



2.3 Διατήρηση της ολικής ενέργειας και υποβάθμιση της ενέργειας



Στην καθημερινή ζωή χρησιμοποιούμε διάφορες μορφές ενέργειας για να θερμάνουμε ή να ψύξουμε σώματα, για να φωτίσουμε τους διάφορους χώρους, για να θέσουμε σε λειτουργία διάφορες συσκευές κ.λπ. Η θέρμανση και η ψύξη των σωμάτων αποτέλεσαν ένα πρόβλημα στην ιστορία της επιστήμης του οποίου η επίλυση έφερε σημαντικές αλλαγές στην τεχνολογία και την κοινωνία γενικότερα μέσα από επιτεύγματα όπως η ατμομηχανή και οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Το θεωρητικό υπόβαθρο των σημαντικών αυτών επιτευγμάτων είναι η σωματιδιακή δομή της ύλης και οι δύο βασικές μορφές της ενέργειας: η κινητική και η δυναμική.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τη σχέση της θερμότητας με τη θερμοκρασία και με τις αλλαγές στην κινητική ενέργεια των δομικών λίθων των διαφόρων σωμάτων. Θα ερμηνεύσουμε τις ιδιότητες των αερίων (π.χ. σχέση πίεσης-όγκου) αναφερόμενοι στο πλήθος, στις ιδιότητες των μορίων και την κινητική τους ενέργεια.

Με τη βοήθεια της κινητικής θεωρίας της ύλης, μπορούμε να κατανοήσουμε τη μετατροπή των διαφόρων μορφών ενέργειας οι οποίες συμβαίνουν στις μηχανές, καθώς επίσης και την υποδάθμισή της, τη μετατροπή δηλαδή όλων των μορφών ενέργειας σε θερμότητα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ας θυμηθούμε ότι.....	257
2.3.1 Η κινητική θεωρία της ύλης και η θερμότητα.....	261
2.3.2 Ιδιότητες των αερίων.....	263
Ένθετο: Νόμος του Boyle.....	265
2.3.3 Εσωτερική ενέργεια.....	267
2.3.4 Θερμότητα και διατήρηση της ολικής ενέργειας.....	268
2.3.5 Η θερμότητα και η μηχανική ενέργεια.....	270
2.3.6 Μηχανές και ενέργεια.....	272
Ένθετο: Ο κινητήρας του αυτοκινήτου.....	273
2.3.7 Απόδοση μηχανής.....	274
2.3.8 Υποδάθμιση της ενέργειας.....	276
Ένθετο: Αεικίνητο.....	278
Ένθετο: Η εσωτερική ενέργεια της ατμόσφαιρας και ο καιρός.....	280
Περίληψη.....	284
Ερωτήσεις.....	285
Ασκήσεις - Προβλήματα.....	289

Ας θυμηθούμε ότι...

Στην καθημερινή ζωή χρησιμοποιούμε διάφορους τρόπους για να θερμάνουμε ή να ψύξουμε τα υλικά σώματα. Οι τρόποι αυτοί, σύμφωνα με την επιστημονική άποψη είναι μόνο τρεις:

1 Θέρμανση/ψύξη με αγωγή.

Θέρμανση-ψύξη με αγωγή έχουμε στις περιπτώσεις που δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους. Τότε θερμότητα από το σώμα που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία μεταφέρεται στο σώμα που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία. Με τον τρόπο αυτό π.χ. ερμηνεύεται γιατί θερμαίνεται το περιεχόμενο των μαγειρικών σκευών όταν τοποθετούνται στην εστία της ηλεκτρικής κουζίνας (μάτι της κουζίνας). Τα μαγειρικά σκεύη και το περιεχόμενό τους έχουν συνήθως τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενώ στην ηλεκτρική εστία η θερμοκρασία αυξάνεται λόγω μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα. Με τον ίδιο τρόπο εξηγείται η ψύξη του φαγητού όταν “κλείσουμε το μάτι της κουζίνας”. Το φαγητό και το μαγειρικό σκεύος βρίσκονται σε υψηλότερη θερμοκρασία από ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας που τα περιβάλλει.

2 Θέρμανση/ψύξη με μεταφορά.

Θέρμανση-ψύξη με μεταφορά έχουμε στις περιπτώσεις όπου ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) μεταφέρει θερμότητα από το σώμα που βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία σε αυτό που βρίσκεται σε χαμηλότερη. Με τον τρόπο αυτό οι ζεστές αέριες μάζες, δηλαδή ο ζεστός άνεμος, προερχόμενος από μια περιοχή με υψηλή θερμοκρασία θερμαίνει μια άλλη που έχει χαμηλή θερμοκρασία. Με τον ίδιο επίσης τρόπο στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης των πολυκατοικιών μεταφέρονται ποσά θερμότητας από το λέβητα του καλοριφέρ στα διαμερίσματα, μέσω του νερού που κυκλοφορεί στο σύστημα σωληνώσεων.

3 Θέρμανση/ψύξη με ακτινοβολία.

Για τη θέρμανση ή την ψύξη με ακτινοβολία δεν είναι προϋπόθεση η διαμεσολάβηση κάποιου υλικού μέσου όπως στις δύο προηγούμενες. Η ενέργεια μεταφέρεται από το ένα σώμα στο άλλο μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα σώματα που βρίσκονται σε υψηλότερη θερμοκρασία

ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διάφορα μήκη κύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η θέρμανση της γης από τον ήλιο μέσω της ορατής (φως) και της αόρατης, δηλαδή της υπεριώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Οι τρεις αυτοί τρόποι θέρμανσης συνυπάρχουν σε όσα φαινόμενα παρατηρούμε στην καθημερινή μας ζωή, μιας και όλα τα σώματα βρίσκονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα ο οποίος τα θερμαίνει ή τα ψύχει με τους δύο πρώτους τρόπους. Για παράδειγμα κατά τη λειτουργία του ηλεκτρικού λαμπτήρα πυράκτωσης τα σώματα που βρίσκονται γύρω από αυτόν θερμαίνονται διότι:

- α) ο λαμπτήρας ακτινοβολεί φως,
- β) ο λαμπτήρας βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα και τον θερμαίνει,
- γ) ρεύματα μεταφοράς του αέρα μεταφέρουν τη θερμότητα στα ψυχρότερα μέρη του χώρου.

Διαστολή των σωμάτων.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο θέρμανσης τα υλικά σώματα διαστέλλονται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Όταν μία διάσταση ενός σώματος είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τις άλλες (όπως στην περίπτωση μιας λεπτής και μεγάλου μήκους ράβδου) εξετάζουμε τη διαστολή του σώματος μόνο κατά τη διάσταση αυτή.

Η διαστολή του σώματος κατά μία διάστασή του ονομάζεται **γραμμική διαστολή**.

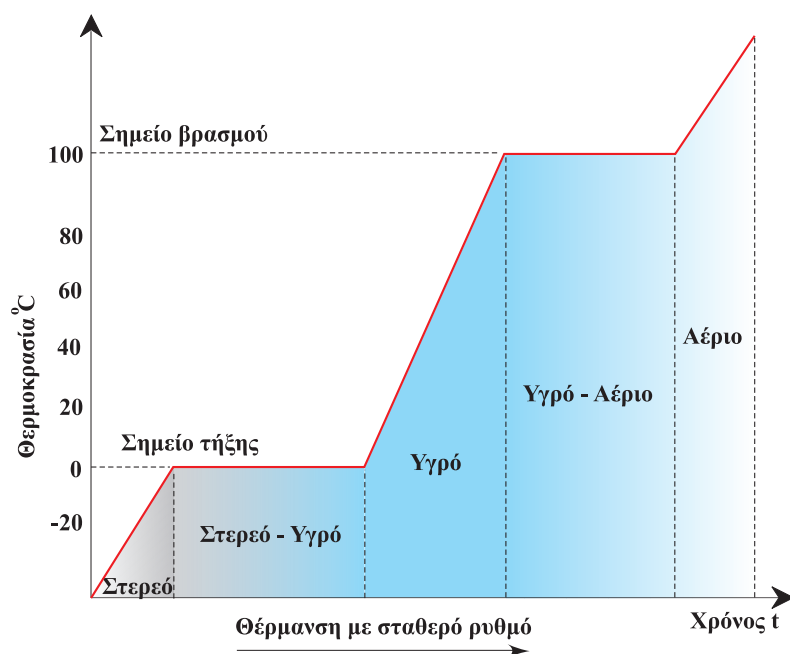
Πειραματικά έχει βρεθεί ότι η διαστολή είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του σώματος, δεδομένο που αξιοποιείται στην κατασκευή των θερμομέτρων τα οποία περιέχουν υδράργυρο ή οινόπνευμα. Στα θερμομέτρα της κλίμακας Κελσίου η τιμή $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ αντιστοιχεί στην τήξη του πάγου ενώ η τιμή $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο βρασμό του νερού σε κανονικές συνθήκες πίεσης, δηλαδή τη μία Ατμόσφαιρα (1atm) που επικρατεί στην επιφάνεια της θάλασσας. Το διάστημα μεταξύ αυτών των δύο θέσεων διαιρείται σε 98 ίσα τμήματα τα οποία αντιστοιχούν στις υπόλοιπες τιμές της κλίμακας Κελσίου. Η μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας είναι ο ένας βαθμός Κελσίου ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$) που αντιστοιχεί σε μία από τις 100 υποδιαιρέσεις της κλίμακας που κατασκευάζατε με τον τρόπο που περιγράψαμε.

Αλλαγές φάσεων.

Τοποθετώντας ένα θερμομέτρο σε επαφή με ένα στερεό

ή μέσα σε ένα ρευστό π.χ. υγρό ή αέριο αυτό μετά από λίγο, λόγω επαφής, αποκτά τη θερμοκρασία του υλικού. Η διαστολή ή συστολή του υγρού που περιέχει το θερμόμετρο μας επιτρέπει να μετρήσουμε τη θερμοκρασία του υγρού ή του αερίου χρησιμοποιώντας την κλίμακα με την οποία το έχει εφοδιάσει ο κατασκευαστής του.

Με τη βοήθεια ενός θερμομέτρου μπορούμε να καταγράψουμε τις αλλαγές που συμβαίνουν σε ένα σώμα, όπως σ' ένα στερεό. Έτσι θα παρακολουθήσουμε τη σταδιακή του μετατροπή αρχικά σε υγρό και στη συνέχεια σε αέριο ή σύμφωνα με την επιστημονική ορολογία την **αλλαγή φάσης** από τη φάση του στερεού στη φάση του υγρού και από τη φάση του υγρού στην αέρια φάση. Στο διάγραμμα της εικόνας 1, φαίνονται οι αλλαγές φάσης ενός κομματιού πάγου από τη φάση του στερεού έως και την αέρια φάση.



Εικόνα 1

Στο διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι:

1. Κατά τη θέρμανση αυξάνεται η θερμοκρασία του σώματος μέχρις ότου αρχίσει η μετατροπή του σε υγρό.
2. Η μετατροπή του στερεού σε υγρό, ή σύμφωνα με την επιστημονική ορολογία η **τήξη** του, γίνεται χωρίς να αυξηθεί η θερμοκρασία η οποία παραμένει σταθερή έως ότου μετατραπεί ολόκληρη η ποσότητα σε υγρό.
3. Στη συνέχεια αυξάνει η θερμοκρασία του υγρού και

εμφανίζονται ατμοί στην επιφάνειά του, εμφανίζεται δηλαδή το φαινόμενο της εξάτμισης. Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του υγρού σχηματίζονται φυσαλίδες στο εσωτερικό του των οποίων ο αριθμός διαρκώς αυξάνει.

4. Όταν οι φυσαλίδες παράγονται από ολόκληρη τη μάζα του υγρού, σύμφωνα με την επιστημονική ορολογία συμβαίνει το φαινόμενο του **βρασμού**. Κατά το βρασμό η θερμοκρασία του υγρού παραμένει σταθερή ενώ αυτό σταδιακά μετατρέπεται σε αέριο.
5. Αν το αέριο που παράγεται από την παραπάνω διαδικασία συλλεγεί σε κατάλληλα διαμορφωμένο δοχείο μπορούμε να αυξήσουμε ακόμα περισσότερο τη θερμοκρασία του. Η αντίστροφη πορεία, δηλαδή η σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας θα επαναφέρει το υλικό που βρίσκεται στην αέρια φάση στη φάση του υγρού, δηλαδή θα προκαλέσει την **υγροποίησή** του. Αν συνεχιστεί η μείωση της θερμοκρασίας τελικά το υγρό θα στερεοποιηθεί και το σώμα θα επανέλθει στη φάση του στερεού.

Οι παραπάνω αλλαγές καθώς επίσης και πολλά άλλα φαινόμενα επηρεάζονται από την πίεση. Για παράδειγμα η πίεση που ασκεί ο ατμοσφαιρικός αέρας στο υγρό επηρεάζει τη θερμοκρασία βρασμού του νερού με αποτέλεσμα αυτή να είναι διαφορετική στην επιφάνεια της θάλασσας από ότι στην κορυφή ενός ψηλού βουνού.

Πίεση.

Η **πίεση** συμβολίζεται με P , υπολογίζεται από το πηλίκο F/S , όπου F η κάθετα ασκούμενη δύναμη και S η επιφάνεια στην οποία αυτή ασκείται, δηλαδή $P=F/S$.

Η μονάδα της πίεσης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων S.I. είναι το 1Pa (1 Πασκάλ, προς τιμήν του Γάλλου επιστήμονα Blaise Pascal). Το 1Pa είναι η πίεση μιας δύναμης 1 Νιούτον που ασκείται κάθετα σε επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου. Επειδή η μονάδα 1Pa είναι πολύ μικρή, στην πράξη χρησιμοποιούνται πολλαπλάσιά της όπως το 1kPa ($1\text{kPa}=10^3\text{Pa}$). Στην πράξη, χρησιμοποιείται επίσης η μονάδα 1atm (1 ατμόσφαιρα) η οποία αντιστοιχεί στην πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας. Η αντιστοιχία μεταξύ των δύο αυτών μονάδων είναι

$$1\text{atm}=1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}.$$

2.3.1 Η κινητική θεωρία της ύλης και η θερμότητα

Όλοι μας έχουμε εμπειρία των τρόπων με τους οποίους μπορούμε να θερμάνουμε ή να ψύξουμε ένα σώμα. Επίσης όλοι γνωρίζουμε τις αλλαγές που θα συμβούν λόγω θέρμανσης (τήξη, βρασμός, διαστολή) ή λόγω ψύξης (υγροποίηση, συστολή, πήξη). Τις αλλαγές αυτές (φυσικά φαινόμενα) τις περιγράφουμε χρησιμοποιώντας τις έννοιες της **θερμότητας** και της **θερμοκρασίας**. Έτσι μπορούμε να συσχετίσουμε τη θέρμανση με τη αύξηση της θερμοκρασίας και την ψύξη με την μείωση της θερμοκρασίας ή να λέμε ότι η θέρμανση γίνεται με προσφορά θερμότητας και η ψύξη με αφαίρεση θερμότητας από ένα σώμα. Αλλά τι ακριβώς είναι η θερμότητα και τι είναι η θερμοκρασία;

Όπως είδαμε στην παράγραφο 2.2.8, η τριβή μειώνει τη μηχανική ενέργεια που έχει ένα σώμα, ενώ ταυτόχρονα, το ίδιο το σώμα θερμαίνεται. Στα προηγούμενα ερωτήματα πρέπει συνεπώς να προστεθεί ακόμα ένα: Ποια η σχέση της μηχανικής ενέργειας με τη θερμότητα;

Τα ερωτήματα για τη φύση της θερμότητας και τη σχέση της με την ενέργεια, απασχόλησαν έντονα τους επιστήμονες του 17^{ου}, 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα. Οι απαντήσεις που δόθηκαν σχετίζονται με τις εξελίξεις σε διάφορους τομείς, όπως η μελέτη των αερίων στη Φυσική, οι θεωρίες για τα άτομα και τα μόρια στη Χημεία, η κατασκευή των θερμικών μηχανών (ατμομηχανές) στην τεχνολογία κ.α.

Η συνεισφορά της Χημείας στην απάντηση των ερωτημάτων είναι ότι η ύλη οικοδομείται από άτομα τα οποία σχηματίζουν μόρια. Τόσο τα άτομα όσο και τα μόρια έχουν δυο βασικά χαρακτηριστικά: α) να κινούνται β) να αλληλεπιδρούν ασκώντας ελκτικές και απωστικές δυνάμεις. Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στις ενότητες 1.3 και 2.2, εφόσον τα μόρια κινούνται θα έχουν κινητική ενέργεια, ενώ για την αλλαγή της ταχύτητας τους απαιτείται να ασκηθεί δύναμη. Επίσης, εφόσον τα μόρια ή τα άτομα αλληλεπιδρούν, έχουν δυναμική ενέργεια.

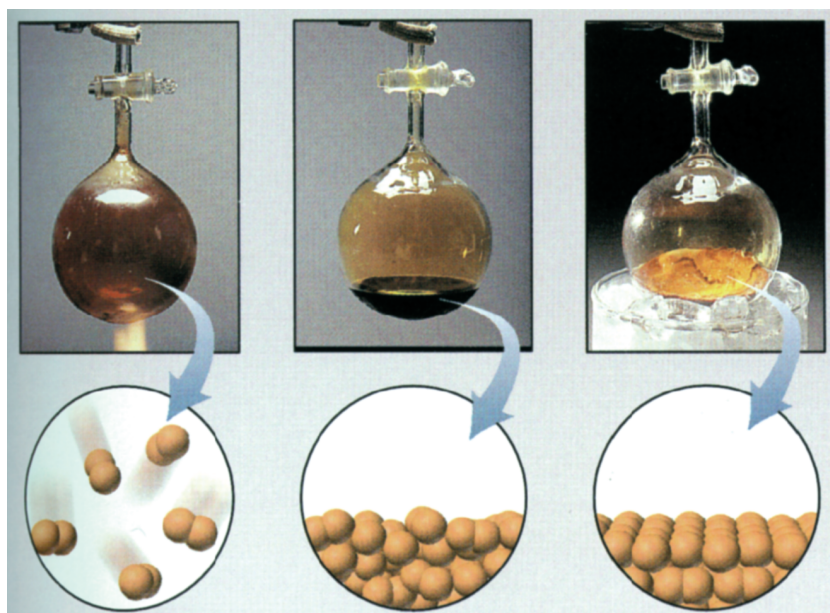
Στην περίπτωση των αερίων θεωρούμε τα μόρια ως σωματίδια σφαίρες που κινούνται ατάκτως προς όλες τις κατευθύνσεις.

Στα αραιά αέρια, σ' αυτά δηλαδή που οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων θεωρούνται σχετικά μεγάλες, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ασκούνται δυνάμεις μόνο κατά τη διάρ-

κεια των συγκρούσεων μεταξύ τους ή με τα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται. Κατά συνέπεια η ενέργεια που έχουν τα μόρια είναι μόνο κινητική.

Στις περιπτώσεις των πυκνών αερίων καθώς επίσης και στα υγρά, τα μόρια εκτός από κινητική ενέργεια, λόγω της άτακτης κίνησής τους, έχουν και δυναμική. Η δυναμική ενέργεια οφείλεται στις δυνάμεις που ασκούνται διαρκώς μεταξύ τους και όχι μόνο κατά τη διάρκεια των κρούσεων. Στα στερεά δεν υπάρχει αυτή η άτακτη κίνηση των μορίων, αλλά σ' αυτά τα μόρια ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους.

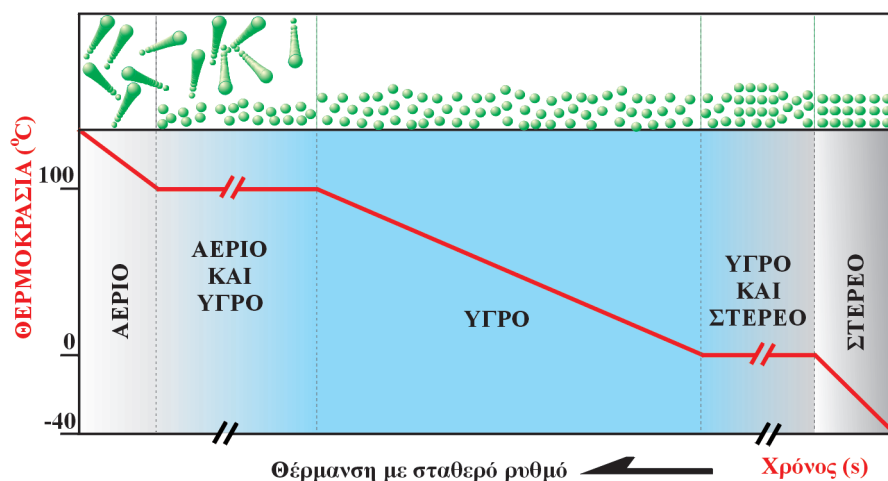
Στην εικόνα 2.3.1 έχουν αναπαρασταθεί ένα αέριο, ένα υγρό και ένα στερεό. Επίσης στην εικόνα 2.3.2 αναπαρίστανται οι αλλαγές κατάστασης ενός υλικού.



Εικόνα 2.3.1

Εκτός από τα αέρια και στα υγρά και στερεά τα μόρια ή τα άτομα κινούνται. Στην παραπάνω εικόνα δεν σημειώνεται η κίνηση αυτή.

Όπως φαίνεται στις εικόνες 2.3.1 και 2.3.2, τα μόρια των σωμάτων αναπαρίστανται με σφαιρίδια, ενώ η μεταξύ τους απόσταση αντιπροσωπεύει το κενό που υπάρχει μεταξύ των μορίων. Η κίνηση των μορίων δείχνεται με βέλη που αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα ή με σκιές που δείχνουν τις προηγούμενες θέσεις τους. Πρέπει να τονίσουμε ότι τα χρώματα δεν αντιπροσωπεύουν το χρώμα των μορίων ούτε το μέγεθος των σφαιριδίων, το μέγεθος των μορίων. Πρόκειται για ζωγραφιές του σωματιδιακού προτύπου της ύλης που μας διευκολύνουν να κατανοήσουμε το μικρόκοσμο.



Εικόνα 2.3.2

2.3.2 Ιδιότητες των αερίων

α) Η πίεση

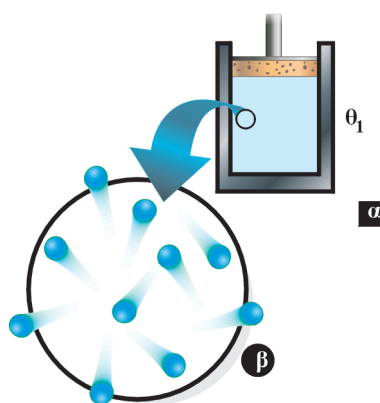
Στην παράγραφο αυτή θα μελετήσουμε τις ιδιότητες των αερίων με τη βοήθεια της κινητικής θεωρίας της ύλης.

Το μεγάλο κενό μεταξύ των μορίων, που φαίνεται στην εικόνα 2.3.3β, είναι αναμενόμενο διότι η εμπειρία δείχνει ότι τα αέρια συμπεριφέρονται πολύ εύκολα.

Η εμπειρία μας αυτή εναρμονίζεται με τα πειραματικά ευρήματα σύμφωνα με τα οποία ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να συμπιεστεί, εικόνα 2.3.4. Με κατάλληλες διατάξεις ο αέρας μπορεί να συμπιεστεί στο 1/800 του αρχικού του όγκου προκειμένου να αποκτήσει συμπεριφορά υγρού.

Παρατηρούμε ότι παρά το μεγάλο κενό μεταξύ των μορίων, το αέριο που υπάρχει στον κύλινδρο “σηκώνει” το βάρος του εμβόλου.

Θα μας ήταν εύκολο να κατανοήσουμε αυτό που συμβαίνει, αν το βάρος του εμβόλου υποστηριζόταν από κάποιο υγρό, που είναι πρακτικά ασυμπίεστο, επειδή τα μόρια του είναι σε επαφή μεταξύ τους.



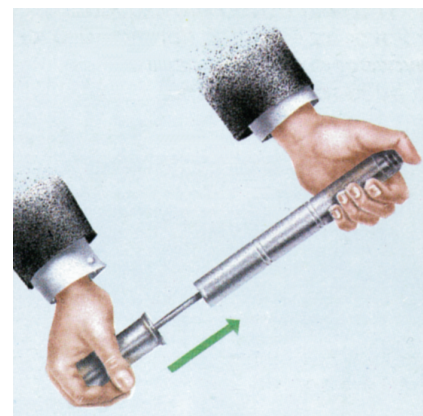
Εικόνα 2.3.3

Εικόνα 2.3.3α

Φαίνεται ένας κύλινδρος που περιέχει ένα αέριο αεροστεγώς κλεισμένο με έμβολο βάρους B . Το έμβολο μπορεί να κινείται χωρίς τριβές.

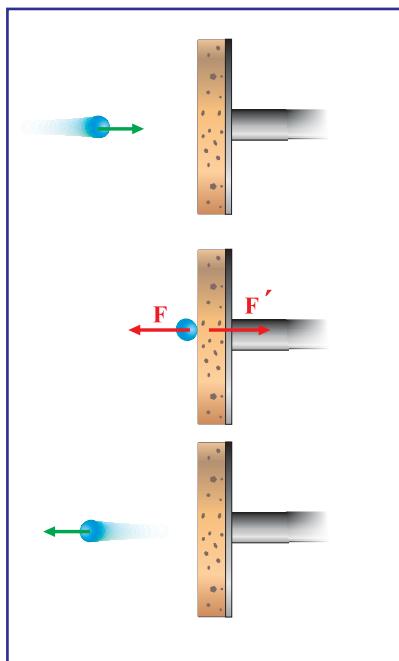
Εικόνα 2.3.3β

Έχει αναπαρασταθεί σε μεγέθυνση μέρος του αερίου της εικόνας 2.3.3α. Στην αναπαράσταση αυτή τα μόρια του αερίου συμβολίζονται με μπλε σφαιρίδια.



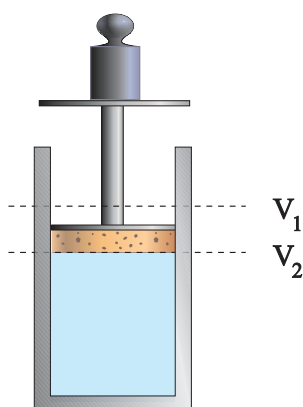
Εικόνα 2.3.4

Ο ατμοσφαιρικός αέρας και γενικά όλα τα αέρια είναι συμπιεστά.



Εικόνα 2.3.5

Η δύναμη F από το έμβολο είναι αυτή που προκάλεσε την αλλαγή της ορμής του μορίου, ενώ στο έμβολο ασκήθηκε από το μόριο η δύναμη F' .



Εικόνα 2.3.6

Πώς όμως μπορεί να στηρίξει ένα τόσο αραιό σώμα, όπως ο αέρας, το βάρος του εμβόλου;

Ας θεωρήσουμε ένα μόριο του αερίου το οποίο κινείται προς την επιφάνεια του εμβόλου και ανακλάται στην αντίθετη κατεύθυνση (Εικ. 2.3.5).

Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η αλλαγή της ταχύτητας και συνεπώς η αλλαγή της ορμής του μορίου, οφείλονται στη δύναμη που ασκήθηκε από το έμβολο στο μόριο κατά τη διάρκεια της σύγκρουσής τους.

Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, η δύναμη F από το έμβολο είναι η δράση που προκάλεσε την αλλαγή της ορμής, ενώ στο ίδιο το έμβολο ασκήθηκε η αντίδρασή της F' .

Αν σκεφτούμε ότι ακόμα και μια ελάχιστη ποσότητα αερίου π.χ. όση περιέχεται στο χώρο που καταλαμβάνει η κεφαλή μιας καρφίτσας, περιέχει 10^{17} μόρια, (δηλαδή 100.000 τρισεκατομμύρια) ο αριθμός των μορίων στον κύλινδρο είναι ασύλληπτα μεγάλος. Τα μόρια που υπάρχουν στο δοχείο συγκρούονται μεταξύ τους καθώς επίσης και με τα τοιχώματα του δοχείου. Συνεπώς κάθε χρονική στιγμή ένας αριθμός από το τεράστιο πλήθος των μορίων συγκρούεται με το έμβολο.

Η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που ασκούν τα μόρια στο έμβολο, είναι υπεύθυνη για τη στήριξη του εμβόλου.

Τι άραγε θα συμβεί αν τοποθετήσουμε ένα σώμα δάρους B πάνω στο έμβολο και αυξηθεί η πίεση που ασκείται στο αέριο; Αν πραγματοποιήσουμε το πείραμα θα διαπιστώσουμε ότι:

- α) ο όγκος του αερίου γίνεται μικρότερος,
- β) το έμβολο ισορροπεί πάλι (Εικ. 2.3.6).

Συνεπώς, η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούν τα μόρια στο έμβολο, συνολικά, εξισορροπεί την αυξημένη δύναμη που ωθεί το έμβολο προς τα κάτω. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί ως εξής:

Επειδή μειώθηκε ο όγκος του αερίου μίκρυναν οι διαδρομές που διανύουν τα μόρια μεταξύ δυο διαδοχικών συγκρούσεων με το έμβολο. Έτσι οι συγκρούσεις έγιναν συχνότερες και η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκείται στο έμβολο έγινε μεγαλύτερη.

Η ιδιότητα των αερίων να ασκούν δυνάμεις στα τοιχώματα των δοχείων που τα περιέχουν περιγράφεται με την έννοια της **πίεσης**.

Όπως γνωρίζουμε η πίεση, P , ορίζεται από το πηλίκο της κάθετης δύναμης F , που ασκείται σε μια επιφάνεια, προς το

εμβαδόν S της επιφάνειας αυτής. Δηλαδή: $P = \frac{F}{S}$.

Στα παραδείγματα που εξετάσαμε η πίεση που ασκεί το αέριο στο έμβολο είναι:

$$P = P_{\text{atm}} + \frac{B_{\text{ολ}}}{S}$$

όπου: $B_{\text{ολ}}$ το βάρος του σώματος και του εμβόλου, S το εμβαδόν του εμβόλου και P_{atm} η ατμοσφαιρική πίεση.

Πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω της τυχαίας κίνησης των μορίων προς κάθε κατεύθυνση, η πίεση στο έμβολο είναι ίση με την πίεση στα τοιχώματα του κυλίνδρου και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός των κρούσεων.

Νόμος του Boyle



Στην παράγραφο 2.3.2 μάθαμε ότι, αν ο όγκος ενός αερίου ελλατωθεί, έχουμε αύξηση των συγκρούσεων των μορίων του με τα τοιχώματα του δοχείου, δηλαδή αύξηση της πίεσης του αερίου. Αυτό αποτελεί μια ποιοτική ερμηνεία του πειραματικού νόμου του Boyle σύμφωνα με τον οποίο:

Υπό σταθερή θερμοκρασία το γινόμενο της πίεσης και του όγκου του αερίου είναι σταθερό.

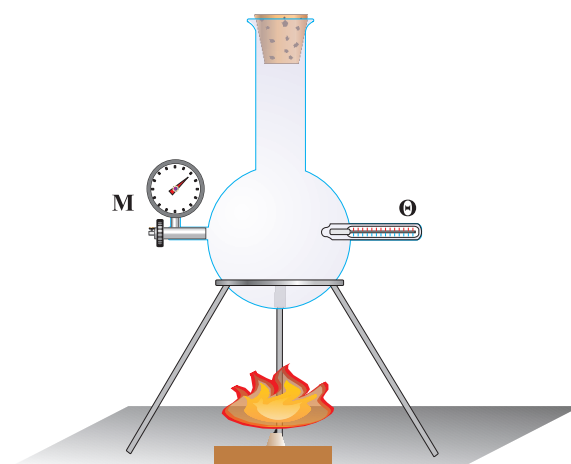
Δηλαδή: $PV = \text{σταθερό}$ (για $T = \text{σταθερό}$).

6) Η θερμοκρασία

Στην εικόνα 2.3.7 έχουμε σχεδιάσει ένα κλειστό δοχείο μέσα στο οποίο υπάρχει αέριο. Το δοχείο είναι εφοδιασμένο με μανόμετρο M , που μετράει την πίεση και με θερμομέτρο Θ που μετράει τη θερμοκρασία.

Τι θα παρατηρήσουμε αν θερμάνουμε το αέριο και αυξηθεί η θερμοκρασία του;

Το πείραμα δείχνει ότι αυξάνεται η έν-

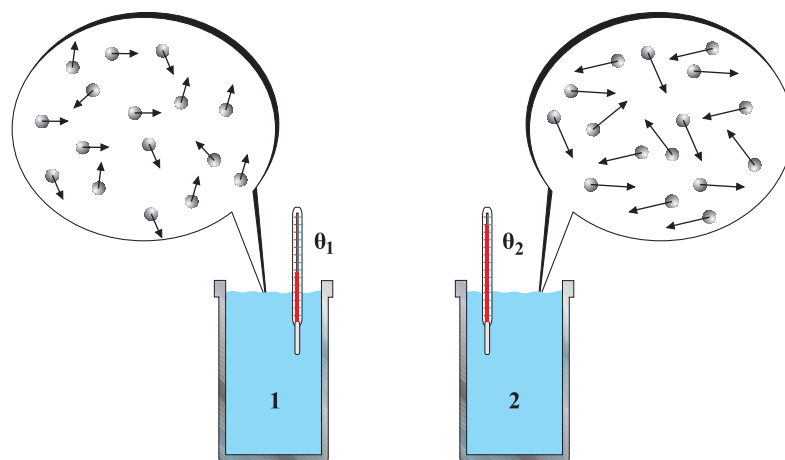


Εικόνα 2.3.7

δειξη του μανόμετρου δηλαδή η πίεση του αερίου. Πώς μπορεί να ερμηνευθεί αυτή η μεταβολή με δεδομένο ότι ο όγκος του αερίου έμεινε πρακτικά αμετάβλητος;

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε προηγουμένως για την ερμηνεία της πίεσης στα αέρια, είναι λογικό να δεχθούμε ότι αυξήθηκε η ταχύτητα των μορίων. Κατά συνέπεια, η έννοια της θερμοκρασίας είναι συνυφασμένη με την ταχύτητα των μορίων.

Έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας σχετίζεται με την αύξηση της ταχύτητας των μορίων. Το λογικό αυτό συμπέρασμα ελέγχθηκε πειραματικά και βρέθηκε ότι είναι σωστό και ισχύει εκτός από τα αέρια στα υγρά (Εικ. 2.3.8) και στα στερεά ανεξάρτητα από το είδος των σωματιδίων που αυτά αποτελούνται, δηλαδή άτομα, ιόντα ή μόρια.



Εικόνα 2.3.8

Το δοχείο 1 περιέχει κρύο νερό και το δοχείο 2 ζεστό (δηλαδή $\theta_1 < \theta_2$). Τα μόρια του νερού απεικονίζονται με σφαιρίδια και οι ταχύτητές τους με βέλη. Στο ζεστό νερό τα μόρια κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες, οι οποίες παριστάνονται με βέλη μεγαλύτερου μήκους.

Ο προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας και κίνησης των σωματιδίων από τα οποία αποτελούνται τα υλικά σώματα αποτέλεσε σημαντικό σταθμό στην ιστορία της Φυσικής.

2.3.3 Εσωτερική ενέργεια

Όπως είναι γνωστό, στα αέρια τα μόρια βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, με τις ταχύτητές τους και κατά συνέπεια τις κινητικές τους ενέργειες συνεχώς να μεταβάλλονται.

Ορίζουμε ως μέση κινητική ενέργεια \bar{K} των μορίων του αερίου το άθροισμα των κινητικών ενεργειών K_1, K_2, \dots, K_N των μορίων του αερίου δια του πλήθους των N

Δηλαδή:
$$\bar{K} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_N}{N}$$

Στα αραιά μονοατομικά αέρια τα μόρια θεωρούνται ως σωματίδια, τα οποία μπορούν να έχουν, μόνο μεταφορική κίνηση. Αυτό σημαίνει πως η μέση κινητική ενέργεια για κάθε μόριο του αερίου αυτού, είναι μεταφορική κινητική ενέργεια.

Εάν πολλαπλασιάσουμε τη μέση κινητική ενέργεια \bar{K} των μορίων του αερίου λόγω της μεταφορικής τους κίνησης με το πλήθος τους N , προκύπτει η συνολική κινητική ενέργεια όλων των μορίων του αερίου.

Η ενέργεια αυτή ονομάζεται **εσωτερική ενέργεια** U και είναι αποτέλεσμα των θερμικών κινήσεων των μορίων του. Δηλαδή:

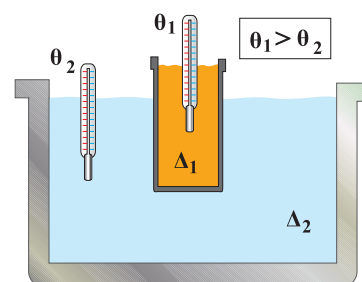
$$U = N \bar{K} \quad (2.3.1)$$

Συνεπώς, η εσωτερική ενέργεια των αερίων αποδίδεται στη θερμική κίνηση των μορίων τους, αφού θεωρούμε την αλληλεπίδραση και κατά συνέπεια τη δυναμική ενέργεια, μηδέν. Επιπλέον, πρέπει να τη διακρίνουμε από οποιαδήποτε άλλη ενέργεια που είναι δυνατόν να έχει το αέριο, π.χ. ένεκα της κίνησης του δοχείου στο οποίο περιέχεται.

Σημείωση: Στα υγρά και στα στερεά, επειδή τα μόριά τους αλληλεπιδρούν, εκτός από την κινητική έχουν και δυναμική ενέργεια. Έτσι, στην περίπτωση των σωμάτων αυτών, εσωτερική ενέργεια είναι το άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας των δομικών τους λίθων.

Θέρμανση ενός σώματος, σημαίνει *αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας* εις βάρος της εσωτερικής ενέργειας κάποιου άλλου σώματος, του οποίου η εσωτερική ενέργεια μειώνεται και συνεπώς αυτό ψύχεται. Η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του ενός σώματος και η ταυτόχρονη μείωση της εσωτερικής ενέργειας του άλλου, συνεχίζονται έως ότου αυτά αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία.

Τη διαδικασία αυτή μπορούμε να τη διαπιστώσουμε πειραματικά με τη βοήθεια της διάταξης που φαίνεται στην εικόνα 2.3.9. Πρόκειται για δυο δοχεία τα οποία περιέχουν νερό σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το μικρό δοχείο έχει



Εικόνα 2.3.9

Μια μητέρα λέει στο παιδί της:

α) Κλείσε το ψυγείο, για να μην φύγει η ψύξη.

β) Κλείσε την πόρτα του σπιτιού για να μην μπει το κρύο.

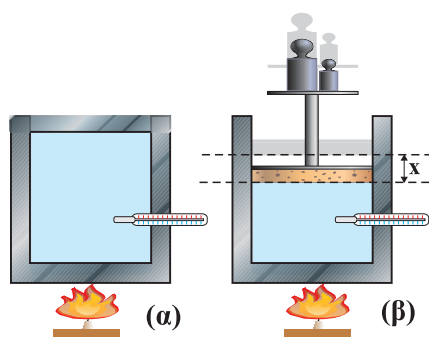
Να σχολιάσετε τις προτάσεις αυτές.

μεταλλικά λεπτά τοιχώματα και περιέχει ζεστό νερό θερμοκρασίας θ_1 (σε $^{\circ}\text{C}$). Το μεγάλο δοχείο έχει κρύο νερό θερμοκρασίας θ_2 (σε $^{\circ}\text{C}$). Στα δύο δοχεία υπάρχουν θερμόμετρα με τα οποία μετράμε τις θερμοκρασίες του νερού των δυο δοχείων. Αρχικά οι θερμοκρασίες είναι θ_1 και θ_2 . Στη συνέχεια η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο Δ_1 μειώνεται ενώ αυξάνεται η θερμοκρασία στο δοχείο Δ_2 . Η μεταβολή των θερμοκρασιών συνεχίζεται έως ότου το νερό στα δυο δοχεία αποκτήσει την ίδια θερμοκρασία.

Όσο χρόνο οι θερμοκρασίες είναι διαφορετικές, γίνεται ανακατανομή στις εσωτερικές ενέργειες, το αποτέλεσμα της οποίας το ονομάζουμε “απορρόφηση θερμότητας” από το νερό στο δοχείο Δ_2 . Όταν οι θερμοκρασίες γίνουν ίσες σταματά η ανακατανομή των εσωτερικών ενεργειών και τότε ούτε προσφέρεται ούτε απορροφάται θερμότητα.

Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **θερμική ισορροπία**.

2.3.4 Θερμότητα και διατήρηση της ολικής ενέργειας



Εικόνα 2.3.10

Παρόλο που πολλές φορές μέχρι τώρα σε προηγούμενα κεφάλαια αναφερθήκαμε στην αρχή διατήρησης της ενέργειας, σε καμία περίπτωση δε λάβαμε υπόψη μας την εσωτερική ενέργεια του αερίου. Στην εικόνα 2.3.10 φαίνονται δυο ίσες ποσότητες αερίου σε διαφορετικά δοχεία.

Εάν θερμάνουμε και τα δύο αέρια εξίσου, δηλαδή προσφέρουμε και στα δύο την ίδια ποσότητα θερμότητας θα έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα;

Στο πρώτο δοχείο και με την προϋπόθεση πως αυτό διατηρεί τον όγκο του σταθερό, το αέριο θερμαίνεται χωρίς καμία μεταβολή στον όγκο του. Αυτό σημαίνει πως η προσφερόμενη θερμότητα απορροφήθηκε εξολοκλήρου από τα μόρια του αερίου, τα οποία αύξησαν έτσι την κινητική τους ενέργεια, δηλαδή ότι αυξήθηκε η εσωτερική ενέργεια του αερίου. Μπορούμε λοιπόν να διατυπώσουμε την αρχή διατήρησης της ενέργειας με την απλή εξίσωση:

Προσφερόμενη θερμότητα = αύξηση εσωτερικής ενέργειας αερίου

ή

$$Q = \Delta U \quad (2.3.2)$$

Στο δεύτερο δοχείο η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται λιγότερο και διαστελλόμενο ανυψώνει σιγά - σιγά το έμβο-

λο, δάρους B και εμβადού S , κατά μικρό ύψος x . Το γεγονός πως το έμβολο ισορροπεί και μετά τη διαστολή, σημαίνει πως η πίεση P του αερίου περρέμεινε σταθερή, ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη ισορροπίας:

$$PS = P_{\text{atm}} \cdot S + B$$

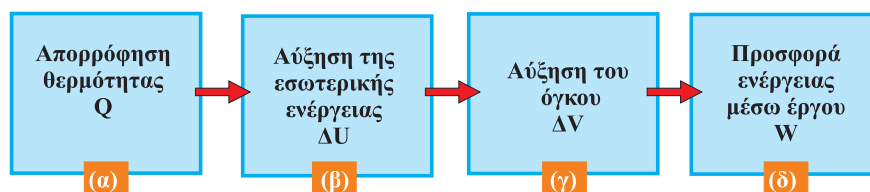
Αντίθετα λοιπόν με ότι συμβαίνει στο πρώτο δοχείο όπου η προσφερόμενη θερμότητα μετατράπηκε εξ' ολοκλήρου σε εσωτερική ενέργεια του αερίου, στο δεύτερο δοχείο η εξέλιξη είναι διαφορετική. Συγκεκριμένα η ανύψωση του εμβόλου κατά x , σημαίνει πως το αέριο διαστελλόμενο πρόσφερε ενέργεια ίση με το έργο της σταθερής δύναμης PS , το οποίο είναι $W = PSx$ και επειδή $Sx = \Delta V$, προκύπτει:

$$W = P\Delta V \quad (2.3.3)$$

Στη σχέση (2.3.3), ΔV είναι η αύξηση του όγκου του αερίου κατά τη θέρμανσή του.

Αν λοιπόν αγνοήσουμε κάθε άλλη ενεργειακή μεταβολή, εκτός από τη θέρμανση του αερίου και την ανύψωση του εμβόλου, η διατήρηση της ενέργειας περιγράφεται από την εξίσωση:

Προσφερόμενη θερμότητα = αύξηση της εσωτερικής ενέργειας αερίου και ενέργεια απαιτούμενη για την ανύψωση του εμβόλου, εικόνα 2.3.11.



Εικόνα 2.3.11

Η θερμότητα που απορροφήθηκε προκάλεσε αύξηση της εσωτερικής ενέργειας και παραγωγή έργου.

Η μαθηματική έκφραση της εξίσωσης αυτής είναι:

$$Q = \Delta U + W \quad (2.3.4)$$

Μέχρι τώρα κάθε φορά που αναφερόμαστε στη θερμότητα Q , θεωρούμε πως αυτή είναι μια μορφή ενέργειας όπως τόσες άλλες. Ωστόσο η άποψη αυτή μπορεί να εξυπηρετεί τη μελέτη μιας σειράς φαινομένων (και για το λόγο αυτό παραμένει σε χρήση) δε φαίνεται όμως πως είναι και ορθή.

Πράγματι αυτό που σήμερα αποδεχόμαστε για τη θερμότητα είναι πως αυτή ως φυσικό μέγεθος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ποσότητας της ενέργειας που με-

Ένας μαθητής υποστηρίζει την παρακάτω άποψη:

Αν ένα αντικείμενο έχει υψηλή θερμοκρασία έχει και μεγάλη θερμότητα.

Ποια είναι η δική σας άποψη;

ταφέρεται από ένα σώμα σε κάποιο άλλο. Συγκεκριμένα, όπως το έργο μετράει την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε κάποιο άλλο λόγω άσκησης δύναμης χωρίς αυτό (το έργο) να είναι ενέργεια, έτσι και η θερμότητα Q : **μετράει την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε κάποιο άλλο, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, χωρίς η ίδια να είναι μια μορφή ενέργειας.**

Παραδείγματος χάρη, καθώς ανυψώνουμε με το χέρι μας μια μεταλλική σφαίρα έχουμε μεταφορά ενέργειας W λόγω της δύναμης που της ασκούμε και μεταφορά ενέργειας Q λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο χέρι μας και στη σφαίρα. Η ενέργεια W εμφανίζεται ως μηχανική ενέργεια της σφαίρας, ενώ η ενέργεια Q ως αύξηση της εσωτερικής της ενέργειας, δηλαδή ως αύξηση της θερμοκρασίας της.

2.3.5 Η θερμότητα και η μηχανική ενέργεια

Η πορεία της επιστήμης προς τη διατύπωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας δεν ήταν ούτε απλή ούτε εύκολη, καθώς έπρεπε να διευκρινιστεί η σημασία των μεγεθών, όπως η θερμότητα, το έργο και η σχέση εσωτερικής ενέργειας και θερμότητας. Στην πορεία αυτή υπήρξαν οι εξής σημαντικοί σταθμοί:

α) Η διαπίστωση που έκανε ο B. Thompson (Τόμσον) το 1799 ότι η θέρμανση δεν αυξάνει το βάρος των σωμάτων και ότι μπορεί να παραχθεί σε απεριόριστες ποσότητες μέσω τριβής.

β) Η πρόταση του J.R. Mayer (Μάγιερ) το 1842 ότι, “η ενέργεια είναι αιτία των φαινομένων και ως τέτοια δεν μπορεί να πάψει να υπάρχει αλλά θα μετατρέπεται από την μια μορφή στην άλλη, λειτουργώντας ως αιτία άλλων φαινομένων”.

γ) Τα πειράματα του J.P. Joule (Τζάουλ) που θα αναφέρουμε παρακάτω, με τα οποία έδειξε ότι η μηχανική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμότητα και προσδιόρισε την ποσοτική σχέση μεταξύ μηχανικής ενέργειας και θερμότητας. Ίσως φανεί παράξενο ή και απλοϊκό το επίτευγμα του Joule αλλά ήταν σημαντικό, γιατί την περίοδο εκείνη η μηχανική ενέργεια και η θερμότητα εθεωρούντο διαφορετικά μεγέθη και για τη μέτρησή τους χρησιμοποιούσαν διαφορετικές μονάδες. Η μονάδα θερμότητας ήταν το calorie (καλορί), μονάδα που χρησιμοποιούμε ακόμα και σήμερα. Ένα calorie (cal) είναι η ποσότητα της θερμότητας που



Benjamin Thompson, Count Rumford (1753-1814). Γεννήθηκε στην Αμερική αλλά εργάστηκε στην Ευρώπη. Ασχολήθηκε με την κατασκευή πολεμικών όπλων (κανονιών).

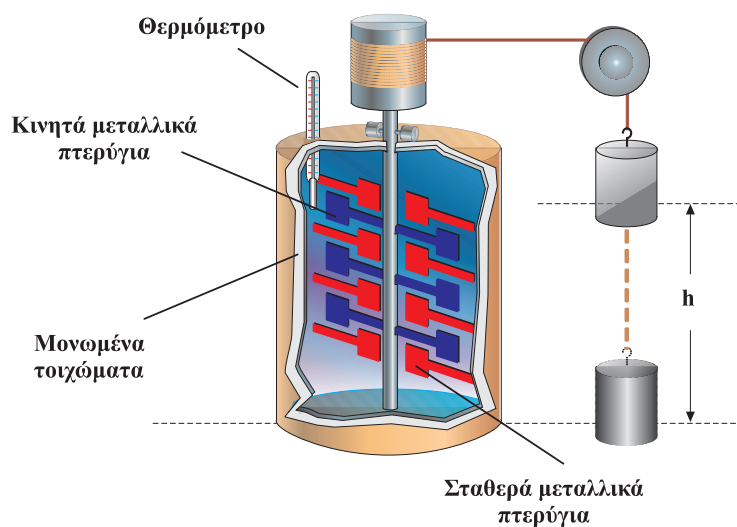


Julius Robert Mayer (1814-1878). Ιατρός γερμανικής καταγωγής, με μεγάλο ενδιαφέρον για τη φυσιολογία των οργανισμών. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα του σώματος των ζωντανών οργανισμών σχετίζεται με τη χημική ενέργεια των τροφών που αυτοί καταναλώνουν.

απαιτείται προκειμένου να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου καθαρού νερού κατά 1°C . Ακριβέστερα από τους $14,5^{\circ}\text{C}$ στους $15,5^{\circ}\text{C}$.

Η μονάδα μέτρησης της μηχανικής ενέργειας ήταν αυτή που χρησιμοποιούμε και σήμερα, το $1\text{Joule} = 1\text{Nm}$, χωρίς να είχε τότε το σημερινό όνομα.

Ο Joule κατασκεύασε τη διάταξη που φαίνεται στην εικόνα 2.3.12.



Εικόνα 2.3.12

Αφήνοντας το σώμα να πέσει από γνωστό ύψος γνώριζε τη δυναμική του ενέργεια. Η ενέργεια αυτή έθετε σε κίνηση τα μεταλλικά πτερύγια τα οποία ανάδευαν το νερό. Έτσι πρόσθετε κινητική ενέργεια στα μόριά του, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του υγρού του οποίου γνώριζε τη μάζα. Είχε επίσης μετρήσει την ποσότητα του νερού. Μπορούσε επίσης, να υπολογίσει το ποσόν της θερμότητας Q που απορρόφησε το νερό με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας του σύμφωνα με τη γνωστή σχέση $Q = cm \Delta\theta$. Αφήνοντας το σώμα να πέσει αρκετές φορές υπολόγισε τη συνολική μηχανική ενέργεια W που μετατράπηκε σε θερμότητα. Για να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ θερμότητας και έργου υπολόγισε το λόγο Q/W και βρήκε ότι ήταν ίσος με 4,18. Το αποτέλεσμα αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα θερμότητας 1cal ισοδυναμεί με $4,18\text{Joule}$. Επανάλαβε το πείραμα με διαφορετικά υγρά και με παραλλαγές της συσκευής. Τελικά προσδιόρισε ότι η τιμή 4,18 είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τα υλικά και τις πειραματικές διατάξεις.

Παρόλο, που η μονάδα ενέργειας στο Διεθνές Σύστημα S.I. είναι το 1Joule , χρησιμοποιούμε ακόμη και σήμερα ως μονάδα θερμότητας το cal και το παράγωγο του kcal , διότι είναι πιο κατάλληλη μονάδα σε διάφορους κλάδους όπως η θερμοδυναμική, η θερμοχημεία, η τεχνολογία καυσίμων κ.α.



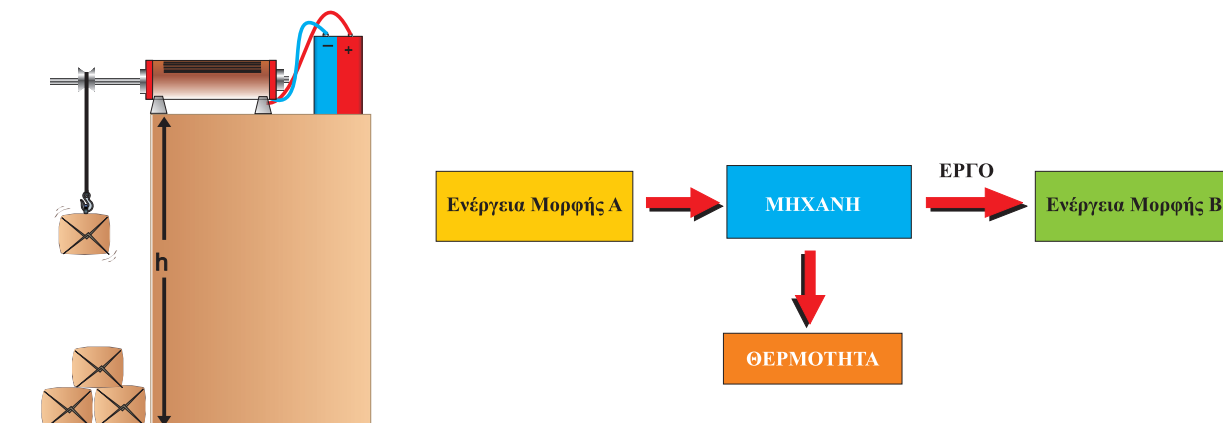
James Prescott Joule (1818-1889). Άγγλος Φυσικός, γόνος οικογένειας παραγωγών μπίρας. Ως μαθητής είχε δάσκαλο τον J. Dalton. Ασχολήθηκε συστηματικά με τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ του έργου μίας δύναμης και της θερμότητας.

2.3.6 Μηχανές και ενέργεια

Η ιστορία του ανθρώπου σχετίζεται άμεσα με τις προσπάθειές του να επιτύχει την παραγωγή έργου χωρίς ο ίδιος να κουράζεται. Έτσι εξημέρωσε ζώα για να εργάζονται εκείνα αντί γι' αυτόν, κατασκεύασε εργαλεία π.χ. τον τροχό, τον μοχλό, επινόησε διατάξεις για να αξιοποιήσει την ενέργεια του άνεμου (ιστιοφόρα, πλοία, ανεμόμυλους) ή του νερού (νερόμυλους) κ.τ.λ.

Σημαντικούς σταθμούς στην εξέλιξη της προσπάθειας για “λιγότερη κούραση” αποτέλεσαν οι ανακαλύψεις της ατμομηχανής, της μηχανής εσωτερικής καύσης και του ηλεκτρικού κινητήρα.

Σχηματικά, μια μηχανή π.χ. ο ηλεκτρικός κινητήρας, μπορεί να αναπαρασταθεί με τον τρόπο που φαίνεται στην εικόνα 2.3.13.



Εικόνα 2.3.13

Μια μηχανή (π.χ. ηλεκτρικός κινητήρας) απορροφά μια ποσότητα ενέργειας μορφής Α (ηλεκτρική) και μέσω έργου την αποδίδει υπό μορφή Β (μηχανική) στον αποδέκτη (σώμα που ανυψώνεται). Ταυτόχρονα λόγω τριβών στα κινούμενα εξαρτήματα του κινητήρα και αντιστάσεων παράγεται θερμότητα.

Ο κινητήρας του αυτοκινήτου



Ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου είναι μια μηχανή η οποία χρησιμοποιεί χημική ενέργεια (δυναμική ενέργεια των ατόμων στα μόρια της βενζίνης), ενώ ο αποδέκτης του έργου είναι το ίδιο το αυτοκίνητο το οποίο αποκτά κινητική ενέργεια.

Στην εικόνα φαίνονται οι 4 φάσεις ενός κυλίνδρου σε ένα βενζινοκινητήρα.

Στη φάση Α, στον κύλινδρο εισάγεται το μείγμα αέρα - βενζίνης.

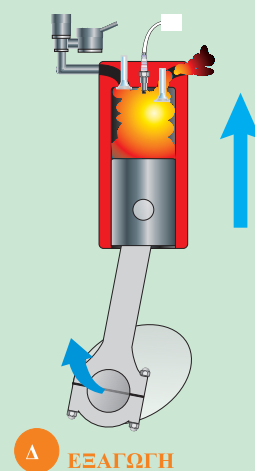
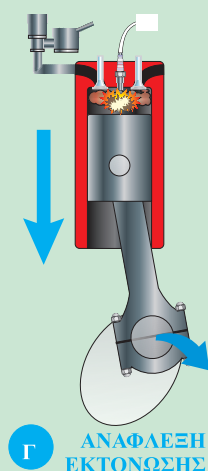
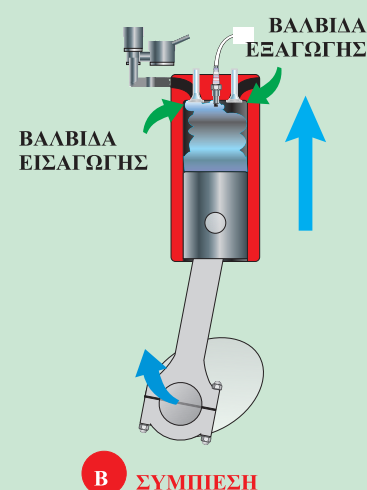
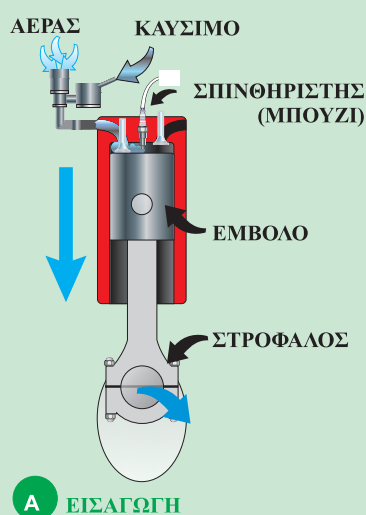
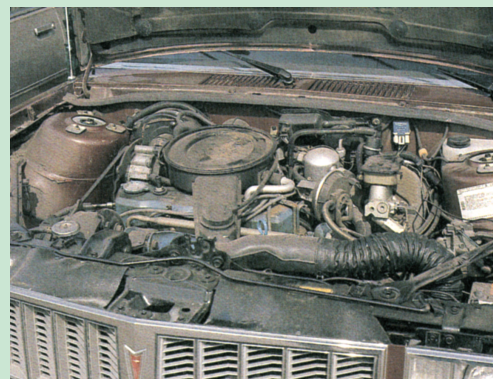
Στη φάση Β, το έμβολο συμπιέζει το μείγμα.

Στη φάση Γ, ο σπινθηριστής (μπουζί) παράγει σπινθήρα που προκαλεί ανάφλεξη στο μείγμα. Η ανάφλεξη προκαλεί απότομη αύξηση της θερμοκρασίας και συνεπώς αύξηση της πίεσης στα καυσάερια. Έτσι το έμβολο οπισθοχωρεί μετατρέποντας μέρος της ενέργειας των καυσασερίων σε έργο και τελικά σε κινητική ενέργεια του στροφάλου, (φάση Γ).

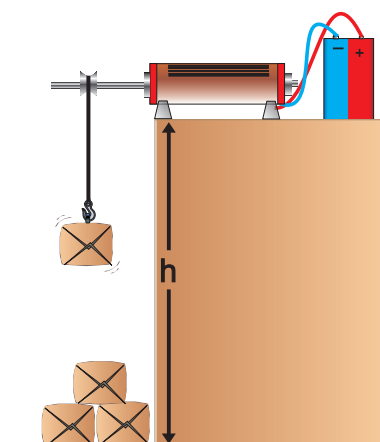
Τέλος στη φάση Δ, το έμβολο σπρώχνει τα καυσάερια έξω από τον κύλινδρο, (φάση εξαγωγής).

Ο κύκλος αυτός των τεσσάρων φάσεων επαναλαμβάνεται συνεχώς και η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και θερμότητα.

Γνωρίζουμε ότι κατά τη λειτουργία εκπέμπονται καυσάερια τα οποία έχουν υψηλή θερμοκρασία. Συνεπώς και από αυτή τη μηχανή δεν αξιοποιείται πλήρως η ενέργεια που απορροφήθηκε.



2.3.7 Απόδοση μηχανής



Εικόνα 2.3.14

Ας θεωρήσουμε ένα κινητήρα ο οποίος χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να ανυψώσει σε ύψος h , τα κιβώτια που βρίσκονται στο έδαφος (Εικ. 2.3.14).

Για να ανυψώσει ο κινητήρας ένα κιβώτιο σε ύψος h απορροφά ενέργεια, έστω W_1 , ενώ το σώμα αποκτά δυναμική ενέργεια W_2 . Η ενέργεια W_2 , όπως αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, θα είναι μικρότερη από W_1 διότι υπάρχουν τριβές στα κινούμενα μέρη του κινητήρα και οι αγωγοί θερμαίνονται όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Η διαφορά $W_1 - W_2$ είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα. Η ποσότητα $W_1 - W_2$ συνήθως αναφέρεται ως “απώλεια ενέργειας”. Στη Φυσική και στην Τεχνολογία αντί για την απώλεια ενέργειας, δηλαδή το $W_1 - W_2$, χρησιμοποιούμε το πηλίκο W_2/W_1 το οποίο ονομάζεται **απόδοση** της μηχανής και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Δηλαδή:

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{ενέργεια που αποδίδεται}}{\text{ενέργεια που απορροφάται}} \cdot 100\% \quad (2.3.5)$$

Για παράδειγμα μια μηχανή με απόδοση 70% αν απορροφήσει 100Joule, θα αποδώσει 70Joule και 30Joule θα μετατραπούν σε άλλες μορφές ενέργειας π.χ. ήχος, θερμότητα. Η έννοια της απόδοσης επεκτείνεται και σε άλλες περιπτώσεις στις οποίες μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε μια άλλη.

Ας εξετάσουμε για παράδειγμα την ενεργειακή μετατροπή σ’ έναν ηλεκτρικό λαμπτήρα πυράκτωσης (Εικ. 2.3.15).

Ο λαμπτήρας φωτοβολεί, όταν το νήμα, θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, επειδή διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Συνεπώς η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και σε φωτεινή ενέργεια.

Η απόδοση του λαμπτήρα θα είναι:

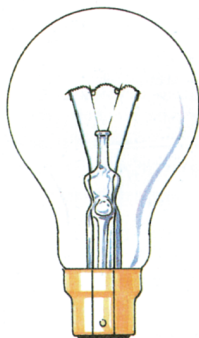
$$\alpha = \frac{\text{φωτεινή ενέργεια}}{\text{ηλεκτρική ενέργεια}} \cdot 100\%$$

Για ένα τυπικό λαμπτήρα πυράκτωσης η απόδοση είναι μόλις 5%. Αυτό σημαίνει ότι το 95% της προσφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα!

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι αποδόσεις διαφόρων συσκευών ή εξαρτημάτων.



Εικόνα 2.3.15



Δραστηριότητα

Χρησιμοποίησε στοιχεία από τον πίνακα προκειμένου να απαντήσεις στα εξής ερωτήματα:

- α) Πώς ερμηνεύεις την πρόταση της ΔΕΗ να αντικατασταθούν οι λαμπτήρες πυράκτωσης με λαμπτήρες φθορισμού;
- β) Με βάση τις τιμές απόδοσης φαίνεται ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πλεονεκτούν έναντι αυτών που έχουν κινητήρες εσωτερικής καύσης.
Πώς το ερμηνεύεις αυτό;

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Προσεγγιστικές τιμές της απόδοσης διαφόρων μηχανών, συσκευών και εξαρτημάτων.		
Είδος μηχανής	Μετατρέπει την ενέργεια από:	Απόδοση %
Ηλεκτρική γεννήτρια	Κινητική σε ηλεκτρική	70–99
Ηλεκτρικός κινητήρας	Ηλεκτρική σε κινητική	50–93
Ξηρό ηλεκτρικό στοιχείο	Χημική σε ηλεκτρική	90
Φούρνος υγραερίου οικιακής χρήσης	Χημική σε θερμική στο σώμα που θερμαίνεται	70–85
Πυραυλοκινητήρας υγρού καυσίμου	Χημική σε κινητική	47
Τουρμπινοκινητήρας ατμού	Θερμική σε κινητική	35–46
Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Χημική σε ηλεκτρική από λιγνίτη, άνθρακα	30–40
Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Πυρηνική σε ηλεκτρική από πυρηνική ενέργεια	30–35
Τουρμπινοκινητήρας αεροπλάνου	Χημική σε κινητική	36
Laser στερεής κατάστασης	Ηλεκτρική σε φωτεινή	30
Μηχανή εσωτερικής καύσης π.χ. δენζινοκινητήρας	Χημική σε κινητική	20–30
Ηλιακό στοιχείο	Φωτεινή σε ηλεκτρική	>20
Αρσενικούχου γυαλιού	Φωτεινή σε ηλεκτρική	12–16
Ηλιακό στοιχείο πυριτίου	Φωτεινή σε ηλεκτρική	20
Λάμπα φθορισμού	Ηλεκτρική σε φωτεινή	5
Λαμπτήρας πυράκτωσης	Ηλεκτρική σε φωτεινή	8
Ατμομηχανή	Θερμική σε κινητική	

2.3.8 Υποβάθμιση της ενέργειας

Όπως είδαμε στην παράγραφο 2.3.7 όπου ορίσαμε την απόδοση των μηχανών, σε κάθε μετατροπή ενέργειας υπάρχουν απώλειες. Έτσι σε οποιαδήποτε μηχανή το ωφέλιμο ποσό ενέργειας που θα πάρουμε θα είναι μικρότερο από αυτό που θα δαπανήσουμε. Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών ποσών ενέργειας θα μετατραπεί σε άλλες μορφές, π.χ. θερμότητα ή ήχο.

Θα μπορούσαμε άραγε να κατασκευάσουμε μηχανές με απόδοση 100%; Δηλαδή μηχανές που θα μετατρέπουν εξολοκλήρου την ποσότητα της ενέργειας με την οποία τις τροφοδοτούμε, στη μορφή ενέργειας που εμείς επιθυμούμε;

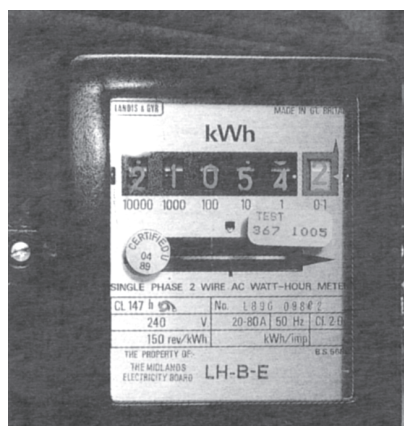
Τα στοιχεία του πίνακα της προηγούμενης παραγράφου μας δείχνουν ότι αυτό δεν έχει επιτευχθεί, αν και είναι δυνατό να κατασκευαστούν μηχανές με απόδοση περίπου 99%.

Γιατί όχι με απόδοση 100%;

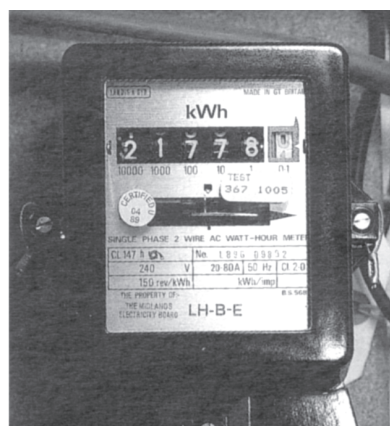
Θα υπέθετε κανείς ότι στο μέλλον μπορεί να υπάρξουν τέτοιες μηχανές. Σύμφωνα όμως με τους επιστήμονες, αυτό δεν μπορεί να συμβεί.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, οι απώλειες της ενέργειας σε μια μηχανή είναι το ποσό της αρχικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα. Όμως η θερμότητα που παράγεται από τη χρήση των μηχανών δεν μπορεί να αξιοποιηθεί.

Το γεγονός αυτό χαρακτηρίζεται ως **υποβάθμιση της ενέργειας**.



α) Πρώτη μέτρηση.

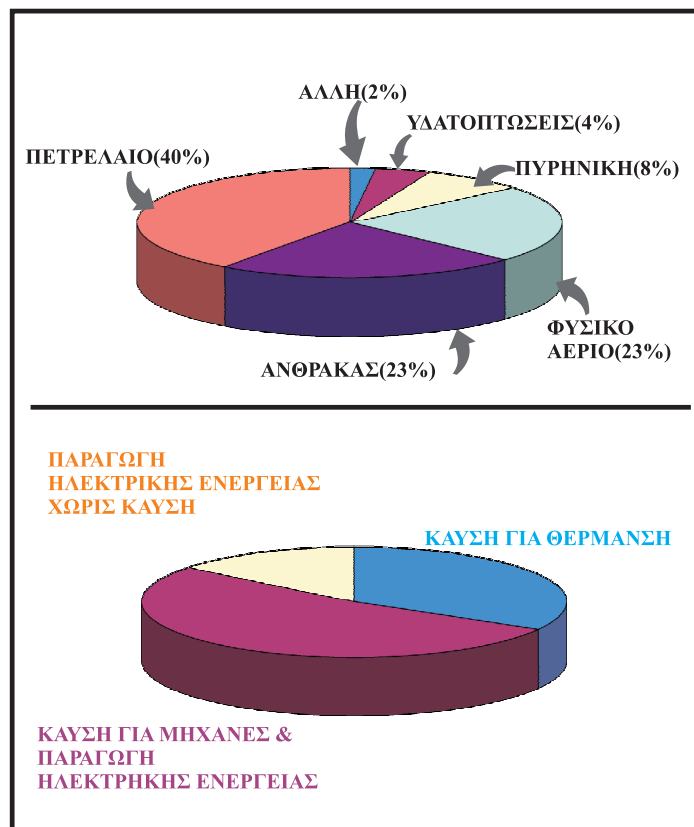


β) Μέτρηση μετά από μία εβδομάδα.

Έτσι μπορούμε να λέμε ότι πληρώνουμε το λογαριασμό της ΔΕΗ όχι επειδή “χαλάμε” ή “καίμε” ή “καταστρέφουμε” την ηλεκτρική ενέργεια, αλλά επειδή την υποβαθμίζουμε σε θερμότητα η οποία δεν μπορεί να αξιοποιηθεί.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του ανθρώπου σε ενέργεια χρησιμοποιείται ενέργεια από διάφορες πηγές.

Στην εικόνα 2.3.16 φαίνονται οι διάφορες πηγές ενέργειας και οι ανάγκες που ικανοποιούνται μ’ αυτές.



Εικόνα 2.3.16

Δραστηριότητα

ΙΣΧΥΣ – ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Για να πραγματοποιηθούν οι βασικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού (αναπνοή, κυκλοφορία του αίματος, κίνηση σπλάχνων, κ.α.) απαιτείται ενέργεια. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από τη χημική ενέργεια των τροφών, μέσω μιας πολύπλοκης διαδικασίας που πραγματοποιείται στα κύτταρα.

Χρησιμοποιείτε τα δεδομένα του Πίνακα 2 στην ακόλουθη δραστηριότητα. Υπολογίστε κατά προσέγγιση τις ενεργειακές σας ανάγκες σε kcal για μια συνηθισμένη μέρα σας. Υπολογίστε την αντίστοιχη μέση ισχύ.

Σε ποιες μορφές ενέργειας μετατράπηκε η ενέργεια που πήρατε κατά τη διάρκεια του εικοσιτετρώρου;

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Ενέργεια (kcal) που χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο σε διάφορες δραστηριότητες (οι τιμές είναι κατά προσέγγιση)				
Βάρος σώματος	45kg	68kg	90kg	113kg
Η δραστηριότητα διαρκεί μία ώρα				
Ύπνος	40	60	80	105
Καθισμένος	65	95	130	165
Όρθιος	70	100	140	170
Περίπατος στο πάρκο	130	195	260	320
Γρήγορο τρέξιμο	290	440	580	730



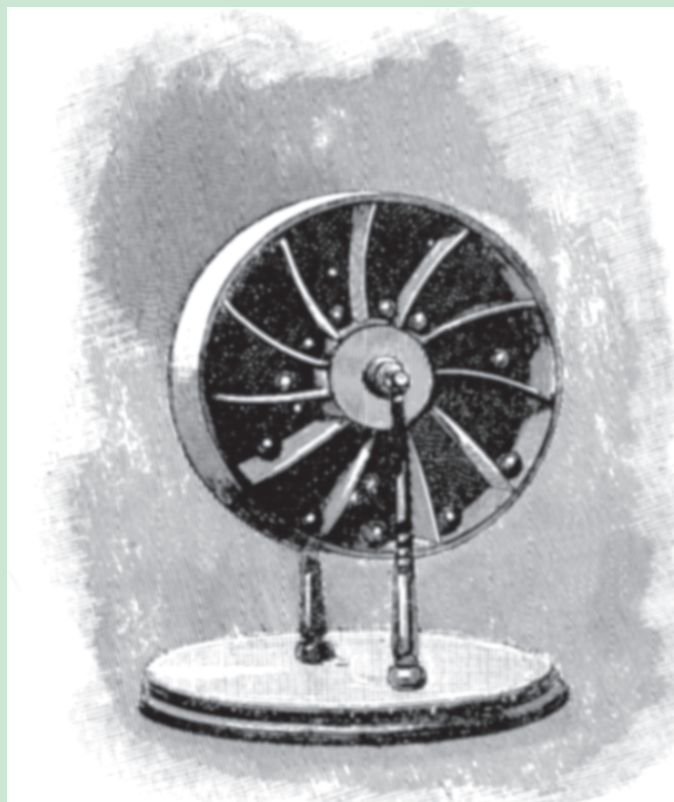
Αεικίνητο

Όλοι μας έχουμε την εμπειρία πως οποιοδήποτε σώμα και αν θέσουμε σε κίνηση, ανεξάρτητα από το είδος κίνησης, π.χ. βολή στον αέρα, ολίσθηση, κύλιση, κτλ., μετά από λίγο θα σταματήσει.

Αν χρησιμοποιήσουμε την έννοια της ενέργειας θα πούμε ότι η αρχική ενέργεια του σώματος (κινητική) μετατράπηκε μέσω του έργου των τριβών ή των αντιστάσεων σε θερμότητα.

Θα μπορούσε άραγε ένα σώμα να παραμείνει επ' άπειρο σε κίνηση;

Πολλοί εφευρέτες προσπάθησαν να αντισταθμίσουν τις απώλειες λόγω τριβών προτείνοντας “έξυπνες” διατάξεις όπως αυτές στις εικόνες 1 και 2. Οι διατάξεις αυτές ονομάστηκαν αεικίνητα γιατί οι εφευρέτες τους πίστευαν ότι θα συνεχίζουν να κινούνται επ' άπειρο. Η διάταξη στην εικόνα 2 οφείλεται στον Ιταλό καθηγητή J. Taisnierus που έζησε το 16^ο αιώνα. Αυτός πίστευε ότι ο μαγνητισμός θα ήταν η λύση στο πρόβλημα της ακατάπαυστης κίνησης.



Εικόνα 1

Η δυναμική ενέργεια των μεταλλικών σφαιρών μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του τροχού.

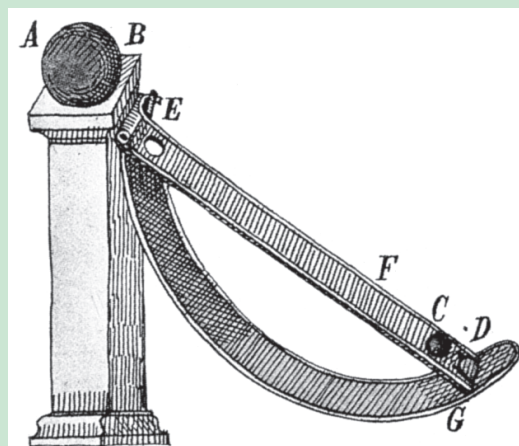
Αν αφήναμε τη μεταλλική σφαίρα λίγο πιο κάτω από το σημείο E αυτή θα άρχιζε να κινείται λόγω βαρύτητας και αφού έπεφτε στην οπή D θα συνέχιζε την κίνηση της στην καμπύλη τροχιά ανεβαίνοντας κοντά στο σημείο απ' όπου ξεκίνησε, χωρίς να το φτάνει λόγω τριβών.

Αν τοποθετούσαμε ένα μαγνήτη στη βάση B, τότε η έλξη του θα έδινε ενέργεια στην σφαίρα φέρνοντας την πάλι στο σημείο E. Εκεί λόγω βαρύτητας η σφαίρα θα άρχιζε πάλι να κινείται και το φαινόμενο θα συνεχιζόταν ακατάπαυστα.

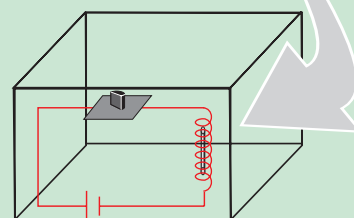
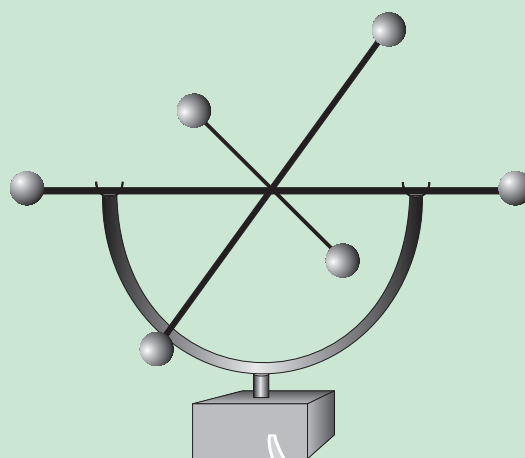
Το πείραμα έδειξε ότι κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί. Ο μαγνήτης ο οποίος υπερνικώντας τη βαρυτική έλξη θα ανέβαζε τη σφαίρα στο E, δεν θα την ελευθέρωνε όταν αυτή είχε ανέβει πάλι στο κεκλιμένο επίπεδο ED.

Εκατοντάδες εφευρέτες προσπάθησαν να κατασκευάσουν αεικίνητα, πλην όμως το πείραμα έδειχνε πάντα ότι μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, μικρό ή μεγάλο, η κίνηση σταματούσε. Όσα αεικίνητα φάνηκε ότι λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, στο τέλος αποδείχθηκε ότι οι εφευρέτες είχαν κρύψει σε κάποιο εξάρτημα μια πηγή ενέργειας, συνήθως κάποιο συσσωρευτή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέτοια “αεικίνητα” υπάρχουν και σήμερα και πωλούνται ως αξιοπερίεργα τεχνολογικά επιτεύγματα. Ένα από αυτά φαίνεται στην εικόνα 3. Αν εξετάσουμε το κουτί στο οποίο στηρίζεται θα βρούμε ότι περιέχει ένα συσσωρευτή ένα πηνίο και ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα. Το κινούμενο στέλεχος το οποίο βρίσκεται πάνω από το κουτί περιέχει έναν μαγνήτη. Όταν ο μαγνήτης πλησιάζει στο πηνίο, το ηλεκτρονικό εξάρτημα επιτρέπει τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος και συνεπώς το πηνίο γίνεται ηλεκτρομαγνήτης. Έτσι έλκει το μαγνήτη δίνοντάς του επιπλέον κινητική ενέργεια. Όταν ο μαγνήτης βρίσκεται μακριά από το εξάρτημα ή είναι ακίνητος τότε το εξάρτημα λειτουργεί ως διακόπτης, παύει η διόδος του ρεύματος από το πηνίο και η δαπάνη της ηλεκτρικής ενέργειας του συσσωρευτή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται: α) η περιοδική προσφορά ενέργειας για να αντισταθμίζονται οι απώλειες που οφείλονται στις τριβές και β) οικονομία στην ηλεκτρική ενέργεια διότι το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα για μικρό χρονικό διάστημα σε κάθε τάλαντωση.



Εικόνα 2



Εικόνα 3

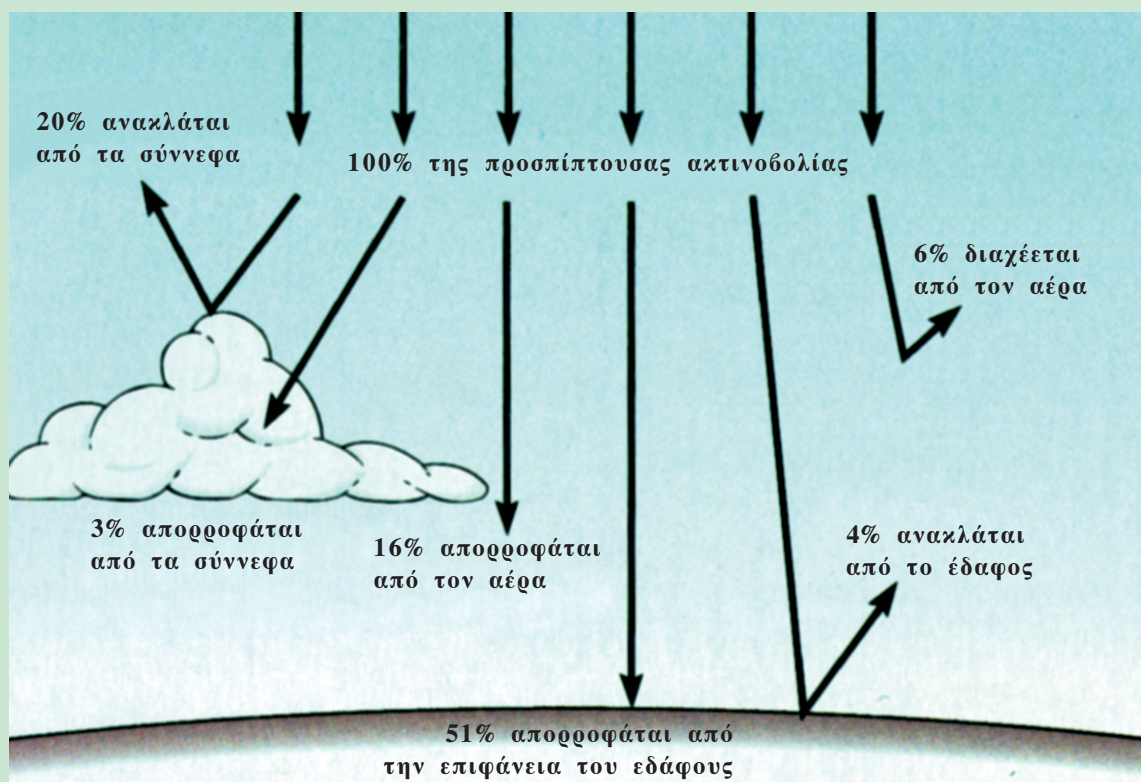


Η εσωτερική ενέργεια της ατμόσφαιρας και ο καιρός

Οι περισσότεροι άνθρωποι συνηθίζουν να παρακολουθούν το δελτίο πρόγνωσης του καιρού και να προσαρμόζουν ανάλογα τις δραστηριότητες τους για την επόμενη μέρα. Έτσι γνωρίζουν αν πρόκειται να βρέξει, να αυξηθεί η θερμοκρασία, να φυσήξουν άνεμοι κτλ. Η αιτία των αλλαγών του καιρού και η δυνατότητα πρόβλεψης του απασχόλησαν τους ανθρώπους από την αρχαιότητα.

Σήμερα η επιστήμη της Μετεωρολογίας είναι σε θέση να κάνει αξιόπιστες προβλέψεις για τις αμέσως επόμενες ημέρες. Μπορούμε να περιγράψουμε τα καιρικά φαινόμενα αν κάνουμε αρκετές απλουστεύσεις οι οποίες θα μας στερήσουν τη δυνατότητα να εξηγήσουμε φαινόμενα όπως οι κυκλώνες ή η ανομβρία αλλά θα μας επιτρέψουν να κατανοήσουμε τους βασικούς μηχανισμούς οι οποίοι ευθύνονται για τα καιρικά φαινόμενα.

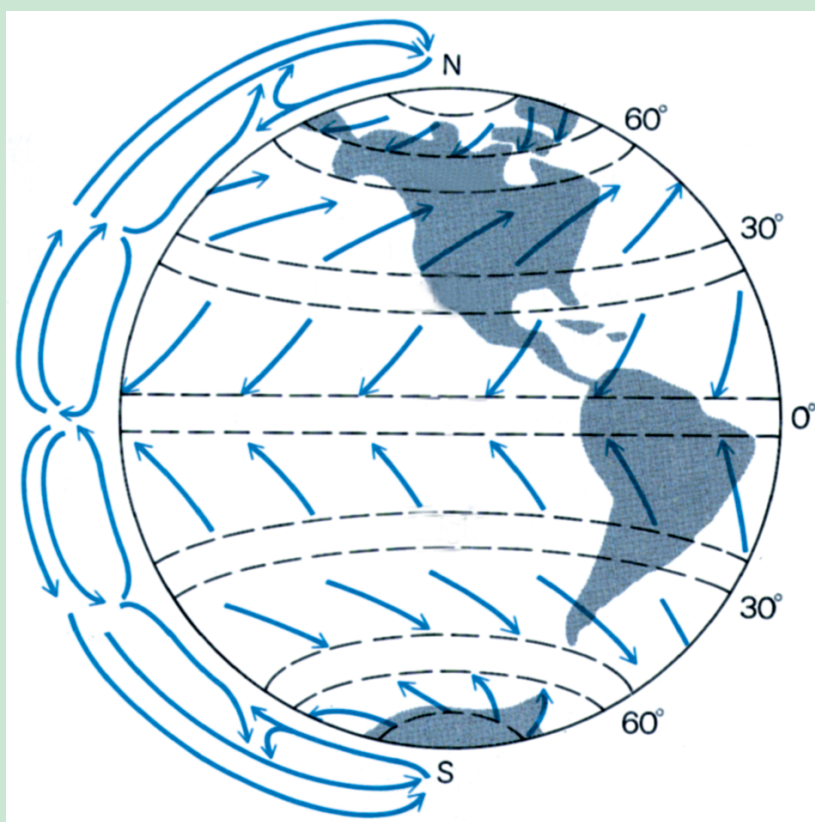
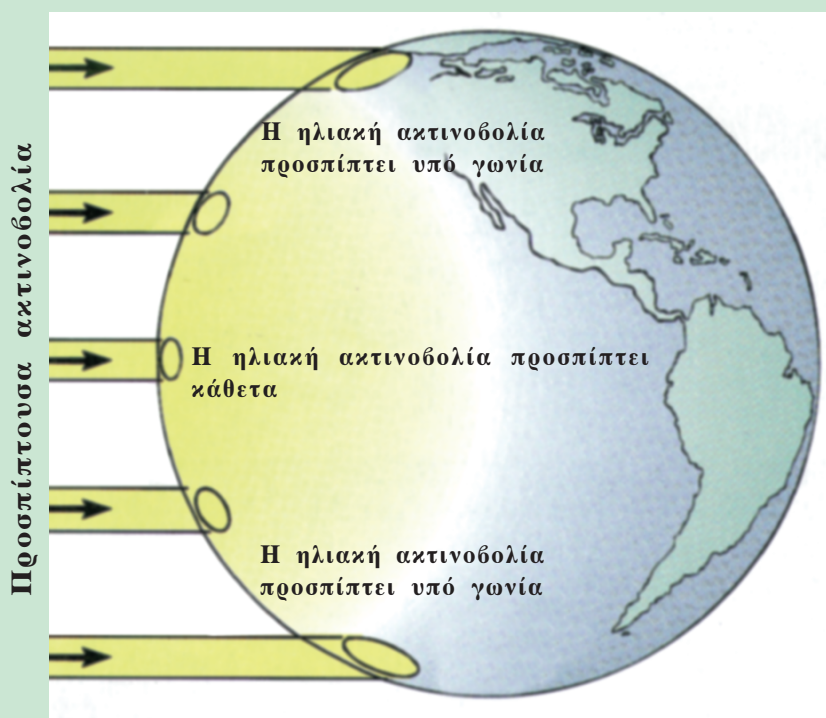
Στις περιγραφές μας θα χρησιμοποιήσουμε έννοιες τις οποίες συναντήσαμε σε αυτό το κεφάλαιο, όπως πίεση, θερμοκρασία, εσωτερική ενέργεια, θερμότητα, έργο και άλλες γνωστές από προηγούμενες τάξεις, όπως πυκνότητα, άνωση, εξάτμιση, υγροποίηση κτλ. Τρία είναι τα βασικά στοιχεία τα οποία εμπλέκονται στα καιρικά φαινόμενα:



Α) Ο Ήλιος ο οποίος είναι μια τεράστια πηγή ενέργειας που θερμαίνει τη Γη. Η θέρμανση γίνεται με τις ακτινοβολίες που εκπέμπει και ειδικότερα με τρεις από αυτές: α) το ορατό φως, β) την αόρατη ακτινοβολία που ονομάζεται υπέρυθρη ακτινοβολία και γ) την επίσης αόρατη ακτινοβολία που ονομάζεται υπεριώδης ακτινοβολία.

Β) Η ατμόσφαιρα η οποία με τα αέρια που περιλαμβάνει, καθορίζει το δάθος στο οποίο θα φτάσουν οι διάφορες ακτινοβολίες και το αποτέλεσμα που αυτές θα επιφέρουν στα διάφορα συστατικά, όπως το O_2 , το CO_2 , το νερό, κ.α.

Γ) Η Γη η οποία έχει ένα συγκεκριμένο ανάγλυφο από όρη, ωκεανούς, πεδιάδες, κ.α. Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της και ταυτόχρονα περιφέρεται γύρω από τον ήλιο. Ο άξονας περιστροφής της Γης παρουσιάζει κλίση $27,3^\circ$ ως προς το επίπεδο της τροχιάς της με αποτέλεσμα να μη δέχονται το ίδιο ποσοστό ακτινοβολίας οι περιοχές που βρίσκονται σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη. Η Γη, ενώ δέχεται ακτινοβολία από τον ήλιο με αποτέλεσμα να θερμαίνεται, ταυτόχρονα εκπέμπει ακτινοβολία με αποτέλεσμα να ψύχεται. Έτσι δια-



Λόγω διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ πόλων και ισημερινού, δημιουργούνται ρεύματα αέρα, με φορά από τον ισημερινό προς τους πόλους. Επίσης, δημιουργούνται ζώνες υψηλής και χαμηλής πίεσης, οι οποίες προσδιορίζουν τη φορά των ανέμων σε κάθε ημισφαίριο. Λόγω της περιστροφής της Γης, τα ρεύματα εκτρέπονται προς διαφορετικές κατευθύνσεις στο βόρειο και το νότιο ημισφαίριο.

μορφώνεται μια μέση τιμή θερμοκρασίας για όλο τον πλανήτη η οποία αλλάζει πολύ αργά και διαρκεί πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα προκαλώντας τεράστιες αλλαγές στο κλίμα της γης όπως π.χ. κατά την περίοδο των παγετώνων.

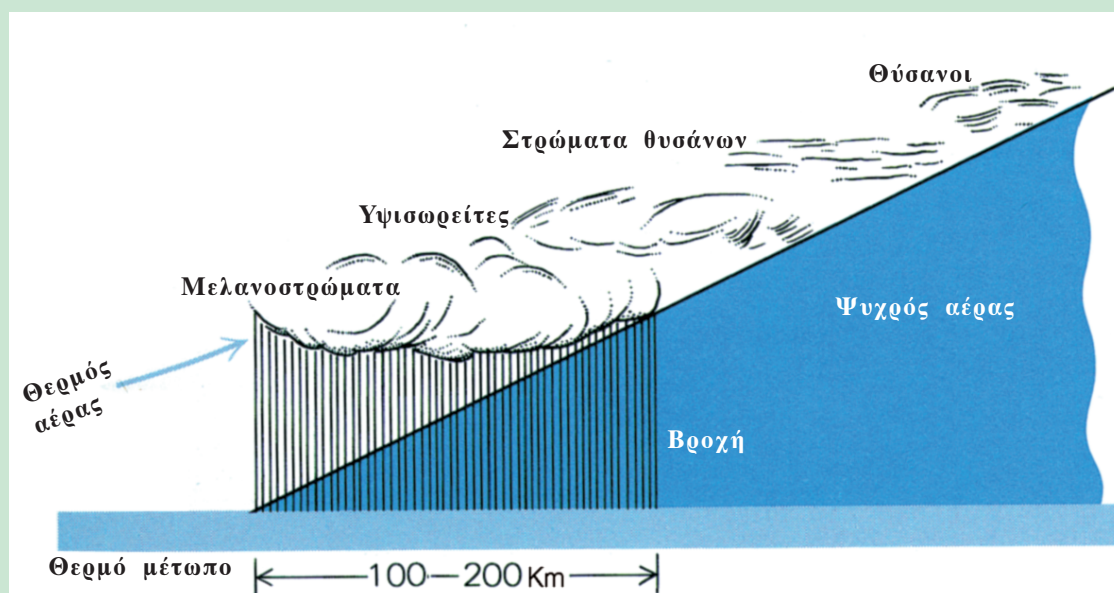
Η βασική επίδραση του ήλιου είναι η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας της ατμόσφαιρας της Γης, η οποία όμως δεν είναι ούτε ομοιόμορφη, ούτε συμμετρική. Έτσι ανάλογα με τη γωνία με την οποία η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης και με το χρονικό διάστημα για το οποίο αυτό συμβαίνει, προκαλείται ανάλογη αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας.

Οι διαφορές της θερμοκρασίας στις διάφορες περιοχές της ατμόσφαιρας έχουν ως αποτέλεσμα να τίθενται σε κίνηση μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικού αέρα.

Οι κινήσεις αυτές είναι ανυψωτικές, σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι υψηλή και καθοδικές σε περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλή.

Επίσης λόγω της περιστροφής της γης, οι αέριες μάζες τίθενται σε κυκλοτερή κίνηση σχηματίζοντας τεράστια ρεύματα αέρα τα οποία κινούνται μεταξύ περιοχών με διαφορετικές τιμές πίεσης και θερμοκρασίας.

Σε τοπικό επίπεδο τα ρεύματα αυτά κινούνται προς κατευθύνσεις οι οποίες προσδιορίζονται εκτός από τις διαφορές πίεσης και από τα στοιχεία του ανάγλυφου



της Γης όπως πεδιάδες, οροσειρές, ωκεανοί, κ.α.

Τα ρεύματα ατμοσφαιρικού αέρα τα οποία έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες και διαφορετικά ποσοστά υδρατμών, συνήθως αναφέρονται ως **μέτωπα**. Στις περιοχές όπου συναντιόνται τα μέτωπα συμβαίνουν αλλαγές στον καιρό και προκαλούνται φαινόμενα όπως βροχές, χιονοπτώσεις, καύσωνας, κ.τ.λ.

Τα ρεύματα αέρα, η εξάτμιση του νερού, η μεταφορά του αέρα και των υδρατμών από μια περιοχή σε άλλη απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας τα οποία προέρχονται από τον Ήλιο. Για να εκτιμήσουμε τα ποσά αυτά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα εξής δεδομένα:

1. Ο Ήλιος μετακινεί και συντηρεί σε διαρκή κίνηση 5.600.000.000.000.000 τόνους ατμοσφαιρικού αέρα.

2. Η ταχύτητα με την οποία γίνεται η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να είναι ή πολύ μικρή ή πάρα πολύ μεγάλη. Έχουν όμως μετρηθεί και ταχύτητες έως και 600km/h.

3. Μετακινεί τεράστιες ποσότητες σκόνης που συχνά φθάνουν τα 500.000.000 τόνους.

4. Ανυψώνει και συντηρεί στην ατμόσφαιρα τεράστιες ποσότητες νερού. Ένα συνηθισμένο σύννεφο περιέχει 100 έως 1000 τόνους νερού.

5. Η ενέργεια που εκλύεται σε μια καλοκαιρινή καταιγίδα είναι μεγαλύτερη από αυτή που ισοδυναμεί με 10 ατομικές βόμβες όπως αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στη Χιροσίμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Φαινόμενα όπως τήξη, θρασμός, διαστολή περιγράφονται με τις έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας.

Η ύλη αποτελείται από άτομα και μόρια που έχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- α) κινούνται και
- β) αλληλεπιδρούν.

Άρα τα μόρια θα έχουν κινητική και δυναμική ενέργεια. Εφ' όσον πρόκειται όμως για αραιά αέρια η δυναμική τους ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Στην περίπτωση αυτή ορίζουμε την **εσωτερική ενέργεια** U με τη σχέση: $U = N\bar{K}$, όπου \bar{K} η μέση κινητική ενέργεια των μορίων.

Η ιδιότητα των αερίων να ασκούν δυνάμεις στα τοιχώματα των δοχείων που τα περιέχουν περιγράφεται με τη χρήση του φυσικού μεγέθους της πίεσης. Η **πίεση** είναι το μονόμετρο μέγεθος που ορίζεται από το πηλίκο της κάθετης δύναμης F , προς την επιφάνεια S , στην οποία αυτή ασκείται δηλαδή $P = F/S$ με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα $1\text{N/m}^2 = 1 \text{ Pascal}$.

Αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός αερίου αυξάνεται η πίεσή του. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση της ταχύτητας του κάθε μορίου του.

Αν Q ονομάσουμε το ποσό της θερμότητας που απορροφάται από ένα αέριο, ΔU η αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας και W το έργο, τότε ισχύει η σχέση $Q = \Delta U + W$ που περιγράφει την **αρχή διατήρησης της ενέργειας**.

Μια μηχανή που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια απορροφά ενέργεια W_1 ενώ το έργο που παρέχει ένα W_2 .

Το πηλίκο W_2/W_1 ονομάζεται **απόδοση** της μηχανής. Δηλαδή:

$$\text{απόδοση} = \frac{\text{ενέργεια που αποδίδεται}}{\text{ενέργεια που απορροφάται}} \cdot 100\%$$

Ο ρυθμός με τον οποίο μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε κάποια άλλη, ονομάζεται **ισχύς** και συμβολίζεται με το P .

Έτσι αν μια ποσότητα ενέργειας W μετατρέπεται σε άλλη στη χρονική διάρκεια t , η ισχύς είναι $P = \frac{W}{t}$ με μονάδα

μέτρησης στο S.I. το $1 \text{ Watt} = \frac{1\text{Joule}}{\text{s}}$.