

Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος  
Πυροσβεστική Ακαδημία  
**Εγχειρίδιο Πυροσβεστικής Τέχνης**  
**«Στοιχεία καύσης και κατάσβεσης»**



# Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος Πυροσβεστική Ακαδημία

## Εγχειρίδιο Πυροσβεστικής Τέχνης «Στοιχεία καύσης και κατάσβεσης»

Το παρόν εγχειρίδιο βασίζεται στο Εγχειρίδιο «**Φυσική και Χημεία για Πυροσβέστες**» Physics and Chemistry for Firefighters, (Fire Service Manual Vol.1), της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου. Το εγχειρίδιο αυτό μεταφράστηκε και τυπώθηκε για πρώτη φορά από το Αρχηγείο Πυροσβεστικού Σώματος το 1995.

Η παρούσα ηλεκτρονική έκδοση, βασίζεται στη νεότερη έκδοση του παραπάνω εγχειριδίου. Η προσαρμογή στη νεώτερη αυτή έκδοση έγινε το ακαδημαϊκό έτος 2010-11, από ομάδα εργασίας της Σχολής Ανθυποπυραγών, αποτελούμενη από τους Δόκιμους Ανθυποπυραγούς: Βαρθαλίτη Βασίλειο, Γκουγκουτούδη Παναγιώτη, Μπεκίρη Ιωάννη και Τερζάκη Κων/νο, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή της Πυροσβεστικής Ακαδημίας Επιπυραγού Απόστολου Παραλίκα.

Η τελική επιμέλεια της ηλεκτρονικής έκδοσης έγινε από τη Διεύθυνση Εκπαίδευσης του Α.Π.Σ. με σκοπό να χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευσης των Πυροσβεστών Πενταετούς Υποχρέωσης αλλά και γενικότερα στην πυροσβεστική εκπαίδευση.

Το εγχειρίδιο στην αγγλική του έκδοση υπάρχει στην ιστοσελίδα:  
<http://www.scribd.com/doc/49384262/Physics-and-Chemistry-For-Firefighters>

## Μέρος 1 - ΦΥΣΙΚΗ

### Κεφάλαιο 1 - Φυσικές ιδιότητες της ύλης

#### Πυκνότητα

- 1.1 Πυκνότητα Ατμών
- 1.2 Υγρά διαφορετικής πυκνότητας
- 1.3 Αέρια διαφορετικής πυκνότητας
- 1.4 Ύλη και Ενέργεια
- 1.5 Σημείο τήξης, σημείο βρασμού και εξάτμιση

### Κεφάλαιο 2 – Μηχανική

- 2.1 Κίνηση
- 2.2 Ορμή και δύναμη
- 2.3 Έργο, ενέργεια και ισχύς
- 2.4 Τριβή

### Κεφάλαιο 3 – Θερμότητα και Θερμοκρασία

- 3.1 Μέτρηση θερμοκρασίας
- 3.2 Θερμομετρικές κλίμακες
  - 3.2.1 Εκατονταβάθμια κλίμακα ή κλίμακα Κελσίου
  - 3.2.2 Κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit)
- 3.3 Άλλες μέθοδοι μέτρησης της θερμοκρασίας
  - 3.3.1 Θερμόμετρο αέρα ή αερίου
  - 3.3.2 Χρήση στερεών για μέτρηση θερμοκρασίας
  - 3.3.3 Θερμοστοιχεία
  - 3.3.4 Ηλεκτρική αντίσταση
  - 3.3.5 Σύγκριση της φωτεινότητας
  - 3.3.6 Υπέρυθρη ακτινοβολία
- 3.4 Η κλίμακα θερμοκρασίας Kelvin
- 3.5 Μονάδες θερμότητας
  - 3.5.1 Το Joule
  - 3.5.2 Η θερμίδα
  - 3.5.3 Η Βρετανική θερμική μονάδα (BTU)
- 3.6 Ειδική θερμότητα
- 3.7 Αλλαγή κατάστασης και λανθάνουσα θερμότητα
  - 3.7.1 Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης
  - 3.7.2 Η επίδραση της αλλαγής της πίεσης στο σημείο βρασμού και στη λανθάνουσα θερμότητα
  - 3.7.3 Λανθάνουσα θερμότητα τήξης
  - 3.7.4 Ψύξη παραγόμενη από την εξάτμιση

## Κεφάλαιο 4 – Θερμική Διαστολή

### 4.1 Θερμική διαστολή των στερεών

4.1.1 Συντελεστής γραμμικής διαστολής

4.1.2 Κράμα Νικελίου – Σιδήρου

4.1.3 Επιτρέποντας τις διαστολές σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές

4.1.4 Θερμοστάτες

4.1.5 Συντελεστές επιφανειακής και κυβικής διαστολής των στερεών

### 4.2 Θερμική διαστολή των υγρών

4.2.1 Κυβική διαστολή

### 4.3 Διαστολή των αερίων

4.3.1 Θερμοκρασία, πίεση και όγκος

4.3.2 Οι νόμοι των αερίων

4.3.2.1 Νόμος του Charle's

4.3.2.2 Ο νόμος των πιέσεων

### 4.4 Υγροποίηση αερίων

4.5.1 Κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση

4.5.2 Υγροποιημένα αέρια σε φιάλες

### 4.6 Εξάχνωση

## Κεφάλαιο 5 - Η μετάδοση της θερμότητας

5.1 Αγωγή

5.2 Μεταφορά

5.3 Ακτινοβολία

## Κεφάλαιο 1 - Φυσικές ιδιότητες της ύλης

Ύλη ονομάζουμε όλα τα φυσικά πράγματα – οτιδήποτε έχει μάζα και καταλαμβάνει χώρο. Αυτός ο ορισμός έχει εφαρμογή όχι μόνο στα στερεά και τα υγρά αλλά επίσης στα αέρια και τους ατμούς. Η ποσότητα της ύλης ονομάζεται μάζα, και μετριέται σε χιλιόγραμμα (Kg), ή κιλά. Συνηθίζεται η **μάζα** ενός στερεού να μετριέται σε χιλιόγραμμα, ενώ για τα υγρά, τα αέρια και τους ατμούς να χρησιμοποιείται ο **όγκος** τους για την μέτρησή τους, δηλαδή το ποσό του χώρου που καταλαμβάνουν, επειδή είναι ευκολότερο να μετρηθεί. Έτσι μιλάμε για λίτρα (lt) βενζίνης και κυβικά μέτρα αερίου. Ωστόσο τα αέρια, οι ατμοί και τα υγρά έχουν και μάζα η οποία μπορεί να εκφραστεί σε χιλιόγραμμα (kg).

### Πυκνότητα

Η κατανόηση της έννοιας της **πυκνότητας** είναι εξαιρετικής σημασίας για τους πυροσβέστες

Η κατανόηση της πυκνότητας είναι εξαιρετικής σημασίας για τους πυροσβέστες. Για παράδειγμα, η πυκνότητα ενός αερίου ή ατμού μας δείχνει αν αυτό ανεβαίνει ή βυθίζεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και αν το βρίσκουμε σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα ανώτερα ή κατώτερα τμήματα ενός κτιρίου. Η πυκνότητα ενός καιόμενου υγρού μας δείχνει αν αυτό μπορεί να καλυφθεί με νερό ώστε να σβήσει η φωτιά ή αν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί αφρός ή άλλο κατασβεστικό υλικό. Ωστόσο, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι το πόσο καλά το καιόμενο υγρό αναμειγνύεται με το νερό, γνωστό και ως διαλυτότητα.

Φανταστείτε δύο στερεές ράβδους, ίδιου μήκους και πλάτους, η μία φτιαγμένη από ξύλο και η άλλη από σίδηρο. Αν και οι δύο έχουν το ίδιο μέγεθος, η σιδερένια ράβδος ζυγίζει πολύ

περισσότερο από την ξύλινη γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από την ξύλινη.

Η **πυκνότητα** ενός υλικού ορίζεται ως το ποσό της μάζας ενός υλικού ανά κυβικό μέτρο αυτού του υλικού. Το «κυβικό μέτρο» είναι η βασική «μονάδα όγκου». Μια μονάδα όγκου σιδήρου έχει μεγαλύτερη μάζα από μια μονάδα όγκου ξύλου και έτσι είναι πιο πυκνή.

Υπολογίζοντας τις πυκνότητες διαφορετικών ουσιών και συγκρίνοντάς τις, μπορούμε να πάρουμε σημαντικά συμπεράσματα. Η πυκνότητα μιας ουσίας υπολογίζεται διαιρώντας την μάζα του σώματος με τον όγκο του.

$$\text{Πυκνότητα} = \frac{\text{Μάζα}}{\text{Όγκος}}$$

$$\text{Με Σύμβολα} \quad D = \frac{M}{V}$$

$$\text{Έτσι} \quad M = D * V$$

$$\text{Και} \quad V = \frac{M}{D}$$

Αν η μάζα έχει μετρηθεί σε κιλά (Kg) και ο όγκος σε κυβικά μέτρα ( $m^3$ ), η «μονάδα μέτρησης» της πυκνότητας θα είναι κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο ( $Kg/m^3$ ). Αν η μάζα είναι σε γραμμάρια (g) και ο όγκος σε κυβικά εκατοστά ( $cm^3$ ), η πυκνότητα θα είναι γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό ( $g/cm^3$ ).

Η Πυκνότητα του Νερού είναι περίπου  $1000 \text{ Kg/m}^3$  ή  $1 \text{ g/cm}^3$

Ο υδράργυρος έχει πολύ υψηλή πυκνότητα  $13600 \text{ Kg/m}^3$  ή  $13.6 \text{ g/cm}^3$ , και είναι έτσι 13.6 φορές πυκνότερος από το νερό.

Αν η πυκνότητα μιας ουσίας είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού, και δεν διαλύεται σε αυτό, τότε η ουσία αυτή επιπλέει πάνω στο νερό. Για να χρησιμοποιήσουμε το προηγούμενο παράδειγμα, η πυκνότητα του ξύλου είναι μικρότερη ενώ και η πυκνότητα του σιδήρου μεγαλύτερη από αυτή του νερού. Έτσι το ξύλο επιπλέει ενώ το σίδηρο βυθίζεται.

Αν η πυκνότητα μιας ουσίας είναι μικρότερη από την πυκνότητα του νερού, και δεν διαλύεται σε αυτό, τότε η ουσία αυτή επιπλέει πάνω στο νερό.

Οι όροι **ειδικό βάρος** ή **σχετική πυκνότητα** χρησιμοποιούνται κάποιες φορές για να μετρήσουμε την πυκνότητα. Η σχετική πυκνότητα μιας ουσίας είναι ο λόγος της μάζας οποιουδήποτε όγκου της ουσίας προς την μάζα ίδιου όγκου νερού.

$$\text{Σχετική Πυκνότητα} = \frac{\text{Μάζα ουσίας οποιουδ. όγκου}}{\text{Μάζα νερού ίδιου όγκου}}$$

### 1.1 Πυκνότητα Ατμών

Τα αέρια και οι ατμοί έχουν πολύ μικρή πυκνότητα συγκρινόμενα με τα υγρά και τα στερεά. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (π.χ.  $20^\circ\text{C}$  και  $1 \text{ atm}$ ) ένα κυβικό μέτρο νερού έχει μάζα περίπου  $1000 \text{ Kg}$  και ένα κυβικό μέτρο αέρα έχει μάζα περίπου  $1.2 \text{ Kg}$ .

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται συχνά σαν σύγκριση για τον υπολογισμό της πυκνότητας ατμών επειδή είναι το ελαφρύτερο αέριο. Η

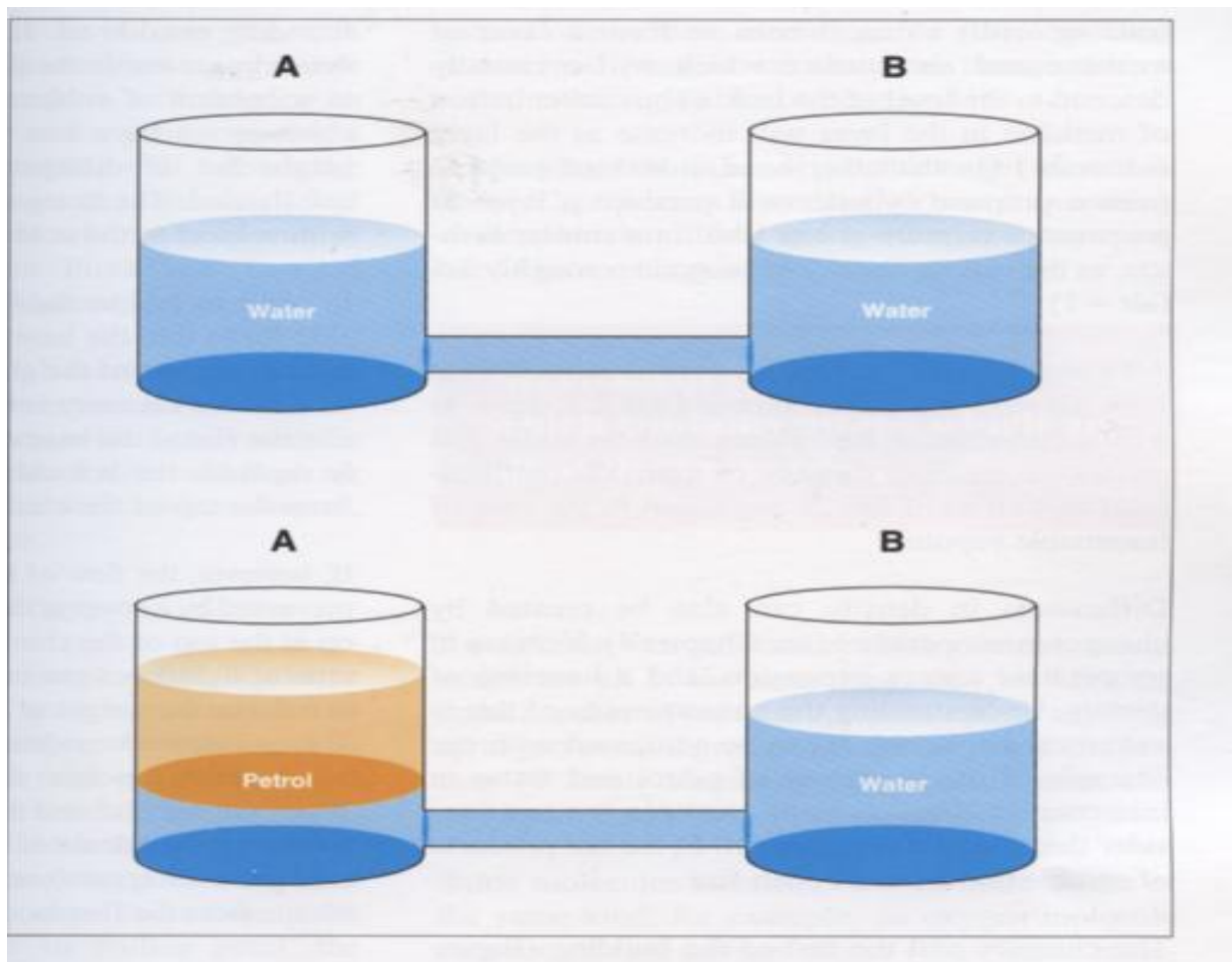
πυκνότητα των ατμών του αέρα συγκρινόμενη με αυτή του υδρογόνου είναι 14.4, που σημαίνει ότι ένας δοσμένος όγκος αέρα είναι 14.4 φορές βαρύτερος από τον ίδιο όγκο υδρογόνου **στην ίδια πίεση και θερμοκρασία**. Για το διοξείδιο του άνθρακα η πυκνότητα ατμών συγκρινόμενη με αυτή του υδρογόνου είναι 22, έτσι ένας δεδομένος όγκος διοξειδίου του άνθρακα είναι περίπου 1.5 ( $22/14.4$ ) φορά βαρύτερος από τον ίδιο όγκο αέρα στην ίδια πίεση και θερμοκρασία. (Αν η θερμοκρασία και η πίεση αλλάξουν, τότε και ο όγκος του αερίου θα αλλάξει. Αυτό θα το εξηγήσουμε αργότερα.)

Για τους σκοπούς της Πυροσβεστικής είναι περισσότερο χρήσιμο να συγκρίνουμε την πυκνότητα των αερίων και των ατμών με αυτή του αέρα. Για την αποφυγή μπερδέματος, το αέριο αναφοράς θα δίνεται πάντα: για παράδειγμα, η πυκνότητα ατμών του μεθανίου είναι 0.556 (αέρας = 1), ή 8 (υδρογόνο = 1).

### 1.2 Υγρά διαφορετικής πυκνότητας

Όπως είπαμε, η πυκνότητα ενός καίόμενου υγρού, εν μέρει, καθορίζει εάν είναι δυνατό να το καλύψουμε με νερό για να σβήσουμε τη φωτιά, ή εάν ο πυροσβέστης θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσει αφρό ή άλλο κατασβεστικό υλικό.

Θεωρούμε ότι νερό χύνεται σε δύο δοχεία (Α) και (Β) (Εικόνα 1.1) τα οποία στέκονται σε μια επίπεδη, οριζόντια επιφάνεια και συνδέονται με ένα οριζόντιο σωλήνα όπως φαίνεται στην εικόνα. Το νερό θα φτάσει στο ίδιο επίπεδο σε κάθε δοχείο, για να ισορροπήσει το σύστημα, και θα έχει το ίδιο ύψος από το κατώτερο τμήμα του σωλήνα. Το ύψος του νερού καθορίζει την πίεση του νερού σε κάθε βάθος.



Εικόνα 1.1

Δημιουργούνται προβλήματα για τον πυροσβέστη όταν χρησιμοποιείται νερό σαν κατασβεστικό μέσο όταν καίγονται υγρά.

Καθώς η βενζίνη και τα περισσότερα υγρά καύσιμα επιπλέουν στο νερό, αυτό δεν μπορεί να τα καλύψει, κι έτσι η προσβολή της πυρκαγιάς με νερό μπορεί να την κάνει να επεκταθεί περισσότερο.

την ίδια πίεση στο βάθος. Ως εκ τούτου, το επίπεδο της βενζίνης είναι υψηλότερο από το επίπεδο του νερού. Εάν προστεθεί νερό στο δοχείο (B), το νερό θα υψώσει τη βενζίνη στο δοχείο (A) και τελικά η βενζίνη θα ξεχειλίσει, πολύ πριν η δεξαμενή (B) γεμίσει.

### 1.3 Αέρια διαφορετικής πυκνότητας

Φανταστείτε τώρα ότι βενζίνη χύνεται στη δεξαμενή (A). Καθώς η βενζίνη έχει ειδικό βάρος περίπου 0,75 και δεν αναμειγνύεται με το νερό, θα επιπλέει πάνω στο νερό. Για να ισορροπήσει το σύστημα, οι πιέσεις που δημιουργούνται από τα υγρά σε κάθε δεξαμενή πρέπει να είναι ίσες με πριν, αλλά επειδή βενζίνη είναι λιγότερο πυκνή (ελαφρύτερη) από το νερό, απαιτείται μια μεγαλύτερη "στήλη" βενζίνης για να παράγει

Αντίθετα από πολλά υγρά, όλα τα αέρια και οι ατμοί μπορούν να αναμειχθούν. Ωστόσο η διαφορά στην πυκνότητά τους επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο αυτά αναμειγνύονται. Έτσι το μεθάνιο (το βασικό συστατικό του φυσικού αερίου) είναι ένα ελαφρύ αέριο με πυκνότητα ατμών περίπου 0.5 (αέρας =1). Εάν διαρρεύσει σε ένα δωμάτιο, θα ανέβει προς την οροφή και θα ανακατεύεται με τον αέρα σχηματίζοντας ένα μείγμα με αυτόν, το οποίο όσο



ανεβαίνουμε ψηλότερα τόσο πυκνότερο θα είναι σε μεθάνιο. Από την άλλη, μια διαρροή προπανίου θα δημιουργήσει ένα στρώμα από μείγμα προπανίου/αέρα σε κατώτερα επίπεδα σε μια παρόμοια περίπτωση, καθώς η πυκνότητα ατμών του προπανίου είναι περίπου 1.5 (αέρας = 1).

Όλα τα αέρια που είναι βαρύτερα από τον αέρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (σχετ.πυκνότητα = 1.53) και οι ατμοί βενζίνης (σχετ.πυκνότητα = 2.5) συσσωρεύονται σε χαμηλά σημεία όπως πηγάδια και κελάρια, κι έτσι δημιουργούν κίνδυνο ασφυξίας, καθώς και φωτιάς ή έκρηξης σε περίπτωση εύφλεκτων ατμών.

Διαφορές στην πυκνότητα μπορούν επίσης να δημιουργηθούν από τις αλλαγές στη θερμοκρασία (βλέπε Κεφάλαιο 4). Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διόγκωση, και μείωση της πυκνότητας. Το να καταλάβουμε τις συνέπιες αυτού του φαινομένου είναι εξαιρετικά σημαντικό : μπορεί να συγκριθεί με το παράδειγμα της συμπεριφοράς της βενζίνης και του νερού σε διασυνδεδεμένα δοχεία. Σαν παράδειγμα, μπορούμε να σκεφτούμε την περίπτωση μιας καμινάδας γεμάτης με τα ζεστά προϊόντα της καύσης από ένα τζάκι.

Η καμινάδα και το υπόλοιπο κτίριο (Εικόνα 1.2) δρουν όπως τα δύο δοχεία που περιέχουν υγρά με διαφορετικές πυκνότητες. Η καμινάδα είναι ένα δοχείο γεμάτο με ζεστό ελαφρύ αέριο που συνδέεται στη βάση της με ένα άλλο δοχείο γεμάτο με κρύο, βαρύ αέριο, π.χ. με τον περιβάλλον εξωτερικό αέρα. Αν σκεφτούμε τα ζεστά, λιγότερο πυκνά αέρια μέσα στην καμινάδα και τα συγκρίνουμε με μια στήλη από κρύο, πιο πυκνό αέρα εξωτερικά της καμινάδας, έχουμε δύο όγκους αερίων με το ίδιο ύψος αλλά με διαφορετικές πυκνότητες, άρα αυτά δεν έχουν ισορροπία.

Για να αποκατασταθεί η ισορροπία, ο κρύος αέρας απέξω ρέει στη βάση της καμινάδας και

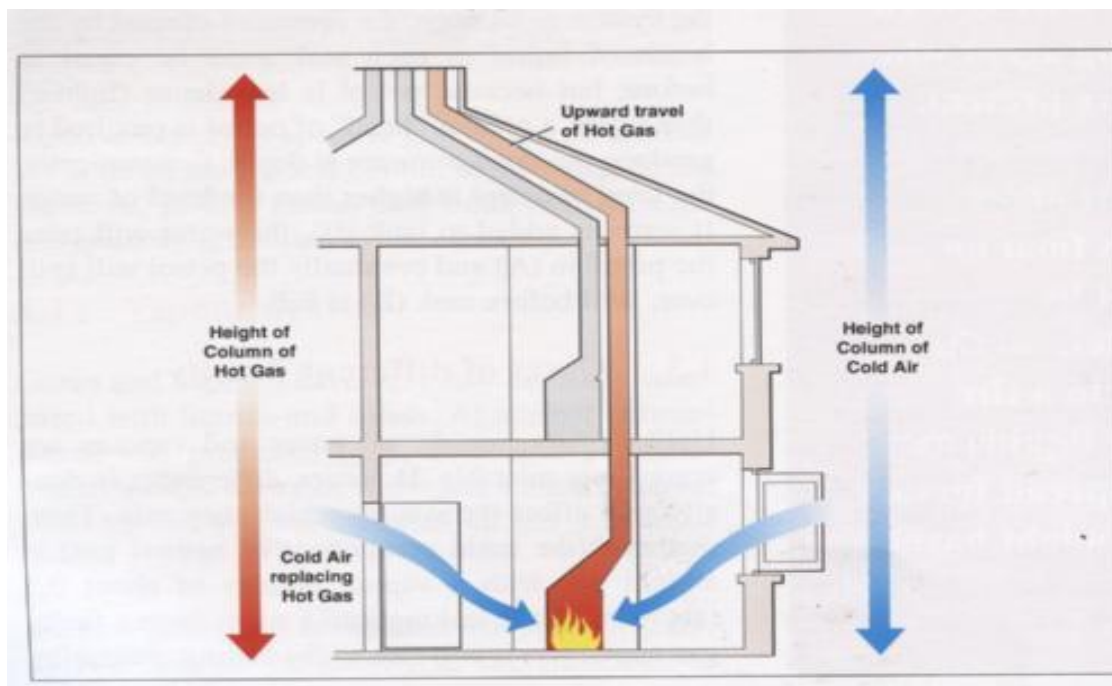
οδηγεί τα ζεστά αέρια έξω από την καμινάδα. Αυτό θα συνεχιστεί μέχρι η καμινάδα να είναι γεμάτη με κρύο αέρα, αλλά στην πράξη η φωτιά στη βάση της καμινάδας συνεχώς ανανεώνει τα ζεστά αέρια που οδηγούνται στην κορυφή της καμινάδας.

Αν, ωστόσο, η ροή των ζεστών αερίων από την καμινάδα εμποδιστεί με κάποιο τρόπο, τότε θα δημιουργηθεί πίεση στην κορυφή της καμινάδας. Το βάρος της στήλης του ελαφρύτερου ζεστού αερίου δεν είναι αρκετό για να ισορροπήσει το βάρος του βαρύτερου κρύου εξωτερικού αέρα. Αυτή η μη ισορροπημένη κατάσταση είναι υπεύθυνη για τη δύναμη που οδηγεί τα αέρια από την κορυφή μιας ανοιχτής καμινάδας. Όταν η κορυφή αυτή είναι κλειστή, η δύναμη αυτή παράγει μια πίεση (μπορεί να υπολογιστεί αν είναι γνωστές οι πυκνότητες των ζεστών και κρύων αερίων), και τα προϊόντα της καύσης μπορεί να φύγουν από το τζάκι προς το δωμάτιο.

Το ίδιο συμβαίνει και όταν καίγεται ένα κτίριο. Ο αέρας μέσα ζεσταίνεται από τη φωτιά και έτσι γίνεται ελαφρύτερος. Ανεβαίνει και θα δραπετεύσει διαμέσου κάθε διαθέσιμου ανοίγματος, και αντικαθίσταται με κρύο αέρα που μπαίνει από χαμηλότερα επίπεδα. Εάν δεν υπάρχει άνοιγμα για να διαφύγει, θα δημιουργηθεί πίεση μέσα στο διαμέρισμα και οποιοσδήποτε ανοίξει κάποια πόρτα ή παράθυρο θα εκτονώσει αυτή την πίεση, δημιουργώντας μια βίαιη έξοδο των ζεστών αερίων και πιθανών αυτά να συνοδεύονται από φλόγες.

Όταν υπάρχουν χαμηλά και ψηλά ανοίγματα (π.χ. σπασμένα παράθυρα και τρύπα στην οροφή), το κτίριο λειτουργεί σαν μια ανοιχτή καμινάδα, με φλόγες και ζεστά αέρια να βγαίνουν από ψηλά και κρύος φρέσκος αέρας να εισέρχεται από χαμηλά σημεία. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η φωτιά θα είναι πολύ έντονη.





Εικόνα 1.2

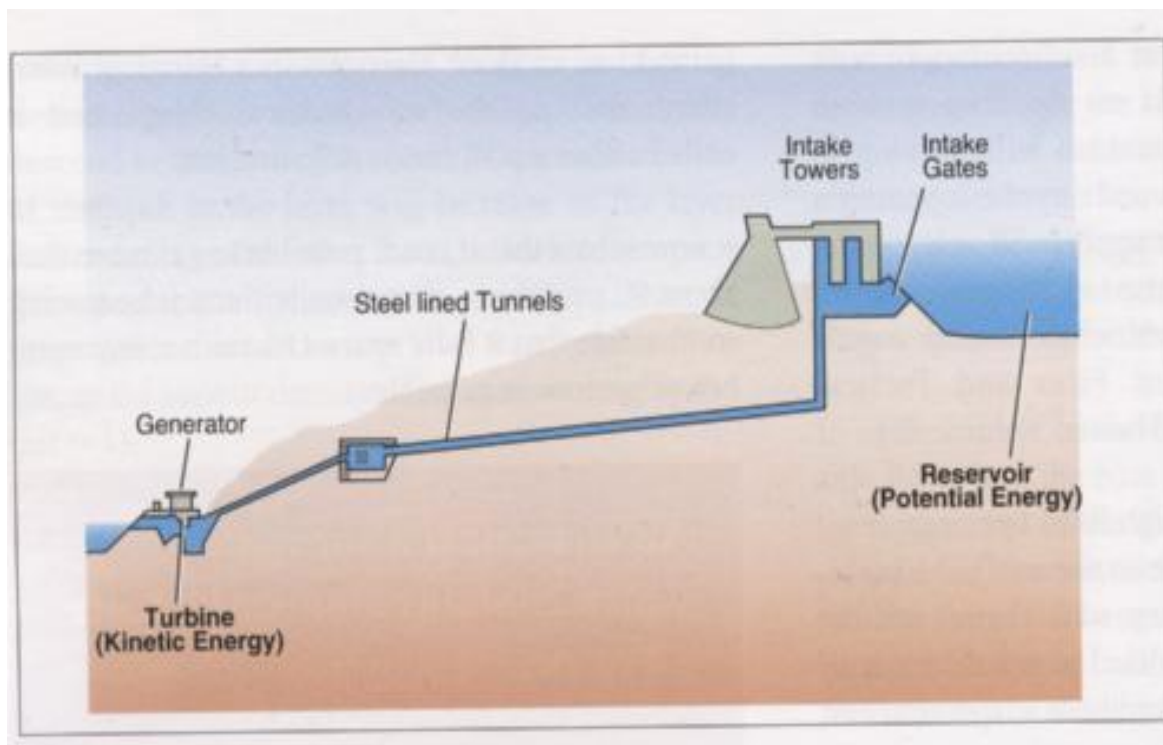
#### 1.4 Ύλη και Ενέργεια

Η ύλη μπορεί να υπάρχει σε τρεις καταστάσεις: **στερεή, υγρή ή αέρια**. Κάποιες ουσίες είναι πολύ εύκολο να τις βρούμε και στις τρεις αυτές καταστάσεις – για παράδειγμα το νερό το συναντάμε σαν πάγο, υγρό ή αέριο (ατμό) – αλλά τις περισσότερες τις βρίσκουμε μόνο σε μία ή δύο από αυτές. Για παράδειγμα, ο χάλυβας είναι στερεό μέχρι το σημείο τήξης του που είναι περίπου  $1400^{\circ}\text{C}$  (το σημείο τήξης διαφέρει ανάλογα την σύσταση του χάλυβα). Το σημείο βρασμού του, η θερμοκρασία στην οποία ατμοποιείται, είναι περίπου  $3000^{\circ}\text{C}$ . Το διοξείδιο του άνθρακα είναι κανονικά αέριο, αλλά κάτω από πίεση μπορεί να υγροποιηθεί και αν ψυχθεί αρκετά στερεοποιείται. Το οξυγόνο είναι συνήθως αέριο αλλά μπορεί να υγροποιηθεί σε πολύ μικρές θερμοκρασίες (σημείο βρασμού  $-183^{\circ}\text{C}$ ).

Όλες οι ουσίες είναι φτιαγμένες από εξαιρετικά μικρά κομμάτια τα οποία ονομάζονται **άτομα**. Τα άτομα έχουν ένα πυρήνα στο κέντρο τους, ο οποίος αποτελείται

από πιο μικρά σωματίδια τα **πρωτόνια** και τα **νετρόνια**. Τα πρωτόνια έχουν θετικό φορτίο ενώ τα νετρόνια ουδέτερο. Γύρω από τον πυρήνα περιστρέφεται ένα σύστημα από ηλεκτρόνια, τα οποία είναι φορτισμένα αρνητικά. Τα άτομα περιέχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων. Καθώς ο αριθμός των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων ενός ατόμου είναι ίδιος και κάθε ηλεκτρόνιο έχει ίσο αλλά αντίθετο φορτίο από ένα πρωτόνιο, το άτομο έχει ουδέτερο φορτίο. Ο αριθμός και η διάταξη των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα καθορίζει την χημική συμπεριφορά του ατόμου, δηλαδή με ποιά άλλα άτομα μπορεί να ενωθεί. Οι χημικές αντιδράσεις γίνονται όταν τα ηλεκτρόνια κινούνται μεταξύ των ατόμων. Ένα άτομο το οποίο έχει χάσει ή έχει πάρει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, μέσα σε μια χημική διεργασία, παρουσιάζει ηλεκτρικό φορτίο και ονομάζεται είτε θετικό είτε αρνητικό **ión**.

Πλέον είναι γνωστό ότι ένας πυρήνας δεν μπορεί να έχει περισσότερα από 92 πρωτόνια χωρίς να είναι ασταθής και να διαλύεται.



Εικόνα 1.3

**Ένα στοιχείο είναι μια ουσία που περιέχει μόνο άτομα του ίδιου τύπου.**

Ένα στοιχείο είναι μια ουσία που περιέχει μόνο άτομα του ίδιου τύπου: δηλαδή έχουν όλα τον ίδιο αριθμό πρωτονίων. Άτομα διαφορετικών στοιχείων μπορούν να ενωθούν σε μόρια.

Κάποια μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα του ίδιου είδους: για παράδειγμα το μόριο του οξυγόνου αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου ( $O_2$ ). Άλλα μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα διαφορετικού είδους: το διοξείδιο του άνθρακα αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου και ένα άτομο άνθρακα ( $CO_2$ ), το νερό αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα άτομο οξυγόνου ( $H_2O$ ). Το **διοξείδιο του άνθρακα** και το νερό είναι **χημικές ενώσεις** και μπορούν, με χημική διαδικασία, να χωριστούν στα συστατικά τους.

**Ενέργεια** είναι η ικανότητα παραγωγής έργου. Γίνεται αντιληπτή με διάφορους τρόπους - **θερμότητα, φως, ηλεκτρισμός, δυναμική ενέργεια** (η ενέργεια ενός σώματος η οποία οφείλεται στη συγκεκριμένη θέση του, π.χ. το νερό στην κορυφή ενός καταρράκτη), **κινητική ενέργεια** (ενέργεια που οφείλεται στην κίνηση ενός σώματος π.χ. το νερό που πέφτει στη βάση καταρράκτη) (σχήμα 1.3).

**Όσο γρηγορότερα κινείται κάτι τόσο περισσότερη κινητική ενέργεια έχει.**

Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί μπορεί μόνο να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας. Για να ακριβολογήσουμε, στην περίπτωση ορισμένων διεργασιών που συμβαίνουν στο άτομο, η μάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια αλλά αυτό δεν χρειάζεται να μας απασχολεί σ' αυτή τη φάση.

Η μορφή της ενέργειας η οποία είναι άμεσης σπουδαιότητας για τον πυροσβέστη είναι η **θερμότητα**. Η θερμότητα μπορεί να παραχθεί με χημική μεταβολή. Ένας τρόπος κατά τον οποίο αυτό συμβαίνει, είναι με την καύση, η οποία παριστά τη θερμότητα που παράγεται με χημική μεταβολή. Τότε λέμε ότι η **χημική ενέργεια** έχει μετατραπεί σε θερμική ενέργεια. Θερμότητα μπορεί επίσης να παραχθεί με τη μετατροπή της μηχανικής ή κινητικής ενέργειας, π.χ. με την τριβή.

Είμαστε εξοικειωμένοι με την έννοια θερμοκρασία από την καθημερινή ζωή. **Θερμοκρασία** είναι ένα μέτρο του πόσο ζεστό είναι ένα αντικείμενο και έχει σχέση με το πόσο γρήγορα κινούνται τα μόρια του αντικειμένου.

Η θερμοκρασία καθορίζει επίσης το ποια κατεύθυνση θα ακολουθήσει η θερμότητα. Η θερμότητα μπορεί να κινηθεί μόνο από ένα σώμα με υψηλή θερμοκρασία σε ένα με χαμηλότερη.

Τα μόρια μιας ουσίας βρίσκονται σε μία διαρκή κατάσταση κίνησης. Αυτό ισχύει ακόμη και για τα μόρια ενός στερεού. Την ίδια στιγμή τα μόρια εξασκούν μία δύναμη έλξης το ένα στο άλλο η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο κοντά βρίσκονται μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια των μορίων (που οφείλεται στην κίνησή τους) να τείνει να τα διαχωρίσει, ενώ η ελκτική δύναμη ή δύναμη συνοχής να τείνει να τα συγκρατεί ενωμένα. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερη κινητική ενέργεια έχουν τα μόρια και γι'αυτό η κίνησή τους είναι βραδύτερη. Συνεπώς κάτω από μία ορισμένη θερμοκρασία τα μόρια μιας ουσίας θα κρατηθούν αρκετά κοντά μεταξύ τους με τη δύναμη της συνοχής, αν και τα μόρια στην πραγματικότητα εξακολουθούν να πάλλονται. Στην περίπτωση αυτή ανήκουν τα στερεά σώματα.

Εάν ένα στερεό θερμανθεί, η επιπρόσθετη αυτή ενέργεια αποθηκεύεται στο σώμα του στερεού με αύξηση της κινητικής ενέργειας των μορίων του, τα οποία πάλλονται γρηγορότερα και τείνουν να απομακρυνθούν το ένα από το άλλο. Η θερμοκρασία του σώματος ανυψώνεται και αυτό διαστέλλεται.

Τελικά φθάνουμε σε ένα σημείο όπου τα μόρια κινούνται αρκετά γρήγορα, ώστε να υπερνικήσουν τις δυνάμεις συνοχής και κατά συνέπεια να κινούνται το ένα πλησίον του άλλου χωρίς να έχουν πλήρη ελευθερία. Στο σημείο αυτό το στερεό τήκεται και γίνεται υγρό.

Επιπλέον θέρμανση ανυψώνει τη θερμοκρασία ακόμη περισσότερο και τα μόρια κινούνται πιο γρήγορα μέχρι που φθάνουν στο σημείο να κινούνται αρκετά γρήγορα, ώστε να σπάσουν εντελώς τους δεσμούς των δυνάμεων συνοχής. Τότε το υγρό αρχίζει να βράζει, δηλαδή μετατρέπεται σε ατμό. Εάν αφαιρεθεί θερμότητα από μία ουσία, συμβαίνει η αντίθετη διαδικασία.

### 1.5 Σημείο τήξης, σημείο βρασμού και εξάτμιση

Η θερμοκρασία στην οποία ένα στερεό τήκεται ονομάζεται **σημείο τήξης**. Αντίστροφα η θερμοκρασία στην οποία ένα υγρό στερεοποιείται ονομάζεται **σημείο πήξης**. Αυτές οι δύο θερμοκρασίες είναι κοινές για την ίδια ουσία. Η θερμοκρασία στην οποία ένα υγρό βράζει και γίνεται ατμός καλείται **σημείο βρασμού**.

Από τη στιγμή που απαιτείται ενέργεια για να υπερνικηθούν οι δυνάμεις συνοχής όταν μία ουσία τήκεται ή βράζει, η θερμότητα η οποία προσφέρεται κατά τη διάρκεια των φαινομένων αυτών δεν προκαλεί ανύψωση στη θερμοκρασία της ουσίας. Αντιστρόφως, όταν ο ατμός συμπυκνώνεται ή ένα υγρό στερεοποιείται, δεν υπάρχει περαιτέρω πτώση

της θερμοκρασίας όσο χρόνο γίνεται η μεταβολή.

Ακόμα και σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου βρασμού, μερικά μόρια είναι δυνατόν να φθάσουν στην επιφάνεια του υγρού με ενέργεια αρκετή ώστε να διαφύγουν στο περιβάλλον ως ατμοί. Τότε λέμε ότι το υγρό **εξατμίζεται**. Σε κλειστό χώρο, αυτά τα μόρια των ατμών ασκούν πίεση γνωστή ως πίεση ατμών. Για κάθε δεδομένη θερμοκρασία κάτω από το σημείο βρασμού υπάρχει μία ορισμένη πίεση ατμών, στην οποία ο αριθμός των μορίων που διαφεύγει βρίσκεται σε ισορροπία με τον αριθμό των μορίων τα οποία ξαναγυρίζουν στην υγρή φάση. Ο βρασμός

επέρχεται όταν η πίεση των ατμών γίνει ίση με την πίεση του περιβάλλοντος. Ατμός δεν σχηματίζεται μόνο στην επιφάνεια του υγρού, αλλά ακόμη και στη μάζα του. Εάν αυξηθεί η εξωτερική πίεση, η πίεση του ατμού στην οποία θα λάβει χώρα ο βρασμός αυξάνεται και συνεπώς η θερμοκρασία βρασμού αυξάνεται περαιτέρω. Εάν η εξωτερική πίεση ελαττωθεί, θα συμβεί η αντίστροφη διαδικασία και η θερμοκρασία στην οποία επέρχεται ο βρασμός ελαττώνεται.

## Κεφάλαιο 2 – Μηχανική

Στο Κεφάλαιο αυτό θα δούμε πώς τα αντικείμενα κινούνται και πώς η κίνησή τους συνδέεται με τη μάζα τους, την ενέργεια που έχουν και τις δυνάμεις που δρουν σε αυτά.

### 2.1 Κίνηση

Φανταστείτε ένα σώμα το οποίο κινείται από ένα αρχικό σημείο A σε ένα άλλο σημείο B, για παράδειγμα ένα κινούμενο αυτοκίνητο μεταξύ δύο πόλεων.

Η απόσταση που έχει διανύσει το αυτοκίνητο είναι το μήκος της γραμμής X. Η μέση ταχύτητά του είναι η απόσταση που διένυσε διαιρεμένη με το χρόνο που χρειάστηκε.

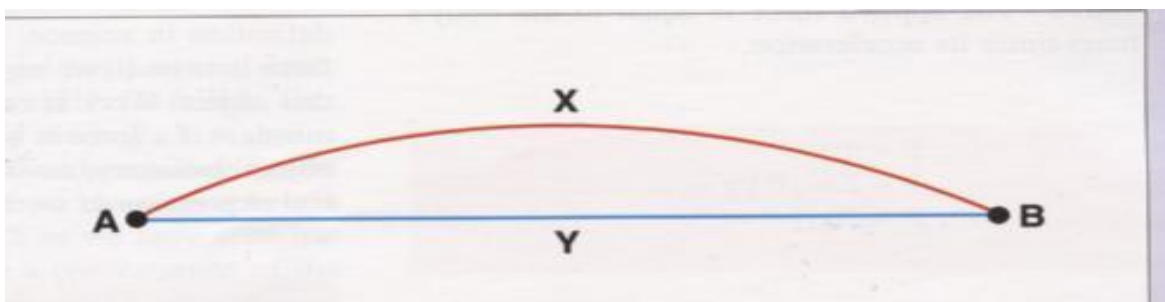
$$\text{Ταχύτητα} = \frac{\text{Απόσταση}}{\text{Χρόνος}}$$

Η μονάδα μέτρησης της ταχύτητας είναι τα μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s), ή εάν η απόσταση μετριέται σε χιλιόμετρα και ο χρόνος σε ώρες η μονάδα μέτρησης θα είναι τα χιλιόμετρα ανά ώρα (Km/h).

**Ταχύτητα** είναι ο ρυθμός μεταβολής της μετατόπισης.

**Επιτάχυνση** είναι ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας.

Η μονάδα μέτρησης της επιτάχυνσης είναι το m/s<sup>2</sup>.



Εικόνα 2.1

### 2.2 Ορμή και δύναμη

Ορμή είναι το γινόμενο της μάζας και της ταχύτητας.

$$\text{Ορμή} = \text{Μάζα} * \text{Ταχύτητα}$$

Έτσι ένα σώμα μάζας 2 Kg που κινείται με ταχύτητα 10 m/s έχει ορμή 20 kg\*m/s.

Δύναμη είναι το γινόμενο της μάζας και της επιτάχυνσης

$$\text{Ορμή} = \text{Μάζα} * \text{Ταχύτητα}$$

$$F = M * a$$

Η μονάδα μέτρησης είναι Kg\*m/s<sup>2</sup> που την ξέρουμε ως Newton (N).

Η «δύναμη της βαρύτητας» προσδίδει επιτάχυνση σε όλα τα σώματα που βρίσκονται στη γη. Στην επιφάνεια της γης οτιδήποτε αφεθεί να πέσει θα επιταχυνθεί, λόγω της βαρύτητας, με 9.81 m/s<sup>2</sup> (αυτή η επιτάχυνση συμβολίζεται με g).

Το βάρος ενός σώματος εκφράζει το πόσο μεγάλη είναι η δύναμη που ασκεί η βαρύτητα σε αυτό.

### 2.3 Έργο, ενέργεια και ισχύς

Έργο είναι ένας άλλος όρος της καθημερινότητάς μας, ο οποίος έχει ένα απόλυτο ορισμό στην επιστήμη. Αν ένα σώμα κινείται εξαιτίας μιας δύναμης που ασκείται σε αυτό, τότε λέμε ότι προσδίδουμε έργο στο σώμα. Έργο παράγεται μόνο όταν το σώμα κινείται – αν η δύναμη ασκείται για να κρατάει το σώμα σταθερό δεν παράγεται έργο. Η μαθηματική έκφραση του έργου δίνεται από τον τύπο :

$$W = F \cdot s$$

όπου  $W$  είναι το έργο (σε Joules),  $F$  η σταθερή δύναμη που ασκείται (σε Newton) και  $s$  η απόσταση που κινήθηκε το σώμα κατά την διεύθυνση της δύναμης (σε μέτρα).

### 2.4 Τριβή

Όταν ένα σώμα κινείται ή προσπαθεί να κινηθεί πάνω σε μια επιφάνεια, και το σώμα και η επιφάνεια αντιμετωπίζουν μια δύναμη τριβής μεταξύ των επαπτόμενων επιφανειών, κάθε μία αντίθετη από την κατεύθυνση της κίνησης της επιφάνειας.

Ακόμα και σε δύο πολύ επίπεδες και γυαλισμένες επιφάνειες, υπάρχουν πολύ μικρές ατέλειες που κάνουν την πραγματική επιφάνεια επαφής πολύ μικρότερη από ότι φαίνεται. Αυτές οι ατέλειες μπορεί να αλληλοσυνδέονται και, στην περίπτωση των μετάλλων, μπορεί ακόμη και συγκολληθούν μαζί κάτω από πολύ υψηλές τοπικές πιέσεις.

Μπορούμε να δούμε, λοιπόν, ότι αυτή η σύνδεση θα αναστέλλει την κίνηση και ότι θα χρειαστεί ενέργεια για να ξεπεραστεί η δύναμη τριβής. Αυτή η ενέργεια εμφανίζεται ως θερμότητα: εφόσον ενέργεια ξοδεύεται για υπέρβαση της τριβής, αυξάνει η θερμοκρασία. Αυτή είναι η αρχή πίσω από την ύπαρξη της τραχιάς λωρίδας στα πλαϊνά των σπιρτόκουτων, μέσω της οποίας παρέχει η θερμότητα για να ξεκινήσει η χημική αντίδραση σε ένα σπύρτο. Αυτός είναι επίσης ο λόγος που ζεσταίνονται τα φρένα σε ένα αυτοκίνητο ή ένα ποδήλατο.



## Κεφάλαιο 3 – Θερμότητα και Θερμοκρασία

Στα Κεφάλαια 1 και 2 διαπιστώσαμε ότι :

### Ενέργεια

- είναι η δυνατότητα να παράγουμε έργο
- δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί
- μπορεί να υπάρχει με διάφορες μορφές

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας. Μπορεί να παραχθεί με χημικούς τρόπους, π.χ. με καύση του άνθρακα ή του πετρελαίου, ή με μηχανικούς τρόπους, π.χ. με την τριβή. Επίσης η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από μία αντίσταση παράγει θερμότητα. Η θερμότητα είναι δυνατόν να μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας, π.χ. η ενέργεια που παράγεται από την πίεση σ' ένα βραστήρα ατμού. Είναι επίσης δυνατόν η θερμότητα να μετατραπεί σε χημική ή ηλεκτρική ενέργεια.

Η ενέργεια της θερμότητας δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Η πιο εμφανής επίδραση της παροχής ενέργειας με τη μορφή θερμότητας σ' ένα σώμα, είναι η αλλαγή της θερμοκρασίας του. Η θερμοκρασία όμως είναι το μέτρο του πόσο ζεστό είναι ένα σώμα και όχι η ποσότητα της θερμότητας που υπάρχει μέσα σ' αυτό.

Η θερμότητα ρέει πάντοτε από την υψηλή θερμοκρασία προς τη χαμηλή. Εάν δύο σώματα, το ένα θερμό και το άλλο ψυχρό, έλθουν σε επαφή, το θερμό σώμα (δηλαδή αυτό με την υψηλότερη θερμοκρασία) αποβάλλει θερμότητα και το ψυχρό σώμα (αυτό με τη χαμηλότερη θερμοκρασία) αποκτά θερμότητα. Το γεγονός ότι η θερμότητα και η θερμοκρασία δεν είναι το ίδιο πράγμα μπορεί να φανεί από ένα απλό πείραμα. Όταν ένα κομμάτι καθαρού σιδήρου ή σύρμα χαλκού τοποθετηθεί στη φλόγα ενός σπέρτου, γρήγορα θα ερυθροπυρωθεί και θα καταστεί ικανό να προκαλέσει έγκαυμα. Ένα ίδιο σπέρτο, εάν τοποθετηθεί αναμμένο κάτω από

μία χύτρα (που περιέχει μισό λίτρο νερού), δεν θα προκαλέσει καμία αξιοσημείωτη μεταβολή στη θερμοκρασία του νερού εξαιτίας της μεγαλύτερης μάζας του παρόλο που το ποσό της θερμότητας που απελευθερώνεται από το καθένα από τα δύο σπέρτα είναι περίπου το ίδιο.

### 3.1 Μέτρηση θερμοκρασίας

Το ανθρώπινο σώμα δεν μπορεί να μετρήσει θερμοκρασία, μπορεί μόνο να συγκρίνει.

Το ανθρώπινο σώμα δεν μπορεί να μετρήσει τη θερμοκρασία αξιόπιστα. Κατ' αρχήν συγκρίνει το πόσο ζεστό είναι ένα σώμα, σε σχέση με την προηγούμενη αίσθηση που είχε. Εάν το ένα χέρι τοποθετηθεί σε ένα δοχείο με κρύο νερό και το άλλο σε ένα δοχείο με ζεστό, και μετά τα δύο μαζί τοποθετηθούν σε ένα δοχείο με χλιαρό νερό, τότε το χέρι που βρισκόταν στο δοχείο με το κρύο νερό θα αισθανθεί ότι το χλιαρό νερό είναι «θερμό», ενώ το χέρι από το ζεστό νερό θα αισθανθεί ότι το χλιαρό νερό είναι «ψυχρό». Το ανθρώπινο σώμα δεν είναι σε θέση να δώσει μία αριθμητική τιμή για τη θερμοκρασία.

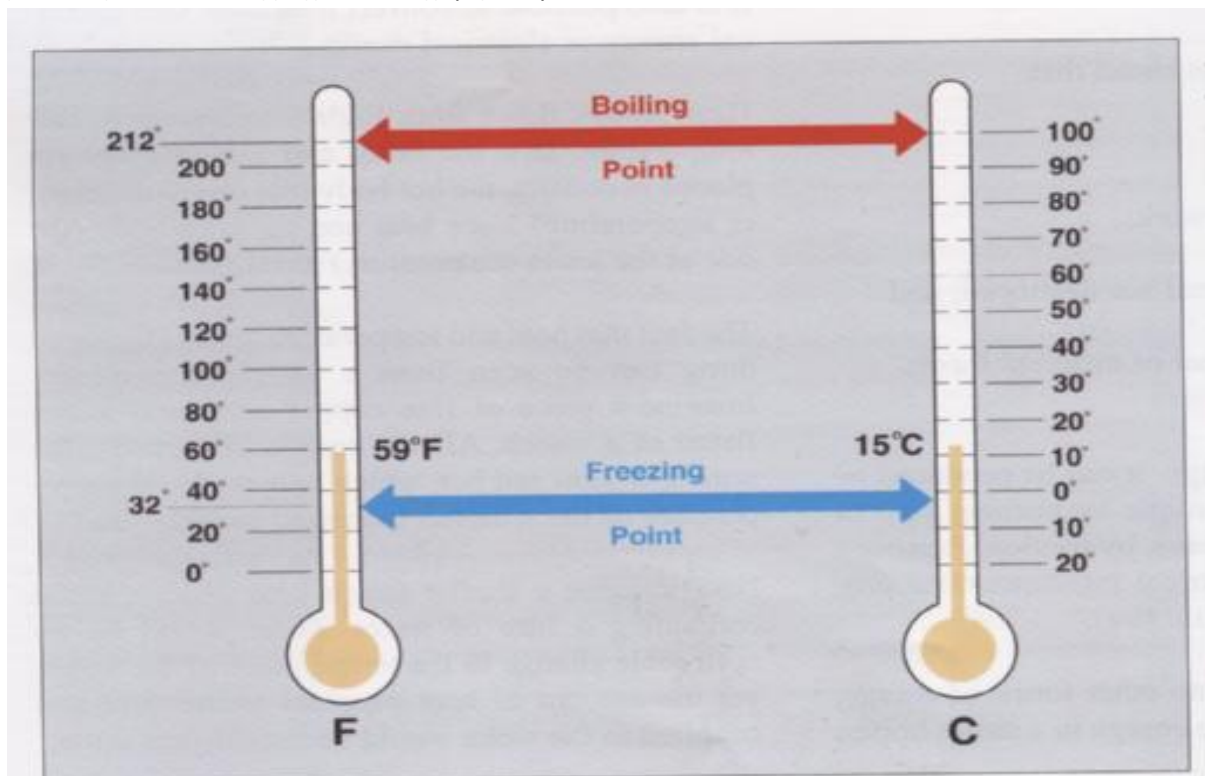
Ωστόσο, η θερμοκρασία μπορεί να μετρηθεί με βάση τα αποτελέσματα της θερμότητας. Το πιο κοινό παράδειγμα είναι η χρήση της ιδιότητας της θερμικής διαστολής ενός υγρού. Το όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι γνωστό ως **θερμόμετρο** (σχήμα 3.1).

Το θερμόμετρο αποτελείται από ένα μικρό σφαιρικό δοχείο με ένα στέλεχος μικρού διαμετρήματος, σφραγισμένο στο άκρο, που περιέχει κατάλληλο υγρό.

Το υγρό αυτό είναι συνήθως **υδράργυρος**, ο οποίος έχει τα πλεονεκτήματα του υψηλού σημείου βρασμού (357 °C), της ομοιόμορφης

διαστολής, της χαμηλής θερμοχωρητικότητας και ακόμα είναι ευδιάκριτος. Το σημείο πήξης του, ωστόσο, είναι περίπου  $-39^{\circ}\text{C}$  και συνεπώς δεν είναι κατάλληλος για τη μέτρηση θερμοκρασιών οι οποίες είναι πολύ χαμηλότερες από το σημείο πήξης του νερού. Το οινόπνευμα έχει χαμηλότερο σημείο πήξης ( $-112^{\circ}\text{C}$ ) αλλά επίσης έχει πολύ χαμηλότερο

σημείο βρασμού ( $78^{\circ}\text{C}$ ) από τον υδράργυρο και χρησιμοποιείται για χαμηλές θερμοκρασίες. Μερικές φορές χρησιμοποιείται χρωματιστό νερό για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό των θερμοκρασιών μεταξύ του σημείου πήξης και του σημείου βρασμού του νερού.



Εικόνα 3.1

### 3.2 Θερμομετρικές κλίμακες

Πριν κατασκευάσουμε μία θερμομετρική κλίμακα, απαιτούνται δύο σταθερά σημεία. Όταν κατασκευάστηκαν τα πρώτα θερμόμετρα, επιλέχθηκαν διάφορα σταθερά σημεία (π.χ. στο μείγμα νερού και πάγου ο Φαρενάιτ έδωσε τη θερμοκρασία  $32^{\circ}\text{F}$  κάτω από το σημείο πήξης του καθαρού νερού). Σήμερα ως σταθερά σημεία λαμβάνονται το σημείο τήξης του καθαρού πάγου και το σημείο βρασμού του καθαρού νερού, υπό πίεση 76 εκατοστόμετρων της κλίμακας υδραργύρου.

Έτσι, για να αποφασιστεί το χαμηλότερο σταθερό σημείο του θερμομέτρου, τοποθετούμε το μικρό σφαιρικό δοχείο σε λιωμένο πάγο, ενώ για το ανώτατο σταθερό σημείο το θερμόμετρο τοποθετείται σε ατμό νερού που βράζει υπό συνθήκες σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης 76 εκατοστόμετρων υδραργύρου. Εάν η βαρομετρική πίεση δεν είναι 76 εκατοστόμετρα πρέπει να γίνει διόρθωση στο ανώτατο σταθερό σημείο. Τα επίπεδα στα οποία το υγρό σταθεροποιείται σημειώνονται πάνω στο στέλεχος του θερμομέτρου.

Χρησιμοποιούνται συνήθως δύο θερμομετρικές κλίμακες.

### 3.2.1 Εκατονταβάθμια κλίμακα ή κλίμακα Κελσίου

Στην κλίμακα αυτή το κατώτερο σταθερό σημείο σημειώνεται με τον αριθμό μηδέν (0). Το ανώτερο σταθερό σημείο σημειώνεται με τον αριθμό εκατό (100). Το στέλεχος ανάμεσα σ' αυτά τα δύο σημεία διαιρείται σε 100 ίσα διαστήματα ή βαθμούς. Αυτές οι διαιρέσεις ονομάζονται βαθμοί της εκατονταβάθμιας κλίμακας.

### 3.2.2 Κλίμακα Φαρενάιτ (Fahrenheit)

Ο εφευρέτης αυτής της κλίμακας χρησιμοποίησε μείγμα νερού και πάγου για να δώσει το κατώτερο σταθερό σημείο. Το σημείο πήξης του νερού είναι  $32^{\circ}\text{F}$ . Το ανώτερο σταθερό σημείο είναι  $212^{\circ}\text{F}$  και το στέλεχος μεταξύ αυτών των σταθερών σημείων διαιρείται σε  $180^{\circ}\text{F}$ .

## 3.3 Άλλες μέθοδοι μέτρησης της θερμοκρασίας

Το θερμόμετρο με το υγρό δεν είναι η μόνη μέθοδος μέτρησης θερμοκρασίας. Υπάρχουν διάφορες άλλες μέθοδοι, όπως είναι οι παρακάτω :

### 3.3.1 Θερμόμετρο αέρα ή αερίου

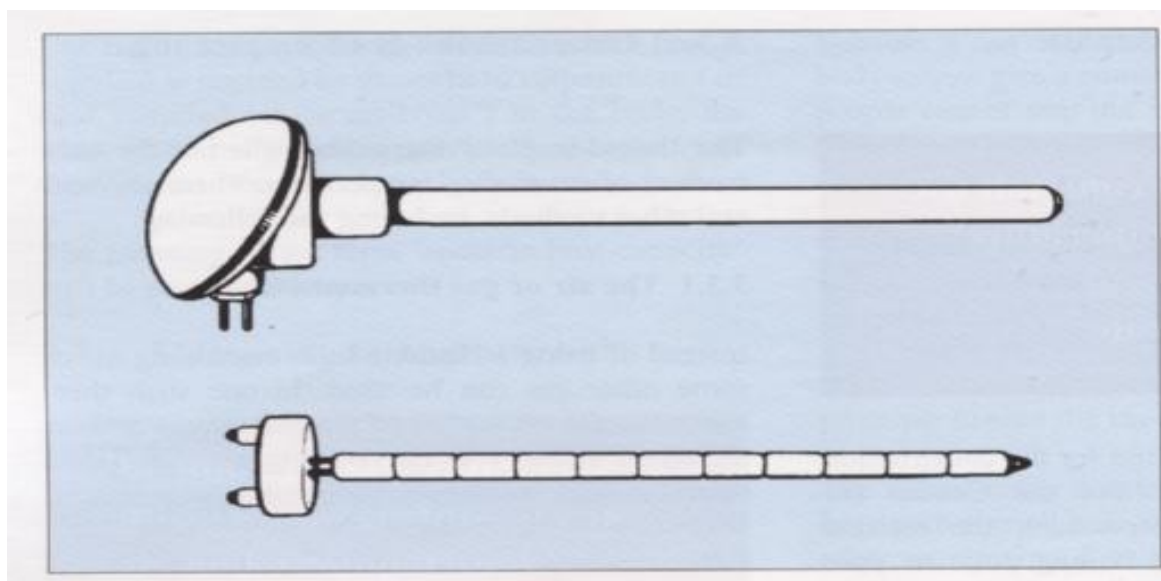
Αντί της χρησιμοποίησης υγρού μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μικρή σφαίρα που περιέχει αέρα ή κάποιο άλλο αέριο. Σ' ένα τέτοιο θερμόμετρο η διαστολή του αερίου υποχρεώνει τον υδράργυρο να κινηθεί κατά τη διεύθυνση της κλίμακας. Αυτά τα θερμόμετρα είναι πολύ ευαίσθητα, αλλά μπορεί να απαιτούν διόρθωση προκειμένου να αντισταθμίσουν την ατμοσφαιρική πίεση.

### 3.3.2 Χρήση στερεών για μέτρηση θερμοκρασίας

Η διαστολή ενός στερεού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Η διαστολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή καθαυτή άμεσα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση η διαφορά της διαστολής δύο ανόμοιων μετάλλων.

### 3.3.3 Θερμοστοιχεία

Όταν η ένωση των συρμάτων δύο διαφορετικών μετάλλων (π.χ. σιδήρου και χαλκού) θερμαίνεται, παράγεται ηλεκτρικό δυναμικό. Εάν τα σύρματα συνδεθούν σε ένα ευαίσθητο όργανο για την ανίχνευση ηλεκτρικού ρεύματος το όργανο αυτό (σχήμα 3.2) θα καταγράψει ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 3.2

Το ρεύμα αυτό εξαρτάται από τη θερμοκρασία της ένωσης. Τα θερμοστοιχεία του τύπου αυτού για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι γνωστά ως πυρόμετρα. Για να αυξηθεί η ευαισθησία του πυρομέτρου πρέπει να συνδεθούν σε σειρά περισσότερες ενώσεις ή θερμοστοιχεία. Τα πυρόμετρα είναι ικανά να καταγράφουν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός σύρματος αυξάνεται με την άνοδο της θερμοκρασίας και αυτή η μεταβολή της αντίστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μέτρηση της θερμοκρασίας.

### **3.3.4 Ηλεκτρική αντίσταση**

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός καλωδίου αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και η αλλαγή της αντίστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση της θερμοκρασίας.

### **3.3.5 Σύγκριση της φωτεινότητας**

Θερμοκρασίες πάνω από 1250 °C (π.χ. σε κλιβάνους) μπορούν να μετρηθούν με τη σύγκριση της φωτεινότητας του αντικειμένου που ακτινοβολεί σ'αυτή τη θερμοκρασία με αυτό του νήματος ενός ηλεκτρικού λαμπτήρα, η φωτεινότητα του οποίου μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τη ροή του ρεύματος που διέρχεται από το νήμα. Εάν η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολύ μικρή, το νήμα εμφανίζεται σκοτεινότερο από το αντικείμενο. Όμως αν η ποσότητα είναι πολύ μεγαλύτερη, το νήμα εμφανίζεται φωτεινότερο. Όταν το νήμα εξαφανίζεται, η αντίστοιχη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το μέτρο της θερμοκρασίας του αντικειμένου.

### **3.3.6 Υπέρυθρη ακτινοβολία**

Υπέρυθρες κάμερες και άλλοι αισθητήρες ανιχνεύουν τη θερμότητα με τον ίδιο τρόπο που τα μάτια μας να εντοπίζουν το φως. Το φως αντιπροσωπεύει μόνο ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος - ένα ουράνιο τόξο διαφορετικών τύπων ακτινοβολίας που

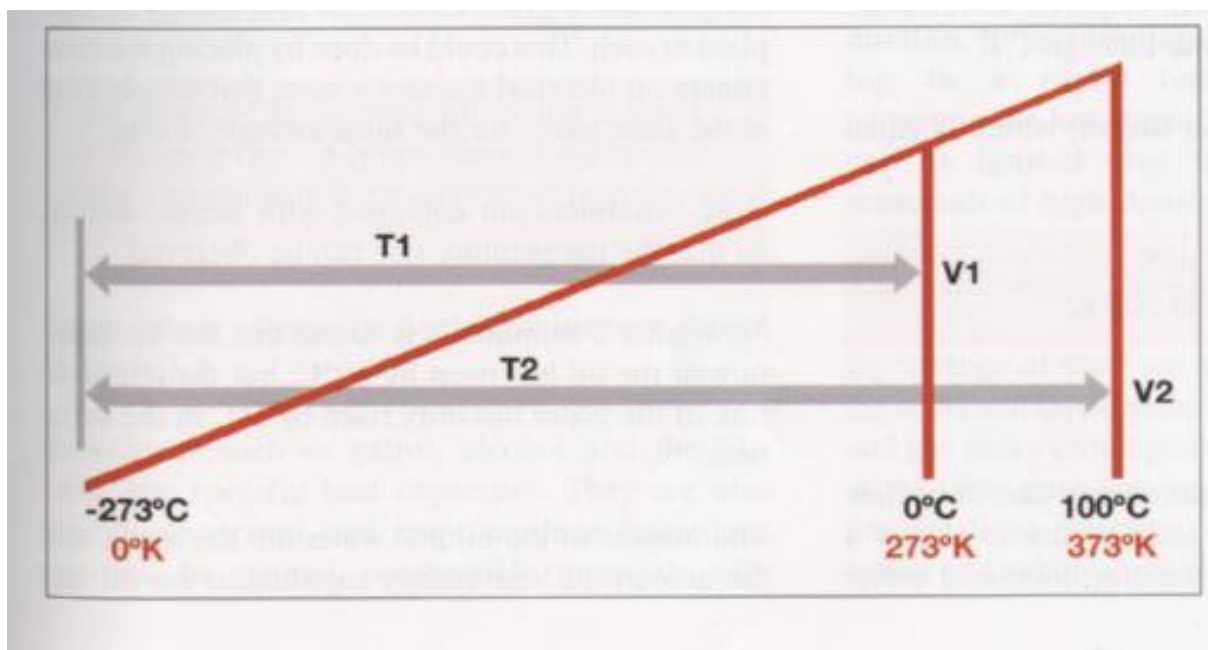
περιλαμβάνει, εκτός από το ορατό φως, ραδιοκύματα, μικροκύματα, η υπεριώδης ακτινοβολία και ακτίνες-Χ.

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από τα σώματα (και μερικά αέρια) όταν είναι ζεστά. Υπέρυθροι αισθητήρες είναι ευαίσθητοι σε αυτό το είδος της ακτινοβολίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος, αναλύοντας τη δύναμη και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Η Υπέρυθρη ακτινοβολία συμπεριφέρεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως το φως, αλλά μπορεί να περάσει μέσα από κάποια σώματα που το φως δεν μπορεί, και εμποδίζεται από κάποια σώματα που όμως το φως μπορεί να περάσει. Ειδικότερα, υπέρυθρου μπορεί να περάσει μέσα από τον καπνό σε συγκεντρώσεις που εμποδίζουν το ορατό φως. Για το λόγο αυτό οι υπέρυθρες κάμερες έχουν γίνει πολύτιμο εργαλείο σε επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης. Η υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αναίσθητο άτομο που βρίσκεται σε ένα δροσερό περιβάλλον μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί.

## **3.4 Η κλίμακα θερμοκρασίας Kelvin**

Μία επιπλέον κλίμακα θερμοκρασιών η οποία είναι σημαντική στους υπολογισμούς που αφορούν τα αέρια είναι η απόλυτη κλίμακα. Εάν σχεδιαστεί η γραφική παράσταση του όγκου και της θερμοκρασίας ενός αερίου και επεκταθεί προς τα πίσω (σχήμα 3.3) μέχρι να τμήσει τον άξονα των θερμοκρασιών όπου ο όγκος είναι 0, η θερμοκρασία αυτή θα βρεθεί ότι είναι -273 °C. Αυτή είναι η θερμοκρασία στην οποία ο όγκος του αερίου μηδενίζεται εάν αυτό παρέμενε αέριο, και θεωρείται ως η χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί. Χρησιμοποιείται ως το μηδέν για τη μέτρηση των απόλυτων κλιμάκων της θερμοκρασίας. Υπάρχουν δύο τέτοιες κλίμακες -η κλίμακα Κέλβιν (που ονομάστηκε έτσι από τον Σερ Ουίλλιαμ Τόμσον, Λόρδο Κέλβιν),



Εικόνα 3.3

Η οποία χρησιμοποιεί μονάδες που είναι του ίδιου μεγέθους, όπως οι βαθμοί της εκατονταβάθμιας κλίμακας, και της κλίμακας Ράνκιν (Rankine) που σχετίζεται με την κλίμακα Φαρενάιτ.

$$\text{Απόλυτη Θερμ.} = \text{Celsius θερμ.} + 273$$

$$0 \text{ K} = 273^\circ\text{C}$$

$$273 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$$

$$100^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$$

Το σύμβολο T χρησιμοποιείται πάντοτε για την απόλυτη θερμοκρασία, και το σύμβολο t υποδηλώνει θερμοκρασίες άλλες εκτός της απόλυτης.

### 3.5 Μονάδες θερμότητας

#### 3.5.1 Το Joule

Η μονάδα μέτρησης της θερμότητας στο Διεθνές Σύστημα μέτρησης (S.I.) είναι το joule. Αυτή είναι μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για όλες τις μορφές ενέργειας - θερμότητα, μηχανική ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια και ούτω καθ' εξής. Από τη Μηχανική ορίστηκε ότι η ενέργεια είναι η ικανότητα παραγωγής έργου. Συνεπώς το έργο και η ενέργεια μετρούνται με τις ίδιες μονάδες,

κυρίως με Joule. Θεωρούμε ότι παράγεται έργο όταν το σημείο εφαρμογής της δύναμης μετακινείται και μπορούμε να πούμε :

παραγόμενο έργο = δύναμη x απόσταση που διανύεται κατά την κατεύθυνση της δύναμης.

Το Joule είναι το παραγόμενο έργο όταν η εφαρμογή δύναμης ενός newton (N) κινείται κατά ένα μέτρο προς τη φορά της δύναμης. Μεγαλύτερες μονάδες είναι :

$$\text{Το Κιλοτζάουλ} = 1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$\text{Το Μεγατζάουλ} = 1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$$

#### 3.5.2 Η θερμίδα

Αυτή ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να ανυψώσει τη θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού κατά  $1^\circ\text{C}$ . Μία χλιοθερμίδα = 1.000 θερμίδες.

$$\text{Θερμίδα} = 4.18 \text{ τζάουλ}$$

#### 3.5.3 Η Βρετανική θερμική μονάδα (BTU)

Αυτή είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να ανυψώσει τη θερμοκρασία 1lb (λίμπρας) νερού κατά  $1^\circ\text{F}$ . Άλλη μία



Βρετανική μονάδα είναι η θερμίδα (therm), η οποία είναι ίση με 100.000 BTU (105 BTU)

$$1 \text{ BTU} = 1.05 \text{ KJ}$$

### 3.6 Ειδική Θερμότητα

Η θερμική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί από ένα σημείο με υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα άλλο χαμηλότερης. Η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση αυτής της μεταφερόμενης ενέργειας είναι το τζάουλ. Όταν προστίθεται θερμότητα σε ένα σώμα η θερμοκρασία του αυξάνει. Μπορούμε τότε να μιλάμε για τη θερμοχωρητικότητα ενός σώματος ως τη θερμότητα που απαιτείται για να ανυψώσει τη θερμοκρασία του κατά  $1^{\circ}\text{C}$ . Στο S.I. η μονάδα της θερμοχωρητικότητας είναι το τζάουλ ανά βαθμό Κελσίου ( $\text{J}/^{\circ}\text{C}$ ). Εάν λάβουμε ίσες μάζες νερού και πετρελαίου και θερμάνουμε τη καθεμιά με τον ίδιο ρυθμό, έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία του πετρελαίου μπορεί να ανυψωθεί κατά  $10^{\circ}\text{C}$  σε 3 λεπτά, ενώ η θερμοκρασία του νερού ανυψώνεται μόνο κατά  $5^{\circ}\text{C}$  στον ίδιο χρόνο. Επειδή ο ρυθμός παροχής θερμότητας είναι ο ίδιος και στις δύο περιπτώσεις, γίνεται φανερό ότι το πετρέλαιο έχει μικρότερη θερμοχωρητικότητα από ίση μάζα νερού.

Για να συγκρίνουμε ένα σώμα με ένα άλλο χρησιμοποιούμε την ειδική θερμοχωρητικότητα. Η ειδική θερμοχωρητικότητα ενός σώματος είναι η θερμική ενέργεια που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μάζας του σώματος κατά ένα βαθμό Κελσίου ( $1^{\circ}\text{C}$ ). Στο S.I. χρησιμοποιούμε τη μονάδα του τζάουλ ανά κιλό ανά βαθμό Κελσίου ( $\text{J}/(\text{kg } ^{\circ}\text{C})$ ). Στον παρακάτω πίνακα με τις ειδικές θερμοχωρητικότητες φαίνεται ότι το νερό έχει την ασυνήθιστα υψηλή θερμοχωρητικότητα των  $4.200 \text{ J/kg}$  ( $4,2 \text{ kJ/kg}$ ) ανά  $^{\circ}\text{C}$ . Πολύ λίγα σώματα έχουν υψηλότερη τιμή από αυτήν. Τα πιο αξιοσημείωτα είναι το υδρογόνο υπό

σταθερό όγκο, και μείγματα ορισμένων αλκοολών με νερό. Μερικές τιμές των ειδικών θερμοχωρητικότητων φαίνονται στον πίνακα 1.

Υλικά με χαμηλή ειδική θερμοχωρητικότητα θερμαίνονται γρηγορότερα σε συνθήκες πυρκαγιάς από εκείνα που έχουν υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα.

Οι ουσίες όπως η βενζίνη, το οινόπνευμα και οι παρόμοιες έχουν χαμηλές ειδικές θερμοχωρητικότητες και εξατμίζονται εύκολα. Παράγουν επίσης επικίνδυνους ατμούς (Βλέπε Μέρος Δεύτερο). Οι χαμηλές ειδικές θερμοχωρητικότητες έχουν πολύ μεγάλη σημασία γιατί αυξάνουν τους κινδύνους της πυρκαγιάς.

### 3.7 Αλλαγή κατάστασης και λανθάνουσα θερμότητα

#### 3.7.1 Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

Όταν μία χύτρα τοποθετηθεί πάνω σε φλόγα, η θερμοκρασία του νερού ανυψώνεται μέχρι να φθάσει τους  $100^{\circ}\text{C}$ . Σ'αυτή τη θερμοκρασία το νερό βράζει, δηλαδή σχηματίζονται φυσαλίδες ατμού στον πυθμένα και ανέρχονται στην επιφάνεια όπου σπάνε και διαφεύγουν ως ατμός. Από τη στιγμή που το νερό αρχίζει να βράζει, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους  $100^{\circ}\text{C}$ . Την ίδια στιγμή θερμική ενέργεια απορροφάται σταθερά από την πηγή θερμότητας (φλόγα αερίου ή στοιχείο θέρμανσης). Η θερμότητα αυτή, η οποία μεταβιβάζεται στο νερό αλλά δεν αυξάνει τη θερμοκρασία του, είναι η ενέργεια που χρειάζεται για να μετατραπεί το νερό από την υγρή κατάσταση σε ατμό. Τα πειράματα δείχνουν ότι απαιτούνται  $2.260.000$  τζάουλ για τη μετατροπή  $1 \text{ kg}$  νερού στο σημείο βρασμού του, σε ατμό με την ίδια θερμοκρασία.

Αυτή είναι γνωστή ως ειδική λανθάνουσα θερμότητα του ατμού (λανθάνουσα σημαίνει κρυμμένη). Αυτή η επιπλέον θερμότητα



μεταβιβάζεται στον ατμό, αλλά δεν κάνει αισθητή την παρουσία της προκαλώντας ανύψωση της θερμοκρασίας.

Όταν ο ατμός συμπυκνώνεται για να σχηματίσει νερό, το ίδιο ποσό της λανθάνουσας θερμότητας αποδίδεται πάλι. Για το λόγο αυτό ορισμένοι τύποι ατμομηχανών πρέπει να ψύχονται με νερό. Και άλλα υγρά εκτός από το νερό απορροφούν λανθάνουσα θερμότητα όταν μετατρέπονται σε ατμό. Για παράδειγμα απαιτούνται 860.000 τζάουλ για να μετατραπεί 1 kg οινόπνεύματος σε ατμό στην ίδια θερμοκρασία.

Επομένως ο ορισμός της ειδικής λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης ενός σώματος είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να αλλάξει η μονάδα μάζας του σώματος από την υγρή κατάσταση στην κατάσταση του ατμού χωρίς αλλαγή της θερμοκρασίας.

Η μονάδα της λανθάνουσας θερμότητας στο S.I. είναι το τζάουλ ανά χιλιόγραμμα ( $\text{J/kg}$ ). Αυτή συνήθως εκφράζεται σε κιλοτζάουλ ανά χιλιόγραμμα ( $\text{kJ/kg}$ ).

### **3.7.2 Η επίδραση της αλλαγής της αλλαγής της πίεσης στο σημείο βρασμού και στη λανθάνουσα θερμότητα**

Το νερό βράζει στους  $100^\circ\text{C}$  όταν η εξωτερική πίεση είναι η συνήθης ατμοσφαιρική πίεση των 760 mm υδραργύρου ή 1,013 bar ( $1\text{ bar} = 105\text{ N/m}^2$ ). Εάν η εξωτερική πίεση αυξάνεται, τότε αυξάνεται και το σημείο βρασμού. Εάν η εξωτερική πίεση μειώνεται, τότε μειώνεται και το σημείο βρασμού. Αυτό χρησιμοποιείται στις χύτρες πίεσης και στο σύστημα ψύξης των μηχανών εσωτερικής καύσης, όπου η αύξηση της πίεσης ανυψώνει το σημείο βρασμού του υγρού στο σύστημα.

Η επίδραση της ανύψωσης του σημείου βρασμού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της

ποσότητας της θερμότητας που απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία του ψυχρού υγρού στο νέο σημείο βρασμού του και επίσης να μειωθεί η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισής του.

### **3.7.3 Η λανθάνουσα θερμότητα τήξης**

Ακριβώς όπως συμβαίνει με τη λανθάνουσα θερμότητα, όταν το νερό μετατρέπεται σε ατμό στην ίδια θερμοκρασία, το ίδιο ισχύει όταν ο πάγος λιώνει για να σχηματιστεί νερό. Σ' αυτή την περίπτωση η λανθάνουσα θερμότητα δεν είναι τόσο μεγάλη. Απαιτούνται 336.000 J για να μετατραπεί 1kg πάγου των  $0^\circ\text{C}$  σε νερό της ίδιας θερμοκρασίας. Ομοίως όταν νερό των  $0^\circ\text{C}$  μετατρέπεται σε πάγο, η ίδια ποσότητα θερμότητας αποδίδεται για κάθε 1 kg πάγου που σχηματίζεται. Αυτή ονομάζεται ειδική λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου. Αυτό δεν περιορίζεται μόνο στο νερό. Άλλα σώματα απορροφούν λανθάνουσα θερμότητα όταν αυτά τήκονται και αντιστρόφως αποδίδουν λανθάνουσα θερμότητα όταν αυτά στερεοποιούνται. Αυτή είναι η λανθάνουσα θερμότητα τήξης.

Ο ορισμός της ειδικής λανθάνουσας θερμότητας τήξης ενός σώματος είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να μετατραπεί η μονάδα μάζας του σώματος από τη στερεή στην υγρή κατάσταση χωρίς αλλαγή της θερμοκρασίας. Οι ίδιες μονάδες ( $\text{J/kg}$  ή  $\text{kJ/kg}$  κ.λ.π.) χρησιμοποιούνται όπως και για τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

### **3.7.4 Ψύξη παραγόμενη από την εξάτμιση**

Μερικά υγρά έχουν χαμηλό σημείο βρασμού και έτσι μετατρέπονται από υγρό σε ατμό αρκετά εύκολα στις συνήθεις θερμοκρασίες. Το μείγμα οινόπνεύματος - μεθανόλης και ο αιθέρας είναι του ίδιου τύπου και καλούνται πτητικά. Εάν λίγη ποσότητα μείγματος οινόπνεύματος - μεθανόλης ή αιθέρα στάξει

στο χέρι, εξατμίζεται γρήγορα και στο χέρι δημιουργείται η αίσθηση του πολύ κρύου. Μερικά τοπικά αναισθητικά επιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο. Για να μετατραπεί το υγρό σε ατμό, το υγρό απορροφά λανθάνουσα θερμότητα από το χέρι. Τότε στο χέρι δημιουργείται η αίσθηση του κρύου. Το νερό θα μπορούσε να

προκαλέσει στο χέρι το ίδιο αίσθημα, αλλά όχι σε τόσο έντονο βαθμό όπως το μείγμα οινόπνευματος - μεθανόλης. Το οινόπνευμα έχει χαμηλότερο σημείο βρασμού σε σχέση με το νερό και έτσι εξατμίζεται πιο γρήγορα στη θερμοκρασία του χεριού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΟΛΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσουμε τα πρακτικά προβλήματα και τις χρήσεις της θερμικής διαστολής και τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να υπολογίσουμε τον βαθμό της θερμικής διαστολής που θα αντιμετωπίσει κάποιο αντικείμενο.

### 4.1 Θερμική διαστολή των στερεών

Όπως έχουμε αναφέρει και στα κεφάλαια 1 και 3, μία ουσία, είτε στερεή, είτε υγρή, είτε αέρια, έχει την τάση να επιμηκυνθεί όταν ζεσταίνεται (με την προϋπόθεση ότι δεν περιορίζεται από ένα δοχείο) ή όταν αλλάζει η κατάσταση του ή όταν αλλάζει η χημική του σύνθεση.

Όταν ένα στερεό ζεσταίνεται, επεκτείνεται και στις τρεις διαστάσεις, επομένως αυξάνει σε μήκος, πλάτος και πάχος. Η αύξηση του μήκους είναι συνήθως και η πιο σημαντική, ωστόσο η αύξηση σε έκταση και όγκο λόγω της θερμικής διαστολής μπορεί να υπολογιστεί εύκολα αν υπολογίσουμε την επέκταση σε κάθε διάσταση.

Υπολογισμός της αύξησης του μήκους ενός σώματος:

$$\text{Αύξηση σε μήκος} = \text{αρχικό μήκος} * \text{συντελεστής γραμμικής διαστολής} * \text{αύξηση θερμοκρασίας}$$

Αυτό μας δίνει την αύξηση του μήκους. Για να βρεθεί το συνολικό νέο μήκος, πρέπει να προστεθεί και το αρχικό μήκος.

Μέσα σε φυσιολογικά όρια θερμοκρασιών, ένα στερεό το οποίο είναι ομοιογενές στην δομή του, όπως μία σιδερένια ράβδος, επεκτείνεται ομοιόμορφα: η επέκταση μίας τέτοιας ράβδου προς κάθε κατεύθυνση είναι ανάλογη με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η επέκταση είναι επίσης ανάλογη με το μήκος της ράβδου, αλλά ποικίλει ανάλογα με την φύση των στοιχείων από τα οποία είναι φτιαγμένη η ράβδος.

#### 4.1.1 Συντελεστής γραμμικής διαστολής

το ποσό κατά το οποίο μονάδα μήκους μιας ουσίας που διαστέλλεται όταν η θερμοκρασία αυξάνεται κατά ένα βαθμό ονομάζεται συντελεστής γραμμικής διαστολής της ουσίας. Η κλίμακα της θερμοκρασίας πρέπει να δηλώνεται. Επομένως μπορούμε να πούμε ότι ο συντελεστής της γραμμικής διαστολής είναι η κλασματική αύξηση του μήκους της μονάδα μήκους όταν η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1C.

Για το ατσάλι, ο συντελεστής γραμμικής διαστολής( συμβολίζεται με το ελληνικό  $\alpha$  ) είναι 0,000012 ανά βαθμό Κελσίου. Επομένως μία ατσάλινη ράβδος, 1m σε μήκος, επεκτείνεται κατά 0,000012m για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης μία ράβδος 1km επεκτείνεται κατά 0,000012km(12mm) για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας και ούτω καθεξής.

Κάποιες άλλες ενδεικτικές τιμές συντελεστών γραμμικής διαστολής  $\alpha$  είναι:

<u>ΥΛΙΚΟ</u>	<u><math>\alpha</math> (ανά βαθμό Κελσίου)</u>
Αλουμίνιο	0,000023
Χαλκός	0,000017
Σκυρόδεμα	0,000012
Χάλυβας	0,000012
Γυαλί	0,000009
Κράμα νικελίου-σιδήρου	0,000000100
Πυράντοχο γυαλί	0,000003

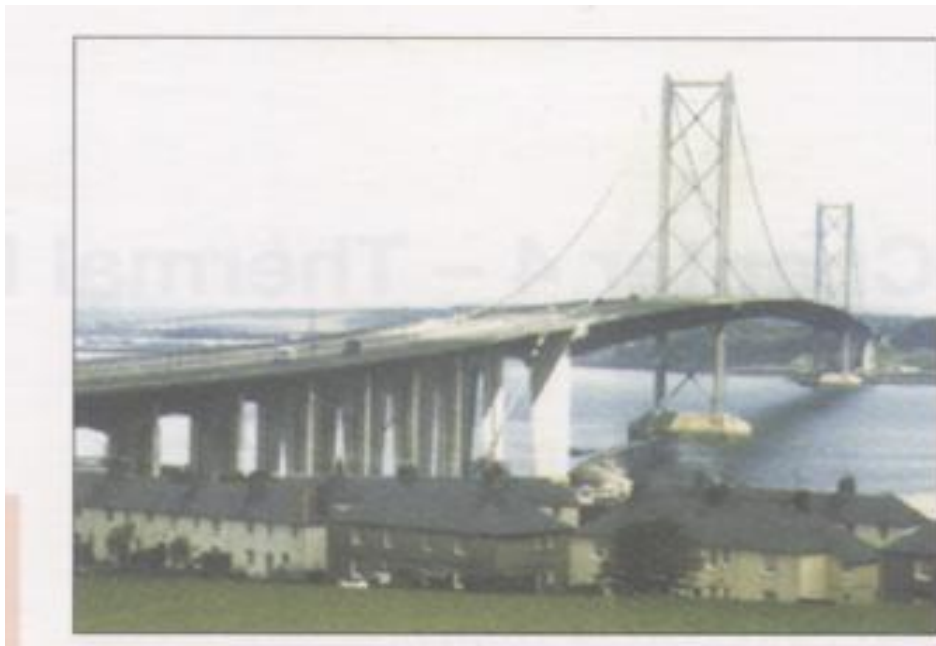
#### 4.1.2 Κράμα Νικελίου - Σιδήρου

Το κράμα αυτό (64% σίδηρος, 36% νικέλιο) το οποίο έχει συντελεστή γραμμικής διαστολής μικρότερο από 1% από αυτό του χάλυβα. Ποσοστό το οποίο είναι αμελητέο στις περισσότερες περιπτώσεις.

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ράβδων και ταινιών μέτρησης, ανταλλακτικών ρολογιών

καθώς και άλλων συστατικά στοιχεία των οποίων η ανάγκη πρέπει να παραμείνει η ίδια σε ένα εύρος θερμοκρασίας.

Αν και υπάρχουν πολλά κράματα νικελίου-σιδήρου, αυτόν τον πολύ μικρό συντελεστή γραμμικής διαστολής τον συναντάμε μόνο σε αυτό το συγκεκριμένο κράμα το οποίο περιέχει 36% νικέλιο.



Εικόνα 4.1

#### 4.1.3 Επιτρέποντας τις διαστολές σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές

Μεγάλες μεταλλικές κατασκευές, όπως οι γέφυρες, συχνά δέχονται μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, έτσι αναφορά πρέπει να γίνει για την θερμική διαστολή τμηματικά.

Στις μεγάλες γέφυρες, αυτή η διαστολή είναι αρκετά μεγάλη. Για παράδειγμα, η γέφυρα Forth Road, είναι μια ατσάλινη κατασκευή με συνολικό μήκος περίπου 1960m. Το μέγιστο θερμοκρασιακό εύρος από χειμώνα σε καλοκαίρι κυμαίνεται από τους -30C στους +30C. Ένα εύρος δηλαδή περί τους 60C.

Η διαφορά ανάμεσα στο μέγιστο και το ελάχιστο μήκος του δρόμου θα είναι:

$$L \cdot \alpha \cdot \Delta T = 1960 \cdot 0,000012 \cdot 60 = 1,41 \text{m}$$

Ακόμη και μια γέφυρα με άνοιγμα 20 μέτρων θα μπορούσε να μεταβληθεί κατά 14 χιλιοστά του μέτρου μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η ανοχή της διαστολής αυτής συχνά επιτυγχάνεται στερεώνοντας το ένα άκρο της γέφυρας και τοποθετώντας το άλλο πάνω σε κυλίνδρους ή πάνω σε μια ολισθαίνουσα κατασκευή, έτσι ώστε η γέφυρα να μπορεί να συστέλλεται και να διαστέλλεται δίχως να εξασκεί πλευρικό φορτίο στα υποστυλώματα. Στις σιδηροδρομικές γραμμές του παρελθόντος οι συνδέσεις διαστολής απείχαν μεταξύ τους 13,7 ή 18,3 μέτρα, για να γίνεται η διαστολή και συστολή. Οι σύγχρονες μέθοδοι καθιστούν εφικτή την αντιστάθμιση της διαστολής ως τάση ή συμπίεση στη σιδηροτροχιά, με συνδέσεις διαστολής σε αποστάσεις περίπου 0,8 Km.

Στα κτίρια οι συνήθεις θερμοκρασίες δεν είναι τόσο μεγάλες, αφού η εσωτερική θέρμανση διατηρεί την ελάχιστη θερμοκρασία και η κατασκευή προστατεύει τον οπλισμό από υπερβολικά υψηλή θερμότητα. Όμως πρέπει να αφεθεί κάποια ανοχή για να εμποδίσει τον οπλισμό να παραμορφώσει τους τοίχους του κτιρίου, ακόμη και όταν η ανοχή αυτή έχει τη μορφή διάκενου μεταξύ οπλισμού και πλινθοδομής. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, ωστόσο, η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι

πολύ μεγάλη και θα αντιμετωπίσουμε μια κατάσταση στην οποία ένας μεγάλος δοκός θα εξασκήσει αρκετή πλευρική πίεση στον τοίχο αναγκάζοντάς τον να καταρρεύσει.

Η θερμότητα στην εσωτερική πλευρά του τοίχου ενός καίόμενου κτιρίου, ιδιαίτερα εάν δεν έχει καλή μόνωση, ίσως τον αναγκάσει να διασταλεί σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι η εξωτερική πλευρά, αναγκάζοντας έτσι τον τοίχο να αποκτήσει κλίση προς τα έξω και σε μερικές περιπτώσεις να καταρρεύσει.



Εικόνα 4.2

#### 4.1.4 Θερμοστάτες

Εάν δύο διαφορετικά μεταλλικά ελάσματα του ίδιου μήκους τοποθετηθούν το ένα δίπλα στο άλλο και οι θερμοκρασίες τους αυξηθούν, το καθένα από αυτά θα αυξηθεί σε μήκος, σύμφωνα με το συντελεστή γραμμικής διαστολής του. Εάν δύο διαφορετικά μεταλλικά ελάσματα ενωθούν σε όλο το μήκος τους με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να κινηθεί το ένα ανεξάρτητα από το άλλο, η αλλαγή της θερμοκρασίας θα προκαλέσει τη μεταβολή του σχήματός τους και θα κυρτωθούν, παίρνοντας το σχήμα του τόξου ενός κύκλου. Το έλασμα αυτό είναι γνωστό ως διμεταλλικό έλασμα

(σχήμα 4.3). Εάν το ένα άκρο του διμεταλλικού ελάσματος είναι στερεωμένο, η μεταβολή της θερμοκρασίας θα αναγκάσει το άλλο άκρο να μετακινηθεί. Η κίνηση αυτού του ελεύθερου άκρου κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, για να προκαλέσει ένα συναγερμό ή αντίστροφα μπορεί να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να ανοίγει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και να διακόπτει τη λειτουργία μιας συσκευής θέρμανσης. Η συσκευή αυτή είναι γνωστή ως θερμοστάτης. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται μία ράβδος μετάλλου τοποθετημένη μέσα σε ένα μεταλλικό σωλήνα άλλου μετάλλου. Το ένα άκρο του σωλήνα είναι μόνιμα κλειστό και η

ράβδος στερεώνεται στο άλλο άκρο του σωλήνα. Στο δεύτερο τύπο θερμοστάτη η ράβδος είναι από σιδηρονικέλιο και ο σωλήνας από ορείχαλκο. Στο θερμοστάτη που φαίνεται στο σχήμα 4.3, αυτός ο συνδυασμός σιδηρονικελίου και χαλκού μπορεί να προκαλέσει ρήξη της επαφής, όταν η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από μία προκαθορισμένη τιμή.

#### 4.1.5 Συντελεστές επιφανειακής και κυβικής διαστολής των στερεών

Μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά ότι ο συντελεστής επιφανειακής διαστολής ενός στερεού είναι διπλάσιος του συντελεστή γραμμικής διαστολής και ότι ο συντελεστής κυβικής διαστολής είναι τριπλάσιος του συντελεστή γραμμικής διαστολής.

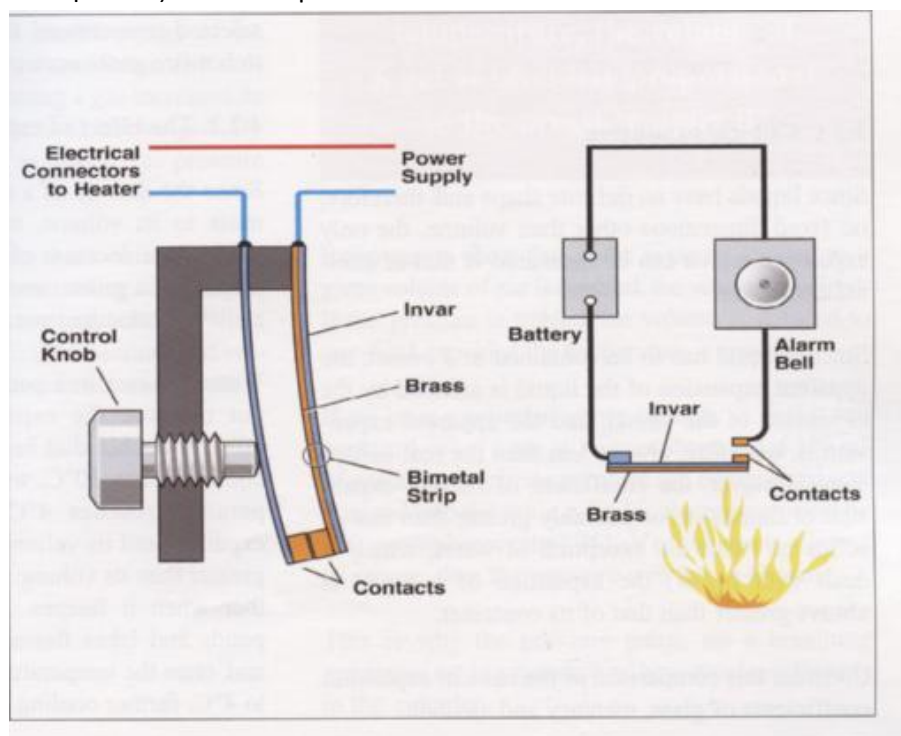
Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από τις εξωτερικές διαστάσεις του στερεού και δεν επηρεάζονται από οποιαδήποτε εσωτερικά του κενά. Η κυβική διαστολή ενός κενού μεταλλικού

δοχείου είναι η ίδια με αυτή ενός συμπαγούς στερεού του ίδιου μετάλλου και του ίδιου όγκου με το δοχείο.

## 4.2 Θερμική διαστολή των υγρών

### 4.2.1 Κυβική διαστολή

Επειδή τα υγρά δεν έχουν σχήμα και επομένως σταθερές διαστάσεις, εκτός του όγκου, η μόνη διαστολή η οποία μπορεί να μετρηθεί είναι αυτή της κυβικής. Τα υγρά περιέχονται σε δοχεία, με αποτέλεσμα η εμφανής διαστολή του υγρού να επηρεάζεται από τη διαστολή του δοχείου. Συνεπώς η εμφανής διαστολή είναι πάντοτε μικρότερη από την πραγματική διαστολή. Όμως ο συντελεστής κυβικής διαστολής των υγρών είναι αρκετά μεγαλύτερος από το συντελεστή των στερεών, ώστε (με εξαίρεση το νερό για το οποίο γίνεται λόγος παρακάτω) η διαστολή ενός υγρού να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από αυτή του δοχείου του.



Εικόνα 4.3: Διμεταλλικοί θερμοστάτες

αριστερά: Πάνω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, το δι-μεταλλικό έλασμα θα λυγίσει. Αυτό προκαλεί την απομάκρυνση των ηλεκτρικών επαφών και τη ροή ρεύματος θα διακοπεί. Δεξιά: συναγερμός πυρκαγιάς με τη χρήση δι-μεταλλικού ελάσματος.



Ο συντελεστής κυβικής διαστολής του γυαλιού για παράδειγμα είναι  $0,000024/^{\circ}\text{C}$  (δηλαδή  $0,000008 \times 3$ ). Του υδραργύρου είναι  $0,00019/^{\circ}\text{C}$  και του οινόπνεύματος  $0,00011/^{\circ}\text{C}$ . Έτσι η θερμική διαστολή του υδραργύρου είναι 7,5 φορές μεγαλύτερη από αυτή του γυαλιού, ενώ του οινόπνεύματος είναι σχεδόν 50 φορές μεγαλύτερη του γυαλιού. Επειδή ο συντελεστής κυβικής διαστολής του χάλυβα είναι  $0,000036/^{\circ}\text{C}$  και πολλών υγρών είναι της τάξης του  $0,001/^{\circ}\text{C}$ , δηλαδή 30 φορές μεγαλύτερη, συνεπάγεται ότι ένα σφραγισμένο δοχείο υγρού είναι επικίνδυνο σε περίπτωση πυρκαγιάς, λόγω της εσωτερικής πίεσης η οποία πιθανόν θα αναπτυχθεί, εκτός και αν υπάρχει κενό αέρα ή βαλβίδα ανακούφισης ώστε να ελαττωθεί η πίεση.

### 4.3 Διαστολή των αερίων

#### 4.3.1 Θερμοκρασία, πίεση και όγκος

Από τη στιγμή που ένα αέριο διαστέλλεται, για να καταλάβει όλο το διαθέσιμο χώρο, ο όγκος του αερίου μπορεί να αλλάξει, με την αλλαγή του όγκου του δοχείου στο οποίο βρίσκεται. Εάν ο όγκος του ελαττωθεί, η πίεσή του αυξάνεται. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί λέγοντας ότι ο ίδιος αριθμός μορίων του αερίου καταλαμβάνει μικρότερο χώρο και γι' αυτό συγκρούονται μεταξύ τους και με τα τοιχώματα του δοχείου με μεγαλύτερη συχνότητα. Η πίεση οφείλεται σ' αυτές τις συγκρούσεις και όσο περισσότερες συγκρούσεις έχουμε, τόσο μεγαλύτερη είναι η πίεση. Όταν ένα αέριο θερμαίνεται αυξάνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του, τα οποία κινούνται γρηγορότερα, και κατά συνέπεια συγκρούονται πιο συχνά. Από αυτό συνάγεται ότι η θέρμανση ενός αερίου αυξάνει την πίεσή του, δεδομένου ότι ο όγκος του παραμένει σταθερός. Με την αύξηση του όγκου του αερίου, όταν αυτό θερμαίνεται, η πίεση μπορεί να διατηρηθεί σταθερή.

Υπάρχουν συνεπώς τρεις μεταβλητές όταν εξετάζουμε ένα ίδιο βαθμό για την ίδια ανύψωση της θερμοκρασίας. Όταν παρατηρούμε τις αλλαγές στον όγκο ενός αερίου, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι αυτός επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την πίεση. Στην πράξη οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της πίεσης που επηρεάζουν τον όγκο συμβαίνουν ταυτόχρονα, αλλά για να μελετήσουμε την επίδραση κάθε μεταβολής ξεχωριστά, η μία από τις δύο πρέπει να διατηρηθεί σε σταθερή τιμή.

#### 4.3.2 Οι νόμοι των αερίων

Τα στερεά και τα υγρά έχουν τους δικούς τους βαθμούς διαστολής ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά όλα τα αέρια διαστέλλονται στον Επειδή η πυκνότητα ενός σώματος είναι η αναλογία της μάζας διά του όγκου του, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας ή αντίστροφα, ο όγκος μιας δεδομένης μάζας ενός σώματος αυξάνει όταν η θερμοκρασία του ανυψώνεται.

Το νερό συμπεριφέρεται κατά έναν ιδιαίτερο τρόπο. Η διαστολή του δεν είναι ομοιόμορφη. Η διαστολή του μεταξύ  $30^{\circ}\text{C}$  και  $50^{\circ}\text{C}$  διπλασιάζεται σε σχέση με τη διαστολή μεταξύ των  $10^{\circ}\text{C}$  και των  $30^{\circ}\text{C}$ . Όταν ψύχεται κάτω από τους  $10^{\circ}\text{C}$ , το νερό συστέλλεται έως ότου η θερμοκρασία του φθάσει στους  $4^{\circ}\text{C}$ . Όταν ψυχθεί ακόμα περισσότερο διαστέλλεται μέχρι ο όγκος του στους  $0^{\circ}\text{C}$  να γίνει  $0,00012$  φορές μεγαλύτερος από τον όγκο του στους  $4^{\circ}\text{C}$ . Επίσης διαστέλλεται ακόμα περισσότερο όταν παγώνει. Αυτό σημαίνει ότι το νερό σε δεξαμενές και λίμνες παγώνει από την επιφάνεια προς τα κάτω και από τη στιγμή που η θερμοκρασία στην επιφάνεια φθάσει στους  $4^{\circ}\text{C}$ , περαιτέρω ψύξη του χαμηλότερου επιπέδου μπορεί να επέλθει μονάχα με αγωγή, η οποία είναι αργή επειδή το νερό δεν είναι τόσο καλός αγωγός της θερμότητας

#### 4.3.2.1 Νόμος του Boyle

Η αλλαγή στον όγκο ενός αερίου μόνο με την άσκηση πίεσης είναι το αντικείμενο ενός από τους «νόμους των αερίων», γνωστού ως Νόμου του Boyle, ο οποίος διατυπώνεται ως εξής:

«Ο όγκος ενός αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την πίεση που ασκείται σ' αυτό εφόσον η θερμοκρασία παραμένει σταθερή».

Πειράματα δείχνουν ότι εάν διπλασιαστεί η πίεση που ασκείται σε μια δεδομένη μάζα αερίου ο όγκος του αερίου μειώνεται στο μισό. Εάν η πίεση τριπλασιαστεί, ο όγκος του ελαττώνεται στο ένα τρίτο, εφόσον η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

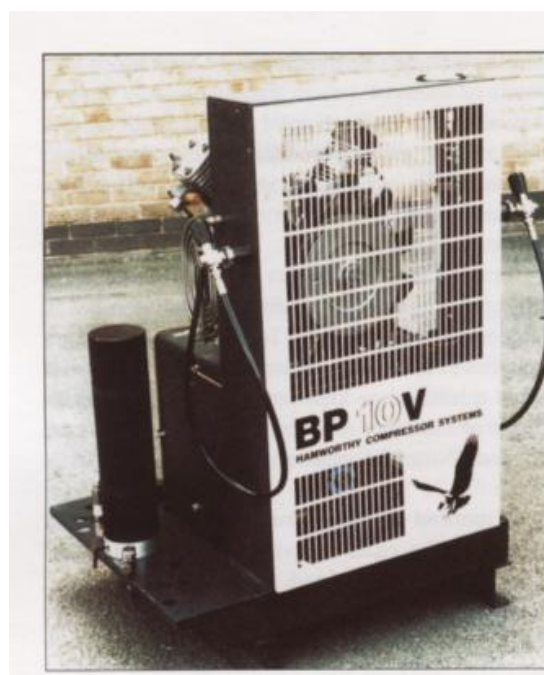
Εάν έχουμε μία φιάλη της οποίας η χωρητικότητα είναι 1 κυβικό μέτρο ( $1 \text{ m}^3$ ), μπορεί να περιέχει  $1 \text{ m}^3$  αερίου σε πίεση μιας ατμόσφαιρας (κατά προσέγγιση  $1 \text{ bar}$ ), αλλά εάν εισάγουμε  $120 \text{ m}^3$  αερίου στην ίδια φιάλη η πίεσή της θα είναι  $120$  ατμόσφαιρες. Εάν η μισή ποσότητα αερίου διαφύγει, τότε η πίεση θα ελαττωθεί στις  $60$  ατμόσφαιρες. Από αυτό καθίσταται φανερό ότι το μανόμετρο της αναπνευστικής συσκευής δείχνει την ποσότητα του οξυγόνου στη φιάλη. Στην πράξη, όταν ένα αέριο συμπιέζεται, για παράδειγμα η πλήρωση της φιάλης μιας αναπνευστικής συσκευής ή των ελαστικών ενός αυτοκινήτου, παράγεται θερμότητα που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας. Η αύξηση αυτή προκαλείται μόνο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πλήρωσης. Εάν η πίεση του αερίου μετρηθεί πριν επιστρέψει η θερμοκρασία του στην αρχική της τιμή, δεν θα είναι σύμφωνη με το Νόμο του Boyle, αφού η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια όπως ήταν προτού αρχίσει η διαδικασία πλήρωσης.

Μαθηματικά εάν  $V_1$  και  $P_1$  είναι ο αρχικός όγκος και η αρχική πίεση αντίστοιχα και  $V_2$

και  $P_2$  είναι ο τελικός όγκος και η τελική πίεση, τότε

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$$

ή Αρχική πίεση  $\times$  Αρχικός όγκος = Τελική πίεση  $\times$  Τελικός όγκος.



Εικόνα 4.4

#### 4.3.2.2 Νόμος του Charles

Πειράματα δείχνουν πως όλα τα αέρια επεκτείνονται κατά  $1/273$  του όγκου τους στους  $0^\circ \text{C}$  για κάθε  $1^\circ \text{C}$  αύξηση της θερμοκρασίας, με την προϋπόθεση να βρίσκονται υπό συνεχή πίεση. Αφού η επέκταση για κάθε  $1^\circ \text{C}$  είναι αρκετά μεγάλη, είναι σημαντικό να βρίσκεται ο αρχικός όγκος στους  $0^\circ \text{C}$ . Αυτά τα πειράματα έγιναν από έναν γάλλο επιστήμονα ονόματι Charles στις αρχές του 19ου αιώνα. Ο νόμος που διατύπωσε έχει ως εξής:

Ο όγκος μίας καθορισμένης μάζας αερίου που βρίσκεται σε συνεχή πίεση αυξάνεται κατά  $1/273$  της μάζας του στους  $0^\circ \text{C}$  για κάθε  $1^\circ \text{C}$  αύξησης της θερμοκρασίας.

#### 4.3.2.3 Ο νόμος των πιέσεων

Οι προηγούμενοι δύο νόμοι οδηγούν σε ένα τρίτο νόμο που αφορά την σχέση μεταξύ της πίεσης και της θερμοκρασίας ενός αερίου όταν ο όγκος του παραμένει σταθερός. Μία τέτοια περίπτωση είναι όταν μία μπουκάλια αερίου, της οποίας η βαλβίδα είναι κλειστή, ζεσταθεί, όπως μπορεί να συμβεί όταν πιάσει φωτιά.

Η πίεση μίας καθορισμένης μάζας αερίου είναι ευθέως ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του, με την προϋπόθεση ο όγκος του να παραμένει σταθερός.



Εικόνα 4.5

#### 4.4 Υγροποίηση αερίων

Είναι γνωστό ότι η αύξηση της πίεσης αυξάνει το σημείο βρασμού ενός υγρού. Πολλά σώματα, τα οποία είναι αέρια στην πίεση και θερμοκρασία του περιβάλλοντος, μπορούν να συμπιεστούν σε τέτοιο βαθμό ώστε το σημείο βρασμού τους να ανυψωθεί πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και να υγροποιηθούν. Άλλα αέρια δεν υγροποιούνται



Εικόνα 4.6

στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ανεξάρτητα της πίεσης που εφαρμόζεται σε αυτά. Τα αέρια αυτά ονομάζονται «σταθερά αέρια». Όμως εάν η θερμοκρασία ελαττωθεί σημαντικά, τα σταθερά αέρια είναι δυνατόν να υγροποιηθούν με άσκηση πίεσης.

#### 4.5.1 Κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση

Υπάρχει συνεπώς μία κρίσιμη θερμοκρασία πάνω από την οποία ένα αέριο δεν μπορεί να υγροποιηθεί με αύξηση της πίεσης. Για παράδειγμα, εάν το διοξείδιο του άνθρακα συμπιεστεί στους 20 °C, θα υγροποιηθεί, αλλά στους 40°C παραμένει αέριο. Η κρίσιμη θερμοκρασία του είναι στην πραγματικότητα 31,1°C. Κάτω από τη θερμοκρασία αυτή μπορεί να υγροποιηθεί με αυξημένη πίεση και θα μπορούσε καλύτερα να περιγραφεί ως ατμός. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή δεν μπορεί να υγροποιηθεί και περιγράφεται καλύτερα ως αέριο.

Η πίεση που απαιτείται για να υγροποιηθεί ο ατμός στην κρίσιμη θερμοκρασία του καλείται κρίσιμη πίεση.

Μερικές τυπικές τιμές κρίσιμων θερμοκρασιών και κρίσιμων πιέσεων φαίνονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2

	Κρίσιμη θερμοκρασία Βαθμοί C	Κρίσιμη πίεση bars
Νερό (ατμός)	374	----
Διοξείδιο του θείου	157	219
Χλώριο	144	78
Αμμωνία	132	77,7
Οξείδιο του αζώτου	39	----
Διοξείδιο του άνθρακα	31,1	73,1
Οξυγόνο	-119	50
Άζωτο	-147	33,7
Υδρογόνο	-240	12,9

#### 4.5.2 Υγροποιημένα αέρια σε φιάλες

Τα υγροποιημένα αέρια που περιέχονται σε φιάλες δεν ακολουθούν τους νόμους των αερίων, αφού κάθε αλλαγή της θερμοκρασίας, της πίεσης ή του όγκου θα προκαλέσει είτε υγροποίηση του αερίου είτε εξάτμιση του υγρού, με την προϋπόθεση ότι δεν θα έχουμε υπέρβαση της κρίσιμης θερμοκρασίας. Έτσι η πίεση στη φιάλη του υγροποιημένου αερίου θα παραμένει σταθερή καθώς το αέριο

εξέρχεται (αρκεί η θερμοκρασία να παραμένει σταθερή), αφού περισσότερο υγρό θα εξατμιστεί για να συμπληρώσει το αέριο που διαφεύγει, μέχρι να εξατμιστεί όλο το υγρό. Για το λόγο αυτό η πίεση στη φιάλη των υγροποιημένων αερίων δεν αποτελεί ένδειξη της ποσότητας του αερίου μέσα σ'αυτήν.

Ένα αέριο του οποίου η θερμοκρασία είναι πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία του θα υπακούει στους νόμους των αερίων και η πίεση θα ελαττωθεί καθώς το αέριο διαφεύγει. Έτσι η πίεση στη φιάλη είναι μία ένδειξη της ποσότητας του αερίου που περιέχει.

Όταν τα υγροποιημένα αέρια αποθηκεύονται σε φιάλες, πρέπει να προβλέπεται διαθέσιμος χώρος για τη διαστολή του υγρού λόγω πιθανής μετατροπής του υγρού σε ατμό όταν αυτό θερμανθεί. Εάν η θερμοκρασία ανυψωθεί πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία, η πίεση θα αυξηθεί, πιθανότατα σε επικίνδυνο επίπεδο, με κίνδυνο έκρηξης. Για την ελαχιστοποίηση αυτού του κινδύνου οι φιάλες δεν γεμίζονται ποτέ πλήρως με υγρό.

Το βάρος ενός υγροποιημένου αερίου που μπορεί να αποθηκευτεί σε μία φιάλη καθορίζεται από την αναλογία πλήρωσής του, η οποία ποικίλλει από αέριο σε αέριο, και εξαρτάται μεταξύ άλλων παραγόντων, από την πυκνότητα του υγρού.

$$\text{Αναλογία πλήρωσης : } \frac{\text{Βάρος υγροποιημένου αερίου που μπορεί να αποθηκευτεί}}{\text{Βάρος ύδατος το οποίο γεμίζει πλήρως τη φιάλη}}$$

Η αναλογία πλήρωσης για την αμμωνία είναι 0,5, έτσι ώστε μία φιάλη χωρητικότητας 10 kg νερού μπορεί να αποθηκεύσει μόνο 5 kg αμμωνίας. Η ίδια φιάλη θα χωρούσε 12,5 kg διοξειδίου του θείου για το οποίο η αναλογία πλήρωσης είναι 1,25.

#### 4.6 Εξάχνωση

Στο εργαστήριο είναι δυνατό να δημιουργήσουμε τόσο χαμηλές πιέσεις, ώστε το σημείο βρασμού του νερού μπορεί να μειωθεί στους 0oC και χαμηλότερα. Όταν συμβαίνει αυτό, ο πάγος δεν μπορεί να μετατραπεί σε νερό, αλλά εξατμίζεται πλήρως

με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η μεταβολή της κατάστασης από στερεό σε αέριο δεν μπορεί να οριστεί ούτε ως τήξη ούτε ως βρασμός και της δίνεται το ειδικό όνομα εξάχνωση. Προκειμένου να επιτύχουμε εξάχνωση του νερού, απαιτούνται υπερβολικά χαμηλές πιέσεις, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα εξαχνώνεται στην ατμοσφαιρική πίεση.

Αύξηση της πίεσης στο διοξείδιο του άνθρακα θα αποκαταστήσει την κανονική σειρά τήξης και ο βρασμός θα επιτευχθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία, έτσι ώστε κάτω από πίεση (και μόνο κάτω από πίεση) είναι δυνατόν να έχουμε υγρό διοξείδιο του άνθρακα.



## Κεφάλαιο 5 - Η μετάδοση της θερμότητας

Η θερμότητα μεταδίδεται από περιοχές υψηλής θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας. Αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα του πόσο μικρή είναι η διαφορά της θερμοκρασίας. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι (σχήμα 4.1) με τις οποίες η θερμότητα μπορεί να μεταδοθεί:

- (α) αγωγή,
- (β) μεταφορά,
- (γ) ακτινοβολία.

### 5.1 Αγωγή

Αγωγή έχουμε στα στερεά, υγρά και αέρια, αν και στα στερεά γίνεται πιο εμφανής. Στην αγωγή, η ενέργεια της θερμότητας μεταδίδεται από το ένα μόριο στο επόμενο, όπως το νερό μεταφέρεται με υδρίες από το ένα άτομο στο άλλο σε μια αλυσίδα μεταφοράς. Σε μια αλυσίδα μεταφοράς τα άτομα μετακινούνται ελάχιστα προς κάθε πλευρά ως προς την αρχική τους θέση και μεταφέρεται μόνο το νερό. Στη μετάδοση της θερμότητας με αγωγή, τα μόρια πάλλονται γύρω από μία μέση θέση και μεταδίδουν την ενέργεια της θερμότητας συγκρουόμενα με τα γειτονικά τους μόρια.

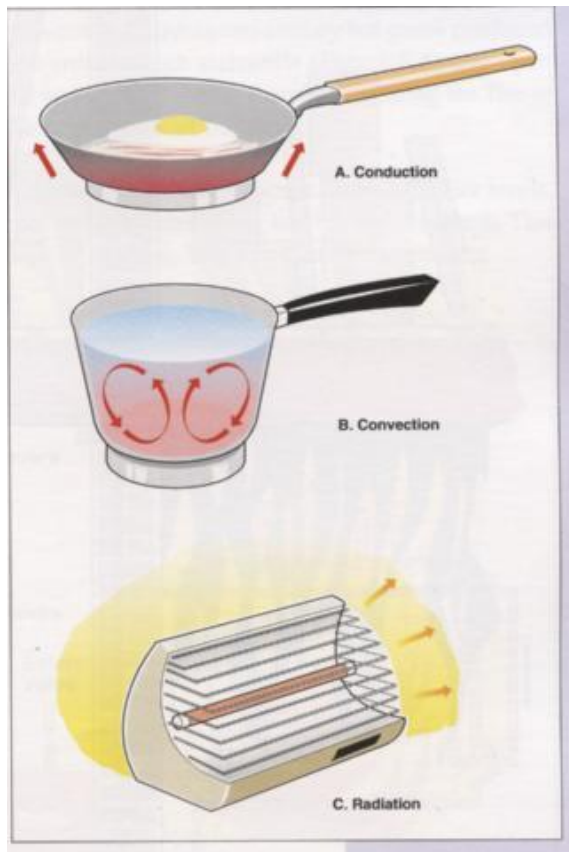
Η δυνατότητα της μεταφοράς της θερμότητας (θερμική αγωγιμότητα) ποικίλλει μεταξύ των σωμάτων. Τα περισσότερα μέταλλα επιτρέπουν τη διέλευση της θερμότητας μέσα από τη μάζα τους σχετικά εύκολα και γι' αυτό κατατάσσονται στους καλούς αγωγούς, αν και οι δυνατότητες για μετάδοση θερμότητας μεταξύ των μετάλλων ποικίλλουν. Οι καλύτεροι αγωγοί της θερμότητας είναι το ασήμι και ο χαλκός. Το αλουμίνιο έχει περίπου τη μισή θερμική αγωγιμότητα από το ασήμι

και ο σίδηρος περίπου το ένα όγδοο. Τα μη μεταλλικά στερεά επιτρέπουν μικρές ποσότητες θερμότητας να τα διαπεράσουν, ενώ όλα τα υγρά (με εξαίρεση τον υδράργυρο, ο οποίος είναι μέταλλο) και τα αέρια επιτρέπουν ακόμα μικρότερες ποσότητες θερμικής ενέργειας να διέλθει από τη μάζα τους. Στην πραγματικότητα, μερικά στερεά, καθώς επίσης τα υγρά και τα αέρια μερικές φορές, αναφέρονται ως μονωτές της θερμότητας, επειδή επιτρέπουν πολύ μικρές ποσότητες της θερμότητας να διέλθουν από τη μάζα τους. Γενικά οι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και αντιστρόφως.

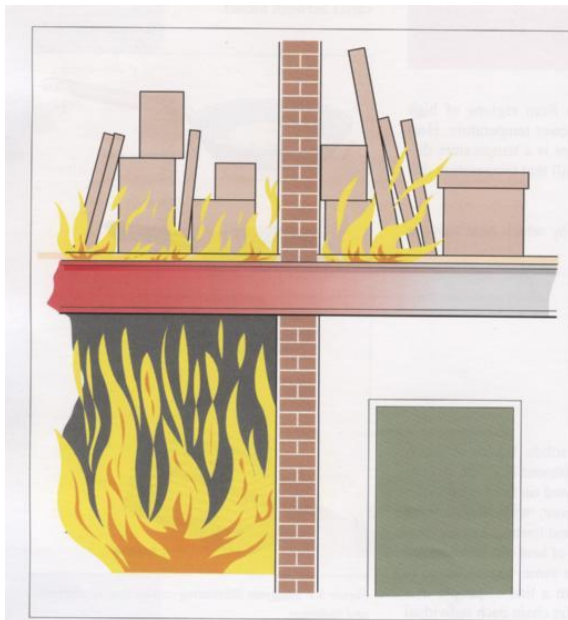
Η ικανότητα ενός υλικού να μεταφέρει τη θερμότητα μπορεί να μετρηθεί πειραματικά και είναι γνωστή ως «θερμική αγωγιμότητα» (δηλώνεται συνήθως με  $K$ ). Η ροή της θερμότητας μετρείται σε  $\text{joule/sec}$  ( $\text{J/s}$ ) και η μονάδα αυτή ονομάζεται Watt (βατ,  $\text{W}$ ). Η θερμική αγωγιμότητα στο σύστημα S.I. μετρείται σε  $\text{Watt / (meter K)}$  ( $\text{W/(m K)}$ ). Σε συνθήκες πυρκαγιάς, η θερμική αγωγιμότητα είναι σημαντική από την άποψη του κινδύνου εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Ένας σιδηροδοκός ο οποίος διαπερνά έναν πυράντοχο τοίχο μπορεί να αποτελέσει αιτία εξάπλωσης της πυρκαγιάς εξαιτίας της μεταφοράς θερμότητας κατά μήκος αυτού. Μια κοινή μεταλλική πόρτα η οποία θερμαίνεται από τη μία της πλευρά μεταφέρει τη θερμότητα γρήγορα στην άλλη πλευρά, ενώ μία ξύλινη πόρτα (αν και μπορεί να αναφλεγεί) είναι αρχικά πιο αποτελεσματικό εμπόδιο, επειδή δεν επιτρέπει μεγάλες ποσότητες θερμότητας να διέλθουν από τη μάζα της. Η σχετική αγωγιμότητα των οικοδομικών υλικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα πυραντίστασης της κατασκευής.



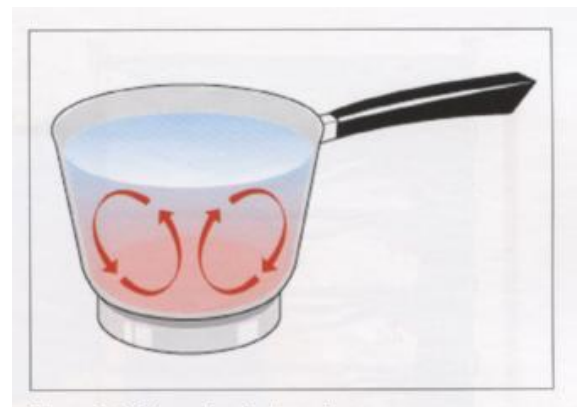
## 5.2 Μεταφορά



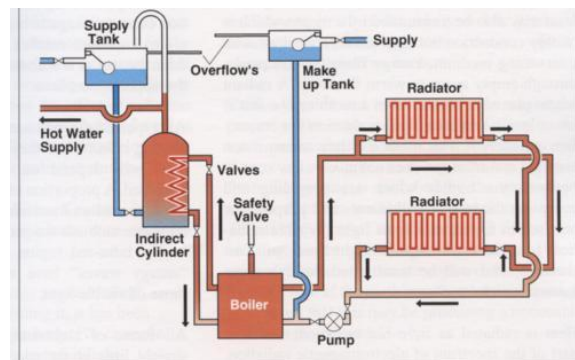
Εικόνα 5.1



Εικόνα 5.2



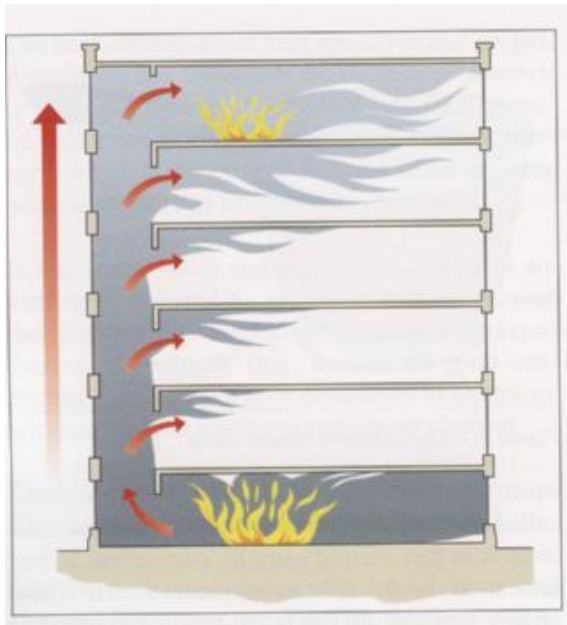
Εικόνα 5.3



Εικόνα 5.4

Αυτή συμβαίνει μόνο στα υγρά και αέρια. Όταν θερμαίνεται ένα υγρό ή αέριο, διαστέλλεται και γι' αυτό μειώνεται η πυκνότητά του. Το ελαφρύτερο ρευστό κινείται ανοδικά και αντικαθίσταται από το ψυχρότερο που έχει μεγαλύτερη πυκνότητα. Αυτό με τη σειρά του θερμαίνεται και έτσι προκαλείται μία κυκλοφορία. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται μέσω του ρευστού με τη μετακίνηση των μορίων του μέχρι να επιτευχθεί μία κατάσταση ομοιόμορφης θερμοκρασίας.

Η μετάδοση της θερμότητας με μεταφορά χρησιμοποιείται σε οικιακά συστήματα θέρμανσης νερού και σε πολλά συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν θερμαντικά σώματα.



Εικόνα 5.5

## 5.2 Ακτινοβολία

Η θερμότητα μπορεί επίσης να μεταδοθεί σε ευθείες γραμμές κατά έναν διαφορετικό τρόπο ο οποίος δεν είναι ούτε αγωγή ούτε μεταφορά, και δεν απαιτεί να υπάρχει παρεμβάδουν μέσο. Η θερμότητα από τον ήλιο διέρχεται μέσα από το κενό για να θερμάνει τη γη. Η θερμότητα από ένα θερμαντικό στοιχείο, που είναι τοποθετημένο σε ένα υψηλό επίπεδο μέσα σ' ένα δωμάτιο, μπορεί να γίνει αισθητή κάτω από αυτό, όπου δεν μπορεί να μεταδοθεί θερμότητα ούτε με αγωγή ούτε με μεταφορά. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας ονομάζεται *ακτινοβολία*, συμβαίνει χωρίς τα σώματα να έρχονται σε επαφή και είναι ανεξάρτητη από οποιοδήποτε υλικό που παρεμβάλλεται στο χώρο. Συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο όπως το φως ("ορατή ακτινοβολία"), που ταξιδεύει σε ευθείες γραμμές, ρίχνει σκιές, και διαδίδεται μέσω ορισμένων υλικών και όχι μέσω άλλων.

Η θερμότητα εκπέμπεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία αποτελεί μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, έχουν διαφορετικές ονομασίες απλά για λόγους ευκολίας. Αυτό που ονομάζουμε «ορατό φως» αποκαλείται έτσι επειδή η ενέργεια στο διάστημα  $8 \times 10^{-7}$  ως  $4 \times 10^{-7}$  m μπορεί να ανιχνευθεί από το μάτι. Η "υπέρυθρη" ακτινοβολία δεν μπορεί να ανιχνευθεί από το μάτι, δεδομένου ότι είναι πέρα από το "κόκκινο" τέλος του ορατού φάσματος. Επίσης περιέχει λιγότερη ενέργεια από ό, τι ορατή ακτινοβολία, η οποία με τη σειρά της είναι λιγότερο ενεργητική σε σχέση με τη υπεριώδη ακτινοβολία. Η Υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί βλάβες στο βιολογικά συστήματα, αλλά μόνο ένα μικρό ποσοστό φθάνει στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο, καθώς απορροφάται από το στρώμα του όζοντος στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Όλα τα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παράγουν μια θερμαντική επίδραση όταν απορροφώνται από ένα σώμα, η οποία θα εξαρτηθεί από την απορροφούμενη ποσότητα ενέργειας. Ένα ποσοστό της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο εκπέμπεται ως ορατό φως. Αν ένα σώμα θερμανθεί πάνω από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, θα ακτινοβολεί θερμότητα στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Αυτά τα «κύματα ενέργειας» έχουν μήκη κύματος μεγαλύτερο από αυτά του ορατού φωτός

Είναι ένα από τα αποτελέσματα της εκπομπής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που περιλαμβάνουν τα μακρά μήκη κύματος, από 1.500 έως 3.000 m, τα βραχεία μήκη κύματος (15 m περίπου), την ακτινοβολία του ραντάρ (μερικών cm), το φως ( $8 \times 10^{-5}$  έως  $4 \times 10^{-5}$  cm) και τις ακτίνες X ή τις ακτίνες γ ( $10^{-9}$  έως  $10^{-11}$  cm).

Όλα αυτά, όταν απορροφώνται από το σώμα, παράγουν θερμότητα, η οποία εξαρτάται από το ποσό ενέργειας που απορροφήθηκε. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια, η οποία μεταδίδεται από τον ήλιο, ανήκει κυρίως στην

περιοχή των μηκών κύματος που ονομάζονται «φως» επειδή μπορούν να γίνουν αισθητά από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Τα σώματα όμως που δεν εκπέμπουν φως μπορούν να ακτινοβολήσουν θερμότητα με τη μορφή υπέρυθρων κυμάτων. Αυτά είναι μήκη κύματος μακρύτερα από εκείνα του φωτός και κυμαίνονται μεταξύ  $10^{-2}$  και  $10^{-4}$  cm.

Όλες οι μορφές ακτινοβολούμενης ενέργειας ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές με ταχύτητα  $3 \times 10^8$  μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s). Αυτή είναι η ταχύτητα του φωτός. Η ένταση της ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή της ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι όταν διπλασιάζεται η απόσταση, η ένταση μειώνεται κατά τέσσερις φορές. Όταν τριπλασιάζεται ή απόσταση, η ένταση μειώνεται κατά εννέα φορές κ.ο.κ. Ο κανόνας αυτός γίνεται κατανοητός αν προσέξουμε το σχήμα. Το τετράγωνο με πλευρές ενός μέτρου που τοποθετείται σε απόσταση δύο μέτρων από την πηγή, θα ρίχνει σκιά με πλευρές δύο μέτρα στο δεύτερο φύλλο που τοποθετείται σε απόσταση τεσσάρων μέτρων από την πηγή. Έτσι η ενέργεια που πέφτει πάνω σε επιφάνεια  $1\text{m}^2$  είναι η ίδια με αυτή που θα έπεφτε σε επιφάνεια  $2\text{m} \times 2\text{m} = 4\text{m}^2$  σε απόσταση τεσσάρων μέτρων.

Έτσι η ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο σε απόσταση 4 μέτρων θα είναι το ένα τέταρτο της έντασης της ακτινοβολίας απ' ό,τι σε απόσταση 2 μέτρων. Δηλαδή η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται στο ένα τέταρτο όταν διπλασιαστεί η απόσταση. Αυτό είναι σημαντικό όταν εξετάζουμε την επίδραση της ακτινοβολίας από μία πηγή θερμότητας, όπως είναι η πυρκαγιά.

Όταν η ακτινοβολούμενη ενέργεια (η οποία φυσικά περιλαμβάνει και την υπέρυθρη ακτινοβολία) πέφτει σ' ένα σώμα, υπάρχουν τρεις δυνατότητες:

#### **(α) Διαπερατότητα**

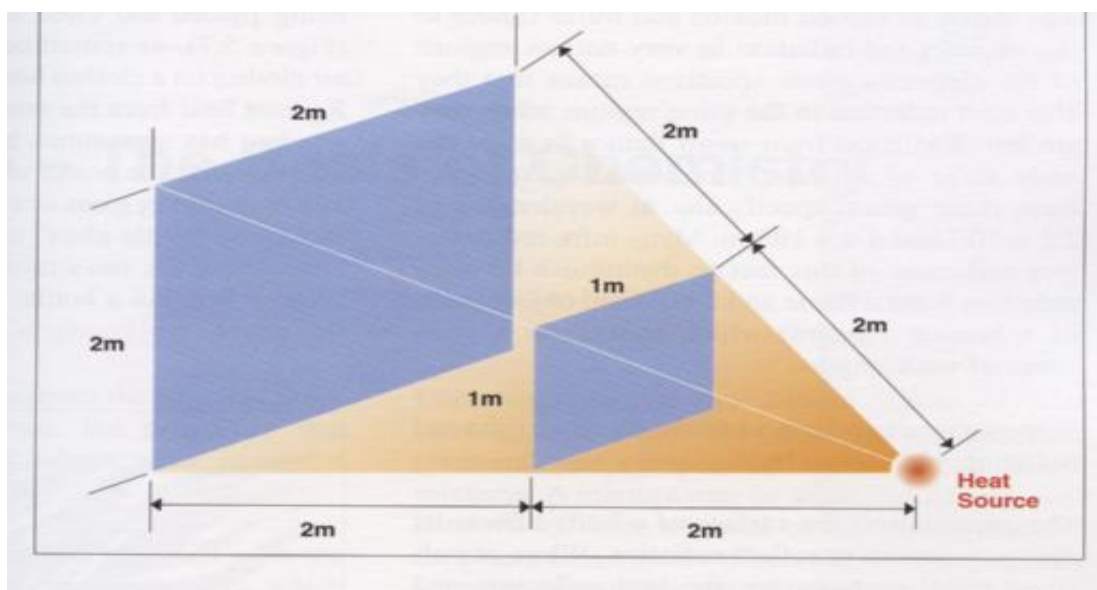
Η ενέργεια διαπερνά το σώμα δίχως να το θερμαίνει. Το σώμα είναι επομένως «διαπερατό» στην ενέργεια.

#### **(β) Απορρόφηση**

Η ενέργεια απορροφάται από το σώμα, η θερμοκρασία του οποίου ανυψώνεται.

#### **(γ) Αντανάκλαση**

Η ενέργεια μπορεί να αντανάκλαστεί από την επιφάνεια, π.χ. αντανάκλαση του φωτός.



Εικόνα 5.6

Μερικά σώματα παρουσιάζουν το φαινόμενο της «επιλεκτικής απορρόφησης», δηλαδή επιτρέπουν σε ορισμένες μορφές ακτινοβολίας να περάσουν και σε άλλες όχι. Το γυαλί για παράδειγμα επιτρέπει στο φως να περάσει, αλλά απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία και συνεπώς το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προστατευτικό παραπέτασμα από την πυρκαγιά. Η θερμότητα σταματά, αλλά η πυρκαγιά μπορεί να φανεί μέσα από αυτό. (Αυτό δεν μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι το γυαλί είναι αποτελεσματικό στην προστασία κατά της επέκτασης της πυρκαγιάς, καθώς ένας αριθμός άλλων παραγόντων πρέπει να ληφθεί υπόψη). Το διοξείδιο του άνθρακα και οι ατμοί του νερού παρουσιάζουν επίσης αυτή την ιδιότητα. Συνεπώς η ακτινοβολούμενη ενέργεια του ηλίου (κυρίως με τη μορφή του φωτός) που πέφτει επάνω στη γη διαπερνά την ατμόσφαιρα και θερμαίνει το έδαφος, ενώ η αντανακλώμενη υπέρυθρη ακτινοβολία από το έδαφος απορροφάται από την ατμόσφαιρα και έτσι δεν διαφεύγει εύκολα πίσω στο διάστημα. Άλλα σώματα, π.χ. η πίσσα, επιτρέπουν στην υπέρυθρη ακτινοβολία να περάσει, αλλά απορροφούν φως.

Η κατάσταση της επιφάνειας ενός σώματος επιδρά στην ικανότητά του να απορροφά ή να αντανακλά ακτινοβολία. Οι λευκές ή γυαλιστερές μεταλλικές επιφάνειες είναι οι καλύτεροι αντανακλαστές, ενώ οι μη γυαλιστερές μαύρες επιφάνειες είναι κακοί αντανακλαστές. Οι καλοί αντανακλαστές είναι κακοί απορροφητές και αντιστρόφως. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται στα θερμά κλίματα λευκά ενδύματα, ασπροβαμμένα σπίτια, αυτοκίνητα κ.λ.π. Το χιόνι και ο πάγος, επειδή έχουν λευκό χρώμα, είναι καλοί αντανακλαστές, αλλά δεν είναι καλοί απορροφητές της θερμότητας και γι' αυτό λιώνουν αργά σε δυνατή ηλιοφάνεια, εκτός και αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξηθεί αρκετά ώστε να προκαλέσει

θέρμανση με αγωγή ή μεταφορά. Σε πειράματα που έγιναν, απλώθηκε σκόνη κάρβουνου ή άλλες μαύρες σκόνες πάνω σε χιόνι με αποτέλεσμα να επιταχυνθεί η τήξη, επειδή η θερμότητα του ηλίου απορροφήθηκε ευκολότερα.

Έχει βρεθεί επίσης ότι ένα σώμα το οποίο είναι καλός αντανακλαστής της θερμότητας είναι ένα σώμα που εκπέμπει μικρά ποσά θερμότητας και αντιστρόφως. Έτσι μια γυαλιστερή ασημένια τσαγιέρα συγκρατεί τη θερμότητά της καλύτερα σε σχέση με μια μαυρισμένη ασημένια τσαγιέρα, παρά το γεγονός ότι το ασημί είναι ένας καλός αγωγός. Τα αποκαλούμενα θερμαντικά σώματα του συστήματος θέρμανσης (καλοριφέρ) για να ακτινοβολούν αποτελεσματικά πρέπει να βαφούν μαύρα και όχι με φωτεινό χρώμα όπως γίνεται συνήθως στην πράξη.

Πολλές πυρκαγιές έχουν προκληθεί από ακτινοβολία. Μία από τις πιο κοινές αιτίες πυρκαγιάς είναι τα ρούχα που αναφλέγονται όταν τοποθετηθούν πολύ κοντά σε μία πηγή ακτινοβολίας. Το ίδιο συμβαίνει καμιά φορά όταν οι σπιτονοικοκυρές στεγνώνουν ρούχα πάνω σε κρεμάστρα κοντά σε θερμάστρα.



Εικόνα 5.7

Η θερμότητα που ακτινοβολείται από τον ήλιο διαπερνά το τζάμι ενός παράθυρου και εισέρχεται στο εσωτερικό του σπιτιού. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατό με τη βοήθεια ενός αντικειμένου π.χ. ενός μεγεθυντικού

φακού ή ενός μπουκαλιού, που λειτουργεί ως φακός, να συγκεντρωθούν οι ακτίνες του ήλιου και να προκληθεί πυρκαγιά.