

ΦΥΣΙΚΗ

Με απόφαση της ελληνικής κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Δρ. Θάνος Δημοσθένης Παπαχρήστου Παναγιώτης
Δρ. Σκούντζος Παναγιώτης

Φ Υ Σ Ι Κ Η

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

Β' Τάξη 1ου Κύκλου

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΑΘΗΝΑ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ:

Θάνος Δημοσθένης

Φυσικός, Δρ. Μαθηματικών ΕΜΠ, υπεύθυνος ΕΚΦΕ, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, Γ΄ Αθηνών

Παπαχρήστου Παναγιώτης,

Φυσικής, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Σκούντζος Παναγιώτης,

Δρ. Φυσικός Ραδιοηλεκτρολόγος, Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ:

Παπαχρήστου Παναγιώτης,

Φυσικός, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ:

Γεωργακάκος Πέτρος,

Φυσικός, Καθηγητής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Κουλούρης Κων/νος,

Φυσικός, Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά

Σιγάλας Χρήστος,

Σχολικός Σύμβουλος Φυσικών

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

Μπουσούνη Ευαγγελία,

Φιλολόγος, Καθηγήτρια Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΕΙΜΕΝΩΝ:

Λιάρου Ελένη *Εκπαιδευτικός*

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ:

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το να γράψει κανείς ένα καινούριο βιβλίο φυσικής για μαθητές μιας καινούριας εκπαιδευτικής βαθμίδας της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, στην αρχή μιας νέας εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης, αποτελεί ίσως μεγάλη πρόκληση για όποιον εκπαιδευτικό αποτολμήσει να επωμιστεί την ευθύνη μιας τέτοιας προσπάθειας.

Κίνητρο για την ανάληψη αυτού του έργου απετέλεσε η επιθυμία μας να εκφράσουμε μέσα από το διδακτικό βιβλίο μια άλλη άποψη τόσο για τη διδασκαλία της φυσικής όσο και για το σκοπό που εξυπηρετεί αυτή.

Πιστεύουμε σε μια εννοιοκεντρική διδασκαλία προσανατολισμένη περισσότερο στην ποιοτική κατανόηση των φυσικών μεγεθών, βοηθούμενη από απλές πειραματικές αλλά και από νοητικές δραστηριότητες.

Αποβλέπουμε στο να δώσουμε στους μαθητές να καταλάβουν την αιτιώδη σχέση ανάμεσα στα διάφορα φυσικά μεγέθη και ότι οι φυσικοί νόμοι δεν είναι παρά η περιγραφή αυτής της σχέσης.

Το γεγονός ότι το βιβλίο αυτό περιλαμβάνει τα κεφάλαια της θερμότητας του ηλεκτρισμού και των ταλαντώσεων μας δίνει την ευκαιρία να ασχοληθούμε με θέματα που έχουν άμεση και ευρύτατη εφαρμογή τόσο στην καθημερινή μας ζωή όσο και στις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές.

Η παράθεση αρκετών ενθέτων, που χωρίς να αποτελούν υποχρεωτικό αντικείμενο εκμάθησης βοηθούν στο κέντρισμα του ενδιαφέροντος σε θέματα επιστημονικής και τεχνολογικής αιχμής, αποσκοπεί στην παρακίνηση του μαθητή να αναζητήσει και πρόσθετες γνώσεις πέρα από αυτές που υπαγορεύονται από τις σχολικές υποχρεώσεις τους.

Στο κεφάλαιο των ταλαντώσεων, που ήταν και το πιο πρόσφορο, ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στην πειραματική παραγωγή της γνώσης, μια διδακτική μεθοδολογία που αποτελεί την πεμπτουςία της διδακτικής της φυσικής, μιας και με τον τρόπο αυτό αναβαθμίζονται, ο μιν μαθητής από παθητικός δέκτης και θεατής σε πρωταγωνιστή ο δε καθηγητής από απόμακρος δάσκαλος ή κριτής σε σκηνοθέτη και συμμετοχο της διδακτικής πράξης.

Ελπίζουμε ότι η γόνιμη ζήμωση του περιεχομένου του βιβλίου με την προ-

σπάθεια των συναδέλφων που θα το διδάξουν θα ενσταλάξει στην συνείδηση των μαθητών την γνώση ότι ο κόσμος που μας περιβάλλει διέπεται από απλούς αλλά απaráβατους νόμους. Η παραβίαση των νόμων αυτών, με όποιο τρόπο και αν εκδηλώνεται (μόλυνση περιβάλλοντος, οικολογική υποβάθμιση, καταστρατήγηση κανόνων ασφαλείας, π.χ. στη δόμηση) έχει αναπόφευκτα οδυνηρές συνέπειες για τους ανθρώπους μια και εμείς είμαστε αναπόσπαστο κομμάτι της φύσης. Μέσα στα πλαίσια των νόμων αυτών όλα εξηγούνται και ερμηνεύονται και δεν υπάρχουν περιθώρια για μη φυσικές ερμηνείες. Όποιοι ισχυρίζονται κάτι άλλο είναι κοινοί τσαρλατάνοι.

Σ' αυτούς τους νόμους στηριζόμενοι η σύγχρονη τεχνολογία έχει καταγάγει θριάμβους.

Πίσω όμως απ' όλα αυτά τα εντυπωσιακά επιτεύγματά της βρίσκονται οι ίδιοι αυτοί απλοί νόμοι που διέπουν την κίνηση μιας σβούρας, το άναμμα ενός φακού, αιώρηση μιας κούνιας ή το φούσκωμα του μπαλονιού.

Η σημασία της διδασκαλίας της φυσικής στα Τ.Ε.Ε έχει επι πλέον να επιτελέσει και αυτόν ακριβώς το ρόλο, να απομυθοποιήσει, δηλαδή τα τεχνολογικά επιτεύγματα και να καταδείξει την προέλευσή τους από τις βασικές αρχές και τους απλούς νόμους της φυσικής. Θα επιτύχει έτσι να συμφιλιώσει το μέσο πολίτη με το τεχνολογικό περιβάλλον αφ' ενός και με τη φύση αφ' ετέρου, μια φύση της οποίας ο άνθρωπος δεν είναι ούτε ο ιδιοκτήτης ούτε ο δυνάστης αλλά τμήμα της και θαυμαστής συγχρόνως.

Τελειώνοντας, παραδίδουμε αυτό το βιβλίο στην καλόπιστη κριτική των αναγνωστών του με την ελπίδα ότι αυτή θα συντελέσει στη βελτίωση των όποιων ατελειών του.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κόσμος μας, τον οποίο αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας, αποτελείται από τα σώματα που μας περιβάλλουν, και από ένα άλλο συστατικό, που το ονομάζουμε ενέργεια.

Δεν είναι εύκολο να δώσουμε τον ορισμό της ενέργειας, ξέρουμε όμως ότι ενέργεια είναι, γενικά, εκείνο που αλλάζει τη μορφή του κόσμου. Για κάθε αλλαγή που συμβαίνει στο περιβάλλον μας ευθύνεται η ενέργεια με κάποια από τις πολλές μορφές της. Εμείς στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με εκείνη τη μορφή της ενέργειας που ονομάζουμε θερμότητα. Η θερμότητα μπορούμε να πούμε ότι είναι η μετεξέλιξη της «φωτιάς» (πυρ), που αποτελούσε για τους Αρχαίους Έλληνες, και ιδιαίτερα για τον Ηράκλειτο, ένα από τα τέσσερα στοιχεία του κόσμου.

Στις σελίδες που ακολουθούν θα γνωρίσουμε έννοιες της καθημερινής ζωής όπως η θερμοκρασία και θα μάθουμε ότι αυτή, πέρα από το να προσδιορίζει το αίσθημα του θερμού ή ψυχρού, αποτελεί ένα μέτρο της δραστηριότητας των δομικών συστατικών των σωμάτων, που είναι τα άτομα και τα μόρια. Θα καταλάβουμε ότι η θερμοκρασία, και συγκεκριμένα η διαφορά της ανάμεσα σε δύο σώματα, είναι αυτή που καθορίζει το κατά πόσον η ενέργεια υπό μορφή θερμότητας θα μεταφερθεί από το ένα σώμα στο άλλο.

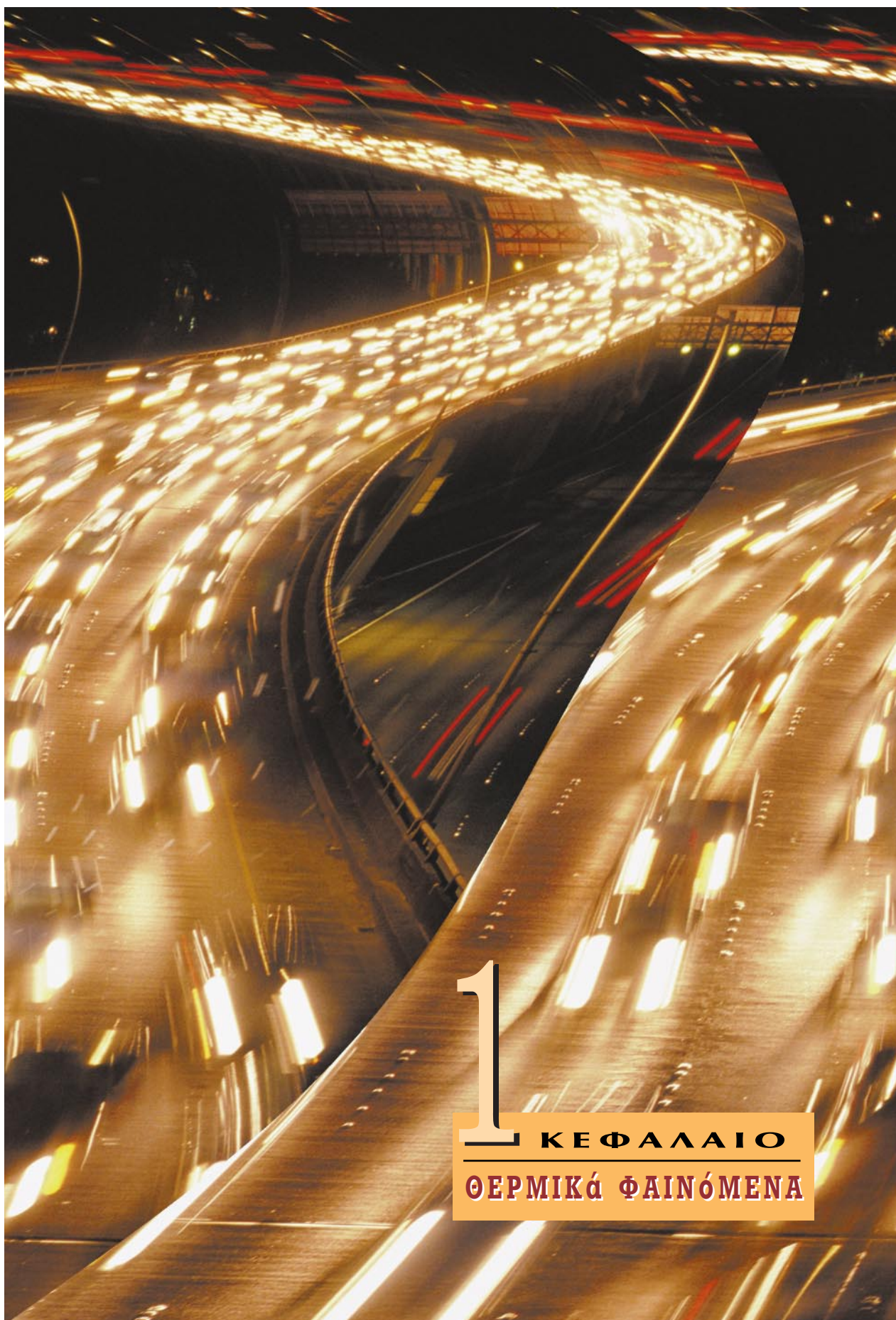
Ακόμη θα γνωρίσουμε δύο πολύ σπουδαίους νόμους, που πιστεύουμε ότι κυβερνούν ολόκληρο το Σύμπαν.

Ο ένας απ' αυτούς μας λέει ότι η ενέργεια διατηρείται, και είναι γνωστός με το όνομα: «πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής».

Σύμφωνα με αυτόν, η ενέργεια την οποία ξοδεύετε διαβάζοντας αυτές τις γραμμές, μαζί με κάθε άλλη ενέργεια που υπάρχει στο Σύμπαν, είναι ίση με την ενέργεια που είχε το Σύμπαν, όταν δημιουργήθηκε πριν από αρκετά δισεκατομμύρια χρόνια με τη μεγάλη έκρηξη (Big Bang), και θα είναι ίση με αυτήν που θα έχει ύστερα από μερικά δισεκατομμύρια χρόνια, όποια κι αν είναι η μοίρα του.

Ο άλλος νόμος μας λέει ότι η ενέργεια δεν έχει σε κάθε μορφή της την ίδια αξία και ότι σταδιακά υποβαθμίζεται· ο νόμος αυτός είναι γνωστός με το όνομα: «δεύτερος νόμος της Θερμοδυναμικής».

Σύμφωνα με αυτόν καθετί που συμβαίνει στον κόσμο οδηγεί σε μια κατάσταση μικρότερης ενεργειακής αξίας. Δηλαδή, ναι μεν η συνολική ενέργεια στον κόσμο ποσοτικά παραμένει η ίδια, η αξία της όμως συνεχώς ελαττώνεται στο βαθμό που αυξάνεται η ακαταστασία στον κόσμο. Οργανωμένη ενέργεια είναι ενέργεια μεγαλύτερης αξίας από το ίδιο ποσό ανοργάνωτης ενέργειας (π.χ. Ένας κύβος ζάχαρης περικλείει ενέργεια μεγαλύτερης αξίας απ' ό,τι τα μόριά του όταν αυτός διαλυθεί σε ένα ποτήρι νερό).



1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

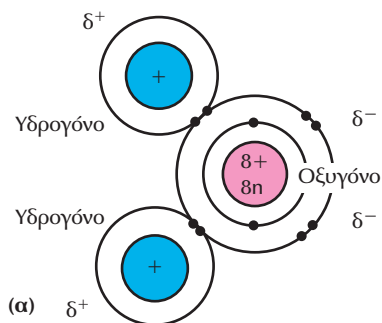
ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

1.1 Δομή στερεών, υγρών και αερίων



Εικ. 1.1 Πόσα θέματα που έχουν σχέση με τη φυσική βλέπετε σ' αυτή τη φωτογραφία;

... 'ισοιλιξη λιξη
-ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη
-ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη
-ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη
(α) 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη 'ισοιλιξη

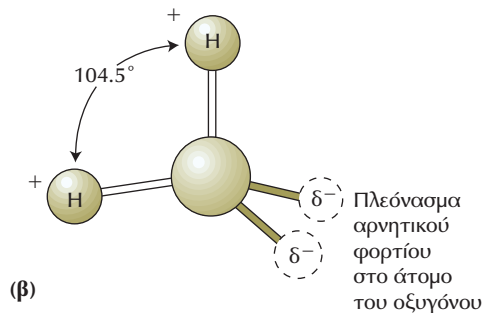


Ο κόσμος γύρω μας αποτελείται από μια τεράστια ποικιλία πραγμάτων και φαινομένων. Σκοπός της φυσικής είναι να ταξινομήσει αυτή την απέραντη ποικιλότητα των πραγμάτων και να βρει σχέσεις ανάμεσα στα διάφορα φαινόμενα που εκδηλώνονται συνεχώς στο περιβάλλον μας.

Η πρώτη ταξινόμηση που μπορούμε να κάνουμε για τα σώματα τα οποία μας περιβάλλουν είναι να τα κατατάξουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την εντύπωση που μας προκαλεί η επαφή μαζί τους.

α) Στερεά β) Υγρά γ) Αέρια

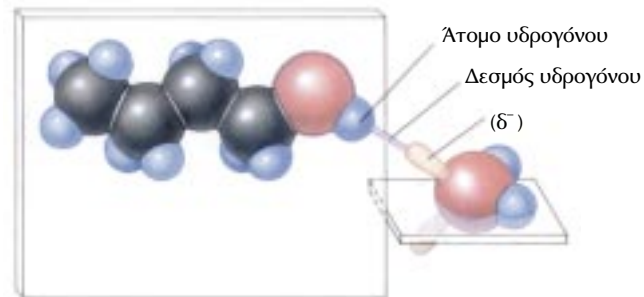
Βέβαια όλοι έχουμε άμεση εμπειρία των τριών αυτών κατηγοριών και γνωρίζουμε τις **μακροσκοπικές** ιδιοτήτες τους. Ας δούμε τώρα σε τι διαφέρουν από **μικροσκοπική άποψη**.



Εικ. 1.2 Μοντέλο του μορίου του νερού (α) σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr*, (β) η αντίστοιχη κατασκευή με μπαλάκια και ξυλάκια.

Οι τρεις αυτές κατηγορίες, οι οποίες ονομάζονται και **καταστάσεις** της ύλης (ή **φάσεις**), διακρίνονται μεταξύ τους από την ισχύ των ελκτικών δυνάμεων (δυ-

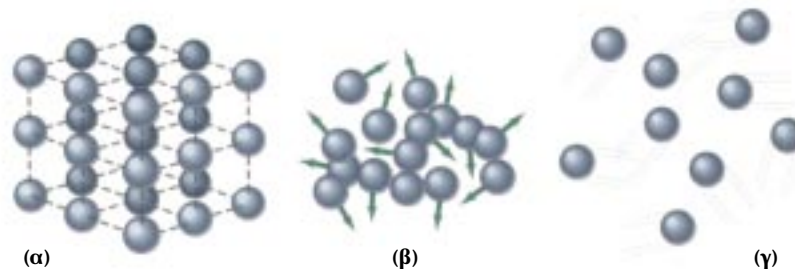
* Σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr το άτομο κάθε στοιχείου παριστάνεται με ένα πλανητικό σύστημα, όπου τη θέση του ήλιου κατέχει ο πυρήνας, όπου βρίσκονται συγκεντρωμένα τα πρωτόνια και τα νετρόνια του ατόμου, ενώ γύρω απ' αυτόν περιφέρονται τα ηλεκτρόνια σε διαφορετικές τροχιές.



Εικ. 1.3 Σχηματική αναπαράσταση της σύνδεσης μορίων μεταξύ τους με το λεγόμενο δεσμό υδρογόνου.

νάμεις συνοχής) με τις οποίες τα μόρια ή τα άτομα που συνθέτουν τα διάφορα σώματα συνδέονται μεταξύ τους.

Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων έχουν ηλεκτρική προέλευση και οφείλονται στο ότι τα μόρια, αν και ηλεκτρικά ουδέτερα, παρουσιάζουν ανισομερή κατανομή του θετικού και του αρνητικού φορτίου τους στο χώρο, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των ετερόσημων περιοχών τους. (Εικ. 1.2α, β).



Εικ. 1.4 Σχηματική αναπαράσταση των μορίων (α) ενός στερεού, όπου τα μόρια είναι εντοπισμένα σε σχεδόν συγκεκριμένες θέσεις, γύρω από τις οποίες εκτελούν ταλαντώσεις μικρού πλάτους, (β) ενός υγρού, όπου τα μόρια κινούνται με μεγαλύτερη σχετικά ελευθερία χωρίς όμως να απομακρύνονται πολύ μεταξύ τους και (γ) ενός αερίου, όπου η κίνηση των μορίων είναι ακανόνιστη χωρίς καμιά μεταξύ τους αλληλεπίδραση.

Αν τα μόρια πλησιάσουν αρκετά, η μεταξύ τους δύναμη γίνεται απωστική (ηλεκτρική άπωση μεταξύ των ηλεκτρονίων των εξωτερικών στιβάδων). Έτσι, τα μόρια διατηρούνται σε μια απόσταση ισορροπίας μεταξύ τους. Σε ένα στερεό οι ελκτικές δυνάμεις είναι τόσο ισχυρές, ώστε τα άτομα ή τα μόρια συγκρατούνται σε σταθερές περίπου θέσεις, που τις λέμε θέσεις ισορροπίας, οι οποίες συχνά σχηματίζουν μια συμμετρική διάταξη στο χώρο, γνωστή ως κρυσταλλικό πλέγμα (Εικ. 1.4α).



Εικ. 1.5 Τροχιά σωματιδίου αιωρούμενου στο νερό. Τα ευθύγραμμα τμήματα συνδέουν τις θέσεις του σωματιδίου σε ίσα χρονικά διαστήματα. Το διάγραμμα έχει την ίδια μορφή ανεξάρτητα αν το χρονικό διάστημα είναι 60 s ή 0,1 s.

Τα άτομα ή τα μόρια σε ένα στερεό ταλαντώνται περί τη θέση ισορροπίας τους. Σε ένα υγρό οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων είναι ασθενέστερες, έτσι ώστε αυτά να μη διατηρούνται σε σταθερές θέσεις, αλλά να μπορούν να «κυλούν» το ένα γύρω από το άλλο, με συνέπεια να μην μπορεί το υγρό συνολικά να διατηρήσει ένα σταθερό σχήμα (Εικ. 1.4β.).

Σε ένα αέριο οι δυνάμεις αυτές είναι τόσο ασθενείς, ώστε τα μόρια δεν παραμένουν ενωμένα, αλλά κινούνται με μεγάλες ταχύτητες προς όλες τις κατευθύνσεις, καταλαμβάνοντας όσο χώρο είναι διαθέσιμος (Εικ. 1.4γ.). Κατά μέσο όρο οι ταχύτητές τους είναι τόσο μεγάλες, ώστε όταν συγκρούονται μεταξύ τους, η ελκτική δύναμη δεν είναι ικανή να τα συγκρατήσει και αναπηδούν προς άλλες κατευθύνσεις.

Παράδειγμα 1

Εκτιμήστε τη μέση απόσταση d μεταξύ των ατόμων του χαλκού.

Δίδονται: Πυκνότητα χαλκού $\rho = 8,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Ατομική μάζα του χαλκού $A_{\text{Cu}} = 63 \text{ α.μ.μ.}$ ($1 \text{ α.μ.μ.} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$).

Λύση:

Θα είναι: $m_{\text{Cu}} = 63 \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1,04 \times 10^{-25} \text{ kg}$.

Συνεπώς, 1 m^3 χαλκού θα περιέχει:

$$\frac{8,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3}{1,04 \times 10^{-25} \text{ kg/άτομο}} = 8,5 \times 10^{28} \text{ άτομα / m}^3.$$

Σε κάθε ακμή μήκους 1m θα υπάρχουν:

$$(8,5 \times 10^{28})^{1/3} = 4,4 \times 10^9 \text{ άτομα}.$$

Συνεπώς, η μέση απόσταση d μεταξύ γειτονικών ατόμων είναι:

$$d = \frac{1 \text{ m}}{4,4 \times 10^9 \text{ άτομα}} = 2,3 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

1.2. Θερμοκρασία – Θερμόμετρα

Στην καθημερινή ζωή η **θερμοκρασία** μάς βοηθά να εκφράσουμε το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα. Ένα αναμμένο κάρβουνο λέμε ότι έχει υψηλή θερμοκρασία, ενώ ένα κομμάτι πάγος λέμε ότι έχει χαμηλή θερμοκρασία.

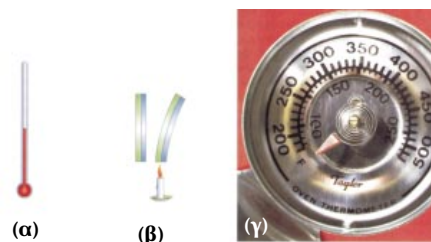
Πολλές ιδιότητες των υλικών σωμάτων μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία. Το μήκος μιας σιδερένιας ράβδου αυξάνεται, όταν αυτή θερμανθεί. Η ηλεκτρική αντίσταση των διάφορων υλικών αλλάζει με τη θερμοκρασία. Το φως που εκπέμπεται από τα πυρακτωμένα σώματα αλλάζει χρώμα από το βαθύ κόκκινο προς το ανοικτό κίτρινο, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία τους.

Το λευκό φως από μια συνηθισμένη λάμπα πυράκτωσης οφείλεται στο εξαιρετικά θερμό νήμα από βολφράμιο. Η επιφανειακή θερμοκρασία του ήλιου και των άλλων αστεριών μπορεί να μετρηθεί από το χρώμα που επικρατεί στο φως τους.

Τα όργανα που είναι σχεδιασμένα για να μετρούν τη θερμοκρασία ονομάζονται **θερμόμετρα**. Υπάρχουν πολλά είδη θερμομέτρων. Όλων όμως η λειτουργία στηρίζεται σε κάποια ιδιότητα^(*) των σωμάτων η οποία αλλάζει με τη θερμοκρασία και την οποία ονομάζουμε **θερμομετρική ιδιότητα**. Τα πιο συνηθισμένα θερμόμετρα βασίζονται στη **διαστολή** των υλικών με την αύξηση της θερμοκρασίας.



Εικ. 1.6 Γέφυρα με πρόβλεψη της διαστολής και συστολής της λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας.



Εικ. 1.7 α) Υδραργυρικό ή οινόπνευματικό θερμόμετρο, β) διμεταλλικό έλασμα, γ) φωτογραφία διμεταλλικού θερμομέτρου

Μπορούμε να πούμε ότι η θερμοκρασία είναι ένα «μέτρο», μια ένδειξη του πόσο ζεστό ή ψυχρό είναι ένα σώμα, και ότι δε συνδέεται άμεσα με τη θερμότητα που αυτό μπορεί να πάρει ή να δώσει.

* Μήκος, αντίσταση, τάση.



Εικ. 1.11 Η θερμότητα και η θερμοκρασία είναι διαφορετικές φυσικές έννοιες: (α) Ένα κερί έχει υψηλή θερμοκρασία, αλλά θερμαίνει λίγο, (β) ένα καλοριφέρ έχει χαμηλή θερμοκρασία, αλλά θερμαίνει πολύ.

Δραστηριότητα 1

Σε ένα μαγειρικό σκεύος (κατσαρόλα) ρίξτε ενάμισι λίτρο νερό της βρύσης και μισό λίτρο πάγο, που είχατε βάλει από το βράδυ στην κατάψυξη. Στη συνέχεια βάλτε το χέρι σας και δοκιμάστε τη θερμοκρασία του. Ακολούθως τοποθετήστε το στην εστία («μάτι») της ηλεκτρικής κουζίνας για 10 λεπτά και ξαναδοκιμάστε τη θερμοκρασία του. Θα διαπιστώσετε ότι, παρ' όλο που το έχετε βάλει στο αναμμένο «μάτι» και το ζεσταίνετε για 10 λεπτά, η θερμοκρασία του παραμένει η ίδια.

Συμπέρασμα: Παρ' όλο που ζεστάναμε το νερό, η θερμοκρασία του δεν ανέβηκε. Άρα, η θερμοκρασία δεν έχει σχέση με το πόση «ζέστη» «υπάρχει» στο δοχείο μέσα στο οποίο βρίσκεται το νερό.

Προσοχή: Ακουμπήστε στιγμιαία το «αναμμένο μάτι» πάνω στο οποίο βρίσκεται το δοχείο με το νερό. Τι διαπιστώνετε; Μήπως αυτό «καίει»; Η «ζέστη» φεύγει από το μάτι και πηγαίνει στο νερό, η θερμοκρασία του όμως δεν ανεβαίνει.

Γιατί, κατά τη γνώμη σας, δεν αυξάνεται η θερμοκρασία όσο διαρκεί το λιώσιμο του πάγου;

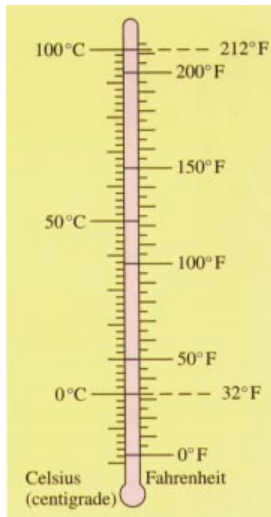
Για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία, πρέπει να καθορίσουμε ένα είδος κλίμακας. Ένας τρόπος για να ορίσουμε μια κλίμακα θερμοκρασιών, εκμεταλλευόμενοι τη μεταβολή του όγκου (θερμομετρική ιδιότητα), είναι να δώσουμε αυθαίρετες τιμές σε δύο σταθερές θερμοκρασίες, τις οποίες μπορούμε εύκολα να αναπαράγουμε.

Οι πιο συνηθισμένες σήμερα κλίμακες είναι του Κελσίου (Celsius) και του Φαρενάιτ (Fahrenheit). Για τις δύο αυτές κλίμακες (Εικ. 1.12.), ως σταθερές θερμοκρασίες, που εύκολα αναπαράγονται, έχουν επιλεγεί οι θερμοκρασίες πήξης και βρασμού, του καθαρού νερού σε πίεση μιας ατμόσφαιρας.

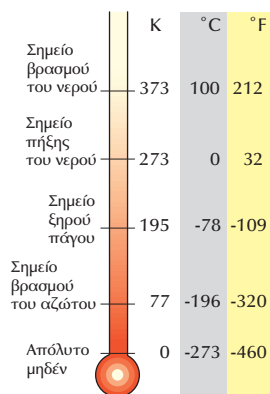
Εκτός από τις δύο προηγούμενες κλίμακες υπάρχει και η απόλυτη κλίμακα ή κλίμακα Κέλβιν (Kelvin), που θα τη συναντήσουμε αργότερα. Η κλίμακα αυτή διαφέρει από την κλίμακα Κελσίου κατά μία μόνο σταθερά:

$$T_{(K)} = T_{(^{\circ}C)} + 273,15 \text{ } ^{\circ}C$$

Συνεπώς, κάθε διαφορά θερμοκρασίας ΔT ή $T_2 - T_1$ είναι η ίδια και στις δύο κλίμακες (Εικ. 1.14).

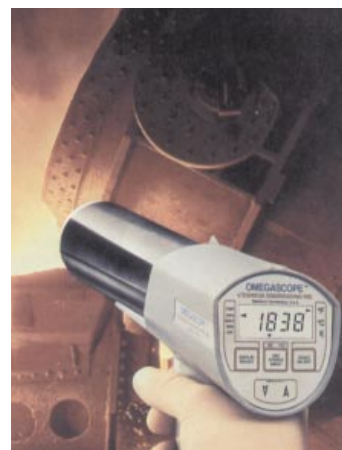
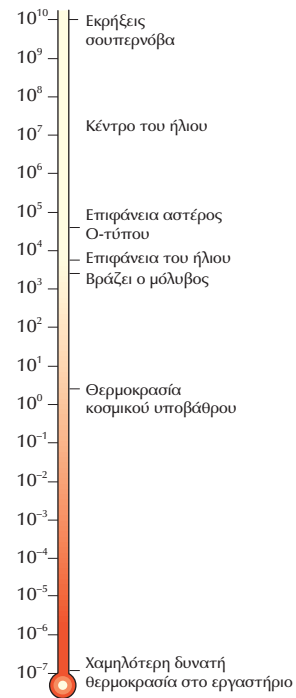


Εικ. 1.12 Οι θερμομετρικές κλίμακες Κελσίου και Φαρενάιτ σε αντιπαράθεση



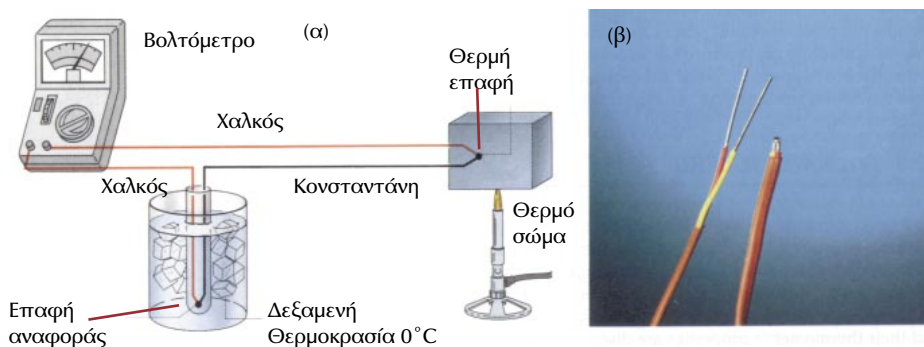
Εικ. 1.14 Σύγκριση των θερμομετρικών κλιμάκων Κελσίου, Φαρενάιτ και Κέλβιν.

Εικ. 1.13 Η έκταση των παρατηρούμενων στη φύση θερμοκρασιών και οι αντίστοιχες φυσικές καταστάσεις στις οποίες αυτές παρατηρούνται.



Εικ. 1.15 Ένα ειδικό θερμόμετρο (πυρόμετρο υπεράυθρου), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του λιωμένου χάλυβα.

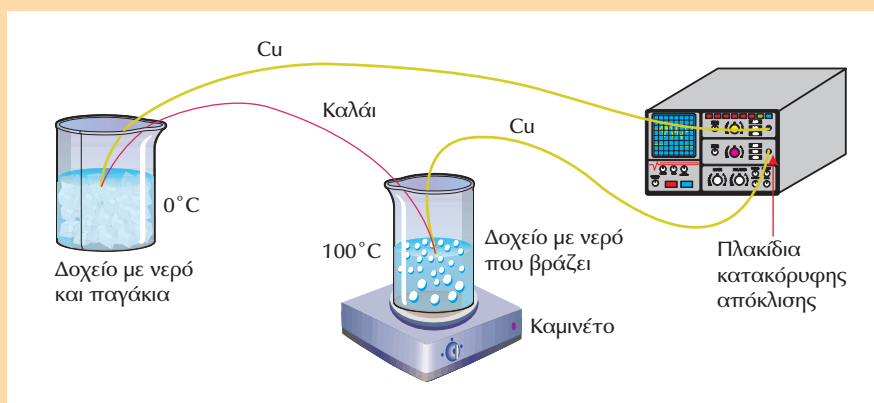
Ένα άλλο είδος θερμομέτρου είναι το θερμοζεύγος, που βασίζεται στο γεγονός ότι όταν οι επαφές δύο διαφορετικών μετάλλων βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία, μεταξύ τους αναπτύσσεται μια τάση, που λέγεται **θερμοηλεκτρική τάση**. Στην εικόνα 1.16 φαίνεται ο τρόπος που χρησιμοποιούμε ένα θερμοζεύγος, για να μετρήσουμε τη θερμοκρασία σε σημεία όπου είναι δύσκολο να χρησιμοποιήσουμε άλλο θερμομέτρο.



Εικ. 1.16 Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης που χρησιμοποιεί θερμοζεύγος για τη μέτρηση θερμοκρασίας σε σημείο όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη. (α) Φωτογραφία ενός θερμοζεύγους (β)

Δραστηριότητα 2

Πάρτε δύο χάλκινα καλώδια και ένα κομμάτι κόλληση και πραγματοποιήστε την ακόλουθη σύνδεση (Εικ. 1.17.).



Παρατηρήστε την απόκλιση της δέσμης του παλμογράφου, όταν αυτός βρίσκεται στη μέγιστη ευαισθησία. Θα μπορούσατε αντί για παλμογράφο να χρησιμοποιήσετε ένα μικροβολτόμετρο.

1.2α Θερμική ισορροπία

Ένα οποιοδήποτε θερμόμετρο μας δείχνει τη θερμοκρασία του. Πού βασιζόμαστε όμως εμείς, όταν λέμε ότι η θερμοκρασία που δείχνει το θερμόμετρο στον τοίχο ενός δωματίου του σπιτιού μας είναι και η θερμοκρασία αυτού του δωματίου;

Η απάντηση βρίσκεται στην κατασταλαγμένη εμπειρία αιώνων, που μας λέει ότι σώματα που βρίσκονται σε επαφή για αρκετό χρονικό διάστημα τελικά αποκτούν την ίδια θερμοκρασία.

Για την περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε τον όρο **«θερμική ισορροπία»**. Όταν λέμε, λοιπόν, θερμική ισορροπία, εννοούμε την κατάσταση εκείνη κατά την οποία σε δύο σώματα που βρίσκονται σε θερμική επαφή δε συμβαίνει καμιά πλέον μεταβολή στην κοινή, τελικά, θερμοκρασία τους.

Την εξίσωση και τη σταθεροποίηση των θερμοκρασιών σε συγκεκριμένη τιμή την επιβεβαιώνει η ένδειξη του θερμομέτρου. Δηλαδή, φέρνουμε σε επαφή το ένα από τα δύο σώματα με ένα θερμόμετρο, στη συνέχεια κάνουμε το ίδιο και με το άλλο και διαπιστώνουμε την ισότητα και τη σταθερότητα των θερμοκρασιών. Χρησιμοποιήσαμε, δηλαδή, έστω και χωρίς να το καταλάβουμε, μια παραδοχή.

Αυτή η παραδοχή, που ανεπαίσθητα υπεισέρχεται σε κάθε πράξη θερμομέτρησης, είναι αυτό που συχνά αναφέρεται ως **«Μηδενικός νόμος της θερμοδυναμικής»**.

«Όταν δύο ή περισσότερα σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με τρίτο σώμα (θερμόμετρο), θα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία και μεταξύ τους».

1.3 Εσωτερική ενέργεια και θερμότητα

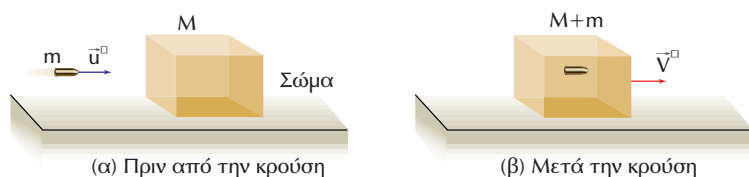
Το 1827 ο Brown παρατήρησε με το μικροσκόπιο ότι κόκκοι γύρης σε μια σταγόνα νερό εκτελούν μια άτακτη και αέναη κίνηση.

Το 1905 ο Einstein απέδωσε αυτή την κίνηση στον αδιάκοπο βομβαρδισμό των κόκκων της γύρης από τα μόρια του νερού. Συμπέρασμα: τα μόρια βρίσκονται σε αδιάκοπη, άτακτη, τυχαία κίνηση.

Το ίδιο παρατηρείται και στα άτομα ή στα μόρια των διάφορων σωμάτων. Σε όποια κατάσταση και αν βρίσκονται εκτελούν και τυχαίες κινήσεις σε μεγαλύτερη ή μικρότερη έκταση, ανάλογα αν είναι αέρια υγρά ή στερεά. Η άτακτη αυτή κίνηση των μορίων ή των ατόμων ενός σώματος ονομάζεται **θερμική κίνηση**.

Έχουμε μάθει ότι η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας είναι πολύ αποτελεσματική στο να περιγράφει τις μεταβολές της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας ενός σώματος.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις κατά τις οποίες η αρχή αυτή δε μας βοηθά. Όταν, για παράδειγμα, εξετάζουμε την περίπτωση μιας σφαίρας μάζας m με ταχύτητα u , που σφηνώνεται σε ένα ακίνητο σώμα με μάζα M και μετά και τα δύο μαζί κινούνται με ταχύτητα V (πλαστική κρούση), παρ' όλο που η αρχή διατήρησης της ορμής ισχύει, η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (σ' αυτή την περίπτωση μόνο κινητική) παραβιάζεται. (Εικ. 1.18).



Εικ. 1.18 Πλαστική κρούση. (α) Πριν από την κρούση το σώμα βρίσκεται ακίνητο στο δάπεδο, με το οποίο ο συντελεστής τριβής θεωρείται μηδέν. (β) Μετά την κρούση το σώμα μαζί με τη σφαίρα κινούνται με ταχύτητα V , έτσι ώστε η αρχή διατήρησης της ορμής να ισχύει, όχι, όμως, και η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

Δραστηριότητα 3

Άφησε ένα μπαλάκι του πινγκ-πογκ να πέσει στο δάπεδο (μωσαϊκό) από ύψος περίπου 1 μέτρου. Θα φτάσει το μπαλάκι στο ίδιο ύψος; Τη διαφορά αυτή πού την αποδίδεις; (Μήπως στην αντίσταση του αέρα;).

Κάνε το ίδιο τώρα με ένα παρόμοιο μπαλάκι από πλαστελίνη.

Τι θα διαπιστώσεις; Πώς θα δικαιολογήσεις τώρα την απώλεια της ενέργειας;

Στο προηγούμενο παράδειγμα (Εικ. 1.18), εν τούτοις, αν μπορούσαμε να μετρήσουμε με ακρίβεια τη θερμοκρασία της σφαίρας και του σώματος πριν και μετά την κρούση, θα τη βρίσκαμε λίγο αυξημένη αμέσως μετά την κρούση. Μήπως αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας των δύο σωμάτων μας παρακινεί να σκεφτούμε ότι υπάρχει σ' αυτά τα δύο σώματα μια άλλη μορφή ενέργειας εκτός της μηχανικής, η μεταβολή της οποίας σχετίζεται με την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας, έτσι ώστε να ισχύει και σ' αυτή την περίπτωση μια γενικότερη αρχή διατήρησης της ενέργειας. Η απάντηση είναι ναι. Η καινούρια μορφή ενέργειας που υπάρχει σε κάθε σώμα, και που αλλάζει στην προηγούμενη περίπτωση, ονομάζεται **εσωτερική ενέργεια** και συμβολίζεται με U . Ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της φυσικής του 19ου αιώνα ήταν η καθιέρωση της άποψης ότι κάθε σώμα διαθέτει **εσωτερική ενέργεια** και ότι η θερμοκρασία του σχετίζεται με το ποσό της εσωτερικής του ενέργειας.

Η εσωτερική ενέργεια περιλαμβάνει τις διάφορες μορφές ενέργειας που έχουν (ή που μπορούν να αποκτήσουν) τα μόρια ενός σώματος.

Π.χ., τα μόρια ενός στερεού μπορεί να έχουν τόσο κινητική ενέργεια λόγω τυχαίας ταλάντωσης περί τη μέση θέση ισορροπίας τους, όσο και δυναμική, λόγω των ελκτικών δυνάμεων που ασκούν το ένα στο άλλο.

Συνεπώς, η τυχαία κινητική ενέργεια των μορίων ενός σώματος, η οποία είναι μέρος της εσωτερικής ενέργειας του σώματος, είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Δραστηριότητα 4 (Νοητική)

Πάρτε μια σύριγγα της οποίας το έμβολο μπορεί να κινείται, αν σ' αυτό ασκηθεί δύναμη F . Τραβάτε το έμβολο πρώτα έξω, ώστε ο περιεχόμενος αέρας να είναι 10 cm^3 . Ακολουθώντας, σφραγίστε το στόμιο. Παρατηρείτε το έμβολο και διαπιστώνετε ότι όση ώρα και να περιμένετε αυτό δε μετακινείται. Τι συμπεραίνετε; (Ότι οι δυνάμεις εκατέρωθεν του εμβόλου είναι ίσες, γιατί οι πιέσεις είναι ίσες με την ατμοσφαιρική P_{atm}).

Υποθέστε τώρα ότι η σύριγγα ξαφνικά βρέθηκε στο διάστημα, όπου η πίεση είναι σχεδόν μηδέν. Τι περιμένετε να παρατηρήσετε; Μήπως να βγαίνει το έμβολο προς τα έξω; Δηλαδή, το αέριο θα κινεί το έμβολο και θα παράγει έργο. Ποιος θα το προσφέρει αυτό το έργο; Τι περιμένετε να συμβεί με τη θερμοκρασία του αερίου; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Δραστηριότητα 5

Πάρτε μια αντλία (τρόμπα) ποδηλάτου και σφραγίστε καλά με το δάκτυλό σας το άκρο απ' όπου βγαίνει ο αέρας, έχοντας το έμβολο τραβηγμένο προς τα έξω. Συμπιέστε απότομα το έμβολο με το άλλο χέρι.

Τι παρατηρείτε; Αν διαπιστώσατε ότι το άκρο αυτό θερμάνθηκε, πώς το εξηγείτε; Το έργο που καταναλώσατε συμπιέζοντας τον αέρα μήπως αύξησε την εσωτερική ενέργεια του αέρα και συνεπώς και τη θερμοκρασία του;

Δραστηριότητα 6

Πάρτε μια σύριγγα των 20 cm^3 με εγκλωβισμένο στο εσωτερικό της αέρα όγκου 10 cm^3 και σφραγίστε το άκρο της.

Στη συνέχεια, τοποθετήστε τη σε ένα δοχείο με νερό θερμοκρασίας περίπου 100°C , αφού προηγουμένως έχετε ακινητοποιήσει το έμβολο με μια καρφίτσα. Περιμένετε λίγη ώρα και στη συνέχεια αφαιρέστε την καρφίτσα. Τι θα παρατηρήσετε. Αν διαπιστώσετε ότι το έμβολο κινείται προς τα έξω, πώς το εξηγείτε; Ποιος προσφέρει το έργο για τη μετακίνηση του εμβόλου;

Από τις προηγούμενες δραστηριότητες συμπεραίνουμε ότι η εσωτερική ενέργεια ενός σώματος μπορεί να μεταβληθεί με δυο τρόπους:

Πρώτος τρόπος: Μηχανικό έργο μπορεί να παραχθεί από το σώμα με αποτέλεσμα την **ελάττωση** της εσωτερικής ενέργειάς του ή μηχανικό έργο μπορεί να καταναλωθεί στο σώμα (από εξωτερικές δυνάμεις) με αποτέλεσμα την **αύξηση** της εσωτερικής ενέργειάς του.

Δεύτερος τρόπος: Η εσωτερική ενέργεια ενός σώματος μπορεί να αυξηθεί ή να ελαττωθεί λόγω της αλληλεπίδρασής του με ένα άλλο σώμα διαφορετικής θερμοκρασίας.

Αυτή η ποσότητα εσωτερικής ενέργειας, που μεταφέρεται αποκλειστικά λόγω διαφοράς θερμοκρασίας, ονομάζεται **θερμότητα**.

1.4 1ος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Απ' όλα όσα αναφέραμε συμπεραίνουμε ότι η αρχή διατήρησης της ενέργειας μπορεί να επαναδιατυπωθεί, έτσι ώστε να περιλαμβάνει και περιπτώσεις όπως αυτές που θεωρήσαμε, στις οποίες η μηχανική ενέργεια φαίνεται ότι δε διατηρείται. Η νέα αυτή διατύπωση θα αποτελέσει τον: **«Πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής»**.

Η θερμότητα που ανταλλάσσει ένα σώμα με το περιβάλλον του μπορεί να θεωρηθεί είτε ως μηχανικό έργο είτε ως μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ή ότι είναι και τα δύο.

Μπορούμε να εκφράσουμε τα προηγούμενα με τη μορφή μιας εξίσωσης:

Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής	$Q = W + \Delta U$	(1α)
------------------------------------	--------------------	------

Όπου:

Q	=	Η θερμότητα που προσφέρεται στο σώμα.
W	=	Το μηχανικό έργο που παράγει το σώμα.
ΔU	=	Η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του σώματος.

Αναδιατάσσοντας τη σχέση 1α έχουμε:

$$\Delta U = Q - W \quad (1\beta)$$

Η σχέση (1β) μπορεί να θεωρηθεί ως ο ορισμός της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας.

Παρατήρηση 1:

Στην εσωτερική ενέργεια, όπως και στη δυναμική, σημασία έχουν μόνο οι μεταβολές τους. Μπορούμε όμως να τους αποδώσουμε και απόλυτη αξία, αποδίδοντας αυθαίρετα σε μια κατάσταση κάποια συγκεκριμένη τιμή.

Παράδειγμα 2

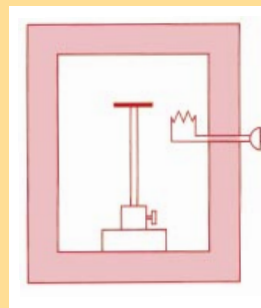
Μια κατακόρυφη μεταλλική ράβδος με αμελητέα μάζα στηρίζει ένα σώμα βάρους 500 N. Η ράβδος μαζί με το σώμα βρίσκονται στο εσωτερικό ενός ηλεκτρικού φούρνου (Εικ. 1.19.).

Η ράβδος επιμηκύνεται κατά 2 mm, όταν απορροφήσει από το φούρνο 500,0 J. Πόσο αυξάνεται η εσωτερική ενέργεια της ;

Λύση:

Το έργο που παράγει η ράβδος ισούται με την αύξηση της δυναμικής ενέργειας του σώματος.

$$\Delta E_A = B \times h = (500 \text{ N}) (2 \times 10^{-3} \text{ m}) = 1,0 \text{ J}$$



Εικ. 1.19 Διάταξη για την πειραματική διερεύνηση του 1ου νόμου.

Από τη σχέση (1β) έχουμε:

$$\Delta U = Q - W = 500,0 \text{ J} - 1,0 \text{ J} = 499 \text{ J}$$

Ένα σώμα που δεν αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του ονομάζεται **απομονωμένο σώμα**.

Ένα απομονωμένο σώμα ούτε θα παράγει έργο ούτε θα καταναλώνει έργο ($W = 0$), επίσης δε θα δέχεται ούτε θα δίνει θερμότητα στο περιβάλλον του ($Q = 0$).

Συνεπώς, σε ένα τέτοιο σώμα (απομονωμένο) έχουμε:

$$\Delta U = Q - W = 0 - 0 = 0$$

Οδηγούμεθα έτσι σε μια διαφορετική αλλά ισοδύναμη διατύπωση του πρώτου νόμου της θερμοδυναμικής, που είναι οι εξής:

Η εσωτερική ενέργεια ενός **απομονωμένου** σώματος παραμένει σταθερή.

Παρατήρηση 2:

Όταν μιλάμε για θερμότητα, εννοούμε πάντα «ροή» ενέργειας. Οι φράσεις «θερμότητα που περιέχεται» ή «θερμότητα που υπάρχει» σε ένα σώμα, καθώς και οι αντίστοιχες ερωτήσεις, δεν έχουν φυσικό νόημα. Αντίθετα, έχουν φυσικό νόημα οι φράσεις «Η θερμότητα που πήρε ή έδωσε» ή «η θερμότητα που κέρδισε ή έχασε» ένα σώμα, καθώς και οι αντίστοιχες ερωτήσεις.

Από τη σκοπιά ενός φιλόλογου θα μπορούσαμε να το πούμε αυτό ως εξής: Η θερμότητα είναι ένα ουσιαστικό που δε συντάσσεται με τα ρήματα: έχω, υπάρχω, είναι, αλλά με ρήματα δηλωτικά κίνησης και αλλαγής όπως: παίρνω, δίνω, κερδίζω, χάνω, μεταβαίνω.

Παράδειγμα 3

Ένα βιβλίο σύρεται κατά 1 m οριζόντια πάνω σε μια τραχιά επιφάνεια με δύναμη 20 N κατά μέτρο ίση με την τριβή ολίσθησης.

Το έργο που η τριβή ολίσθησης καταναλώνει στο βιβλίο είναι: $W = 20 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$ (αρνητικό). Η ανταλλαγή της θερμότητας με το περιβάλλον είναι ουσιαστικά μηδέν, γιατί το χρονικό διάστημα που διαρκεί η κίνηση είναι μικρό και δεν επαρκεί, για να εκδηλωθεί ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον.

Συνεπώς, χρησιμοποιώντας τη σχέση (1β) έχουμε:

$$\Delta U = Q - W = 0 - (-20 \text{ J}) = 20 \text{ J}$$

Η εσωτερική ενέργεια αυξάνεται και η θερμοκρασία του βιβλίου θα αυξηθεί λίγο.

Το ίδιο τελικό αποτέλεσμα θα μπορούσαμε να έχουμε, αν τοποθετήσουμε το βιβλίο πάνω σε ένα ηλεκτρικό καμινέτο και το θερμάνουμε για λίγο χρόνο· θα ήταν τότε: $W = 0$ και $Q = 20 \text{ J}$, οπότε πάλι από την (1β) θα είχαμε:

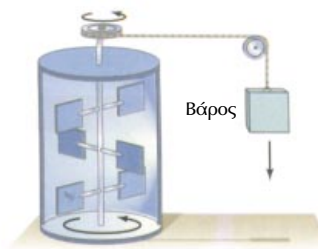
$$\Delta U = Q - W = 20 \text{ J} - 0 = 20 \text{ J}$$

Εφόσον από το προηγούμενο παράδειγμα προκύπτει ότι μπορούμε να έχουμε την ίδια μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας με ή χωρίς ροή θερμότητας, δεν έχει νόημα η έκφραση «**περιεχόμενη θερμότητα**» στο βιβλίο, όπως δεν έχει νόημα και η έκφραση «**περιεχόμενο έργο**» στο βιβλίο.

Τελικά, φαίνεται ότι οι έννοιες θερμότητα και έργο εκφράζουν **διαδικασίες** με τις οποίες η ενέργεια μεταφέρεται από σώμα σε σώμα, και μόνο η προκύπτουσα μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας των σωμάτων έχει νόημα. Έτσι, οι έννοιες θερμότητα και έργο χρησιμοποιούνται, για να αποδώσουν το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι η ποσότητα θερμότητας Q θα μετριέται με τη γνωστή μονάδα ενέργειας, Joule στο S.I.

Πριν κατανοηθεί η ισοδυναμία θερμότητας και έργου, ως μονάδα της θερμότητας εχρησιμοποιείτο το calorie (cal).



Εικ. 1.20 Σχηματική αναπαράσταση της συσκευής του Joule για τον προσδιορισμό του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας.

Το 1 cal ορίζεται ως το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται, για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου καθαρού νερού κατά ένα βαθμό (συγκεκριμένα από 14,5 °C σε 15,5 °C).

Γνωρίζουμε ότι 1 cal ισούται ακριβώς με 4,186 J. Ο λόγος 4,186 J/cal ονομάζεται: **μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας**.

Από τους τεχνικούς χρησιμοποιείται η μονάδα (BTU) (British Thermal Unit), η οποία είναι το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για την αύξηση της θερμοκρασίας μιας (1) lb νερού (1 lb = 453 g) κατά ένα βαθμό στην κλίμακα Fahrenheit, και η οποία ισούται: 1 btu = 252 cal = 1055 J.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι				
(Σχέση μεταξύ των διάφορων μονάδων της θερμότητας)				
J	cal	kcal	Btu	kWh
1 J = 1	0,239	$2,39 \times 10^{-4}$	$9,48 \times 10^{-4}$	$2,78 \times 10^{-7}$
1 cal = 4,187	1	10^{-3}	$3,97 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-6}$
1 kcal = 4187	1000	1	3,97	$1,16 \times 10^{-3}$
1 Btu = 1060	252	$2,52 \times 10^{-1}$	1	$2,93 \times 10^{-4}$
1 kWh = $3,60 \times 10^6$	$8,60 \times 10^5$	$8,60 \times 10^2$	$3,41 \times 10^3$	1

Δραστηριότητα 7

Προσδιορισμός του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας

Πάρτε έναν πλαστικό σωλήνα PVC διαμέτρου 4-5 cm και μήκους 110 cm. Κλείστε καλά τη μία άκρη του.

Την άλλη άκρη κλείστε την με τρόπο, όμως, που να μπορεί να ανοίγει. Τοποθετήστε στο εσωτερικό του σωλήνα 786 g (περίπου) σκάγια μολυβένια (μικρού μεγέθους). Αναποδογυρίστε το σωλήνα 100 φορές. Έστω ότι η αρχική θερμοκρασία που είχαν τα σκάγια ήταν $17,3^{\circ}\text{C}$ και η τελική, μετά από τα 100 αναποδογυρίσματα του σωλήνα, $24,1^{\circ}\text{C}$.

Θεωρώντας ότι τα εκατό αναποδογυρίσματα ισοδυναμούν με πτώση από 100 m, έχουμε:

$$K = E_a = 0,786 \text{ kg} \times 100 \text{ m} \times 9,8 \text{ J/kg} \cdot \text{m} = 7,7 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Η θερμότητα Q που πήραν, όπως θα δούμε αργότερα, δίδεται από τη σχέση:

$$Q = m c \Delta\theta = (786 \text{ g}) (0,038 \text{ cal/g } ^{\circ}\text{C}) (6,8^{\circ}\text{C}) = 200 \text{ cal}$$

όπου: m η μάζα τους,

$\Delta\theta$ η αύξηση της θερμοκρασίας τους και

c είναι μια σταθερά, που τη λέμε ειδική θερμότητα, και μας δείχνει πόση θερμότητα χρειάζεται ένα γραμμάριο ενός υλικού, για να ανέβει η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό.

Συγκρίνοντας τη θερμότητα σε cal και την κινητική ενέργεια σε Joule βρίσκουμε:

$$1 \text{ cal} = 3,8 \text{ J}$$

Σφάλμα: $4,2 \text{ J/cal} - 3,8 \text{ J/cal} = 0,4 \text{ J/cal}$

Σχ. Σφάλμα: $0,4 \text{ J/cal} / (4,2 \text{ J/cal}) = 0,098$ ή 10% περίπου.

Χρησιμοποιείται επίσης και η διαιτητική θερμίδα, που εκφράζει το ενεργειακό περιεχόμενο των τροφών, συμβολίζεται

ΠΙΝΑΚΑΣ II

Θερμική αξία των τροφών σε J/g

τροφή	J/g
Γάλα	3.000
Λίπη	40.000
Πρωτεΐνες	17.000
Ζάχαρη	17.000
Αυγά	7.000
Τυρί	20.000
Ξηροί καρποί	30.000
Πατάτες	3.000
Ψάρι	3.000
Μοσχάρι	15.000
Μαργαρίνη	33.000
Πορτοκάλια	1.000
Βούτυρο	31.000

δε με το Cal (κεφαλαίο C) και ισούται με 1000 cal:
 $1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal}$

Παράδειγμα 4

Απώλεια θερμίδων με γυμναστική

Ένας νεαρός πίνει τρεις καφέδες τη μέρα. Αν ο κάθε καφές περιέχει δύο κουταλάκια ζάχαρη (1 κουταλάκι είναι 5 g ζάχαρη), πόσο πρέπει να γυμναστεί, ώστε να χάσει τις έξτρα θερμίδες που πήρε;

Λύση:

3 καφέδες \times 2 κουταλάκια ο καφές \times 5 g το κουταλάκι \times 17.000 J/g = 510.000 J
 Αν ο νεαρός έχει μάζα $M = 80 \text{ Kgr}$, για να καταναλώσει αυτή την ενέργεια, πρέπει να ανέβει σε ύψος H , έτσι ώστε να ισχύει:

$$MgH = 510.000 \text{ Joule} \quad \text{ή} \quad H = \frac{510.000 \text{ J}}{80 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 650 \text{ m}$$

Δηλαδή να ανέβει με τη σκάλα 20 φορές στην ταράτσα μιας εξώροφης πολυκατοικίας.

Ένθετο 1

Ο πρώτος νόμος της Θερμοδυναμικής και ο μεταβολισμός του ανθρώπου

Ο άνθρωπος όπως και κάθε άλλος ζωντανός οργανισμός παράγει έργο. Το έργο παράγεται όταν ένας άνθρωπος βαδίζει ή τρέχει ή όταν σηκώνει ένα βαρύ αντικείμενο. Παραγωγή έργου σημαίνει κατανάλωση ενέργειας. Ενέργεια, επίσης, χρειάζεται για την ανάπτυξη – τη δημιουργία νέων κυττάρων, που αντικαθιστούν όσα πεθαίνουν.

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός διαδικασιών μετατροπής ενέργειας λαμβάνει χώρα μέσα σε έναν οργανισμό. Όλες αυτές οι διαδικασίες μαζί ονομάζονται **μεταβολισμός**.

Ας δούμε πώς μπορούμε να εφαρμόσουμε τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής:

$$\Delta U = Q - W$$

σ' έναν άνθρωπο.

Έργο W παράγεται από το σώμα μας κατά τις διάφορες δραστηριότητές μας. Αν θέλουμε η εσωτερική μας ενέργεια (και θερμοκρασία) να μην ελατ-

τωθεί, θα πρέπει, με κάποιο τρόπο, να του προσφέρεται ενέργεια για αντιστάθμιση.

Η εσωτερική ενέργεια του σώματός μας δε διατηρείται σταθερή με ροή θερμότητας Q από το περιβάλλον. Αντίθετα, το σώμα μας αποβάλλει στο περιβάλλον ποσά θερμότητας, μια και υπό κανονικές συνθήκες το σώμα μας βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον.

Ποια είναι τότε η πηγή της ενέργειας που παίρνουμε;

Είναι η εσωτερική ενέργεια (χημική ενέργεια) των τροφών. Παρατηρούμε τώρα ότι – σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει σε ένα δοχείο, όπου υπάρχει κάποιο αέριο (κλειστό σύστημα), στο οποίο η εσωτερική ενέργεια μεταβάλλεται με την προσφορά, η αποβολή θερμότητας κατά την παραγωγή ή κατά την κατανάλωση έργου, σε ένα ζωντανό οργανισμό (ανοικτό σύστημα) εσωτερική ενέργεια μπορεί να εισαχθεί ή να εξαχθεί από το σύστημα. Όταν τρώμε, εισάγουμε εσωτερική ενέργεια κατευθείαν στον οργανισμό μας, ο οποίος έτσι αυξάνει την ολική εσωτερική ενέργεια του σώματός μας.

Αυτή η εσωτερική ενέργεια σταδιακά μετατρέπεται σε έργο και θερμότητα, που αποβάλλεται στο περιβάλλον, σύμφωνα με τον πρώτο νόμο.

Ο **ρυθμός μεταβολισμού** είναι ο ρυθμός με τον οποίο η εσωτερική ενέργεια μετατρέπεται από τον οργανισμό μας σε θερμότητα και έργο.

Μετριέται σε Kcal/h ή σε Watts.

Τυπικές τιμές του ρυθμού μεταβολισμού για διάφορες δραστηριότητες ενός ανθρώπου δίνονται στον πίνακα.

Ρυθμοί μεταβολισμού για άνθρωπο μάζας 65 Kg

Δραστηριότητα	Ρυθμός μεταβολισμού Kcal/h	Κατά προσέγγιση Watts
ύπνος	60	70
ανάπαυση	100	115
ελαφριά δραστηριότητα (ντύσιμο, σιγύρισμα)	200	230
μέτρια δραστηριότητα (περπάτημα)	400	460
τρέξιμο (15 Km/h)	1000	1150
αγώνες ποδηλασίας	1100	1270

Παράδειγμα 5:

Πόση ενέργεια καταναλώνει σε ένα 24ωρο ένα άτομο με μάζα 65 Kg, που κοιμάται 8,0 ώρες, ασκείται μέτρια 1,0, ώρα έχει μια ελαφριά δραστηριότητα 4,0 ώρες και ώρα εργάζεται σε γραφείο ή αναπαύεται 11,0 ώρα.

Λύση:

Από τον πίνακα που δίνει το ρυθμό μεταβολισμού σε Watts, επειδή μία ώρα έχει 3600 s, έχουμε:

$$[(8,0 \text{ h}) (70 \text{ J/s}) + (1,0 \text{ h}) (460 \text{ J/s}) + (4,0 \text{ h}) (230 \text{ J/s}) + (11,0 \text{ h}) (115 \text{ J/s})] (3600 \text{ s/h}) = 1,15 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Εξάλλου, από το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας έχουμε:

$$4,19 \cdot 10^3 \text{ J} = 1 \text{ Kcal}$$

Άρα η συνολική ενέργεια που ξοδεύει σε Kcal είναι:

$$\frac{1,15 \cdot 10^7 \text{ J}}{4,19 \cdot 10^3 \text{ J/Kcal}} = 2800 \text{ Kcal}$$

Συνεπώς, ένα άτομο με μάζα περίπου 65 kg αν θέλει να χάσει βάρος, πρέπει να καταναλώνει λιγότερες από 2800 Kcal την ημέρα ή να αυξήσει τις δραστηριότητές του.

Παράδειγμα 6**Μετατροπή κινητικής ενέργειας σε θερμότητα**

Μια σφαίρα μάζας $m = 3 \text{ g}$ κινούμενη με ταχύτητα $u_a = 400 \text{ m/s}$ διέρχεται μέσα από μια σανίδα, και η ταχύτητά της υποβιβάζεται σε $u_r = 200 \text{ m/s}$. Πόση θερμότητα παράγεται;

Λύση:

$$K_a = K_r + Q \quad \text{ή}$$

$$\frac{1}{2} m u_a^2 = \frac{1}{2} m u_r^2 + Q \quad \text{ή}$$

$$Q = \frac{1}{2} m (u_a^2 - u_r^2) = \frac{1}{2} (3 \times 10^{-3} \text{ kg}) [(400 \text{ m/s})^2 - (200 \text{ m/s})^2] =$$

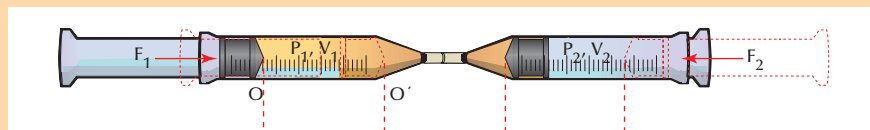
$$= 180 \text{ J} = \frac{180 \text{ J}}{4,186 \text{ J/cal}} = 43 \text{ cal.}$$

Η θερμότητα αυτή κατανέμεται ανάμεσα στη σφαίρα και στη σανίδα ανάλογα με την ικανότητα των δύο αυτών σωμάτων να μεταδίδουν και να απορροφούν θερμότητα.

1.5 Ενθαλπία

Δραστηριότητα 8

Πάρτε δύο σύριγγες με εμβασόν εμβόλων A_1 και A_2 αντιστοίχως, και ενώστε τις αεροστεγώς όπως στην εικόνα 1.21. Πιέστε το έμβολο της αριστερής σιγά σιγά μέχρι να φτάσει από τη θέση O στη θέση O' .



Εικ. 1.21

α) Το έργο που καταναλώθηκε από το αέριο στην αριστερή σύριγγα είναι:

$$W_1 = F_1 \Delta x_1 = \frac{F_1}{A_1} (\Delta x_1 A_1) = P_1 V_1$$

β) Το έργο που παρήγαγε το αέριο στη δεξιά σύριγγα είναι:

$$W_2 = F_2 \Delta x_2 = \frac{F_2}{A_2} (\Delta x_2 A_2) = P_2 V_2 \quad (\Delta x_2 < \Delta x_1)$$

γ) Σύμφωνα με τον 1ο νόμο της θερμοδυναμικής θα είναι:

$$Q = \Delta U + W$$

όπου ΔU η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου από την αρχική στη τελική κατάσταση $\Delta U = U_2 - U_1$, W το συνολικό έργο, που θα ισούται με το έργο που παράχθηκε μείον το έργο που καταναλώθηκε, $W = P_2 V_2 - P_1 V_1$, και Q η θερμότητα που ανταλλάχθηκε με το περιβάλλον.

Υποθέστε τώρα ότι η δραστηριότητα αυτή έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε η θερμότητα που ανταλλάχθηκε με το περιβάλλον να είναι μηδέν (είτε γιατί τα τοιχώματα είναι μονωτικά είτε γιατί έγινε αρκετά γρήγορα).

Τότε $Q = 0$, οπότε ο 1ος νόμος γράφεται:

$$0 = \Delta U + W \quad \text{ή}$$

επειδή, όπως είπαμε, $\Delta U = U_2 - U_1$ και $W = P_2 V_2 - P_1 V_1$, έχουμε:

$$0 = U_2 - U_1 + P_2 V_2 - P_1 V_1 \quad \text{ή}$$

$$U_1 + P_1 V_1 = U_2 + P_2 V_2.$$

Παρατηρούμε, δηλαδή, ότι το άθροισμα $U + PV$ παραμένει σταθερό.

Το σταθερό αυτό άθροισμα $U + PV$ που γνωρίσαμε στην προηγούμενη δραστηριότητα, το ονομάζουμε **ενθαλπία** του συστήματος ή **θερμικό περιεχόμενο** και συμβολίζουμε με το **H**.

Ενθαλπία:

$$H = U + PV \quad (1.2\alpha)$$

Η ενθαλπία είναι μια ιδιότητα ενός συστήματος, που έχει καθορισμένη τιμή για ορισμένη κατάσταση του συστήματος, ανεξάρτητα από τον τρόπο που το σύστημα έφτασε σ' αυτήν, και εκφράζει τη δυνατότητα ενός συστήματος για παραγωγή έργου.

Υπό σταθερή πίεση η μεταβολή της ενθαλπίας θα είναι:

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (1.2\beta)$$

Από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής έχουμε:

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

Επειδή το έργο, όπως είδαμε, κατά τη μεταβολή του όγκου υπό σταθερή πίεση είναι $P\Delta V$, από τις σχέσεις (i), (1.2β) προκύπτει:

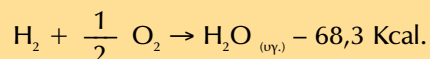
$$\Delta H = Q_p \quad (1.2\gamma)$$

Δηλαδή, η μεταβολή της ενθαλπίας ενός συστήματος ισούται με το απορροφούμενο ή εκλυόμενο ποσό θερμότητας κατά τις διάφορες μεταβολές, όταν η πίεση παραμένει σταθερή.

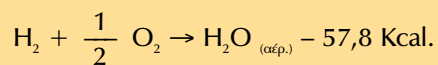
Θερμότητα σχηματισμού μιας ουσίας ονομάζουμε τη μεταβολή της ενθαλπίας, όταν ένα mole της ουσίας σχηματίζεται από τα στοιχεία της.

Παράδειγμα 7

Για το σχηματισμό νερού υπό σταθερή πίεση 1 at και θερμοκρασία 298,15 °K σε υγρή κατάσταση έχουμε:



Για το σχηματισμό νερού υπό τις ίδιες συνθήκες σε αέρια κατάσταση έχουμε:



Η διαφορά στην τιμή της θερμότητας σχηματισμού του νερού οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στην υγρή και στην αέρια φάση του νερού:

$$-57,8 \text{ Kcal} - (-68,3 \text{ Kcal}) = 10,5 \text{ Kcal}$$

Αυτό σημαίνει ότι ένα mole $H_2O_{(αέρ.)}$ σε 1 at και θερμοκρασία 298,15 °K, για να υγροποιηθεί σε ένα mole $H_2O_{(υγ.)}$, πρέπει να αποβάλει 10,5 Kcal θερμότητας.

Δηλαδή: Θερμότητα υγροποίησης ή εξάτμισης μιας ουσίας = Διαφορά της ενθαλπίας ενός mole της ουσίας στις δύο καταστάσεις (υγρή και αέρια) υπό τις ίδιες συνθήκες.

1.6 Θερμική διαστολή

Είναι γνωστό σε όλους από την άμεση εμπειρία μας ότι τα περισσότερα σώματα διαστελλονται, όταν θερμανθούν είτε αυτά είναι στερεά είτε υγρά ή αέρια. Οι μεταλλικές ράβδοι γίνονται μακρύτερες, τα υγρά αυξάνουν τον όγκο τους και τα αέρια αυξάνουν την πίεση που ασκούν ή αυξάνουν τον όγκο τους, αν μπορούν.

Αυτά που φαίνονται στην εικόνα 1.22 είναι συνηθισμένα.



Εικ. 1.22 (α) Οι σιδηροτροχιές παραμορφώθηκαν, γιατί δεν ελήφθη πρόνοια για τη θερμική διαστολή. (β) Σε μια μεγάλη γέφυρα συναντάμε αυτές τις σχάρες μεταξύ τμημάτων, για να είναι δυνατή η ανεμπόδιση διαστολή της.

Μια και όλα τα υλικά αποτελούνται από άτομα και από μόρια, αναζητούμε την ερμηνεία της συμπεριφοράς αυτής των υλικών στη δομή τους.

Ένα κρυσταλλικό στερεό απεικονίζεται όπως στην εικόνα 1.23. Τα ιόντα παριστάνονται με σφαιρίδια, τα οποία συγκρατούνται σε σταθερές θέσεις από ελκτικές δυνάμεις, που ασκούνται σ' αυτά από τα γειτονικά τους ιόντα. Οι δυνάμεις στην εικόνα απεικονίζονται σαν ελατήρια. Θεωρούμε ότι τα ιόντα ταλαντώνονται περί τις μέσες θέσεις ισορροπίας τους, και είναι λογικό να υποθέσουμε ότι, καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, θα αυξάνεται και το πλάτος της ταλάντωσης.

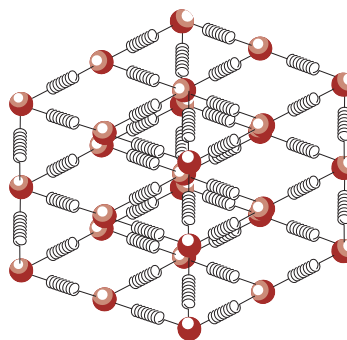
Όταν κάθε ιόν ταλαντώνεται με λίγο μεγαλύτερο πλάτος, το σώμα διαστέλλεται, καθώς η μέση απόσταση μεταξύ των ιόντων αυξάνεται.

Μια σχετική αύξηση της απόστασης μεταξύ δύο ιόντων κατά $1/100.000$ είναι αρκετή, για να εξηγήσει την παρατηρούμενη διαστολή των περισσότερων στερεών σωμάτων.

Τα υγρά συμπεριφέρονται ανάλογα, αλλά, επειδή τα μόριά τους δεν είναι τόσο στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους όσο είναι στα στερεά, έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια κίνησης, και γι' αυτό, γενικά, έχουν και μεγαλύτερη ικανότητα διαστολής από ό,τι τα στερεά.

Τα αέρια, με τη σειρά τους, έχουν ακόμη μεγαλύτερη ικανότητα διαστολής, επειδή τα μόριά τους έχουν σχεδόν πλήρη ελευθερία στην κίνησή τους.

Τις μεταβολές της πίεσης, του όγκου ή και των δύο στα αέρια, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας, εύκολα μπορούμε να τις αποδώσουμε στις μεγαλύτερες ταχύτητες τις οποίες αποκτούν τα μόρια του αερίου, όταν η θερμοκρασία μεγαλώνει.



Εικ. 1.23 Μοριακό μοντέλο ενός στερεού κατασκευασμένο με σφαιρίδια (μόρια) και ελατήρια (ενδομοριακές δυνάμεις).

1.6α Θερμική διαστολή των στερεών

Σχεδόν όλα τα στερεά διαστέλλονται με τη θέρμανση, και η μεταβολή στο μήκος τους ΔL πειραματικά έχει βρεθεί ότι είναι ανάλογη με την αύξηση της θερμοκρασίας ΔT και με το αρχικό μήκος L_0 (Εικ. 1.24.).

Συνεπώς, η βασική εξίσωση για τη γραμμική διαστολή ενός στερεού είναι:

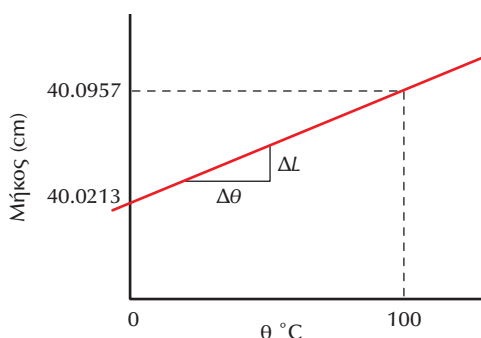
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta \theta \quad (3\alpha)$$

όπου α είναι ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του συγκεκριμένου υλικού (τιμές του α εμφανίζονται στον πίνακα III).

Από την εξίσωση (3α), λύνοντας ως προς α , έχουμε:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta \theta} \quad (3\beta)$$

Από τη σχέση (3β) προκύπτει ο ακόλουθος ορισμός του συντελεστή γραμμικής διαστολής α .



Σχ. 1.24 Γραμμική διαστολή μιας ράβδου από ορείχαλκο

Ονομάζουμε συντελεστή γραμμικής διαστολής, α , τη σχετική μεταβολή του μήκους, $\frac{\Delta L}{L_0}$, ανά μονάδα μεταβολής της θερμοκρασίας.

Η εξίσωση (3α) μπορεί να γραφεί και:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta \theta) \quad (3\gamma)$$

όπου L_0 είναι το αρχικό μήκος και L το τελικό μήκος.

Παράδειγμα 8

Υπολογίστε το συντελεστή γραμμικής διαστολής του ορείχαλκου χρησιμοποιώντας το διάγραμμα της εικόνας 1.24.

Λύση:

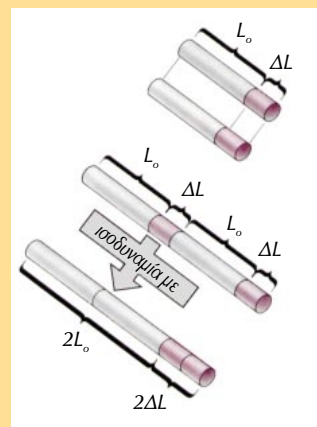
Από το διάγραμμα έχουμε:

$$\Delta L = 40,0957 \text{ cm} - 40,0213 \text{ cm} = 0,0744 \text{ cm}.$$

Από τη σχέση (3α) λύνοντας, ως προς α , έχουμε:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta \theta} = \frac{0,0744 \text{ cm}}{(40,0 \text{ cm}) (100^\circ \text{C})} = 18,6 \times 10^{-6} (^\circ \text{C})^{-1}$$

Στον παρονομαστή χρησιμοποιήσαμε για το μήκος L_0 την τιμή 40,0 cm, γιατί γνωρίζουμε τη μεταβολή ΔL με ακρίβεια τριών σημαντικών ψηφίων.



Εικ. 1.25 (α) Η καθεμιά από τις δύο όμοιες ράβδους μήκους L_0 διαστέλλεται κατά ΔL , όταν θερμανθεί. (β) Όταν οι δύο ράβδοι συνδυαστούν σε μια ράβδο αρχικού μήκους $2L_0$, η «καινούρια» ράβδος διαστέλλεται κατά $2\Delta L$.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ

Συντελεστές διαστολής

Υλικό	Συντελεστής γραμμικής διαστολής α $10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$	Συντελεστής κυβικής διαστολής β $10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$
Στερεά		
Σίδηρος	11	33
Αλουμίνιο	26	77
Ορείχαλκος	19	56
Γιαλί	8,5	26
Πυρέξ	3,3	10
Χαλαζίας	0,4	21
Πλατίνη	9,0	27
Μπετόν	12	36
Μόλυβδος	29	87
Υγρά		
Μεθυλική αλκοόλη		1134
Τετραχλωράνθρακας		581
Γλυκερίνη		485
Υδράργυρος		182
Νέφτι		900
Βενζίνη		960
Αέρια*		
Αέρας		3670
Διοξείδιο του άνθρακα		3740
Υδρογόνο		3660
Ήλιο		3665

* Υπό σταθερή πίεση

Δραστηριότητα 9

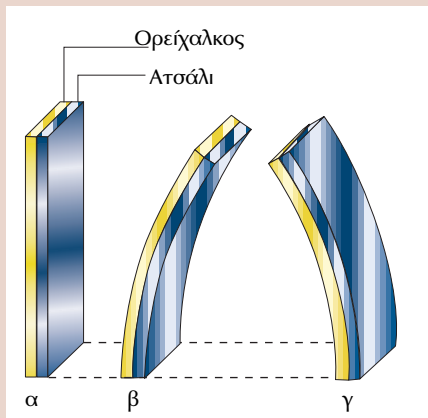
Κόψτε από το «χρυσόχαρτο» που υπάρχει στο εσωτερικό ενός πακέτου τσιγάρων μερικές λουρίδες μήκους 5 cm και πλάτους 1 cm. Κρατήστε τες με το χέρι σας στιγμιαία πάνω από έναν αναμμένο αναπτήρα. Τι παρατηρείτε;

Αν παρατηρείτε ότι κάμπτονται, η κάμψη (κοιλότητα) είναι πάντα προς τη μεριά του χαρτιού, του μετάλλου, ή είναι τυχαία; Αν είναι πάντα προς την ίδια μεριά, π.χ. του χαρτιού, πού το αποδίδετε αυτό;

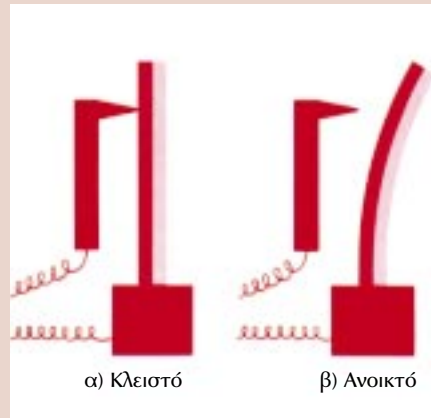
Εφαρμογή 1 Διμεταλλικό έλασμα

Το διμεταλλικό έλασμα είναι ένα λεπτό φύλλο, που σχηματίζεται από τη συγκόληση δύο λεπτότερων φύλλων από διαφορετικά μέταλλα (Εικ. 1.26.) με διαφορετικούς συντελεστές γραμμικής διαστολής.

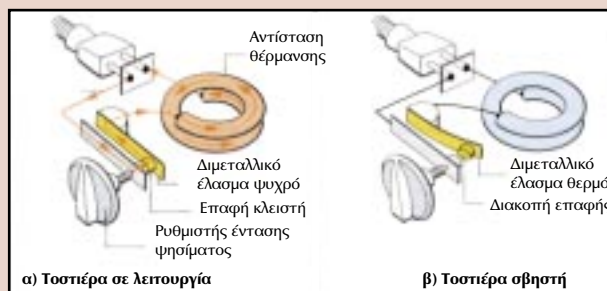
Μια σημαντική εφαρμογή της διαστολής των στερεών στην τεχνολογία είναι η κατασκευή των διμεταλλικών ελασμάτων και η χρησιμοποίησή τους ως αυτόματων θερμοδιακοπών (Εικ. 1.27.) σε πολλές οικιακές συσκευές (τοστιέρες (Εικ. 1.28.), ψυγεία) αλλά και σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς.



Εικ. 1.26 (α) Ένα διμεταλλικό έλασμα·(β) Πώς συμπεριφέρεται, όταν θερμαίνεται και (γ) Πώς συμπεριφέρεται, όταν ψύχεται. Ο χαλκός έχει μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής διαστολής από ό,τι το ατσάλι.



Εικ. 1.27 Σχηματική αναπαράσταση ενός θερμοδιακόπτη



Εικ. 1.28 Το σύστημα ρύθμισης του χρόνου λειτουργίας μιας τοστιέρας ανάλογα με το πόσο ψημένο θέλουμε το τοστ (α) η τοστιέρα λειτουργεί. Με το ανοιγοκλείσιμο του θερμοστατικού διακόπτη διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία ψησίματος.

Επισημάνση: Από τον πίνακα III βλέπουμε ότι το γυαλί έχει συντελεστή γραμμικής διαστολής $8,5 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, ενώ το πυρέξ $3,3 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Αν ένα γυάλινο σκεύος έλθει απότομα σε επαφή με το περιβάλλον ή με άλλο σώμα που έχει πολύ διαφορετική θερμοκρασία από τη δική του, θα σπάσει. Το γυαλί όπως και το πυρέξ είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας, δηλαδή οι διάφορες περιοχές του αργούν να αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία. Το γυαλί, όμως, λόγω του μεγάλου συντελεστή γραμμικής διαστολής, θα διασταλεί ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές του με αποτέλεσμα να σπάσει, σε αντίθεση με το πυρέξ.

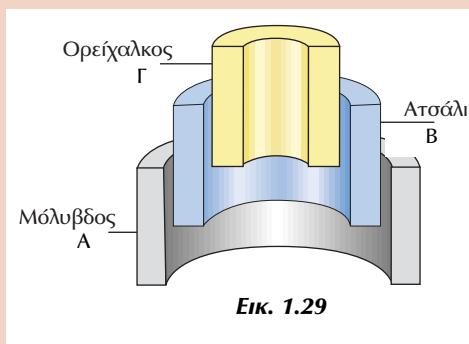
Να συγκρίνετε τους συντελεστές γραμμικής διαστολής για το μπετόν και για το σίδηρο. Τι συμπεραίνετε για τη σημασία που έχει αυτό για τις οικοδομές;

Λογικό Τεστ 1

Στην εικόνα 1.29 διακρίνουμε τρεις κυλίνδρους Α, Β, Γ από διαφορετικά υλικά, που ταιριάζουν ακριβώς ο ένας μέσα στον άλλο, όταν όλοι βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.

Μόλις τους θερμάνουμε λίγο, διαπιστώνουμε ότι ο εξωτερικός σφηνώνεται στον μεσαίο. Βρείτε τη σχέση που θα έχουν οι συντελεστές διαστολής των υλικών των τριών κυλίνδρων.

Θα πρέπει: $\alpha_A > \alpha_B$ και $\alpha_\Gamma > \alpha_B$



Εικ. 1.29

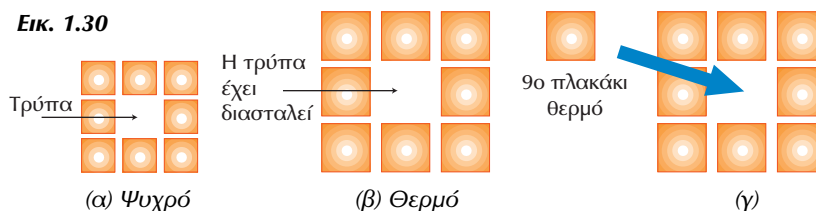
Λογικό Τεστ 2

Διαστελλονται οι τρύπες;

Στην εικόνα 1.30α φαίνεται μια διάταξη από πλακάκια από όπου λείπει ένα. Στη θέση αυτού που λείπει υπάρχει μία τρύπα.

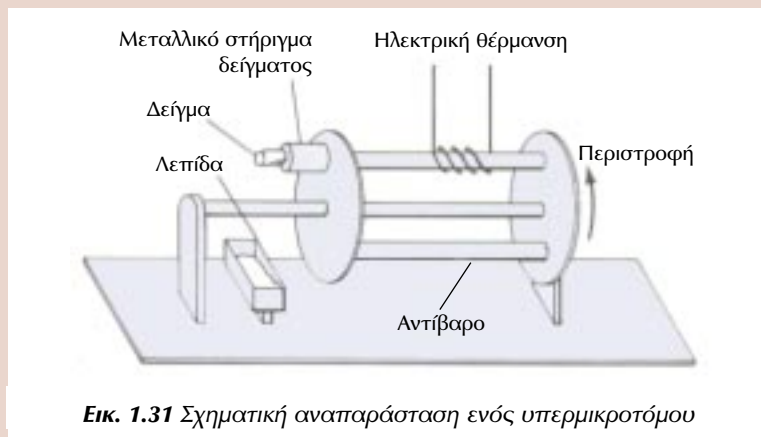
Στην εικόνα 1.30β φαίνεται η ίδια διάταξη αποτελούμενη από τα ίδια πλακάκια, τα οποία προηγουμένως είχαν θερμανθεί και συνεπώς διασταλεί. Το κενό από το πλακάκι που λείπει θα έχει διασταλεί και αυτό όσο κάθε πλακάκι (Εικ. 1.30γ).

Εικ. 1.30



Εφαρμογή 2**Υπερμικροτόμος (Εικ. 1.31)**

Το γεγονός ότι οι μεταλλικές ράβδοι διαστέλονται με γραμμικό τρόπο το εκμεταλλευόμαστε στην κατασκευή εργαλείου, το οποίο μπορεί να κόψει πολύ λεπτές φέτες από κάποιο δείγμα που θέλουμε να μελετήσουμε στο μικροσκόπιο.



Εικ. 1.31 Σχηματική αναπαράσταση ενός υπερμικροτόμου

Αν ο μεταλλικός βραχίονας στον οποίο στηρίζεται το δείγμα (Εικ. 1.31.) θερμαίνεται με σταθερό ρυθμό, διαστέλλεται σταθερά, και μια λεπτή φέτα του υλικού κόβεται σε κάθε περιστροφή. Η μεταβολή του μήκους του μεταλλικού βραχίονα μπορεί να είναι 1 μm ανά λεπτό.

1.6β Θερμική διαστολή των υγρών

Στα υγρά οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων είναι ασθενέστερες απ' ό,τι στα στερεά με αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια της μοριακής κίνησης να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να εμποδίζει το «κλείδωμα» των μορίων σε σταθερές θέσεις που χρειάζεται για το σχηματισμό στερεού κρυστάλλου.

Έτσι εξηγείται γιατί τα υγρά είναι, γενικά, περισσότερο συμπιεστά από τα στερεά και συγχρόνως διαστέλλονται περισσότερο (Πίν. III).

Θα ισχύει η εξίσωση (4α), που είναι ανάλογη προς την (3α).

$$\Delta V = V_0 \beta \Delta \theta \quad (4\alpha)$$

Από την εξίσωση (4α) λύνοντας ως προς β , έχουμε:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta \theta} \quad (4\beta)$$

Από τη σχέση (4β) προκύπτει ο ακόλουθος ορισμός του συντελεστή κυβικής διαστολής.

Ονομάζουμε συντελεστή κυβικής διαστολής, β , τη σχετική μεταβολή του όγκου, $\frac{\Delta V}{V_0}$ ανά μονάδα μεταβολής της θερμοκρασίας.

Η σχέση (4α) μπορεί να γραφεί και:

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta \theta) \quad (4\gamma)$$

όπου: V_0 ο αρχικός όγκος
 V ο τελικός όγκος
 $\Delta \theta$ μια μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας
 β ο συντελεστής κυβικής διαστολής

Εφαρμογή 3:

Κατά την κατασκευή τους τα θερμόμετρα με υγρά σφραγίζονται στο πάνω άκρο του τριχοειδούς σωλήνα, για να μη συμβαίνει απώλεια του υγρού λόγω εξάτμισης, και ο χώρος μέσα στον τριχοειδή σωλήνα μεταξύ της επιφάνειας του υγρού και του σφραγισμένου άκρου εκκενώνεται, για να μην αυξάνεται η πίεση, καθώς το υγρό διαστέλλεται (Εικ. 1.32α).



Εικ. 1.32 Γυάλινα υδραργυρικά θερμόμετρα

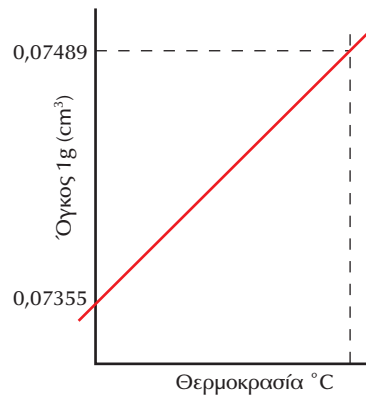
Τα ιατρικά θερμόμετρα (Εικ. 1.32γ) έχουν μια στένωση ακριβώς πάνω από την αμπούλα, έτσι ώστε η στήλη του υδραργύρου κόβεται, καθώς η θερμοκρασία πέφτει, και η επιφανειακή τάση εμποδίζει τον υδράργυρο να κινηθεί μέσα από τη στένωση· έτσι η θερμοκρασία του ασθενούς μπορεί να αναγνωστεί και αφού επανέλθει το θερμόμετρο στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Τα περισσότερα υγρά διαστέλλονται ομαλά και σταθερά με την αύξηση της θερμοκρασίας, περίπου όπως είδαμε και στον υδράργυρο (Εικ. 1.33).

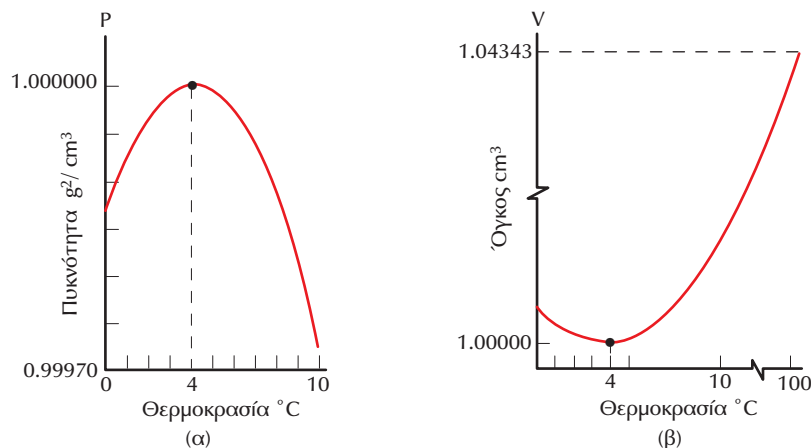
Το νερό όμως δείχνει μια ανώμαλη συμπεριφορά (Εικ. 1.34).

Στην περιοχή $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ το νερό συστέλλεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο συντελεστής κυβικής διαστολής είναι αρνητικός. Στους $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ μια ορισμένη μάζα νερού έχει τον ελάχιστο όγκο της και τη μέγιστη πυκνότητα. (Ο συντελεστής κυβικής διαστολής είναι μηδέν).

Η υδρόβια ζωή στη γη είναι έντονα εξαρτημένη από την ανωμαλία αυτή στη συμπεριφορά του νερού. Το ότι το νερό έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ έχει ως αποτέλεσμα στο βάθος, το χειμώνα, των λιμνών το νερό, να διατηρείται στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ και να παγώνει μόνο στην επιφάνεια.

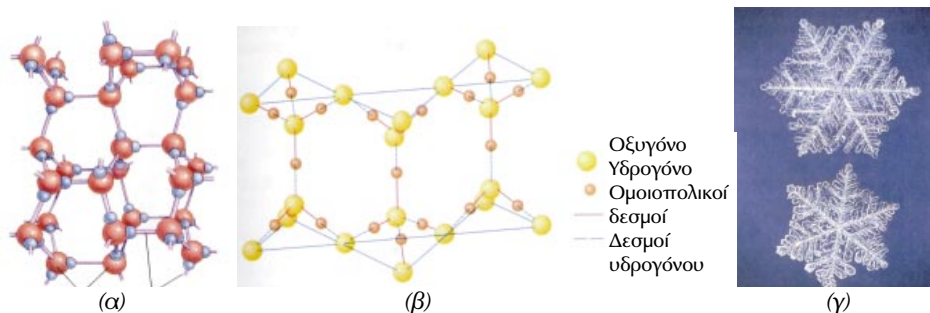


Εικ. 1.33 Διαστολή του υδραργύρου σε μια περιοχή θερμοκρασιών.



Εικ. 1.34 (α) Η πυκνότητα του νερού ως συνάρτηση της θερμοκρασίας. (β) Ο όγκος του νερού ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

Η ερμηνεία γι' αυτή τη μάλλον παράξενη συμπεριφορά του νερού βρίσκεται στην αλλαγή της μοριακής δομής του (Εικ. 1.35α), όταν αυτό παγώνει. Όταν το νερό παγώνει, τα μόριά του σχηματίζουν ανοικτές εξαγωνικές δομές (Εικ. 1.35β), που καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο απ' αυτόν που καταλαμβάνουν, όταν βρίσκονται στην υγρή φάση. Αυτό φαίνεται και από την εξαγωνική μορφή των νιφάδων του χιονού (Εικ. 1.35γ).



Εικ. 1.35 (α) Τα μόρια του νερού στην υγρή κατάσταση συνδεδεμένα με δεσμούς υδρογόνου, (β) μετατρέπονται σε κανονικό εξάγωνο, όταν το νερό παγώνει. (γ) Νιφάδες χιονιού.

1.6γ Θερμική διαστολή των αερίων

Σε αντίθεση με τα υγρά και τα στερεά οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων των αερίων είναι τόσο μικρές, ώστε να μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν ως ανύπαρκτες.

Η θερμική διαστολή ενός αερίου είναι, εν τούτοις, στενά συνδεδεμένη με την πίεσή του. Αν θερμάνουμε μια συγκεκριμένη ποσότητα ενός αερίου, μπορεί να αυξηθεί είτε ο όγκος του είτε η πίεσή του ή και τα δύο μαζί, ανάλογα με τη διαδικασία που ακολουθούμε κατά τη θέρμανση του αερίου.

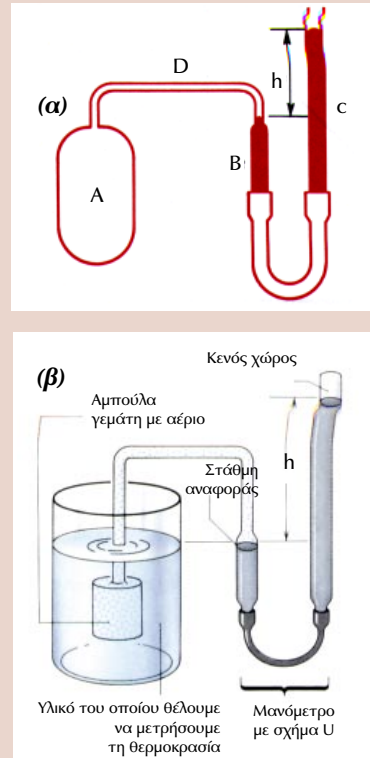
Αν, για παράδειγμα, το αέριο είναι κλεισμένο σε ένα δοχείο με σταθερά τοιχώματα, δεν μπορεί να διασταλεί, και ο συντελεστής διαστολής είναι μηδέν. Για να παρατηρήσουμε τη μεταβολή του όγκου ενός αερίου, καθώς αυτό θερμαίνεται, πρέπει να διατηρούμε σταθερή την πίεσή του. Γι' αυτό ο συντελεστής κυβικής διαστολής των αερίων μετριέται υπό σταθερή πίεση.

Στον πίνακα III βλέπουμε ότι ο συντελεστής κυβικής διαστολής για τα αέρια είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν για τα υγρά και για τα στερεά. Βλέπουμε ακόμη ότι όλα τα αέρια έχουν τον ίδιο περίπου συντελεστή κυβικής διαστολής. Αυτό συμβαίνει, επειδή οι δυνάμεις συνοχής, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις διαφορετικές τιμές των συντελεστών κυβικής διαστολής στα στερεά και στα υγρά, είναι ασήμαντες στα αέρια. Επίσης, στα αέρια δεν παίζει ρόλο το μέγεθος των μορίων τους, το οποίο στα στερεά και στα υγρά επηρεάζει και αυτό το συντελεστή θερμικής διαστολής.

Εφαρμογή 4:

Το θερμόμετρο αερίου της εικόνας 1.36α. έχει μεγάλη ακρίβεια και είναι ένα πρότυπο, με τη βοήθεια του οποίου άλλα θερμόμετρα μπορούν να βαθμολογηθούν. Αν το αέριο που περιέχεται στο δοχείο A θερμανθεί, το αέριο διαστέλλεται και ωθεί τον υδράργυρο που είναι στο βραχίονα B προς τα κάτω, και τον υδράργυρο που είναι στο βραχίονα C προς τα πάνω.

Συνεπώς, το ύψος h μεταβάλλεται και το ίδιο και η πίεση, καθώς και ο όγκος στο δοχείο A. Ο ευκίνητος συνδετικός σωλήνας επιτρέπει το κατέβασμα του βραχίονα C μέχρι το ύψος h , ώστε να πάρει την προηγούμενη τιμή του. Όταν χρησιμοποιείται με αυτό τον τρόπο, η θερμομετρική ιδιότητα είναι ο όγκος του αερίου, και η διάταξη ονομάζεται θερμόμετρο αερίου σταθερής πίεσης. Ο τρόπος με το οποίο χρησιμοποιείται φαίνεται στην εικόνα 1.36β.

**Εικ. 1.36****1.7 Ιδανικά αέρια**

Όπως είδαμε, η σχέση: $\Delta V = V_0 \beta \Delta T$ δεν είναι πολύ βολική στην περιγραφή της διαστολής των αερίων, εν μέρει γιατί η διαστολή είναι πολύ μεγάλη και εν μέρει γιατί τα αέρια γεμίζουν οποιοδήποτε δοχείο στο οποίο θα βρεθούν. Οπότε, η εξίσωση αυτή έχει νόημα, μόνο αν η πίεση διατηρείται σταθερή.

Ακόμη, είδαμε ότι η αύξηση του όγκου και της πίεσης των αερίων με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι άμεση συνέπεια της αύξησης της μέσης ταχύτητας με την οποία κινούνται τα μόριά τους και όχι της μέσης απόστασης που αυτά έχουν μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στα στερεά και στα υγρά. Είναι, συνεπώς, λογικό να αναζητήσουμε μια σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και στη μέση ταχύτητα των μορίων.

Ακόμη, είναι χρήσιμο να βρούμε μια σχέση ανάμεσα στον όγκο, στην πίεση, στη θερμοκρασία και στη μάζα ενός αερίου. Μια τέτοια σχέση ονομάζεται **καταστατική εξίσωση**. (Με τον όρο καταστατική εννοούμε ότι περιγράφει την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η ποσότητα του αερίου που εξετάζουμε).

Αν η κατάσταση μιας ποσότητας αερίου αλλάζει, περιμένουμε πάντα, ώσπου η θερμοκρασία και η πίεση να έχουν παντού την ίδια τιμή. Θεωρούμε, δηλαδή,

πάντα **καταστάσεις ισορροπίας**. Τα συμπεράσματα που θα βγάλουμε είναι ακριβή μόνο για αέρια που δεν είναι πολύ πυκνά (όπως αυτά που βρίσκονται σε ατμοσφαιρική πίεση ή μικρότερη) και απέχουν από το σημείο υγροποίησης.

Τα αέρια που πληρούν αυτές τις προϋποθέσεις τα θεωρούμε **ιδανικά**.

Για τα ιδανικά αέρια η καταστατική εξίσωση, η οποία λέγεται και νόμος των ιδανικών αερίων, παρέχεται από τη σχέση:

$$\text{Νόμος των ιδανικών αερίων} \quad PV = nRT$$

όπου n είναι ο αριθμός των γραμμομορίων του αερίου το οποίο περιέχονται στην ποσότητα που εξετάζουμε: $n = m/M_{\text{mol}}$

R η παγκόσμια σταθερά των αερίων

$$R = 8,315 \text{ J/(mol.K)} \quad (\text{S.I.})$$

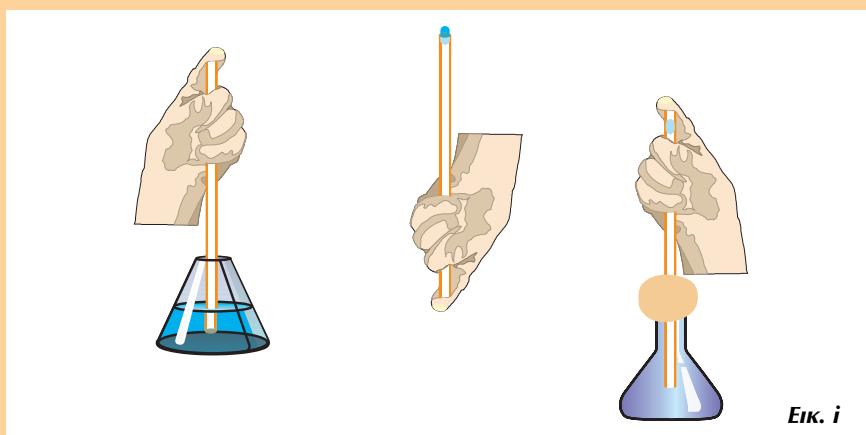
$$\text{ή} \quad R = 1,987 \text{ Cal/(mol. K)}.$$

Δραστηριότητα 10

Προσδιορισμός σε βαθμούς K του μηδενός 0 °C της κλίμακας Κελσίου

Από το νόμο των ιδανικών αερίων προκύπτει ότι το μηδέν της κλίμακας Κελβίν (απόλυτο μηδέν), είναι εκείνη η θερμοκρασία, που καθώς την πλησιάζει μια ποσότητα ιδανικού αερίου, ο όγκος της V ή η πίεση της P αντίστοιχα τείνει στο μηδέν και ενώ διατηρούμε σταθερή την πίεση ή τον όγκο της επειδή όπως είδαμε $\Delta T = \Delta \Theta$ με τη βοήθεια της σχέσης 4γ παίρνουμε τη σχέση:

$$\frac{T_{\alpha}}{T_{\tau}} = V_{\tau} \frac{V_{\alpha}}{V_{\tau}} = V_{\tau} \left(\frac{\Delta T}{\Delta V} \right) \quad (\alpha)$$



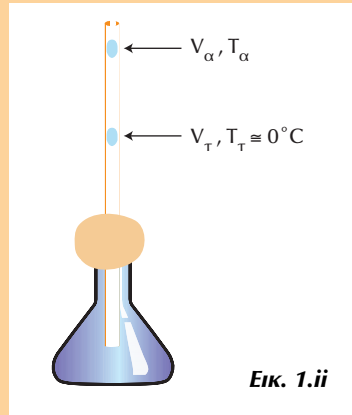
Κατασκευάζουμε στη συνέχεια ένα θερμόμετρο αερίου σταθερής πίεσης ως εξής:

Σε ένα καθαρό άδειο μπουκαλάκι βάζουμε ένα καλαμάκι, στο οποίο προηγουμένως έχουμε τοποθετήσει μια σταγόνα νερό, και ακολούθως το σφραγίζουμε με πλαστελίνη (Εικ. I.).

Στη συνέχεια τοποθετούμε το μπουκαλάκι σε ένα δοχείο με νερό θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_α και σημειώνουμε τη θέση της σταγόνας στο καλαμάκι V_α .

Ακολούθως, τοποθετούμε το μπουκαλάκι σε δοχείο με νερό και πάγο T_τ (0°C) και σημειώνουμε τη νέα θέση της σταγόνας V_τ . (Εικ. II).

Από τη σχέση (α) βρίσκουμε την T_τ (θερμοκρασία μηδενός σε K). Επειδή, όπως είδαμε, είναι $T = 273,15 + \theta$, έπεται ότι η τιμή που βρήκαμε εκφράζει επίσης και την τιμή του απόλυτου μηδενός σε $^\circ\text{C}$. Επειδή στη σχέση (III) οι μονάδες του όγκου απαλείφονται, μπορούμε να εκφράσουμε τους όγκους V_τ και ΔV σε αυθαίρετες μονάδες όγκου π.χ. (Θεωρήστε ως μονάδα όγκου τον όγκο που έχει το καλαμάκι).



Μερικές φορές είναι χρήσιμο να εκφράσουμε το νόμο των ιδανικών αερίων σε συνάρτηση με τον ολικό αριθμό των σωματιδίων N τα οποία περιέχονται στην ποσότητα του αερίου που εξετάζουμε και όχι με τον αριθμό των γραμμομορίων n .

Για το σκοπό αυτό πολλαπλασιάζουμε και διαιρούμε το δεξιό μέλος της σχέσης $PV = nRT$ με τον αριθμό του Avogadro $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ σωμ./mol, λαμβάνοντας υπόψη ότι το γινόμενο $(n N_A)$ εκφράζει τον ολικό αριθμό των σωματιδίων N τα οποία περιέχονται στην ποσότητα του αερίου που εξετάζουμε.

Δηλαδή:

$$PV = nRT = nN_A \left(\frac{R}{N_A} \right) T = N \left(\frac{R}{N_A} \right) T \quad (5\alpha)$$

Ο σταθερός λόγος $\frac{R}{N_A}$ αναφέρεται ως **σταθερά του Boltzmann** και παριστάνεται με το σύμβολο k .

$$\text{Σταθερά του Boltzmann } k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \text{ J/mol.K}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K.}$$

Οπότε, ο νόμος των ιδανικών αερίων γίνεται:

$$PV = N k T \quad (5\beta)$$

Προσοχή: Όταν ο νόμος των ιδανικών αερίων εφαρμόζεται σε κανονικές συνθήκες ($P = 1 \text{ atm}$, $\theta = 0^\circ \text{C}$), πρέπει αυτές να μετατρέπονται στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.).

Δηλαδή, $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $T = 0 + 273 = 273 \text{ K}$.

Παρατήρηση:

Για όλα τα αέρια (ιδανικά) ένα γραμμομόριο υπό κανονικές συνθήκες καταλαμβάνει τον ίδιο όγκο, ο οποίος ονομάζεται **γραμμομοριακός όγκος** και ισούται με $22,4 \text{ lt}$.

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(1,0 \text{ mol}) (8,31 \text{ J/mol.K}) (273 \text{ K})}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}} = 22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 22,4 \text{ lt}$$

Παράδειγμα 9

Οι κυψελίδες των πνευμόνων έχουν μέση ακτίνα $0,125 \text{ mm}$ και φουσκώνουν με αέρα που περιέχει 14% οξυγόνο υπό πίεση μιας ατμόσφαιρας. Αν η θερμοκρασία του σώματος είναι 310 K , πόσα μόρια οξυγόνου υπάρχουν σε κάθε κυψελίδα.

Λύση:

Από τη σχέση (5β) έχουμε:

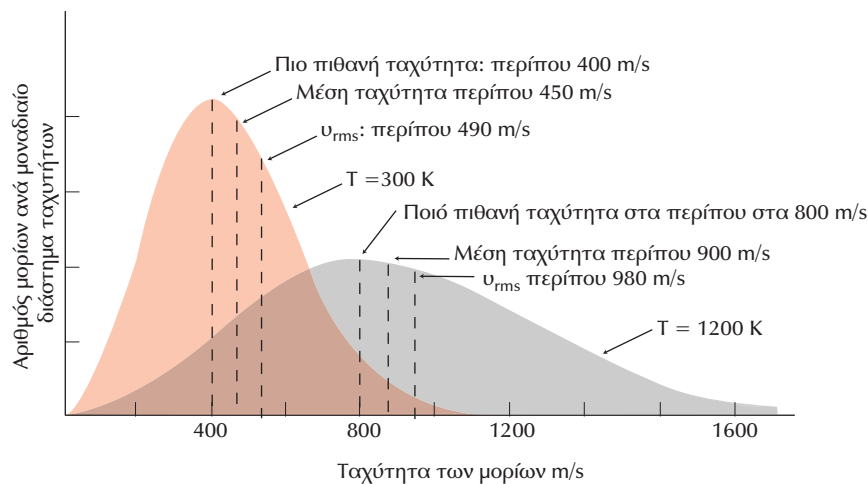
$$N = \frac{PV}{kT} = \frac{(1,013 \times 10^5 \text{ Pa}) \left[\frac{4}{3} \pi (0,125 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \right]}{(1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) (310 \text{ K})} \approx 2 \times 10^{14}$$

Επειδή το οξυγόνο είναι το 14% , θα είναι $N_{\text{O}_2} = 2,8 \times 10^{13}$

Ο νόμος των ιδανικών αερίων, όσο χρήσιμος και αν είναι, δε μας δίνει τη δυνατότητα να διακρίνουμε με ποιο τρόπο η πίεση και η θερμοκρασία σχετίζονται με τη συμπεριφορά των ίδιων των μορίων.

Ένα δοχείο με αέριο, υπό κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, περιέχει έναν τεράστιο αριθμό μορίων, τα οποία βρίσκονται σε συνεχή τυχαία κίνηση, συγκρουόμενα τόσο μεταξύ τους όσο με τα τοιχώματα του δοχείου. Στο διάστημα ενός δευτερολέπτου κάθε μόριο υφίσταται πάρα πολλές συγκρούσεις, και καθεμία αλλάζει το μέτρο και τη διεύθυνση της ταχύτητάς του, με αποτέλεσμα τα μόρια, γενικά, να έχουν διαφορετικές ταχύτητες. Είναι δυνατόν όμως να μιλήσουμε για μια μέση ταχύτητα των μορίων. Κάθε χρονική στιγμή κάποια μόρια έχουν ταχύτητες μικρότερες από τη μέση, μερικά μεγαλύτερη από τη μέση και τα περισσότερα ταχύτητες κοντά στη μέση. Σε συνθήκες χαμηλής

πυκνότητας ή κατανομή των μορίων ανά μονάδα ταχύτητας σε συνάρτηση με την ταχύτητα, για ένα μεγάλο πλήθος μορίων υπό σταθερή θερμοκρασία υπολογίστηκε από τον James Clerk Maxwell (1832-1879) και αποδίδεται από το εικόνα 1.37.



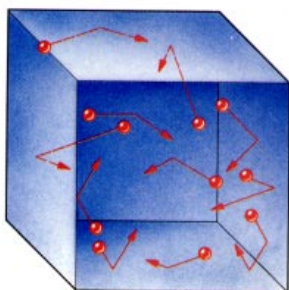
Εικ. 1.37 Καμπύλες κατανομής Maxwell των μορίων του οξυγόνου για θερμοκρασίες 200 και 1.200 K. Στον οριζόντιο άξονα είναι η ταχύτητα των μορίων του αερίου και στον κατακόρυφο ο αριθμός των μορίων των οποίων η ταχύτητα βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ u και $u + \Delta u$.

Παρατηρούμε ότι η πιο πιθανή ταχύτητα, δηλαδή η ταχύτητα που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό των μορίων του αερίου, μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες τιμές με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το εμβαδόν κάθε καμπύλης εκφράζει το σύνολο των μορίων του αερίου που εξετάζουμε. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν πάντα μόρια που έχουν ταχύτητες πολύ μικρές αλλά και μόρια που έχουν πολύ μεγάλες.

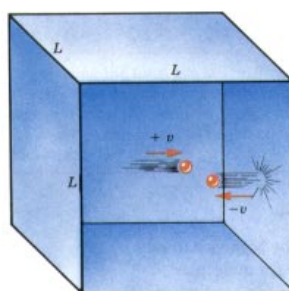
1.8 Κινητική θεωρία

Όταν μια μπάλα κτυπά στον τοίχο, ασκεί μια δύναμη σ' αυτόν. Στην εικόνα (1.38) φαίνονται τα μόρια του αερίου να κάνουν το ίδιο πράγμα στα τοιχώματα του δοχείου στο οποίο βρίσκονται, με τη διαφορά ότι οι μάζες τους είναι πολύ μικρές και οι ταχύτητές τους πολύ μεγάλες, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα της εικόνας (1.37).

Το πλήθος των μορίων είναι τόσο μεγάλο και κτυπούν τα τοιχώματα τόσο συχνά, ώστε το αποτέλεσμα της κρούσης τους να μοιάζει με μια σταθερή δύναμη. Διαιρώντας αυτή τη δύναμη με το εμβαδόν του τοιχώματος, μπορούμε να βρούμε την πίεση που ασκεί το αέριο στο δοχείο όπου φυλάσσεται. (Εικ. 1.39)



Εικ. 1.38 Η πίεση την οποία ένα αέριο ασκεί στα τοιχώματα του δοχείου όπου φυλάσσεται οφείλεται στις συγκρούσεις των μορίων του με αυτά.



Εικ. 1.39 Ένα μόριο του αερίου συγκρούεται ελαστικά με τη δεξιά έδρα του δοχείου και αναπηδά με αντίθετη ταχύτητα.

Καθοδηγούμενοι από τις προηγούμενες σκέψεις καταλήγουμε στην ακόλουθη σχέση:

$$PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m u_{\text{rms}}^2 \right) \quad (6)$$

Όπου: p : η πίεση στο εσωτερικό του δοχείου

V : ο όγκος του

N : ο συνολικός αριθμός των μορίων του αερίου που περιέχονται στο δοχείο

m : η μάζα του κάθε μορίου.

Η ταχύτητα $u_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{u^2}}$ ονομάζεται **τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των ταχυτήτων** των μορίων ενός αερίου ή, συντομογραφικά, u_{rms} (root mean squared).

Η σχέση (6) συσχετίζει τις **μακροσκοπικές** ιδιότητες μιας ποσότητας ενός αερίου (όγκο και πίεση) με τις **μικροσκοπικές** ιδιότητες (μάζα και ταχύτητα) των μορίων που την απαρτίζουν.

Μια και ο όρος $\frac{1}{2} m u_{\text{rms}}^2$ εκφράζει τη μέση μεταφορική κινητική ενέργεια K ενός μορίου, έπεται:

$$PV = \frac{2}{3} N \bar{K}$$

Συγκρίνοντας την τελευταία σχέση με το νόμο των ιδανικών αερίων $PV = N k T$ εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι:

$$\bar{K} = \frac{1}{2} m u_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2} k T \quad (7)$$

Με τη βοήθεια της σχέσης (7) μπορούμε να ερμηνεύσουμε τη θερμοκρασία ως εκδήλωση της κίνησης των μορίων του αερίου.

Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία Kelvin είναι ανάλογη της μέσης μεταφορικής ενέργειας των μορίων ενός ιδανικού αερίου, ανεξάρτητα από την πίεση και από τον όγκο του. Κατά μέσο όρο τα μόρια ενός ιδανικού αερίου έχουν τόσο μεγαλύτερη κινητική ενέργεια όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του αερίου.

Ας σκεφτούμε βαθύτερα: Ένα μόριο ενός αερίου έχει θερμοκρασία;

Γνωρίζουμε ότι ένα αέριο περιέχει ένα τεράστιο πλήθος μορίων με ταχύτητες που κατανέμονται όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 1.37. Επομένως, τα μόρια δεν έχουν όλα την ίδια κινητική ενέργεια· η κινητική τους ενέργεια κυμαίνεται από σχεδόν μηδενική τιμή μέχρι πάρα πολύ μεγάλη. Αν κάθε σωματίδιο είχε μια θερμοκρασία που σχετιζόταν με την κινητική ενέργειά του, θα υπήρχε ολόκληρη κατανομή θερμοκρασιών μέσα στο αέριο. Αυτό όμως δε συμβαίνει, γιατί ένα αέριο σε θερμική ισορροπία έχει μία μόνο θερμοκρασία, αυτήν που θα καταγράψει ένα θερμόμετρο τοποθετημένο στο εσωτερικό του. Συνεπώς, η θερμοκρασία είναι μια ιδιότητα που χαρακτηρίζει συνολικά την ποσότητα του αερίου και δεν μπορεί να αποδοθεί σε κάθε μόριο χωριστά. Το γεγονός ότι η θερμοκρασία χαρακτηρίζει συνολικά το αέριο ενυπάρχει στη σχέση: $\frac{1}{2} m u_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2} kT$

Το μέγεθος u_{rms} είναι ένα είδος **μέσης μοριακής ταχύτητας** και επομένως ο όρος $\frac{1}{2} m u_{\text{rms}}^2$ εκφράζει τη μέση κινητική ενέργεια ανά μόριο στο

αέριο με τον τεράστιο αριθμό μορίων. Αυτή η **μέση** κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει **συνολικά** το αέριο είναι ανάλογη προς τη θερμοκρασία Kelvin.

Συνεπώς, το μηδέν στην κλίμακα Kelvin θα αντιπροσωπεύει την κατάσταση εκείνη κατά την οποία κάθε είδος μοριακής κίνησης σταματά. Είναι αυτό που μερικοί ονομάζουν «**θερμικό θάνατο**».

Ας σκεφτούμε βαθύτερα: Η θερμοκρασία στο διάστημα.

Μετά απ' όσα είπαμε είναι φανερό ότι σε χώρο κενό από μόρια δεν υφίσταται η έννοια της θερμοκρασίας. Αν όμως εκεί βρεθεί ένας αστροναύτης, η θερμοκρασία του θα εξαρτηθεί από το πόσο καλά απορροφά ή αντανακλά τις ακτινοβολίες που πέφτουν επάνω του και από το πόσο καλά εμποδίζει τη δική του θερμότητα να διαφύγει στο διάστημα.

Τα σώματα που τα βλέπει συνεχώς ο ήλιος θα έχουν μια θερμοκρασία κοντά στους 7°C , ενώ αυτά που δε φωτίζονται άμεσα από αυτόν έχουν θερμοκρασία -268°C .

Αν απομακρυνθούμε από όλους τους γαλαξίες, συναντάμε τη θερμοκρασία των $-270,3^\circ\text{C}$ ($2,7\text{ K}$), η οποία οφείλεται στην ακτινοβολία των μικροκυμάτων του πιο απόμακρου διαστήματος. Πολλοί επιστήμονες θεωρούν αυτή τη θερμοκρασία κατάλοιπο της θερμοκρασίας που επικράτησε κατά την μεγάλη έκρηξη (Big Bang), από την οποία δημιουργήθηκε ο κόσμος.

Παράδειγμα 10

Ποια είναι η μέση κινητική ενέργεια των μορίων του αέρα στην ατμόσφαιρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ποια η μέση ταχύτητα των μορίων του οξυγόνου και του αζώτου;

Λύση:

$$\text{Είναι } K = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} (1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) (293 \text{ K}) = 6,07 \times 10^{-21} \text{ J}.$$

Επειδή η μοριακή μάζα του οξυγόνου είναι 32 g/mol, θα έχουμε:

$$m_{\text{O}_2} = \frac{32 \text{ g/mol}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 5,31 \times 10^{-26} \text{ kg}.$$

Ομοίως για το άζωτο θα είναι:

$$m_{\text{N}} = \frac{28 \text{ g/mol}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 4,65 \times 10^{-26} \text{ kg}.$$

Η v_{rms} για τα μόρια οξυγόνου θα είναι:

$$v_{\text{rms, O}_2} = \sqrt{\frac{2K}{m_{\text{O}_2}}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,07 \times 10^{-21} \text{ J}}{5 \times 31 \times 10^{-26} \text{ kg}}}$$

και ομοίως για το άζωτο $v_{\text{rms, N}} = 511 \text{ m/s}$.

1.9 2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Όλοι ξέρουμε ότι το παγωτό το καλοκαίρι λιώνει γρήγορα και ότι ένα παγωμένο αναψυκτικό ζεσταίνεται. Ποτέ δεν έχει παρατηρηθεί το αντίστροφο, γιατί η θερμότητα δε ρέει **αυθόρμητα*** από ένα ψυχρό αντικείμενο στο θερμό περιβάλλον του, αλλά πάντα ρέει αυθόρμητα από το θερμό προς το ψυχρό. Η αυθόρμητη αυτή ροή της θερμότητας βρίσκεται στο επίκεντρο ενός από τους πιο σημαντικούς νόμους της επιστήμης: **του δεύτερου νόμου της Θερμοδυναμικής**.

Διατύπωση που σχετίζεται με τη θερμότητα (ροή ενέργειας).
Διατύπωση Clausius

Η θερμότητα ρέει πάντα αυθόρμητα από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλής θερμοκρασίας και ποτέ αντίστροφα.

* Λέγοντας αυθόρμητα εννοούμε «από μόνη της», χωρίς την κατανάλωση έργου.

Η θερμότητα όμως μπορεί να κινηθεί και κατά την αντίστροφη φορά (από το ψυχρό στο θερμό), αλλά μόνο αν την **αναγκάσουμε** να το κάνει ξοδεύοντας έργο γι' αυτό.

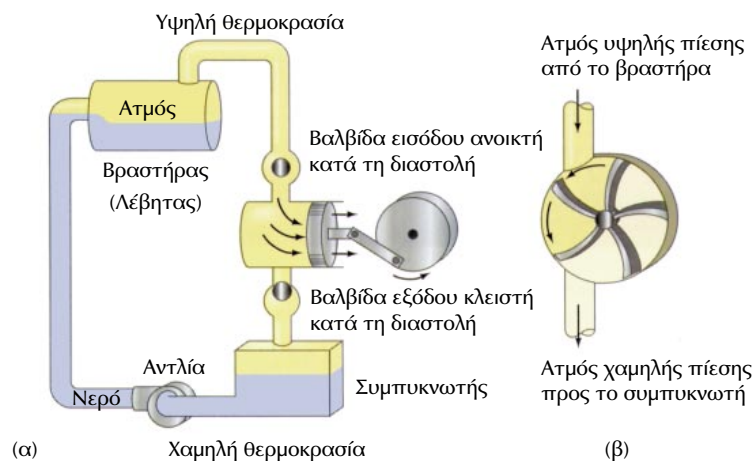
Για παράδειγμα, τα αirkοντίσιον, τα ψυγεία, οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές τις οποίες θα γνωρίσουμε αργότερα και οι οποίες κάνουν ακριβώς αυτό: μεταφέρουν θερμότητα από το ψυχρό σώμα στο θερμό περιβάλλον, δηλαδή ενεργούν αντίθετα με την αυθόρμητη και φυσική τάση ροής της θερμότητας. Για να το πετύχουν όμως αυτό, απορροφούν ενέργεια (ηλεκτρική ή άλλης μορφής).

1.10 Θερμικές μηχανές

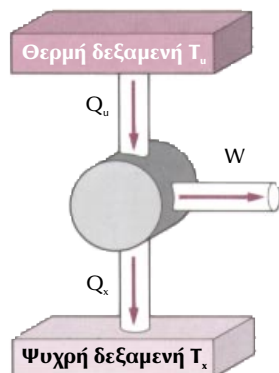
Θερμική μηχανή είναι κάθε διάταξη που χρησιμοποιεί θερμότητα, για να παράγει έργο. Για την κατανόηση των κοινών χαρακτηριστικών όλων των θερμικών μηχανών στην (Εικόνα. 1.40) φαίνεται μια απλοποιημένη ατμομηχανή.

Στο λέβητα το νερό παίρνει θερμότητα από μια πηγή υψηλής θερμοκρασίας, όπως είναι ο καυστήρας (πετρελαίου ή κάρβουνου), και το νερό μετατρέπεται σε ατμό υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης. Ο ατμός στη συνέχεια εισέρχεται από τη βαλβίδα εισόδου στον κύλινδρο και διαστέλλεται, αναγκάζοντας το έμβολο να κινηθεί και να παραγάγει έργο.

Το έμβολο μπορεί να είναι συνδεδεμένο με έναν τροχό, για να τον στρέψει. Το έργο που παράγει το κινούμενο έμβολο προέρχεται, από την εσωτερική ενέργεια του ατμού, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του ατμού στον κύλινδρο να πέφτει.



Εικ. 1.40 Σχηματική αναπαράσταση μιας ατμομηχανής (α) ανακυκλούμενου τύπου και (β) ενός ατμοστρόβιλου, όπου το παλινδρομικό έμβολο έχει αντικατασταθεί από τη φτερωτή.



Εικ. 1.41 Αυτή η σχηματική αναπαράσταση μιας θερμικής μηχανής δείχνει την προσφερομένη θερμότητα (Q_u), που προέρχεται από τη θερμή δεξαμενή, το έργο (W), το οποίο εκτελεί η μηχανή, και τη θερμότητα (Q_x), που αποβάλλεται στην ψυχρή δεξαμενή.

Καθώς το έμβολο επιστρέφει στην αρχική θέση του, ο ψυχρός ατμός εξωθείται από τη βαλβίδα εξόδου στο συμπυκνωτή, όπου μετατρέπεται ξανά σε υγρό. Η θερμότητα που αποβάλλεται κατά την υγροποίηση αποδίδεται σε μια δεξαμενή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να είναι η ατμόσφαιρα.

Το νερό, στη συνέχεια, αντλείται ξανά στο λέβητα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Θερμικές μηχανές όπως η ατμομηχανή λειτουργούν σε επαναλαμβανόμενους διαδοχικούς κύκλους, όπου η κατάληξη του ενός είναι η αρχή του άλλου.

Στην εικόνα 1.40β φαίνεται ένας ατμοστρόβιλος, στον οποίο τα πάντα είναι τα ίδια με τη διαφορά ότι το παλινδρομικό έμβολο έχει αντικατασταθεί από μια φτερωτή.

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά της ατμομηχανής είναι ίδια για όλες τις θερμικές μηχανές, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.41, και αυτά είναι:

1. Από τη δεξαμενή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας T_u απορροφάται θερμότητα Q_u .
2. Μέρος της προσφερόμενης θερμότητας μετατρέπεται από τη μηχανή σε έργο W .
3. Η υπόλοιπη θερμότητα Q_x αποβάλλεται σε δεξαμενή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας T_x .

Μια μηχανή που μετατρέπει το μεγαλύτερο μέρος της προσφερομένης θερμότητας σε έργο θεωρείται αποδοτική.

Η απόδοση μιας θερμικής μηχανής ορίζεται ως ο λόγος του παραγόμενου έργου W από τη μηχανή προς την προσφερόμενη στο αέριο θερμότητα Q_u , η οποία προέρχεται από τη θερμή δεξαμενή.

$$\text{Απόδοση (e)} = \frac{\text{Παραγόμενο έργο}}{\text{Προσφερομένη στο αέριο θερμότητα}} = \frac{W}{Q_u} \quad (8)$$

Αν η προσφερόμενη θερμότητα μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έργο, η απόδοση της μηχανής θα ήταν 1,0, αφού τότε θα ίσχυε $W = Q_u$. Μια τέτοια μηχανή θα είχε απόδοση 100%.

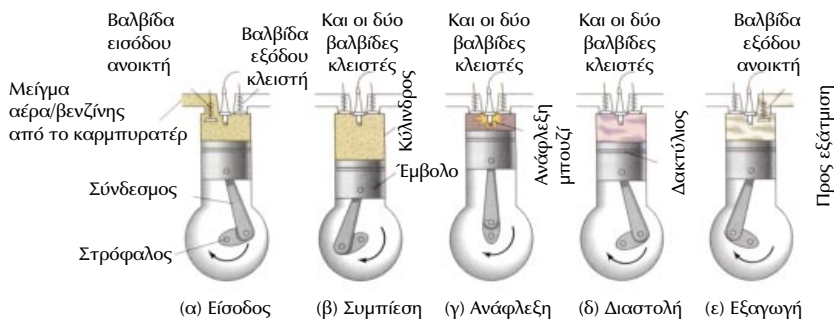
Μια θερμική μηχανή, όπως και κάθε άλλη διάταξη, πρέπει να υπακούει στην αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Ένα μέρος μόνο από την προσφερόμενη στο αέριο θερμότητα Q_u μετατρέπεται σε έργο W , και το υπόλοιπο Q_x αποβάλλεται από αυτό στην ψυχρή δεξαμενή. Αν δεν υπάρχουν άλλες απώλειες στη μηχανή, η αρχή της διατήρησης της ενέργειας απαιτεί:

$$Q_u = W + Q_x \quad (9)$$

Λύνοντας την εξίσωση (19) ως προς W και αντικαθιστώντας το στην (8), παίρνουμε την ακόλουθη εναλλακτική διατύπωση για την απόδοση μιας θερμικής μηχανής.

$$\text{Απόδοση (e)} = \frac{W}{Q_u} = \frac{Q_u - Q_x}{Q_u} = 1 - \frac{Q_x}{Q_u} \quad (10)$$

Η υψηλή θερμοκρασία στην αντίστοιχη δεξαμενή μιας ατμομηχανής από την οποία λαμβάνεται το ποσό θερμότητας Q_u επιτυγχάνεται με την καύση του κάρβουνου, του πετρελαίου ή άλλου καυσίμου για τη θέρμανση του ατμού. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης όπως των αυτοκινήτων η υψηλή θερμοκρασία επιτυγχάνεται με την καύση του μείγματος βενζίνης-αέρα στους κυλίνδρους (η οποία προκαλείται από σπινθήρα στα μπουζί (αναφλεκτήρες)) (Εικ. 1.42).



Εικ. 1.42 Μηχανή εσωτερικής καύσης (τετράχρονη). (α) Το μείγμα βενζίνης-αέρα εισέρχεται στον κύλινδρο, καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω. (β) Το έμβολο κινείται προς τα πάνω και συμπιέζει το μείγμα. (γ) Ο σπινθήρας στο μπουζί πυροδοτεί το μείγμα υψώνοντας πολύ τη θερμοκρασία του. (δ) Τα αέρια της καύσης με υψηλή θερμοκρασία και πίεση εκτονώνονται (διαστέλλονται) σπρώχνοντας με δύναμη το έμβολο προς τα κάτω. (ε) Τα καυσαέρια αποβάλλονται από την εξάτμιση, η βαλβίδα εισόδου ανοίγει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

Εφαρμογή 5

Η μηχανή ενός αυτοκινήτου έχει απόδοση 23%, και σε διάρκεια ενός δευτερολέπτου παράγει έργο 3000 J. Πόση θερμότητα αποβάλλεται από το αυτοκίνητο στο περιβάλλον;

Λύση:

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας υποδεικνύει ότι το ποσό της ενέργειας που αποβάλλεται στο περιβάλλον είναι το μέρος της προσφερόμενης θερμότητας που δε μετατράπηκε σε έργο.

Από την σχέση έχουμε:

$$Q_v = \frac{W}{\text{απόδοση}} = \frac{3000}{0,23} = 13043,5$$

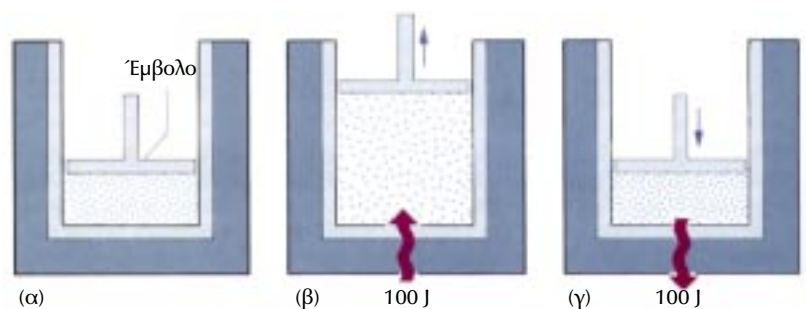
Συνεπώς, η θερμότητα που αποβάλλεται είναι:

$$Q_x = Q_v - W = 13043,5 \text{ J} - 3000 \text{ J} = 10043,5 \text{ J}.$$

Στη προηγούμενη εφαρμογή βλέπουμε ότι ένα μικρό μόνο μέρος της προσφερόμενης θερμότητας αξιοποιείται ως έργο, γιατί το συγκεκριμένο αυτοκίνητο έχει απόδοση 23%. Γίνεται προσπάθεια να βελτιωθεί η απόδοση των μηχανών, δυστυχώς όμως, όπως θα δούμε στη συνέχεια, η φύση μας απαγορεύει να φτιάξουμε μηχανές με 100% απόδοση.

1.11 Απόδοση των θερμικών μηχανών

Είπαμε ότι μια θερμική μηχανή δεν μπορεί να έχει απόδοση 100%. Πότε όμως και κάτω από ποιες προϋποθέσεις μια μηχανή χωρίς τριβές και άλλες απώλειες θα εργάζεται με τη μέγιστη απόδοση; Ο Γάλλος μηχανικός Sadi Carnot (1796-1832) υπεστήριζε ότι μια θερμική μηχανή έχει μέγιστη απόδοση, όταν οι **διαδικασίες** που λαμβάνουν χώρα κατά τη λειτουργία της μηχανής είναι **αντιστρεπτικές**.* Η έννοια της **αντιστρεπτικής διαδικασίας** διασαφηνίζεται παραστατικά στην εικόνα 1.43.



Εικ. 1.43 Αντιστρεπτική διαδικασία. Ένα αέριο βρίσκεται σε ένα θάλαμο υπό πίεση P_1 , όγκο V_1 και θερμοκρασία T_1 (κατάσταση α) συγκρατώντας ένα έμβολο. Όταν 100 J θερμότητας απορροφηθούν από το αέριο, το αέριο διαστέλλεται, σπρώχνει το έμβολο προς τα πάνω και παράγει έργο. Όταν το αέριο σταματήσει να διαστέλλεται, η πίεση, ο όγκος και η θερμοκρασία του θα είναι, αντιστοίχως, P_2 , V_2 και T_2 (κατάσταση β). Τέλος, στην κατάσταση (γ) το αέριο αποβάλλει προς το περιβάλλον 100 J θερμότητας με αποτέλεσμα αέριο και περιβάλλον να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση.

* Μια τέτοια μηχανή ονομάζεται μηχανή Carnot

Αντιστρεπτή διαδικασία (Περιγραφή)

α) Το αέριο βρίσκεται σε μια ορισμένη κατάσταση (P_1, V_1, T_1), β) Προσφέρεται θερμότητα στο σύστημα από το περιβάλλον του και αλλάζει κατάσταση (P_2, V_2, T_2), γ). Το αέριο και το περιβάλλον (έμβολο και το υπόλοιπο Σύμπαν) επανέρχονται στην αρχική κατάστασή τους, ανταλλάσσοντας το ίδιο ποσό θερμότητας κατ' αντίστροφη φορά.

«Συνεπώς, μια διαδικασία είναι αντιστρεπτή, όταν τόσο το σύστημα που την εκτελεί (αέριο) όσο και το περιβάλλον του (έμβολο και το υπόλοιπο Σύμπαν) μπορούν να επιστρέψουν ακριβώς στην αρχική τους κατάσταση».

Σε μια αντιστρεπτή διαδικασία τόσο το σύστημα όσο και το περιβάλλον μπορούν να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση. Αντίθετα, μια διαδικασία που περιλαμβάνει παράγοντες υποβάθμισης της ενέργειας, όπως είναι η τριβή, δεν μπορεί να είναι αντιστρεπτή, επειδή η ενέργεια υπό μορφή θερμότητας, που μεταφέρεται από το σύστημα προς το περιβάλλον του, δεν μπορεί να ανακτηθεί πλήρως, αφού δεν υπάρχουν τέτοιοι μηχανισμοί.

Συνεπώς, σε μια τέτοια περίπτωση (που είναι ο κανόνας στη φύση) σύστημα και περιβάλλον δεν επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

Υπάρχουν και άλλες αιτίες, εκτός από την τριβή, που καθιστούν μια πραγματική διαδικασία μη αντιστρεπτή. Για παράδειγμα, η **αυθόρμητη** ροή της θερμότητας από ένα θερμό σε ένα ψυχρό σώμα είναι μη αντιστρεπτή, έστω και αν δε φαίνεται να υπάρχει τριβή.

Ένα άλλο παράδειγμα μη αντιστρεπτικής διαδικασίας είναι η πτώση ενός αντικειμένου. (Εικ. 1.44).

Έχετε ποτέ παρατηρήσει αυτή τη διαδικασία της εικόνας 1.44 από το (α)



Εικ. 1.44 Από το (γ) προς το (α) φαίνονται τρία στιγμιότυπα από το σπάσιμο ενός φλιτζανιού που έπεσε από ύψος h στο δάπεδο και θρυμματίστηκε σε πολλά κομμάτια, τα οποία εκτινάχθηκαν με διάφορες ταχύτητες προς τυχαίες κατευθύνσεις.

προς το (γ); Ελπίζετε ότι μπορεί κάτι τέτοιο να συμβεί αυθόρμητα; Κατά την πτώση ενός σώματος στο έδαφος από ύψος h η αρχική δυναμική ενέργεια του σώματος μετατρέπεται σε κινητική, και όταν αυτό κτυπήσει το έδαφος, μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια του σώματος και του εδάφους στην περιοχή

πρόσκρουσης. Τα μόρια του σώματος και του εδάφους κινούνται γρηγορότερα, και η θερμοκρασία ανεβαίνει λίγο. Έχετε όμως δει ποτέ το αντίστροφο να συμβεί; Ένα σώμα που βρίσκεται στο έδαφος να σηκωθεί ξαφνικά στον αέρα, επειδή η θερμική ενέργεια των μορίων του (άτακτη κινητική) μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (οργανωμένη) του σώματος ως συνόλου; **Η ενέργεια διατηρείται σε μια τέτοια υποθετική διαδικασία, την οποία όμως δεν παρατηρούμε ποτέ.**

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα διαδικασιών που συμβαίνουν στη φύση, για τις οποίες δεν παρατηρούνται οι αντίστροφές τους.

Π.χ. Αν σε ένα δοχείο με νερό βάλετε έναν κύβο ζάχαρη, θα παρατηρήσετε ότι ο κύβος θα διαλυθεί και ότι θα προκύψει ένα σχεδόν ομοιόμορφο μείγμα. Όσο όμως κι αν περιμένετε ο κύβος δεν πρόκειται να ξανασηματιστεί από μόνος του.

Όλες οι αυθόρμητες διαδικασίες είναι μη αντιστρεπτές.

Παρατήρηση 4 Όταν χρησιμοποιούμε τη λέξη **αντιστρεπτή** για μια μηχανή δεν εννοούμε ότι τα γρανάζια της θα γυρίζουν ανάποδα. Όλα τα αυτοκίνητα έχουν **όπισθεν**, αλλά καμιά μηχανή αυτοκινήτου δεν είναι αντιστρεπτή, γιατί η τριβή εμφανίζεται πάντα για οποιαδήποτε φορά κίνησης.

Ένθετο 2: Αρχή Carnot - Μηχανική Carnot

Σήμερα, η ιδέα ότι η απόδοση μιας θερμικής μηχανής είναι μέγιστη όταν αυτή λειτουργεί αντιστρεπτά αναφέρεται ως **αρχή του Carnot**.

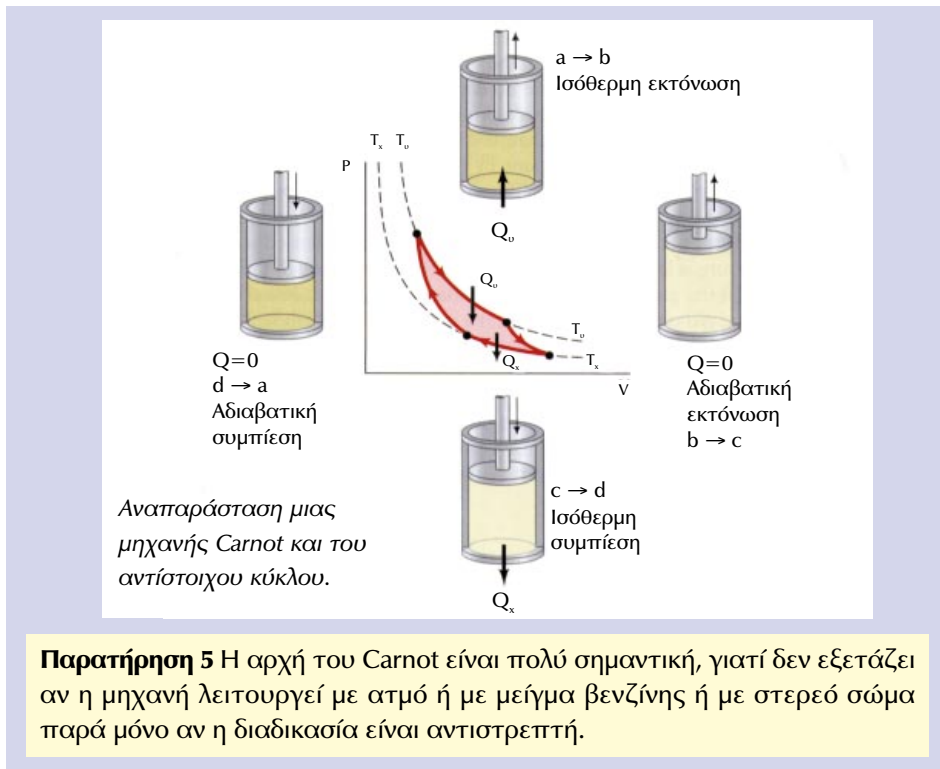
Και ακόμα: **Όλες οι αντιστρεπτές μηχανές που λειτουργούν μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών έχουν την ίδια απόδοση.**

Αρχή του Carnot. Μια διαφορετική διατύπωση του 2ου Νόμου της Θερμοδυναμικής

Καμιά θερμική μηχανή που λειτουργεί μεταξύ δύο δεξαμενών θερμότητας σταθερής θερμοκρασίας T_{ψ} , T_{χ} , δεν μπορεί να έχει μεγαλύτερη απόδοση από μια αντιστρεπτή θερμική μηχανή που λειτουργεί μεταξύ των ίδιων θερμοκρασιών.

Ακόμη, η αρχή του Carnot λέει ότι η απόδοση μιας αντιστρεπτής θερμικής μηχανής είναι μέγιστη και όχι 100%.

Καμιά πραγματική μηχανή δε λειτουργεί αντιστρεπτά. Εν τούτοις, η ιδέα της αντιστρεπτής μηχανής αποτελεί ένα χρήσιμο πρότυπο, για να κρίνουμε την απόδοση των πραγματικών μηχανών. Στην εικόνα 1.50 φαίνεται μια (ιδεατή) αντιστρεπτή μηχανή, που ονομάζεται **μηχανή Carnot**.



Συμπέρασμα:

Η μηχανή Carnot είναι μια αντιστρεπτή μηχανή, στην οποία όλη η προσφερομένη θερμότητα Q_u προέρχεται από μια θερμή δεξαμενή θερμοκρασίας T_u , και όλη η θερμότητα που αποβάλλεται Q_x πηγαίνει στην ψυχρή δεξαμενή θερμοκρασίας T_x .

Το παραγόμενο έργο από τη μηχανή είναι $W = Q_u - Q_x$.

Η αρχή του Carnot, που συνεπάγεται ότι όλες οι αντιστρεπτές θερμικές μηχανές θα έχουν την ίδια απόδοση, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απόδοσή τους θα εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες της θερμής και ψυχρής δεξαμενής που χρησιμοποιούν.

Και μια και είδαμε ότι η απόδοση μιας θερμικής μηχανής είναι:

$$e = 1 - \frac{Q_x}{Q_u},$$

συμπεραίνουμε ότι ο λόγος $\frac{Q_x}{Q_u}$ θα εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δεξαμενών. Αποδεικνύεται ότι:

$$\frac{Q_x}{Q_u} = \frac{T_x}{T_u} \quad (11)$$

όπου οι θερμοκρασίες T_x και T_u εκφράζονται σε Kelvin.

Συνεπώς, η απόδοση μιας μηχανής Carnot δίδεται από τη σχέση:

$$e_c = \text{Απόδοση μηχανής Carnot} = 1 - \frac{T_x}{T_u} \quad (12)$$

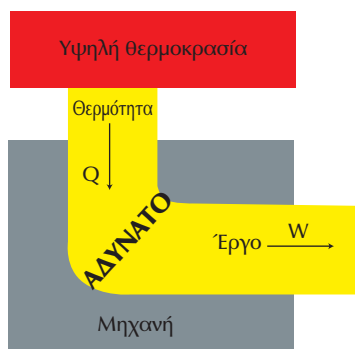
και είναι η μέγιστη απόδοση που μπορεί να έχει οποιαδήποτε πραγματική θερμική μηχανή η οποία λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών T_x και T_u .

Από τη σχέση (12) είναι προφανές ότι σε κανονικές θερμοκρασίες μια απόδοση 100% είναι **αδύνατη**.*

Μόνο αν η θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής T_x ήταν το απόλυτο μηδέν, κάτι τέτοιο θα ήταν δυνατό. Αλλά πρακτικά και θεωρητικά η επίτευξη θερμοκρασίας ίσης προς το απόλυτο μηδέν είναι αδύνατη σε δεξαμενή. Συνεπώς, μπορούμε να επαναδιατυπώσουμε το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής ως εξής:

2ος Νόμος της θερμοδυναμικής. Διατύπωση Kelvin-Planck

Δεν είναι δυνατή η κατασκευή θερμικής μηχανής η οποία να μετατρέπει ένα ποσό θερμότητας εξ ολοκλήρου σε έργο.



Εικ. 1.45

Ας υποθέσουμε ότι ο δεύτερος νόμος δεν ισχύει, οπότε θα ήταν δυνατή η κατασκευή μιας τέτοιας τέλει μηχανής, όπως αυτή παραστατικά παρουσιάζεται στην (Εικ. 1.45. Θα μπορούσαν τότε να συμβούν μερικά περίεργα πράγματα. Για παράδειγμα, αν η μηχανή ενός πλοίου δε χρειαζόταν μια δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας, για να αποβάλλει θερμότητα σ' αυτήν, το πλοίο θα μπορούσε να ταξιδεύει συνεχώς, χρησιμοποιώντας τα τεράστια αποθέματα εσωτερικής ενέργειας του νερού των ωκεανών. Στην περίπτωση αυτή δε θα είχαμε καθόλου ανάγκη καυσίμων.

Ένθετο 3: Εντροπία

Πιθανόν να έχετε ακούσει τον όρο **εντροπία** και να έχετε αναρωτηθεί τι σημαίνει.

Από τη σκοπιά της θερμοδυναμικής η εντροπία είναι ένα μαθηματικό

* Αυτό αποτελεί έναν άλλο νόμο, γνωστό ως τρίτο νόμο της θερμοδυναμικής.

μέγεθος. Οι μεταβολές της μας λένε κατά πόσο μια διαδικασία μπορεί να εξελιχθεί αφθόρμητα ή όχι.

Συνεπώς, καταλαβαίνουμε ότι πρέπει να σχετίζεται με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Αν χρησιμοποιήσουμε την έννοια της εντροπίας ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Η εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος ποτέ δεν ελατώνεται.

Για να μπορέσουμε να την κατανοήσουμε καλύτερα, μερικές φορές λέμε ότι η εντροπία αποτελεί ένα μέτρο της αταξίας ενός συστήματος. Όταν προσφέρουμε θερμότητα σ' ένα σώμα, η εντροπία του αυξάνει, γιατί η επιπλέον ενέργεια αυξάνει την άτακτη κίνηση των μορίων του. Κάθε φορά που μια αυθόρμητη διαδικασία λαμβάνει χώρα, η αταξία αυξάνεται. Για παράδειγμα, όταν ο πάγος λιώνει τα μόρια του νερού είναι πιο ελεύθερα να κινηθούν τυχαία στην υγρή φάση απ' ό,τι στη στερεά. Το ίδιο κι όταν το νερό εξατμίζεται· το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερη αταξία και αυξημένη εντροπία. Αλλά και όταν ένας κύβος ζάχαρης διαλύεται στο νερό ή όταν το άρωμα από ένα μπουκαλάκι γεμίζει το δωμάτιο, έχουμε αύξηση της αταξίας και της εντροπίας.

Τα συστήματα (φυσικά ή όχι) από μόνα τους τείνουν να αποκτήσουν όλο και μεγαλύτερη αταξία ποτέ δεν παρατηρείται το αντίθετο .

Το δωμάτιο ενός μαθητή γίνεται συνεχώς όλο και πιο ακατάστατο, ποτέ το αντίθετο. Φυσικά, μπορούμε να «συγυρίσουμε» (τακτοποιήσουμε) το δωμάτιο και να μπουν όλα τα πράγματα στη θέση τους, οπότε η αταξία και συνεπώς και η εντροπία του δωματίου θα ελαττωθεί. Αλλά για να το κάνουμε αυτό (να τακτοποιήσουμε δηλαδή το δωμάτιο), κάποιος πρέπει να κουρασθεί και να ξοδέψει ενέργεια, με αποτέλεσμα η δική του εντροπία να αυξηθεί περισσότερο απ' όσο θα ελαττωθεί η εντροπία του δωματίου. Μερικές φορές λέμε ότι **η ολική εντροπία του κόσμου αυξάνεται σε κάθε αυθόρμητη διαδικασία.**

Είδαμε ότι η θερμότητα «ρέει» αυθόρμητα από περιοχή υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας. Συνδυάζοντας αυτό με όσα είπαμε προηγουμένως, συμπεραίνουμε ότι η θερμική ενέργεια θα πρέπει να έχει υψηλότερο βαθμό οργάνωσης, όταν βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, και να γίνεται πιο ανοργάνωτη (άτακτη), όταν μεταφέρεται σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την αύξηση της εντροπίας. Συνεπώς, το **Σύμπαν** (άστρα και γαλαξίες) σταδιακά θα ψυχθούν σε μια τελική κοινή θερμοκρασία, και η εντροπία του Σύμπαντος θα πάρει τη μέγιστη τιμή της. Αυτό είναι ένα πιθανό τέλος για το Σύμπαν ύστερα από δισεκατομύρια χρόνια από τώρα, και είναι γνωστό ως ο **θερμικός θάνατος του Σύμπαντος.**

Ένθετο 4: Η αναζήτηση του αεικινήτου

Από τότε που ο άνθρωπος άρχισε να κατασκευάζει μηχανές, ο στόχος ήταν ένας να κάνει τη ζωή του ευκολότερη. Οι μηχανές το πέτυχαν αυτό αλλά πάντα με κάποιο κόστος. Κάποια άλλη μορφή ενέργειας έπρεπε να ξοδεύεται, για να πετύχεις τη λειτουργία μιας μηχανής. Η πρόκληση λοιπόν ήταν μεγάλη· μήπως θα μπορούσε να κατασκευαστεί μια μηχανή που να δουλεύει συνεχώς, χρησιμοποιώντας τις δυνάμεις της φύσης (βαρύτητα, ηλεκτρισμό, μαγνητισμό) και να παράγει ωφέλιμο έργο χωρίς εμείς να χρειάζεται να καταναλώσουμε κάποια επιπλέον ενέργεια γι' αυτό.

Ο καθένας που έχει γνωρίσει έναν ηλεκτρικό κινητήρα και μια ηλεκτρική γεννήτρια θα έχει σκεφτεί: μήπως αν συνδέσουμε τη γεννήτρια με τον κινητήρα, μπορούμε να πετύχουμε με ένα μέρος του ρεύματος που παράγει η γεννήτρια να λειτουργεί ο κινητήρας ο οποίος με τη σειρά του θα κινεί τη γεννήτρια, ενώ με το υπόλοιπο θα μπορούμε π.χ. να φωτίσουμε το σπίτι μας;

Αν μπορούσαμε να το κατασκευάσουμε αυτό, θα είχαμε βρει το **αεικίνητο του πρώτου είδους**.

Η πραγματοποίησή του αντιβαίνει στη αρχή της διατήρησης της ενέργειας και συνεπώς και στον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής.

Πολλοί ευφυείς εφευρέτες έχουν καταναλώσει τη ζωή τους ανά τους αιώνες στην αναζήτηση αυτή της χίμαιρας ωσπού που το 1775 η Γαλλική Ακαδημία των Επιστημών έκλεισε την πόρτα της σε τέτοιου είδους εφευρέσεις, χωρίς όμως να γνωρίζουν ακόμη τότε τους νόμους που απαγόρευαν τη δυνατότητα της πραγματοποίησής του αεικινήτου.



Μερικές χαρακτηριστικές προτάσεις για την κατασκευή του αεικινήτου. α) Η πρόταση του Λεονάρντο ντα Βίντσι. Οι σφαίρες στους βραχίονες είναι μισογεμι-

σμένες με υδράργυρο, η μετακίνηση της μάζας του οποίου επιφέρει τη λειτουργία του μηχανισμού με τη βοήθεια της βαρύτητας. β) Μια ατέλειωτη σειρά από σπόγγους που καθώς στραγγίζουν χάνουν βάρος, προκαλώντας την κίνηση, ενώ η αλυσίδα στο κεκλιμένο επίπεδο τους πιέζει για να γίνουν ελαφρύτεροι. γ) Ένας ισχυρός μαγνήτης Α έλκει τη μικρή σιδερένια σφαίρα c προς τα πάνω, στο κεκλιμένο επίπεδο. Μόλις η σφαίρα φτάσει στη τρύπα Ε πέφτει και επιστρέφει στην αρχική θέση της περνώντας μέσα από το άνοιγμα D. δ) Ο τροχός φέρει αρθρωτό βραχίονα που συγκρατεί τη βαριά σφαίρα C αναγκάζει στη συνέχεια τον τροχό να στραφεί ώσπου να αποθέσει τη σφαίρα στη θέση D, απ' όπου αυτή επιστρέφει στη θέση C, και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. ε) Το νερό με τη βοήθεια ατέρμονα κοχλίας ανέρχεται στη θέση Α, απ' όπου ρέει διαδοχικά στα δοχεία Ε, F, G και κινεί τα περύγια H, I, K, προσδίδοντας κίνηση στον κοχλία, ώστε η διαδικασία να συνεχίζεται.

Στην εικόνα απεικονίζονται μερικές από τις πιο γνωστές μηχανές αυτού του τύπου που είχαν προταθεί κατά καιρούς.

Αφού οι προσπάθειες για την πραγματοποίηση του αεικινήτου πρώτου είδους απέβησαν τελικά άκαρπες και όπως απεδείχτηκε και μάταιες, οι έρευνες των εφευρετών εστράφησαν προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της απόδοσης των διάφορων μηχανών, έτσι ώστε όση ενέργεια τους δίνουμε υπό μορφή θερμότητας τόσο ακριβώς έργο να μας αποδίδουν. Και πάλι όμως οι προσπάθειες απέβησαν όχι μόνο άκαρπες αλλά και μάταιες.

Η επιδίωξη της κατασκευής μιας τέτοιας μηχανής αποτελεί την αναζήτηση του **αεικινήτου του δευτέρου είδους**, και η πραγματοποίησή της αντιβαίνει στο δεύτερο νόμο της Θερμοδυναμικής σύμφωνα με τον οποίο καμιά θερμική μηχανή δεν μπορεί να μετατρέψει εξ ολοκλήρου την προσφερόμενη σ' αυτή θερμότητα σε έργο αλλά ένα μέρος της πρέπει να το αποδίδει σε μια δεξαμενή θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας.

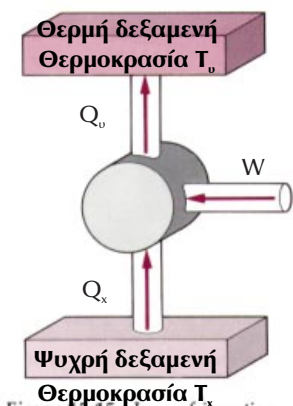
Με άλλα λόγια η αποτυχία και το μάταιο της αναζήτησης του αεικινήτου του πρώτου και του δεύτερου είδους διδάσκουν ότι όχι μόνο δεν μπορούμε να πάρουμε περισσότερη ενέργεια απ' αυτήν που προσφέρουμε αλλά ούτε και να "ισοφαρίσουμε"!!

1.12 Ψυγεία – Κλιματιστικά – Αντλίες θερμότητας

Η αρχή λειτουργίας των ψυγείων, των κλιματιστικών και των αντλιών θερμότητας είναι ακριβώς η αντίστροφη από αυτήν των θερμικών μηχανών.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 1.46 από την ψυχρή δεξαμενή (ψυχρό περιβάλλον, π.χ. το εσωτερικό του ψυγείου) απορροφάται θερμότητα Q_c υπό θερμοκρασία T_c και αποβάλλεται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας Q_w στη θερμή δεξαμενή (θερμό περιβάλλον, π.χ. δωμάτιο) θερμοκρασίας T_w . Για να συμβεί αυτό, καταλώνεται έργο W .

Μπορείτε να αισθανθείτε αυτή τη θερμότητα να βγαίνει από το πίσω μέρος



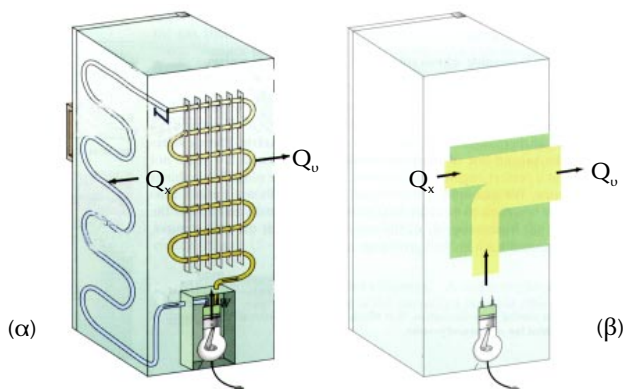
Εικ. 1.46 Αρχή λειτουργίας και σχηματικό διάγραμμα της ενεργειακής ροής σε ένα ψυγείο ή σε ένα κλιματιστικό.

κτρικής ενέργειας W τόσο καλύτερο (πιο αποδοτικό) θα είναι το ψυγείο. Από την αρχή της διατήρησης της ενέργειας (πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής) έχουμε:

$$Q_x + W = Q_u \quad \text{ή} \quad W = Q_u - Q_x$$

οπότε η σχέση (13) γίνεται:

$$K = \frac{Q_x}{W} = \frac{Q_x}{Q_u - Q_x} \quad (14)$$



Εικ.1.47 Τυπικό σύστημα ψυγείου. Το μοτέρ του συμπιεστή σπρώχνει το αέριο υπό υψηλή πίεση μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας στο πίσω μέρος του ψυγείου, όπου θερμότητα Q_u αποβάλλεται και το αέριο ψύχεται και υγροποιείται. Το υγρό τώρα διέρχεται μέσω μιας βαλβίδας από την περιοχή υψηλής πίεσης στην περιοχή χαμηλής πίεσης στα εσωτερικά τοιχώματα του ψυγείου. Εξαερούται σ' αυτή τη χαμηλή πίεση και έτσι απορροφά θερμότητα Q_x από το εσωτερικό του ψυγείου. Το υγρό επιστρέφει στο συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

του ψυγείου. Το έργο W συνήθως γίνεται από το μοτέρ που συμπιέζει ένα ρευστό (Εικ. 1.47).

Ένα **τέλειο** ψυγείο, δηλαδή ένα ψυγείο που δε χρειάζεται έργο, για να μεταφέρει θερμότητα από την ψυχρή περιοχή στη θερμή, δεν είναι εφικτό, σύμφωνα με τη διατύπωση του Clausius για το δεύτερο νόμο της Θερμοδυναμικής.

Η **επίδοση** K ενός ψυγείου ορίζεται ως το πηλίκο της θερμότητας Q_x , που αφαιρείται από την περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας, διά του έργου W , που απαιτείται για το σκοπό αυτό.

$$K = \frac{Q_c}{W} \quad (13)$$

Αυτός ο τρόπος ορισμού της αποτελεσματικότητας ενός ψυγείου φαίνεται λογικός, επειδή όσο περισσότερη θερμότητα Q_x αφαιρείται από το εσωτερικό του ψυγείου για δεδομένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας W τόσο καλύτερο (πιο αποδοτικό) θα είναι το ψυγείο.

Για ένα **ιδανικό** ψυγείο (όχι ένα τέλειο που είναι ανέφικτο), το καλύτερο που θα μπορούσε να πετύχει κανείς είναι:

$$K_{\text{ιδανικού}} = \frac{T_x}{T_u - T_x} \quad (15)$$

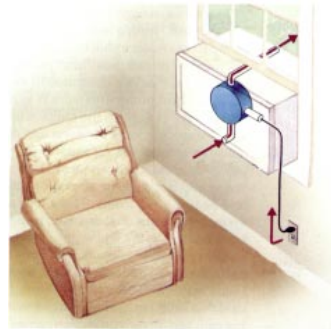
Ένα κλιματιστικό (Εικ. 1.48) λειτουργεί περίπου το ίδιο με ένα ψυγείο, αν και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες είναι διαφορετικές, γιατί το κλιματιστικό παίρνει θερμότητα Q_x από το εσωτερικό ενός δωματίου ή ενός κτιρίου σε χαμηλή θερμοκρασία και αποβάλλει θερμότητα Q_u στο περιβάλλον σε υψηλότερη θερμοκρασία. Και για την επίδοση των κλιματιστικών ισχύει η σχέση που βρήκαμε για τα ψυγεία.

Η θερμότητα από μόνη της ρέει από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας, όπως το νερό ρέει από μόνο του από τα ψηλά στα χαμηλά· για να κάνουμε το αντίθετο, χρειαζόμαστε αντλίες. Έτσι και για τη μεταφορά της θερμότητας από την ψυχρή στη θερμή περιοχή χρησιμοποιούμε μια αντλία θερμότητας.

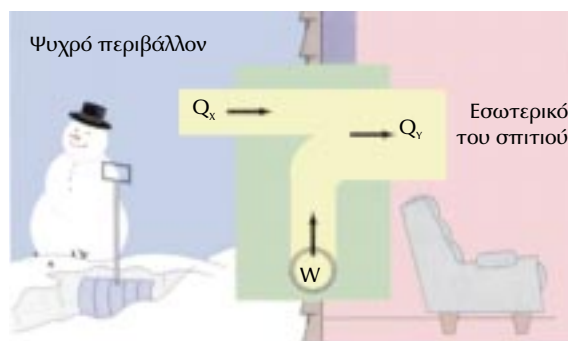
Ο όρος αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται κυρίως για τις διατάξεις που θερμαίνουν ένα σπίτι το χειμώνα αντλώντας θερμότητα Q_x από το περιβάλλον, το οποίο βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, και προσφέρουν θερμότητα Q_u στο σπίτι, καταναλώνοντας έργο W (Εικ. 1.49). Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας είναι ίδια με αυτήν του ψυγείου ή του κλιματιστικού, αλλά ο σκοπός της αντλίας θερμότητας είναι να θερμαίνει και όχι να ψύχει. Συνεπώς, η επίδοση μιας αντλίας θερμότητας θα ορίζεται διαφορετικά απ' ό,τι στα ψυγεία και στα κλιματιστικά.

$$K_{\text{αντ. θερμ.}} = \frac{Q_u}{W} = \frac{T_u}{T_u - T_x} \quad (16)$$

Οι περισσότερες αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργήσουν και ως κλιματιστικά το καλοκαίρι με αντιστροφή της λειτουργίας τους.



Εικ. 1.48 Ένα κλιματιστικό δωματίου απορροφά θερμότητα από το δωμάτιο, που είναι η ψυχρή δεξαμενή, και αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον, που είναι η θερμή δεξαμενή.



Εικ. 1.49 Μια αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα από το ψυχρό περιβάλλον και θερμαίνει με θερμότητα Q_u το εσωτερικό του δωματίου.

Εφαρμογή 4 Αντλία θερμότητας

Μια αντλία θερμότητας έχει επίδοση $K=3$ και καταναλώνει ισχύ 1500 W .
(α) Πόση θερμότητα προσφέρει σε ένα δωμάτιο το χειμώνα; (β) Όταν λειτουργεί το καλοκαίρι ως κλιματιστικό, ποια θα είναι η επίδοσή της.

Λύση:

α) Χρησιμοποιούμε τη σχέση (16) και έχουμε:

$$Q_v = K \times W = 3 \times 1500 \text{ J} = 4500 \text{ J ανά δευτερόλεπτο}$$

ή ισχύ 4500 W

β) Αν το καλοκαίρι λειτουργεί αντίστροφα ως κλιματιστικό, θα απορροφά από το δωμάτιο θερμότητα Q_x ανά δευτερόλεπτο και θα αποβάλλει στο περιβάλλον θερμότητα $Q_v = 4500 \text{ J}$ ανά δευτερόλεπτο. Η ενέργεια διατηρείται, και συνεπώς:

$$Q_x + W = Q_v \quad \text{ή}$$

$$Q_x = Q_v - W = 4500 \text{ J} - 1500 \text{ J} = 3000 \text{ J}$$

Ο συντελεστής λειτουργίας για το κλιματιστικό είναι:

$$K_{\text{κλιμ.}} = \frac{Q_x}{W} = \frac{3000 \text{ J}}{1500 \text{ J}} = 2.$$

1.13 Ειδικές θερμότητες

Απ' όσα είπαμε έως τώρα, αλλά και από την καθημερινή εμπειρία μας, προκύπτει ότι όταν ένα σώμα παίρνει θερμότητα η θερμοκρασία του αυξάνεται. Πόση είναι όμως αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας; Ήδη από το δέκατο όγδοο αιώνα οι ερευνητές είχαν διαπιστώσει ότι η θερμότητα που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός σώματος είναι ανάλογη προς τη μάζα m του σώματος και προς τη μεταβολή $\Delta\theta$ της θερμοκρασίας του.

Αυτή η εξαιρετικά απλή διαπίστωση μπορεί να εκφραστεί με εξίσωση.
Σχέση ανάμεσα στη ροή της θερμότητας και στη μεταβολή της θερμοκρασίας

$$Q = m c \Delta\theta \quad (17)$$

όπου c είναι ένα μέγεθος χαρακτηριστικό του υλικού που ονομάζεται **ειδική θερμότητα**.

Η ειδική θερμότητα ενός υλικού, εκφράζει τη θερμότητα που χρειάζεται να προσλάβει ή να αποβάλει η μονάδα μάζας του υλικού, για να μεταβληθεί η θερμοκρασία της κατά μία μονάδα θερμοκρασίας.

Από τη σχέση (17) βρίσκουμε ότι: $c = \frac{Q}{m \Delta T}$. Συνεπώς η ειδική

θερμότητα θα μετριέται σε J/kg °C ή σε Cal/kg °C. Στον πίνακα IV δίνουμε τις τιμές της ειδικής θερμότητας για διάφορες ουσίες.

Το γινόμενο mc ονομάζεται **θερμοχωρητικότητα K** και αφορά πάντα ένα συγκεκριμένο σώμα. Αν, για παράδειγμα, ένα δοχείο αποτελείται από αλουμίνιο μάζας $m_{\alpha\lambda.}$ με ειδική θερμότητα $c_{\alpha\lambda.}$, από βακελίτη μάζας $m_{\beta\alpha\kappa.}$ με ειδική θερμότητα $c_{\beta\alpha\kappa.}$ και από γυαλί μάζας $m_{\gamma\alpha\lambda.}$ με ειδική θερμότητα $c_{\gamma\alpha\lambda.}$, η θερμοχωρητικότητα του δοχείου θα είναι:

$$K = m_{\alpha\lambda.} c_{\alpha\lambda.} + m_{\beta\alpha\kappa.} c_{\beta\alpha\kappa.} + m_{\gamma\alpha\lambda.} c_{\gamma\alpha\lambda.}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ IV

Ειδικές θερμότητες (Σε 1 atm και 20 °C)

Ουσία	Ειδική θερμότητα		Ουσία	Ειδική θερμότητα	
	Kcal/kg °C	J/kg °C		Kcal/kg °C	J/kg °C
Αλουμίνιο	0,22	900	Οινόπνευμα	0,58	2400
Χαλκός	0,093	390	Γλυκερίνη (50 °C)	0,60	2500
Γυαλί	0,20	840	Υδράργυρος	0,033	140
Διαμάντι	0,12	500	Νερό		
Ατσάλι (σίδηρος)	0,11	450	Πάγος (-5 °C)	0,50	2100
Μόλυβδος	0,031	130	Υγρό (15 °C)	1,00	4186
Μάρμαρο	0,21	860	Ατμός (110 °C)	0,48	2010
Ασβέστης	0,195	820	Ανθρώπινο σώμα	0,83	3470
Άργυρος	0,051	230	Πρωτεΐνες	0,4	1700
Ξύλο	0,4	1700	Βενζίνη	0,41	1720
Αλάτι	0,21	880			

Οι τιμές της ειδικής θερμότητας c εξαρτώνται σε μικρό βαθμό από τη θερμοκρασία (και πολύ λίγο από την πίεση), αλλά για μεταβολές της θερμοκρασίας που δεν είναι πολύ μεγάλες η ειδική θερμότητα των διάφορων υλικών μπορεί να θεωρηθεί σταθερή.

Παράδειγμα 12:**Πώς η θερμότητα εξαρτάται από την ειδική θερμότητα.**

α) Πόση θερμότητα χρειάζεται, για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός σιδερένιου δοχείου με μάζα 20 kg από τους 10 °C στους 90 °C. β) Πόση θα χρειαστεί, αν το δοχείο περιέχει 20 kg νερό.

Λύση:

α) $Q = m C \Delta\theta = (20 \text{ kg}) (450 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}) (80 \text{ } ^\circ\text{C}) = 720 \text{ KJ}.$

β) Για το νερό μόνο χρειάζεται:

$$Q = m C \Delta\theta = (20 \text{ kg}) (4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}) (80 \text{ } ^\circ\text{C}) = 6700 \text{ KJ}.$$

Για το νερό μαζί με το δοχείο θα χρειαστεί:

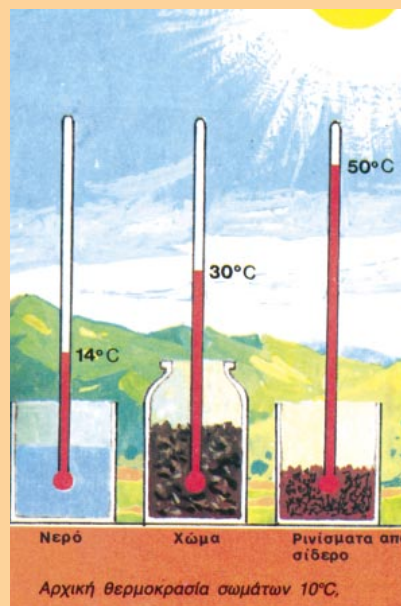
$$720 \text{ KJ} + 6700 \text{ KJ} = 7420 \text{ KJ}.$$

Δραστηριότητα 11 (πειραματική)

Όλα τα σώματα ζεσταίνονται το ίδιο από τον ήλιο;

Πραγματοποιήστε το ακόλουθο πείραμα που παραστατικά παρουσιάζεται στην εικόνα :

Μια κρύα μέρα του χειμώνα σε τρία ίδια γιάλινα δοχεία (π.χ. ποτήρια) βάλτε ίσες ποσότητες νερού, άμμου και ρινισμάτων σιδήρου (π.χ. 50 g). Σκεπάστε τα με ένα καπάκι από φελιζόλ, στο οποίο έχετε ανοίξει τρεις τρύπες και έχετε περάσει ένα θερμόμετρο στο καθένα, που να βυθίζεται στο αντίστοιχο υλικό. Αν η αρχική ένδειξη των θερμομέτρων και για τα τρία είναι 10 °C, πώς εξηγείς ότι ύστερα από ισόχρονη έκθεση (π.χ. 30 min) στον ήλιο οι ενδείξεις είναι αυτές που φαίνονται στην διπλανή εικόνα;

**Εικ.**

Προσπαθήστε με βάση τη μεγάλη διαφορά που υπάρχει στην ειδική θερμότητα του χώματος και του νερού και στηριζόμενοι στη προηγούμενη πειραματική δραστηριότητα να εξηγήσετε τα ακόλουθα φαινόμενα.

- α) Το καλοκαίρι στις παραθαλάσσιες περιοχές τις απογευματινές ώρες φυσά ένα δροσερό αεράκι από τη θάλασσα προς τη στεριά (θαλάσσια αύρα), ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, φυσά από την ξηρά προς τη θάλασσα (απόγειος αύρα).
- β) Στο εσωτερικό της Πελοποννήσου και της Κεντρικής Ελλάδας (Τρίπολη, Αργίνο, Λάρισα) σημειώνονται το καλοκαίρι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και το χειμώνα πολύ χαμηλές. Αντίθετα, στις παραθαλάσσιες και νησιωτικές περιοχές έχουμε μέτριες θερμοκρασίες τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα.

Οι ειδικές θερμότητες των αερίων είναι πιο πολύπλοκες απ' όσο για τα στερεά και για τα υγρά, που η μεταβολή του όγκου τους λόγω της μεταβολής της θερμοκρασίας είναι σχετικά μικρή.

ΠΙΝΑΚΑΣ V		
Ειδικές θερμότητες αερίων (Kcal/kg °C)		
Αέριο	C_p σταθερή πίεση	C_v σταθερός όγκος
Ατμός (100 °C)	0,482	0,350
Οξυγόνο	0,218	0,155
Ήλιο	1,15	0,75
Διοξείδιο του άνθρακα	0,199	0,153
Αζωτο	0,248	0,177

Η ειδική θερμότητα των αερίων, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που πρέπει να πάρει ή να δώσει ένα γραμμάριο του αερίου, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό, είναι φανερό ότι θα εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αύξηση της θερμοκρασίας. Δηλαδή, θα είναι διαφορετική αν γίνεται υπό σταθερή πίεση και διαφορετική αν γίνεται υπό σταθερό όγκο. Για μερικά αέρια αυτό φαίνεται στον πίνακα V.

Παρατηρούμε από τον πίνακα V ότι για τα αέρια η διαφορά ανάμεσα στην ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση C_p και υπό σταθερό όγκο C_v είναι σημαντική, και μάλιστα η πρώτη είναι πάντα μεγαλύτερη από τη δεύτερη. Μήπως αυτό είναι κάτι που το περιμένατε; (Θυμηθείτε ότι κατά τη θέρμανσή του το αέριο υπό σταθερή πίεση διαστέλλεται και συνεπώς παράγει και έργο $P \Delta V$).

1.14 Θερμιδομετρία

Όταν διαφορετικά μέρη ενός απομονωμένου συστήματος βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες, η θερμότητα θα μεταβαίνει από τα μέρη με την υψηλή θερμοκρασία στα μέρη με τη χαμηλή θερμοκρασία. Αν το σύστημα είναι πλήρως απομονωμένο, δεν μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει ενέργεια απ' αυτό. Συνεπώς, η αρχή της διατήρησης της ενέργειας παίζει ένα σημαντικό ρόλο. Η θερμότητα την οποία έχασε ένα μέρος του συστήματος ισούται πάντα με τη θερμότητα την οποία πήρε ένα άλλο μέρος του συστήματος.

$$\text{Διατήρηση της ενέργειας:} \quad \left(\begin{array}{c} \text{Θερμότητα} \\ \text{που χάνεται} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Θερμότητα} \\ \text{που κερδίζεται} \end{array} \right)$$

Παράδειγμα 13

Το φλιτζάνι κρυώνει τον καφέ

Αν 200 cm^3 ζεστού καφέ θερμοκρασίας 95°C πέσουν σε ένα γυάλινο φλιτζάνι μάζας 150 g , που βρίσκεται αρχικά σε θερμοκρασία 25°C , ποια θα είναι η τελική θερμοκρασία του καφέ, μόλις αποκατασταθεί θερμική ισορροπία, αν υποθέσουμε ότι στο διάστημα αυτό δε χάθηκε σημαντική θερμότητα προς το περιβάλλον;

Λύση:

Μια και ο καφές είναι κυρίως νερό, η ειδική θερμότητά του θα είναι περίπου ίδια με αυτήν του νερού, και η μάζα του θα είναι ίση με τον όγκο του επί την πυκνότητα του νερού.

$$C_{\text{καφέ}} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}, \quad m_{\text{καφέ}} = (200 \times 10^{-6} \text{ m}^3) (1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) = 0,20 \text{ kg}$$

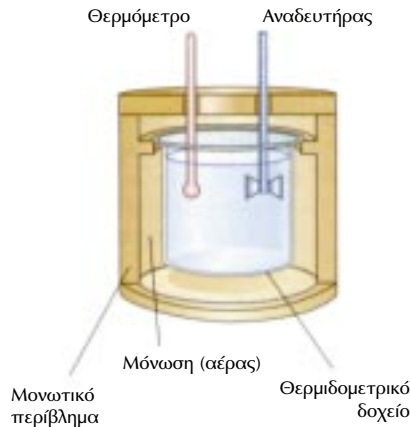
Από τον πίνακα IV έχουμε για την ειδική θερμότητα του φλυτζανιού $C_{\text{γυαλ.}} = 840 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$. Εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας έχουμε:

Θερμότητα που έχασε ο καφές = θερμότητα που κέρδισε το φλυτζάνι

$$m_{\text{καφέ}} C_{\text{καφέ}} (95^\circ \text{C} - \theta) = m_{\text{γυαλ.}} C_{\text{γυαλ.}} (\theta - 25^\circ \text{C})$$

Αντικαθιστώντας βρίσκουμε: $\theta = 89^\circ \text{C}$

Η ανταλλαγή της θερμότητας, όπως περιγράφηκε στο παράδειγμα 13, αποτελεί τη βάση μιας τεχνικής που είναι γνωστή ως **θερμιδομετρία** και συνίσταται στην ποσοτική μέτρηση της θερμότητας που ανταλλάσσεται. Για την πραγματοποίηση αυτών των μετρήσεων χρησιμοποιούνται όργανα που είναι γνωστά ως **θερμιδόμετρα** και είναι διάφορων τύπων. Ένα απλό θερμιδόμετρο νερού φαίνεται στην εικόνα 1.50.



Εικ. 1.50 Απλό θερμιδόμετρο νερού

Είναι πολύ σημαντικό το θερμιδόμετρο να είναι καλά μονωμένο, ώστε το ποσό της θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον να είναι αμελητέο. Μια σημαντική χρήση του θερμιδόμετρου είναι ο καθορισμός των ειδικών θερμότητων διάφορων υλικών. Στη διαδικασία, που είναι γνωστή ως **μέθοδος των μειγμάτων**, ένα δείγμα της ουσίας της οποίας θέλουμε να βρούμε την ειδική θερμότητα θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία, την οποία μετράμε με ακρίβεια, και στη συνέχεια ρίπτεται μέσα στο ψυχρό νερό του θερμιδόμετρου. Η θερμότητα που αποβάλλεται από το δείγμα πηγαίνει στο νερό και στο θερμιδόμετρο. Αν μετρήσουμε την τελική θερμοκρασία του μείγματος, η ειδική θερμότητα του δείγματος μπορεί να προσδιοριστεί όπως φαίνεται στο ακόλουθο παράδειγμα.

Παράδειγμα 14

Προσδιορισμός άγνωστης ειδικής θερμότητας ενός νέου κράματος.

Ένα δείγμα 150 gr του κράματος θερμαίνεται στους 540 °C και στη συνέχεια ρίχνεται γρήγορα σε 400 g νερό θερμοκρασίας 10 °C που βρίσκεται στο αλουμινένιο δοχείο μάζας 200 g του θερμιδόμετρου. Η τελική θερμοκρασία, που αποκαθίσταται ύστερα από λίγο χρόνο, και αφού αναδεύσουμε καλά, είναι 30,5 °C. Πόση είναι η ειδική θερμότητα του κράματος;

Λύση:

Εφαρμόζουμε ξανά την αρχή της διατήρησης της ενέργειας και γράφουμε:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Θερμότητα που} \\ \text{έχασε το δείγμα} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Θερμότητα που} \\ \text{παίρνει το νερό} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Θερμότητα που} \\ \text{παίρνει το δοχείο} \end{array} \right)$$

$$m_{\delta} c_{\delta} \Delta\theta_{\delta} = m_{\nu} c_{\nu} \Delta\theta_{\nu} + m_{\delta\sigma\chi} c_{\delta\sigma\chi} \Delta\theta_{\delta\sigma\chi}$$

όπου οι δείκτες δ, υ και δοχ. αναφέρονται, αντίστοιχα, στο δείγμα στο νερό και στο δοχείο. Αν χρησιμοποιήσουμε και τις τιμές από τον πίνακα IV, η προηγούμενη εξίσωση γίνεται:

$$(0,150 \text{ kg}) (c_{\delta}) (540^{\circ}\text{C} - 30,5^{\circ}\text{C}) = (0,40 \text{ kg}) (4186 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}) (30,5^{\circ}\text{C} - 10,0^{\circ}\text{C}) + (0,20 \text{ kg}) (900 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}) (30,5^{\circ}\text{C} - 10,0^{\circ}\text{C})$$

$$\text{ή} \quad 76,4 c_{\delta} = (34,300 + 3700) \text{ J/kg }^{\circ}\text{C} \quad \text{ή} \quad c_{\delta} = 500 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}.$$

Στους προηγούμενους υπολογισμούς αγνοήσαμε τη θερμότητα που μεταφέρεται στο θερμόμετρο και στον αναδευτήρα (που χρειάζεται, για να επιταχύνει τη διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας και συνεπώς να μειωθούν οι θερμικές απώλειες στο περιβάλλον). Θα μπορούσαν όμως τα ποσά θερμότητας που παίρνει το θερμόμετρο και ο αναδευτήρας να ληφθούν υπόψη, και να προκύψει μια μικρή διόρθωση στην υπολογιζόμενη τιμή της c_s .

Παράδειγμα 15

Το εκδρομικό ψυγείο

Σε ένα εκδρομικό ψυγείο (ένα μεγάλο κουτί με τοιχώματα από παχύ φελιζόλ, ώστε να μην ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον) βρίσκονται 20 κουτάκια αναψυκτικού θερμοκρασίας $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ το καθένα μάζας $0,35\text{ kg}$ ($0,33\text{ kg}$ αναψυκτικό και $0,02\text{ kg}$ Αλουμίνιο).

Κάποιος από την παρέα προσθέτει ένα καρπούζι $5,0\text{ kg}$ και θερμοκρασίας $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ποια θα είναι η τελική θερμοκρασία που θα έχουν τα αναψυκτικά και το καρπούζι.

Λύση:

Θεωρούμε κατ' αρχήν ότι το αναψυκτικό έχει την ίδια περίπου ειδική θερμότητα με το νερό, καθώς και με το καρπούζι, που αποτελείται από νερό κατά 95% . Υποθέτουμε ότι δεν έχουμε σημαντική απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον και θεωρούμε αμελητέα τη θερμότητα που πήρε το φελιζόλ του ψυγείου.

Συνεπώς, εφαρμόζοντας την αρχή:

$$\text{Θερμότητα που κερδήθηκε} = \text{Θερμότητα που χάθηκε}$$

βρίσκουμε την άγνωστη θερμοκρασία.

Για κάθε κουτάκι αναψυκτικού θα έχουμε:

$$c_{av} \cdot m_{av} + c_{al} \cdot m_{al}$$

$$\text{Συνεπώς: } (c_{av} \cdot m_{av} + c_{al} \cdot m_{al}) (20) \Delta\theta_{av} = c_{καρ} \cdot m_{καρ} \cdot \Delta\theta_{καρ}$$

ή

$$(4186\text{ J/kg }^{\circ}\text{C} \times 0,33\text{ kg} + 900\text{ J/kg }^{\circ}\text{C} \times 2,020\text{ kg}) \times 20 \times (\theta_{τελ} - \theta_{αρχ}) = 4186\text{ J/kg }^{\circ}\text{C} \times 5\text{ kg} \times (\theta_{αρχ} - \theta_{τελ}) \quad \text{ή}$$

$$(27767,6\text{ J }^{\circ}\text{C}) (\theta_{τελ} - \theta_{αρχ}) = (20930\text{ J }^{\circ}\text{C}) (\theta_{αρχ} - \theta_{τελ}),$$

απ' όπου, λύνοντας ως προς $\theta_{τελ}$, βρίσκουμε: $\theta_{τελ} = 17,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.15 Αλλαγές φάσης

Είδαμε στην αρχή ότι κάθε υλικό μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις τρεις καταστάσεις: στερεή, υγρή, αέρια.

Σε ποια από τις τρεις θα βρίσκεται σε δεδομένη στιγμή εξαρτάται από τις τιμές της θερμοκρασίας και της πίεσης οι οποίες θα επικρατούν στο περιβάλλον του τότε.

Από την εμπειρία μας ξέρουμε ακόμη ότι το νερό το συναντάμε και στις τρεις καταστάσεις: ως πάγο, ως νερό, ως ατμό.

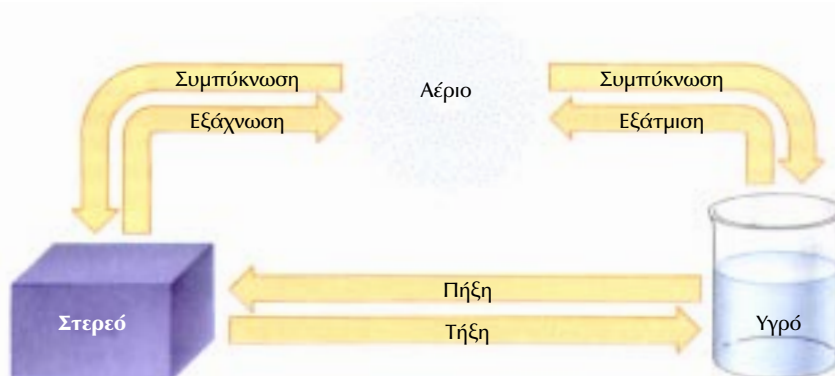
Αυτό που ισχύει για το νερό ισχύει για όλα τα υλικά. Η ύλη μπορεί να αλλάζει μορφή από τη μια φάση στην άλλη, και η προσφορά ή αφαίρεση της θερμότητας από ένα σώμα είναι αυτό που παίζει τον κύριο ρόλο σε αυτές τις αλλαγές.

Κατά τις αλλαγές φάσης εκείνο που αλλάζει είναι η ένταση των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των μορίων του υλικού, ενώ τα ίδια τα μόρια παραμένουν ανεπηρέαστα.

Είδαμε ότι όταν προσφέρουμε θερμότητα ή αφαιρούμε θερμότητα από ένα σώμα, αυξάνεται ή ελαττώνεται η θερμοκρασία του. Είναι όμως κοινή εμπειρία ότι ο «φραπέ» με τα παγάκια διατηρείται παγωμένος όσο υπάρχουν σ' αυτόν παγάκια, έστω κι αν τον πίνουμε το καλοκαίρι με θερμοκρασία 38 °C. Προφανώς, η θερμότητα που παίρνει από το περιβάλλον χρησιμοποιείται κάπου αλλού και όχι στην αύξηση της θερμοκρασίας του.

Στην εικόνα 1.58 αναπαρίστανται οι διάφοροι τρόποι αλλαγής φάσης.

Ένα στερεό **τήκεται**, δηλαδή λιώνει, όταν απορροφά αρκετή θερμότητα, ενώ ένα υγρό **πηρίζει**, όταν χάνει αρκετή θερμότητα. Ομοίως, ένα υγρό **εξαερώνεται**,



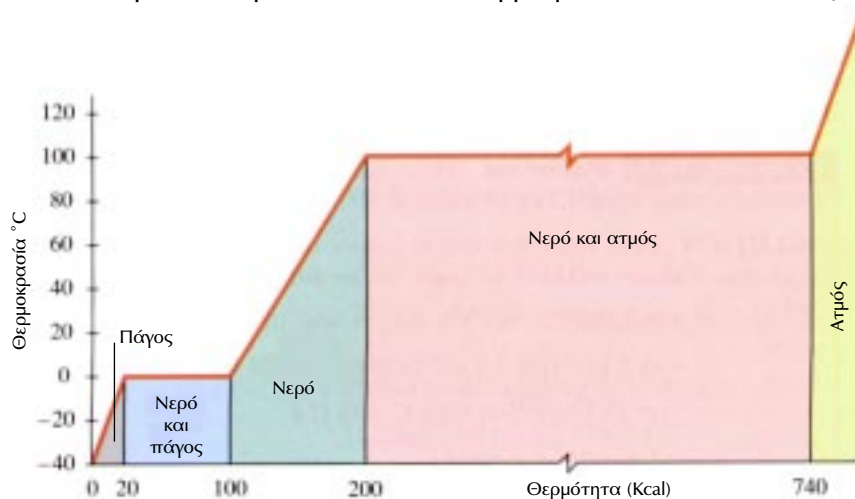
Εικ. 1.51 Οι αλλαγές ανάμεσα στις τρεις φάσεις

αν πάρει θερμότητα, και το αέριο **υγροποιείται**, όταν χάνει θερμότητα. Η γρήγορη εξαέρωση με τον ταυτόχρονο σχηματισμό φυσαλίδων ατμού στο εσωτερικό του υγρού ονομάζεται **βρασμός**. Μπορεί ακόμη ένα στερεό να γίνει αέριο χωρίς να υγροποιηθεί προηγουμένως, οπότε λέμε ότι **εξαχνώθηκε**.

Παράδειγμα εξαχνωσης είναι τα διάφορα εντομοκτόνα και αποσμητικά χώρου (π.χ. ναφθαλίνη) που χρησιμοποιούμε στις ντουλάπες, για να προστατεύουν τα ρούχα από το σκόρο και να αρωματίζουν το χώρο.

Στην εικόνα 1.52 παριστάνεται γραφικά το τι συμβαίνει σε ένα υλικό στο οποίο προσφέρεται θερμότητα, καθώς αυτό αλλάζει φάση. Το διάγραμμα αναφέρεται σε ποσότητα ενός χιλιόγραμμου νερού υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση ($1,01 \times 10^5$ Pa).

Η ποσότητα του νερού ξεκινάει από θερμοκρασία -40°C και, όπως φαίνε-



Εικ. 1.52 Η θερμοκρασία ως συνάρτηση της προσφερομένης θερμότητας σε ένα (1 kg) πάγου αρχικής θερμοκρασίας -40°C ώσπου να μετατραπεί σε ατμό πάνω από τους 100°C .

ται στο διάγραμμα της εικόνας 1.52, καθώς προσφέρεται θερμότητα στον πάγο, η θερμοκρασία του αυξάνεται με ρυθμό περίπου 2°C/Kcal (μια και για τον πάγο είναι $c = 0,50 \text{ Kcal/kg } ^\circ\text{C}$). Μόλις όμως φτάσουμε στη θερμοκρασία 0°C , η θερμοκρασία σταματά να ανεβαίνει παρ' όλο που η θερμότητα συνεχίζει να προσφέρεται. Εκείνο που συμβαίνει τώρα είναι ότι, καθώς συνεχίζεται η προσφορά της θερμότητας, ο πάγος βαθμιαία μετατρέπεται σε υγρό (νερό), χωρίς καμιά αλλαγή στη θερμοκρασία. Όσπου να απορροφηθούν 80 Kcal , ο πάγος έχει μετατραπεί εξ ολοκλήρου σε νερό, και η θερμοκρασία αρχίζει και πάλι να ανεβαίνει με ρυθμό 1°C/Kcal . Όταν φτάσει το νερό τους 100°C , η θερμοκρασία και πάλι παραμένει σταθερή, ενώ η θερμότητα συνεχίζει να προσφέρεται. Εκείνο που συμβαίνει τώρα είναι η σταδιακή μετατροπή του νερού σε ατμό (αέριο). Περίπου 540 Kcal απαιτούνται, για να μετατρέψουν 10 kg νερού σε ατμό. Αφού προσφερθούν και τα 540 Kcal , η θερμοκρασία του ατμού αρχίζει και πάλι να ανεβαίνει, καθώς η θερμότητα συνεχίζει να προσφέρεται.

Διάφορες άλλες ουσίες ακολουθούν παρόμοια διαγράμματα με αυτό του νερού, παρ' όλο που οι θερμοκρασίες τήξης και βρασμού, καθώς και οι ειδικές θερμότητες και οι θερμότητες τήξης και εξαέρωσης είναι διαφορετικές.

Η θερμότητα που απαιτείται για να μεταβεί μια ουσία από τη στερεή στην

υγρή κατάσταση ονομάζεται **θερμότητα τήξης** και συμβολίζεται με L_f .

Η θερμότητα που απαιτείται για να μετατραπεί μια ουσία από την υγρή στην αέρια κατάσταση ονομάζεται **θερμότητα εξαέρωσης** και συμβολίζεται με L_a .

Η θερμότητα εξαέρωσης του νερού είναι 539 Kcal/kg.

Τιμές της θερμότητας τήξης και εξαέρωσης για διάφορα υλικά παρέχονται στον πίνακα VI.

Οι θερμότητες αυτές ονομάζονται και λανθάνουσες θερμότητες, γιατί δεν έχουν ως εμφανές αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος.

Οι θερμότητες εξαέρωσης και τήξης αναφέρονται επίσης και ως θερμότητες που απελευθερώνονται από μια ουσία, όταν αυτή υγροποιείται ή στερεοποιείται αντίστοιχα. Συνεπώς, ο ατμός αποδίδει 540 Kcal/kg, όταν υγροποιείται και το νερό αποδίδει 80 Kcal/kg, όταν παγώνει.

Φυσικά, η συνολική θερμότητα που συμμετέχει στην αλλαγή φάσης μιας ουσίας δεν εξαρτάται μόνο από τις λανθάνουσες θερμότητες αλλά και από τη συνολική ποσότητα (μάζα) της ουσίας. Δηλαδή:

$$Q = m L \quad (19)$$

- όπου: L είναι η λανθάνουσα θερμότητα για τη συγκεκριμένη αλλαγή φάσης της ουσίας,
 m είναι η μάζα της ουσίας,
 Q είναι η θερμότητα που απορροφάται ή αποβάλλεται κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης αλλαγής.

ΠΙΝΑΚΑΣ VI

Λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξαέρωσης (σε 1 at) διάφορων ουσιών
και τα αντίστοιχα σημεία τήξης και βρασμού

Ουσία	Σημείο πήξης °C	Θερμότητα τήξης		Σημείο βρασμού °C	Θερμότητα εξαέρωσης	
		Kcal/kg	J/kg x 10 ⁵		Kcal/kg	J/kg x 10 ⁵
Οξυγόνο	-218,8	3,3	0,14	-183	51	2,1
Άζωτο	-210,0	6,1	0,26	-195	48	2,0
Οινόπνευμα	-144	25	1,04	78	204	8,5
Αμμωνία	-77,8	8,0	0,33	-33,4	33	1,37
Νερό	0	79,7	3,33	100	539	22,6
Μόλυβδος	327	5,9	0,25	1750	208	8,7
Άργυρος	961	21	0,88	2193	558	23
Σίδηρος	1808	69,1	2,89	3023	1520	63,4
Βολφράμιο	3410	44	1,89	5900	1150	48,0



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ

- 1 Ποια είναι η βασική αιτία των διαφορών που παρουσιάζουν οι τρεις καταστάσεις της ύλης;
- 2 Γιατί τα στερεά και τα υγρά δε συμπιέζονται εύκολα (έχουν σχεδόν σταθερό όγκο), ενώ τα αέρια συμπιέζονται;
- 3 Ποια είναι η αιτία που κάνει τα υγρά να μην έχουν σταθερό σχήμα;
- 4 Θερμομετρική ιδιότητα ονομάζουμε:
 - α) Την ιδιότητα των σωμάτων να δείχνουν τη θερμοκρασία.
 - β) Την ιδιότητα των θερμομέτρων να δείχνουν τη θερμοκρασία.
 - γ) Κάθε ιδιότητα ενός σώματος που αλλάζει με τη θερμοκρασία.
 - δ) Τίποτα από τα προηγούμενα.Σημειώστε το σωστό.
- 5 Να αναφέρατε μερικές ιδιότητες των σωμάτων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως θερμομετρικές ιδιότητες.
- 6 Όταν λέμε κλίμακα θερμοκρασιών εννοούμε:
 - α) Το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η θερμοκρασία ενός σώματος.
 - β) Τις διάφορες θερμοκρασίες που εμφανίζονται στη φύση.
 - γ) Την αντιστοίχιση δύο σταθερών θερμοκρασιών που εύκολα μπορούν να αναπαραχθούν με συγκεκριμένες τιμές μιας θερμομετρικής ιδιότητας ενός σώματος.Σημειώστε το σωστό.
- 7 Ποιες από τις ακόλουθες προτάσεις είναι σωστές και ποιες λάθος.
 - α. 0 K είναι η ίδια θερμοκρασία με 0 °C.
 - β. 40 K αντιστοιχεί σε -233 °C.
 - γ. Αύξηση 7 °C είναι το ίδιο με αύξηση 7 K.
 - δ. Το σημείο βρασμού του νερού σε κανονική πίεση είναι 100 K.
 - ε. 273 K ισοδυναμεί με 100 °C.
 - στ. 100 °C είναι μεγαλύτερη θερμοκρασία από 100 K.
- 8 Συμπληρώστε τα κενά: Ο μηδενικός νόμος της Θερμοδυναμικής λέει: «Όταν δύο ή σώματα βρίσκονται σε θερμική με τρίτο θα βρίσκονται και σε ισορροπία και τους.
- 9 Όταν λέμε ότι δυο σώματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, εννοούμε
 - α) Ότι έχουν θερμανθεί το ίδιο.
 - β) Ότι έχουν φτάσει στη μέγιστη θερμοκρασία τους, η οποία διατηρείται σταθερή.

- γ) Ότι βρίσκονται σε θερμική επαφή, και η κοινή θερμοκρασία τους έχει σταθεροποιηθεί.
- δ) Τίποτα από τα προηγούμενα.
- 10** Εξηγήστε τι εννοούμε με τη δήλωση «ένα θερμόμετρο μετρά τη θερμοκρασία του».
- 11** Πολλές φορές οι γονείς ακουμπούν το μέτωπο των παιδιών τους για να διαπιστώσουν αν έχουν «πυρετό». Θα μπορούσε κανείς αγγίζοντας το μέτωπό του μόνος του να διαπιστώσει αν έχει πυρετό; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 12** Αναφέρατε μερικούς τρόπους με τους οποίους μπορείτε να προκαλέσετε αύξηση ή ελάττωση της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος.
- 13** Συμπληρώστε τα κενά:
Θερμότητα ονομάζεται η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται αποκλειστικά λόγω θερμοκρασίας.
- 14** Ποιο έχει μεγαλύτερο ποσό θερμικής ενέργειας, ένα παγόβουνο ή ένα φλυτζάνι με καυτό καφέ; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 15** Γιατί ένα κομμάτι μέταλλο θερμαίνεται, όταν το κτυπάμε με ένα σφυρί;
- 16** Συμπληρώστε τα κενά: Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής, η θερμότητα που ένα σώμα με το περιβάλλον του μπορεί να είτε ως μηχανικό είτε ως της ενέργειας ή ότι είναι και τα δυο.
- 17** Εξηγήστε γιατί λέμε ότι η εσωτερική ενέργεια ενός απομονωμένου σώματος παραμένει σταθερή.
- 18** Ποια κοινή ιδιότητα έχουν η εσωτερική ενέργεια και η δυναμική που δεν την έχει η κινητική ενέργεια;
- 19** Μπορεί ένα σώμα να είναι απομονωμένο και να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 20** Συμπληρώστε τα κενά: Η θερμίδα (cal) είναι το ποσό της που χρειάζεται για να η θερμοκρασία γραμμαρίων καθαρού κατά ένα (συγκεκριμένα από 0°C σε $^{\circ}\text{C}$).
- 21** Ίσες ποσότητες άλατος διαλύονται σε ίσες ποσότητες νερού ίσης αρχικής θερμοκρασίας που περιέχονται σε όμοια θερμομονωτικά δοχεία. Στη μία περίπτωση το αλάτι βρίσκεται υπό μορφή ενός μεγάλου κρυστάλλου ενώ στην άλλη υπό μορφή σκόνης. Σε ποια περίπτωση θα πέσει χαμηλότερα η θερμοκρασία του διαλύματος και γιατί.
- 22** Συμπληρώστε τα κενά: Η ενθαλπία είναι μια ενός συστήματος που έχει τιμή για ορισμένη του συστήματος,

ανεξάρτητα από τον που το σύστημα σ' αυτήν και εκφράζει τη ενός συστήματος για έργου.

- 23** Συμπληρώστε τα κενά: Η μεταβολή της ενθαλπίας ενός συστήματος ισούται με το ή ποσό κατά τις διαφορές , όταν η παραμένει
- 24** Η διαστολή των στερεών και των υγρών με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι αποτέλεσμα:
- α) της αύξησης του πληθυσμού των μορίων
 - β) της ελάττωσης των μοριακών δυνάμεων
 - γ) της αύξησης του πλάτους ταλάντωσης των μορίων.
 - δ) της διόγκωσης των μορίων
 - ε) δεν είναι τίποτα από τα πιο πάνω.
- Σημειώστε το σωστό.
- 25** Η διαστολή των αερίων με την αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται:
- α) στην αύξηση του πληθυσμού των μορίων.
 - β) στην ελάττωση των μοριακών δυνάμεων.
 - γ) στην αύξηση του πλάτους ταλάντωσης των μορίων.
 - δ) στις μεγαλύτερες ταχύτητες των μορίων όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.
 - ε) δεν είναι τίποτα από τα πιο πάνω.
- Σημειώστε το σωστό.
- 26** Συμπληρώστε τα κενά:
- Συντελεστή γραμμικής διαστολής ονομάζουμε τη μεταβολή του ανά μονάδα μεταβολής της
- 27** Ένα μεταλλικό καπάκι ενός γυάλινου βάζου έχει σφίξει πολύ και δεν ανοίγει. Ο καλύτερος τρόπος για να το ανοίξετε είναι:
- α) Να το ψύξετε, β) Να το θερμάνετε
 - γ) Πρώτα να το ψύξετε και μετά να το θερμάνετε.
 - δ) Το αντίθετο, ε) τίποτα από τα πιο πάνω.
- Σημειώστε το σωστό.
- 28** Το προηγούμενο μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση «παξιμαδιού» μιας βίδας που έχει σφηνώσει; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 29** Πότε μας συμφερει να βάζουμε βενζίνη στο αυτοκίνητό μας. Το μεσημέρι ή νωρίς το πρωί; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 30** Όταν μετρίεται ένα οικόπεδο με μεταλλική κορδέλα κατά τη διάρκεια μιας ζεστής ημέρας, το εμβαδόν του οικοπέδου θα βρεθεί μεγαλύτερο ή μικρότερο από το πραγματικό; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.
- 31** Γιατί στο οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν αρμέ) χρησιμοποιείται μόνο σίδηρος ή ατσάλι και όχι άλλα κράματα όπως π.χ. ορείχαλκος;

- 32** Ο όγκος ενός λεπτότοιχου ορειχάλκινου δοχείου και ο όγκος μιας γεμάτης ορειχάλκινης σφαίρας στους 0°C είναι 1000 cm^3 . Πόση θα είναι η μεταβολή του όγκου τους, αν θερμανθούν στους 30°C .
(Συντελεστής γραμμικής διαστολής ορείχαλκου $= 1,9 \cdot 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$).
- 33** Εξηγήστε, με βάση την κινητική θεωρία, γιατί η πίεση ενός αερίου που βρίσκεται σε σταθερό όγκο αλλάζει, όταν αυτό ψύχεται.
- 34** Συμπληρώστε τα κενά:
Η θερμότητα ρέει πάντα από ένα σώμα θερμοκρασίας σε ένα σώμα θερμοκρασίας και ποτέ
- 35** Το άθροισμα των κινητικών ενεργειών των μορίων μιας μεγάλης δεξαμενής με παγωμένο νερό είναι ασφαλώς μεγαλύτερο από το σύνολο των κινητικών ενεργειών των μορίων μιας κούπας με ζεστό καφέ. Αν κάποιος σας έλεγε ότι βάζοντας για λίγο την κούπα με τον ζεστό καφέ στη δεξαμενή με το παγωμένο νερό, η κούπα θα έπαιρνε μερικά Joule ενέργεια από τη δεξαμενή και θα γινόταν ο καφές ζεστότερος και το νερό της δεξαμενής πιο κρύο, σίγουρα θα τον λέγατε τρελό. Ποιο νόμο όμως παραβιάζει αυτή η υποθετική μεταφορά ενέργειας και γιατί;
- 36** Ο παράξενος ταξιδιώτης: Ένας θαλασσοπόρος ισχυρίζεται ότι μπορεί να κατασκευάσει ένα σκάφος, που θα κινείται χωρίς καύσιμα ως εξής: Θα αντλεί σχετικά ζεστό νερό από τη θάλασσα, θα του «αφαιρεί» θερμότητα που θα τη χρησιμοποιεί για να κινείται το πλοίο, και τελικά το κρύο νερό θα το ξαναδειάζει στη θάλασσα.
i) Η ιδέα του παραβιάζει τον πρώτο νόμο της Θερμοδυναμικής;
α) Ναι β) όχι.
ii) Μπορεί, πράγματι, η μέθοδος αυτή να αξιοποιηθεί για τη κίνηση των πλοίων.
α) Ναι β) Όχι.
iii) Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας.
- 37** Συμπληρώστε τα κενά: Η απόδοση μιας θερμικής ορίζεται ως ο του έργου W από τη μηχανή προς την στο αέριο Q_x .
- 38** Το νερό κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας το καλοκαίρι στην περιοχή της Μεσογείου έχει μέση θερμοκρασία 25°C , ενώ σε βάθος 700 m κάτω από την επιφάνεια έχει θερμοκρασία $7,0^{\circ}\text{C}$. Θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε μια θερμική μηχανή; Σ' αυτή την περίπτωση ποση θα ήταν η απόδοσή της;
- 39** Πότε, σύμφωνα με τον Carnot, μια θερμική μηχανή θα έχει μέγιστη απόδοση;
α) Όταν είναι πολύ ισχυρή.
β) Όταν χρησιμοποιηθεί αποδοτικό καύσιμο.
γ) Όταν λειτουργεί αντιστρεπτά.

δ) Όταν δουλεύει συνεχώς.

Ποιά είναι η σωστή απάντηση;

40 Μια διαδικασία θα λέμε ότι είναι αντιστρεπτή όταν:

α) Μπορεί να εξελιχθεί και προς τις δυο κατευθύνσεις.

β) Μπορεί ξαφνικά να αλλάξει φορά χωρίς προφανή αιτία.

γ) Μπορεί τόσο το σύστημα που την εκτελεί όσο και το περιβάλλον του να επιστρέψουν ακριβώς στην αρχική τους κατάσταση.

δ) Μπορούμε να την αντιστρέψουμε κατά βούληση.

Ποιά είναι η σωστή απάντηση;

41 Συμπληρώστε τα κενά:

Καμιά μηχανή που λειτουργεί μεταξύ δυο θερμότητας σταθερής δεν μπορεί να έχει απόδοση από μια θερμική μηχανή που λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών.

42 Σημειώστε το σωστό: Η απόδοση μιας θερμικής μηχανής ελαττώνεται όταν:

α) Η θερμοκρασία T_u αυξάνεται και η T_x αυξάνεται.

β) Η θερμοκρασία T_u ελαττώνεται και η T_x αυξάνεται.

γ) Η θερμοκρασία T_u αυξάνεται και η T_x ελαττώνεται.

δ) Η θερμοκρασία T_u ελαττώνεται και η T_x ελαττώνεται.

43 Πόση είναι η ιδανική απόδοση μιας μηχανής αυτοκινήτου στου οποίου τους κυλίνδρους αναπτύσσεται θερμοκρασία 2700°K , ενώ η εξωτερική θερμοκρασία είναι 300°K .

44 Πότε τα αυτοκίνητα έχουν μεγαλύτερη απόδοση; Το χειμώνα ή το καλοκαίρι; Αιτιολογήστε την απαντησή σας.

45 Κάτω από ποιες προϋποθέσεις μια θερμική μηχανή θα είχε απόδοση 100%. Είναι κάτι τέτοιο εφικτό; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

46 Αν αφήσουμε την πόρτα του ψυγείου ανοικτή στο δωμάτιο όπου αυτό βρίσκεται, η θερμοκρασία θα ανέβει ή θα κατέβει; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

47 Προκειμένου να θερμάνουμε ένα χώρο, τι είναι πιο αποδοτικό; Να χρησιμοποιήσουμε μια ηλεκτρική θερμάστρα ισχύος P ή μια, αντλία θερμότητας ίδιας ισχύος;

48 Ένα ψυγείο καταναλώνει ισχύ P Watt και μετατρέπει α λίτρα νερό σε πάγο θερμοκρασίας 0°C σε χρόνο t λεπτά. Πόση θερμότητα αποβάλλεται από τον ψήκτη στο δωμάτιο σ' αυτό το χρονικό διάστημα, αν η θερμοχωρητικότητα του ψυγείου θεωρηθεί αμεληταία;

49 Το πρόβλημα του αιρκοντίσιον: Τι μας συμφέρει να κάνουμε το καλοκαίρι όταν φεύγουμε από το σπίτι;

α) Να αφήνουμε αναμμένο το αιρκοντίσιον, ώστε να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία στους 18°C , όταν η θερμοκρασία έξω είναι 35°C ;

- β) Να ανεβάζουμε το θερμοστάτη στους 25°C και να το αφήνουμε να λειτουργεί εκεί;
- γ) Να το κλείνουμε τελείως και να το ξαναανοίγουμε, όταν επιστρέψουμε;
- δ) Μήπως ό,τι και να κάνουμε η κατανάλωση είναι η ίδια;
- 50** Αν το ίδιο ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να ανεβάσει τη θερμοκρασία 1 kg νερού κατά 10°C , αυξάνει τη θερμοκρασία 1 kg ενός άλλου υλικού περισσότερο από 10°C , τότε η αυτού του υλικού είναι από του νερού.
Συμπληρώστε τα κενά.
- 51** Όταν ένα σώμα απορροφά θερμότητα χωρίς να αυξάνεται η του, η ενέργεια που παίρνει μετατρέπεται σε των μορίων του.
Συμπληρώστε τα κενά.
- 52** Ένας ηλεκτρικός βραστήρας ισχύος 36 W χρησιμοποιείται για να ζεστάνει $2,4\text{ kg}$ νερό από τους 17°C στους 20°C . Πόσο χρόνο θα χρειασθεί;
- 53** Η θερμότητα που απαιτείται για να μετατραπεί 1 kg νερού σε ατμό είναι σχεδόν επταπλάσια από αυτήν που απαιτείται για να μετατραπεί 1 kg πάγου σε νερό. Εν τούτοις και στις δυο περιπτώσεις δεν παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας. Αιτιολογήστε το με τη βοήθεια της κινητικής θεωρίας.
- 54** Ένας ηλεκτρικός βραστήρας ισχύος 40 W τοποθετείται μέσα σε δοχείο που περιέχει $0,2\text{ kg}$ νερό και $0,04\text{ kg}$ πάγο. Αν χρειάζονται 15 λεπτά για να αυξηθεί η θερμοκρασία του μείγματος από τους 0°C στους 20°C , πόση είναι η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου.
- 55** Όταν στην κατάψυξη ενός ψυγείου βάζουμε στις παγοθήκες νερό 0°C , αυτό γίνεται παγάκια σε 2 h . Σε πόσο χρόνο θα γινόταν παγάκια, αν το νερό ήταν αρχικά 20°C ;
- 56** Ένα ηλεκτρικό καμινέτο χρειάζεται 15 λεπτά για να θερμάνει μια ποσότητα νερού από τους 0°C στο σημείο βρασμού. Το ίδιο καμινέτο χρειάζεται ακόμη μία ώρα και είκοσι λεπτά για να μετατρέψει όλη την ποσότητα του νερού σε ατμό υπό τις ίδιες συνθήκες.
Προσδιορίστε τη λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης του νερού.
- 57** Ένα κομμάτι μεταλλικού κράματος μάζας 325 g εισάγεται σε ένα θερμιδόμετρο, που περιέχει πάγο με νερό. Βρείτε την ποσότητα του πάγου που θα λιώσει ώσπου να επέλθει θερμική ισορροπία, αν ο όγκος του μετάλλου, όταν το βάλουμε στο θερμιδόμετρο, είναι 48 cm^3 , η πυκνότητά του στους 0°C είναι $6,8\text{ g / cm}^3$, η ειδική θερμότητά του είναι $0,12\text{ cal / g. grad.}$ και ο συντελεστής κυβικής διαστολής είναι $\ell = 33 \cdot 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$.