσοτικό μέγεθος το οποίο παράγεται, καταναλώνεται, είναι διαθέσιμο ή σε έλλειψη αποταμιεύεται και διατηρείται. Με το σκεπτικό αυτό επεκράτησε να θεωρούνται όλα τα είδη και οι μορφές ενέργειας τα οποία μπορούν να παράγουν ελεγχόμενο έργο, όπως η δυναμική ενέργεια στο πεδίο βαρύτητας ή η ηλεκτρική ενέργεια, ως ενέργεια ανώτερης ποιότητας. Αντίθετα, η θερμότητα ή οι τριβές θεωρούνται ότι αποτελούν ενέργεια κατώτερης ποιότητας. Η ενέργεια ανώτερης ποιότητας συνδέεται άμεσα με το είδος της κίνησης η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως οργανωμένη και όπως θα δούμε στη θερμοδυναμική ονομάζεται **ελεύθερη ενέργεια**.

Η θερμότητα συνδέεται με την ανοργάνωτη κίνηση των μορίων και κατά συνέπεια δεν είναι στο σύνολό της διαθέσιμη για παραγωγή έργου. Το γεγονός αυτό δεν έχει πάντα σχέση με τη χρησιμότητα γιατί τελικά όλες οι μορφές της ενέργειας είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ζωής. Ένα κριτήριο που χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει αντιληπτή η διαθεσιμότητα μιας ενεργειακής ποσότητας είναι **η απόδοση** η οποία ορίζεται ως *ο λόγος της χρήσιμης ενέργειας προς την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή της*. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί μερικώς σε θερμική μέσω θερμοιζόμενης αντίστασης. Μια γεννήτρια μπορεί να μετατρέψει μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική με απόδοση της τάξης του 80%. Αντίστροφα, ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική σε μηχανική με μεγάλη επίσης απόδοση. Οι μπαταρίες και τα καύσιμα μετατρέπουν χημική σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Η απορροφούμενη ακτινοβολία μετατρέπεται σε χημική και με την καύση η χημική σε θερμική. Για όλες αυτές τις μετατροπές, η ενέργεια που καταναλώνεται λαμβάνεται από τις λεγόμενες **πηγές ενέργειας**.

Οι πηγές διακρίνονται στις **πρωτογενείς** και τις **ανανεούμενες**. Πρωτογενείς είναι η κίνηση του Ήλιου, της Γης και της Σελήνης, η πυρηνική σχάση και η πυρηνική σύντηξη. Αυτό σημαίνει ότι κάθε είδους κίνηση που παρατηρούμε οφείλεται σε απορρόφηση ενέργειας από τις παραπάνω πηγές. Οι ανανεούμενες πηγές συνδέονται με συστήματα τα οποία λαμβάνουν διαρκώς ενέργεια από τις πρωτογενείς πηγές και μπορούν να τη διαθέσουν με κάποια άλλη μορφή. Τέτοιες είναι η ηλιακή ενέργεια, η ζωϊκή, η γεωθερμική, η αιολική, η ενέργεια βιομάζας, η καύση πετρελαίου, η καύση άνθρακα, οι υδατοπτώσεις. Προκειμένου να έχουμε στη διάθεσή μας ενέργεια όταν τη χρειαζόμαστε πρέπει να προβλεφθεί η αποθήκευσή της. Η αποθήκευση μπορεί να είναι άμεση όπως π.χ. η διατήρηση μιας ποσότητας φορτίου σε έναν πυκνωτή ή έμμεση όπως η αποθήκευση μιας ποσότητας πετρελαίου η καύση του οποίου θα χρησιμοποιηθεί είτε για θέρμανση είτε για παραγωγή έργου. Στη δεύτερη περίπτωση είναι απαραίτητες οι μηχανές.

Οι **μηχανές ενέργειας** μετατρέπουν ενέργεια μιας μορφής σε άλλη. Οι πηγές ενέργειας και οι μηχανές είναι φυσικές ή τεχνητές.

Οι πηγές και οι μηχανές λειτουργούν καθημερινά στο περιβάλλον του



Εικ. 1.1. Καθημερινές αλληλομετατροπές ενέργειας.

ανθρώπου και δημιουργούν έναν τεράστιο κύκλο αλληλομετατροπών, που σε τελική ανάλυση αποτελεί και την πηγή της ζωής του πλανήτη μας. Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αλληλομετατροπών ενέργειας που συναντώνται σχεδόν καθημερινά.

1.3. Ισχύς

Η ισχύς ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται ή καταναλώνεται ενέργεια σε ένα σύστημα, ως προς τον χρόνο. Η ισχύς έχει διαστάσεις ενέργειας ή έργου ανά μονάδα χρόνου και στην περίπτωση που η ενέργεια παράγεται με σταθερό ρυθμό ορίζεται από την εξίσωση

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta t} . \quad (1.21)$$

Η μονάδα της ισχύος στο SI είναι το Watt (W) που είναι ίσο με 1 Joule ανά δευτερόλεπτο: $1 \text{ W} = 1 \text{ J s}^{-1}$. Η μονάδα ισχύος των μηχανικών είναι ο ίππος (hp). Ένας ίππος ισούται με 745 W.

Μηχανική ισχύς είναι ο ρυθμός παραγωγής έργου.

Το έργο που παράγεται από μια σταθερή δύναμη, όταν μετακινεί το σώμα επάνω στο οποίο ενεργεί κατά Δx στη διεύθυνσή της, ισούται με

$$\Delta W = F \Delta x . \quad (1.22)$$

Η ισχύς που προσφέρεται κατά την παραγωγή του έργου αυτού ισούται με

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta(Fx)}{\Delta t} = F \frac{\Delta x}{\Delta t} . \quad (1.23)$$

Όμως, $\Delta x/\Delta t$ είναι ακριβώς η μέση ταχύτητα που για μικρά χρονικά διαστήματα προσεγγίζει τη στιγμιαία ταχύτητα, έτσι

$$P = F v . \quad (1.24)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει εφόσον η δύναμη είναι συγγραμμική προς την ταχύτητα. Στη γενική περίπτωση

$$P = F v \cos \theta . \quad (1.25)$$

Ως παράδειγμα αναφέρεται η ισχύς του ανθρωπίνου σώματος. Ένας αθλητής μπορεί για σύντομα χρονικά διαστήματα να παράγει 0,5 hp και

για διαστήματα περίπου μιας ώρας 0,3 hr, ενώ η δυνατότητα παραγωγής 0,1 hr μπορεί να κρατηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

1.4. Απλές μηχανές

Μια απλή μηχανή είναι γενικά μια διάταξη που είναι σε θέση να αλλάζει είτε τη διεύθυνση είτε το μέτρο μιας δύναμης (ή και τα δύο), δηλαδή μπορεί να παράγει έργο. Οι μηχανές είναι συνήθως πολύπλοκα συστήματα τα οποία αποτελούνται από απλούστερα στοιχεία που ονομάζονται απλές μηχανές. Τέτοιες απλές μηχανές είναι ο μοχλός, ο τροχός, ο άξονας, η τροχαλία, το κεκλιμένο επίπεδο και ο κοχλίας.

Σε κάθε μηχανή υπάρχει μια ενέργεια εισόδου, που είναι συνήθως μεγαλύτερη από το έργο που παράγει η μηχανή. Συνήθως, η απώλεια ενέργειας οφείλεται σε τριβές. Η **απόδοση μηχανής** ορίζεται ως ο λόγος του έργου εξόδου προς την ενέργεια εισόδου

$$\text{απόδοση} = \frac{\text{έργο που παράγει η μηχανή}}{\text{ενέργεια που απορροφά η μηχανή}} \quad (1.26)$$

Βασικά χαρακτηριστικά των μηχανών είναι το **θεωρητικό μηχανικό πλεονέκτημα (TMA)** και το **πραγματικό μηχανικό πλεονέκτημα (AMA)**. Το θεωρητικό μηχανικό πλεονέκτημα εξαρτάται από τη γεωμετρία της μηχανής και ορίζεται ως ο λόγος της απόστασης S , κατά την οποία κινείται η κινούσα δύναμη F , προς την απόσταση d κατά την οποία μετακινείται το φορτίο W

$$\text{TMA} = \frac{S}{d} \quad (1.27)$$

Το πραγματικό μηχανικό πλεονέκτημα εξαρτάται από τη συνθήκη εργασίας της μηχανής, όπως π.χ. το μέγεθος της τριβής και γενικά τη μορφή της μηχανής. Ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου W προς την εφαρμοζόμενη δύναμη F

$$\text{AMA} = \frac{W}{F} \quad (1.28)$$

Εύκολα αποδεικνύεται η σχέση

$$\text{απόδοση} = \frac{\text{AMA}}{\text{TMA}} = \frac{\text{έργο που παράγεται από το φορτίο}}{\text{έργο που παράγεται από την εφαρμοζόμενη δύναμη}} \quad (1.29)$$

Τα σώματα των ζώων και του ανθρώπου, από την ενεργειακή άποψη,

μπορούν να θεωρηθούν σαν μηχανές που λειτουργούν με πολύπλοκο τρόπο. Κατά τη λειτουργία τους καταναλώνουν οξυγόνο και καίνε ενώσεις που περιέχουν άνθρακα. Οι μηχανές αυτές είναι θερμικές, χημικές, ηλεκτρικές και εργάζονται με τη βοήθεια συστημάτων ελέγχου. Για την κατανόηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των σωμάτων των ζώων, είναι απαραίτητες οι βασικές γνώσεις από τη θερμοότητα και τη θερμοδυναμική που τις παρουσιάζουμε στο επόμενο κεφάλαιο.