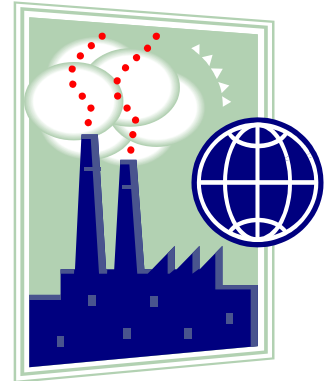
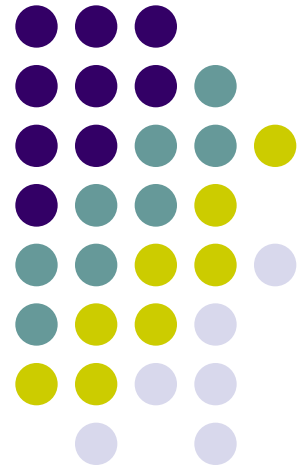


Κεφάλαια 16, 17



Κεφ. 16

Θερμοκρασία και Θερμότητα



Τι μαθαίνετε

- Έναν ακριβή ορισμό της θερμοκρασίας και της θερμότητας
- Πώς μετράμε τη θερμοκρασία
- Πώς η *ειδική θερμότητα* ενός υλικού καθορίζει την ενέργεια που απαιτείται για να αλλάξει η θερμοκρασία του
- Τρεις μηχανισμούς διάδοσης της θερμότητας:
 - Αγωγή
 - Μεταφορά μάζας
 - Ακτινοβολία
- Πώς η θερμοκρασία ενός συστήματος καθορίζεται από τη θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του



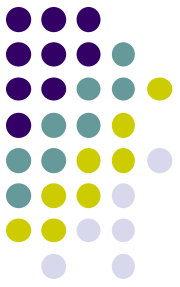
Εισαγωγή



Για να περιγράψουμε τα θερμικά φαινόμενα, πρέπει να ορίσουμε με προσοχή τις εξής έννοιες:

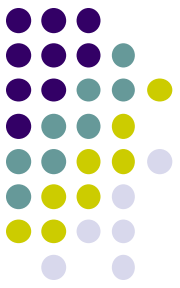
- Θερμοκρασία
- Θερμότητα

Θερμοκρασία



- Συχνά συνδέουμε την έννοια της θερμοκρασίας με το πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα.
- Μέσω των αισθήσεών μας, μπορούμε να έχουμε μια ποιοτική ένδειξη της θερμοκρασίας.
- Οι αισθήσεις μας δεν είναι αξιόπιστες.
- Χρειαζόμαστε μια αξιόπιστη μέθοδο, που μπορεί να επαναληφθεί με συστηματικό τρόπο, για να μετράμε το πόσο θερμό ή ψυχρό είναι ένα σώμα.
- Πρέπει να δώσουμε έναν τεχνικό ορισμό της θερμοκρασίας.

Θερμική επαφή και θερμική ισορροπία



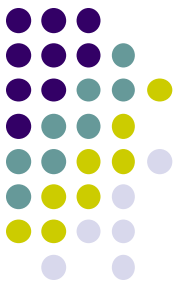
Δύο σώματα βρίσκονται σε **θερμική επαφή** μεταξύ τους αν μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια.

- Θα εστιάσουμε στην ανταλλαγή που γίνεται μέσω θερμότητας ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ανταλλαγή ενέργειας οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας.

Θερμική ισορροπία ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία δύο σώματα που βρίσκονται σε θερμική επαφή **δεν ανταλλάσσουν ενέργεια** μέσω θερμότητας ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

- Θερμική επαφή δεν σημαίνει υποχρεωτικά και φυσική επαφή.



Θερμοκρασία – Ορισμός

Μπορούμε να θεωρήσουμε τη θερμοκρασία ως την ιδιότητα που καθορίζει αν ένα σώμα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με άλλα σώματα.

Δύο σώματα που βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους έχουν την ίδια θερμοκρασία.

- Αν δύο σώματα έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους.

Η θερμοκρασία καθορίζει αν παρατηρείται μεταφορά ενέργειας ή όχι μεταξύ δύο σωμάτων που βρίσκονται σε θερμική επαφή.

Θερμόμετρα



Το **θερμόμετρο** είναι μια συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας ενός συστήματος.

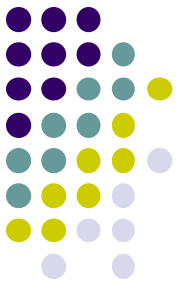
Τα θερμόμετρα βασίζονται στην αρχή ότι, καθώς αλλάζει η θερμοκρασία ενός συστήματος, μεταβάλλεται κάποια φυσική ιδιότητά του.

Στις ιδιότητες αυτές περιλαμβάνονται:

- Ο όγκος ενός υγρού
- Οι διαστάσεις ενός στερεού
- Η πίεση ενός αερίου με σταθερό όγκο
- Ο όγκος ενός αερίου με σταθερή πίεση
- Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού
- Το χρώμα ενός σώματος

Μπορούμε να ορίσουμε μια θερμοκρασιακή κλίμακα με βάση οποιαδήποτε από αυτές τις φυσικές ιδιότητες.

Θερμόμετρο – Υγρό σε σωλήνα



Τα κοινά θερμόμετρα αποτελούνται από έναν σωλήνα μέσα στον οποίο υπάρχει ένα υγρό.

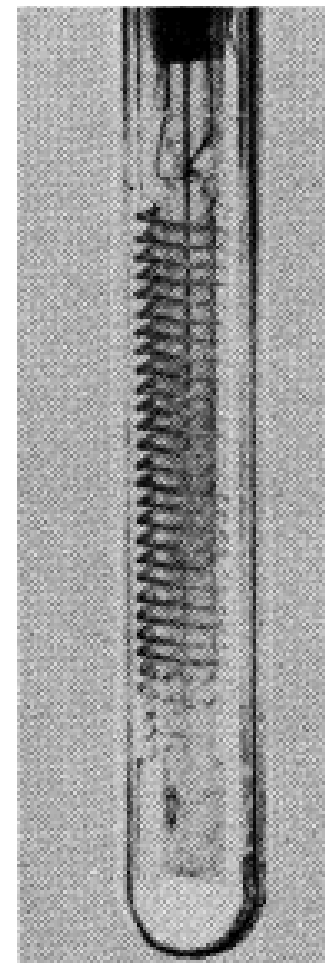
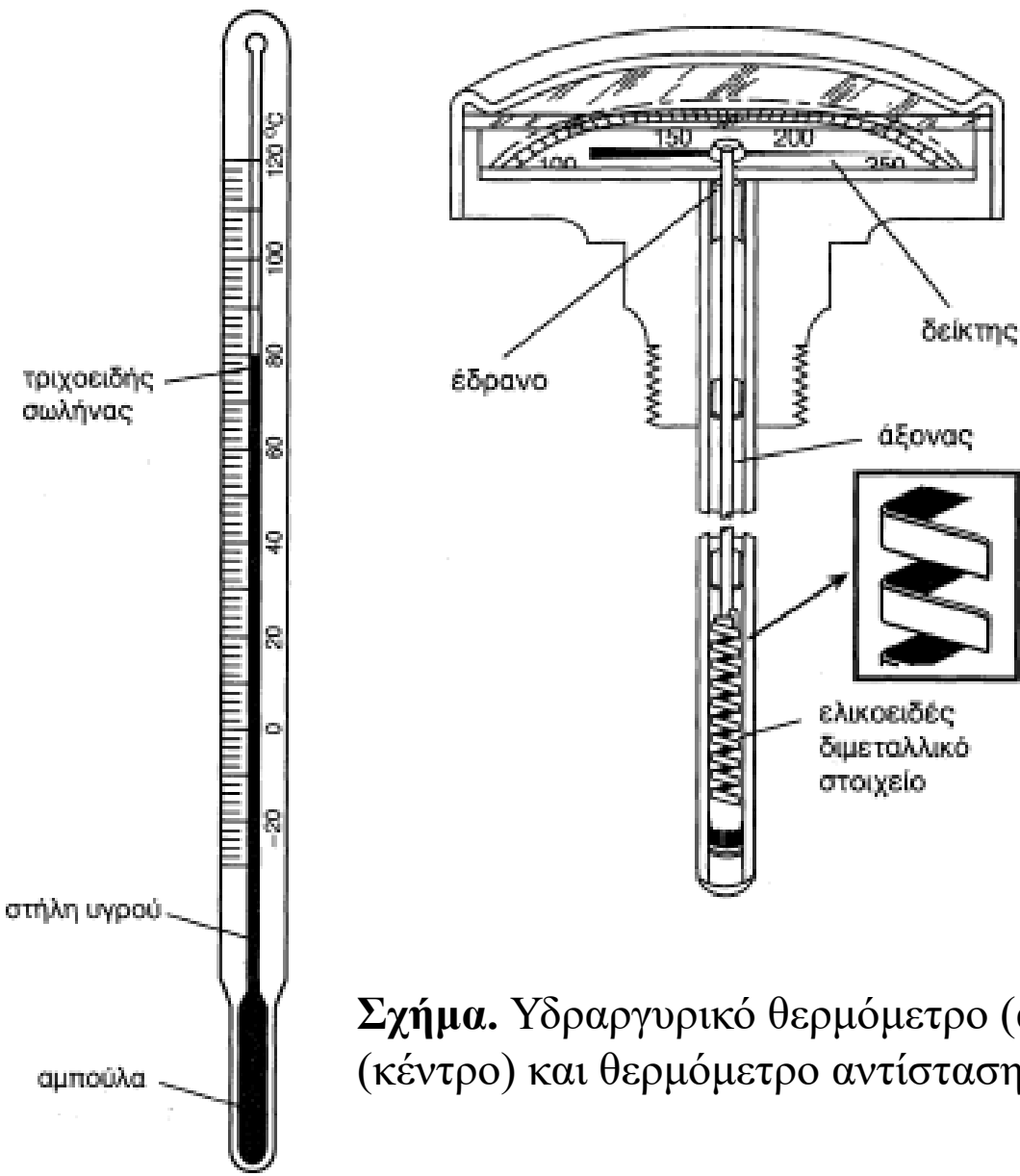
Όταν το υγρό θερμαίνεται μέσα στον τριχοειδή σωλήνα, διαστέλλεται.

Συνήθως χρησιμοποιείται υδράργυρος ή αιθυλική αλκοόλη.

Καθώς ο υδράργυρος στο θερμόμετρο θερμαίνεται από το νερό στον δοκιμαστικό σωλήνα, η στάθμη του ανεβαίνει.



Θερμόμετρα και θερμική ισορροπία



Σχήμα. Υδραργυρικό θερμόμετρο (αριστερά), διμεταλλικό θερμόμετρο (κέντρο) και θερμόμετρο αντίστασης (δεξιά).

Βαθμονόμηση θερμομέτρου



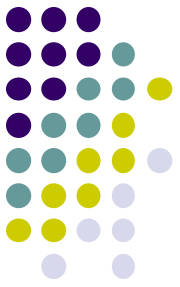
Για να βαθμονομήσουμε ένα θερμόμετρο, το φέρνουμε σε θερμική επαφή με κάποιο φυσικό σύστημα που έχει σταθερή θερμοκρασία.

Τα συστήματα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν νερό.

- Μίγμα νερού και πάγου υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση
 - Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε αυτή την κατάσταση ονομάζεται **σημείο πήξης του νερού**.
- Μίγμα νερού και υδρατμών σε θερμική ισορροπία υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση
 - Η θερμοκρασία που αντιστοιχεί σε αυτή την κατάσταση ονομάζεται **σημείο βρασμού του νερού**.

Αφού εντοπίσουμε αυτά τα σημεία, διαιρούμε το μήκος της μεταξύ τους στήλης σε ίσα τμήματα.

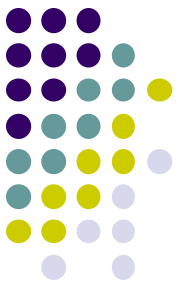
Κλίμακα Κελσίου



Το σημείο πήξης του νερού ορίζεται ως 0°C .

Το σημείο βρασμού του νερού ορίζεται ως 100°C .

Το μήκος της στήλης μεταξύ των δύο σημείων διαιρείται σε 100 ίσα τμήματα, τα οποία ονομάζονται βαθμοί.



Προβλήματα με θερμομέτρα υγρού σε σωλήνα

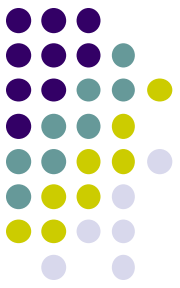
Ένα θερμομέτρο **αιθυλικής αλκοόλης** ενδέχεται να συμφωνεί με ένα θερμομέτρο **υδραργύρου** μόνο στα σημεία της βαθμονόμησης.

Όταν οι θερμοκρασίες που πρόκειται να μετρηθούν απέχουν πολύ από τα σημεία βαθμονόμησης, οι διαφορές μεταξύ των θερμομέτρων είναι πολύ μεγάλες.

Τα θερμομέτρα μετρούν περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών.

- Ένα θερμομέτρο υδραργύρου δεν μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες **μικρότερες από -39°C .**
- Ένα θερμομέτρο αιθυλικής αλκοόλης δεν μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες **μεγαλύτερες από 85°C .**

Θερμόμετρα αερίου



Ένα από τα πιο αποτελεσματικά θερμόμετρα είναι το **θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου**

- Η πίεση ενός αερίου παρέχει μια ένδειξη για τη θερμοκρασία
- Τα θερμόμετρα αερίου είναι σήμερα η βάση του ορισμού της κλίμακας Κέλβιν στο σύστημα SI
- Τα θερμόμετρα αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών



Ένα θερμόμετρο αερίου σταθερού όγκου

Απόλυτο μηδέν

Οι ενδείξεις των θερμομέτρων αερίου είναι σχεδόν ανεξάρτητες από το αέριο που χρησιμοποιείται.

Αν προεκτείνουμε τις ευθείες για τα διάφορα αέρια, θα διαπιστώσουμε ότι η πίεση είναι πάντα μηδενική όταν η θερμοκρασία είναι ίση με -273.15°C .

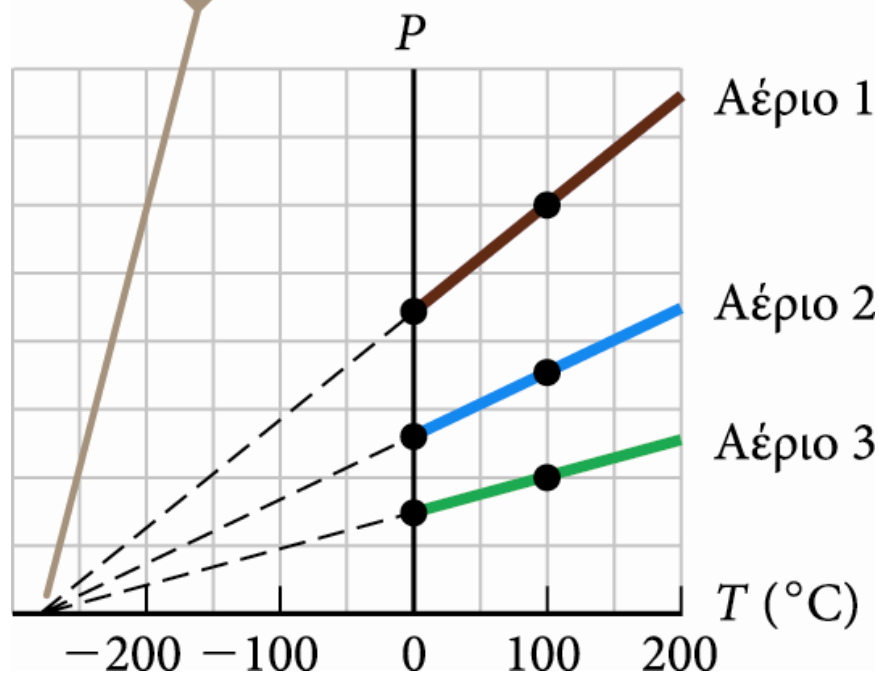
Η συγκεκριμένη θερμοκρασία ονομάζεται **απόλυτο μηδέν**.

Το απόλυτο μηδέν είναι η βάση της **κλίμακας απόλυτης θερμοκρασίας**.

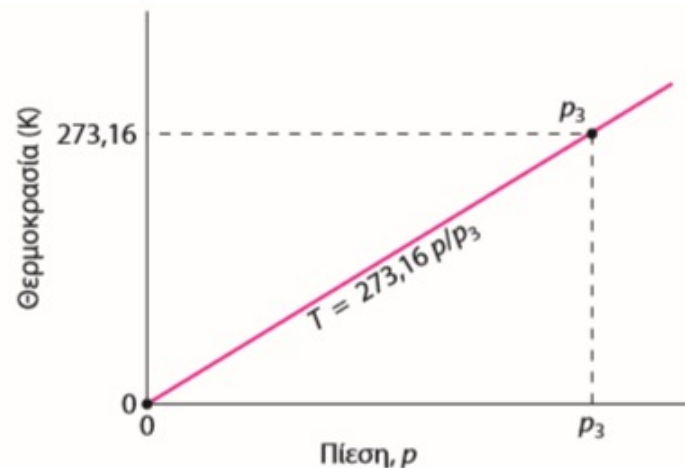
Το μέγεθος του ενός βαθμού στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι ίδιο με το μέγεθος του ενός βαθμού στην κλίμακα Κελσίου.

Μετατροπή: $T_C = T - 273.15$

Και για τα τρία αέρια, όταν η θερμοκρασία είναι -273.15°C , η πίεση είναι μηδενική.



Κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας



Η κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας βασίζεται πλέον σε δύο νέα σταθερά σημεία.

- Υιοθετήθηκαν το 1954 από τη Διεθνή Επιτροπή Μέτρων και Σταθμών.
- Το ένα σημείο είναι το απόλυτο μηδέν.
- Το άλλο σημείο είναι το **τριπλό σημείο** του νερού.
 - Είναι ο συνδυασμός θερμοκρασίας και πίεσης για τον οποίο συνυπάρχουν σε ισορροπία πάγος, νερό, και υδρατμοί.

Το τριπλό σημείο του νερού αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 0.01°C και πίεση 4.58 mm Hg .

Αυτή η θερμοκρασία ορίστηκε ίση με 273.16 στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας.

- Η επιλογή αυτή έγινε έτσι ώστε η παλαιά κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας να μη διαφέρει πολύ από τη νέα κλίμακα.
- Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στην κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι τα **kelvin**.

Κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας



Η κλίμακα απόλυτης θερμοκρασίας είναι γνωστή και ως κλίμακα Κέλβιν.

- Προς τιμή του William Thomson, λόρδου Κέλβιν.

Η θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού είναι ίση με 273.16 K.

- Δεν χρησιμοποιούμε σύμβολο βαθμών για τα kelvin.

Το kelvin είναι εξ ορισμού ίσο με το $1/273.16$ της διαφοράς μεταξύ του απολύτου μηδενός και της θερμοκρασίας του τριπλού σημείου του νερού.



Μερικά παραδείγματα απόλυτων θερμοκρασιών

Στην εικόνα δεξιά μπορείτε να δείτε την απόλυτη θερμοκρασία διαφόρων φυσικών διεργασιών.

Η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Η θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός δεν μπορεί να επιτευχθεί.

- Έχει προσεγγιστεί κατά τη διάρκεια πειραμάτων.

Σημειώστε ότι η κλίμακα είναι λογαριθμική.

Θερμοκρασία (K)



Άλλες κλίμακες

- Ένας βαθμός Κελσίου αντιστοιχεί σε ένα Κελβιν, αλλά το μηδέν στην κλίμακα Κελσίου βρίσκεται στα 273 K, το σημείο πήξης του νερού υπό κανονικές συνθήκες:

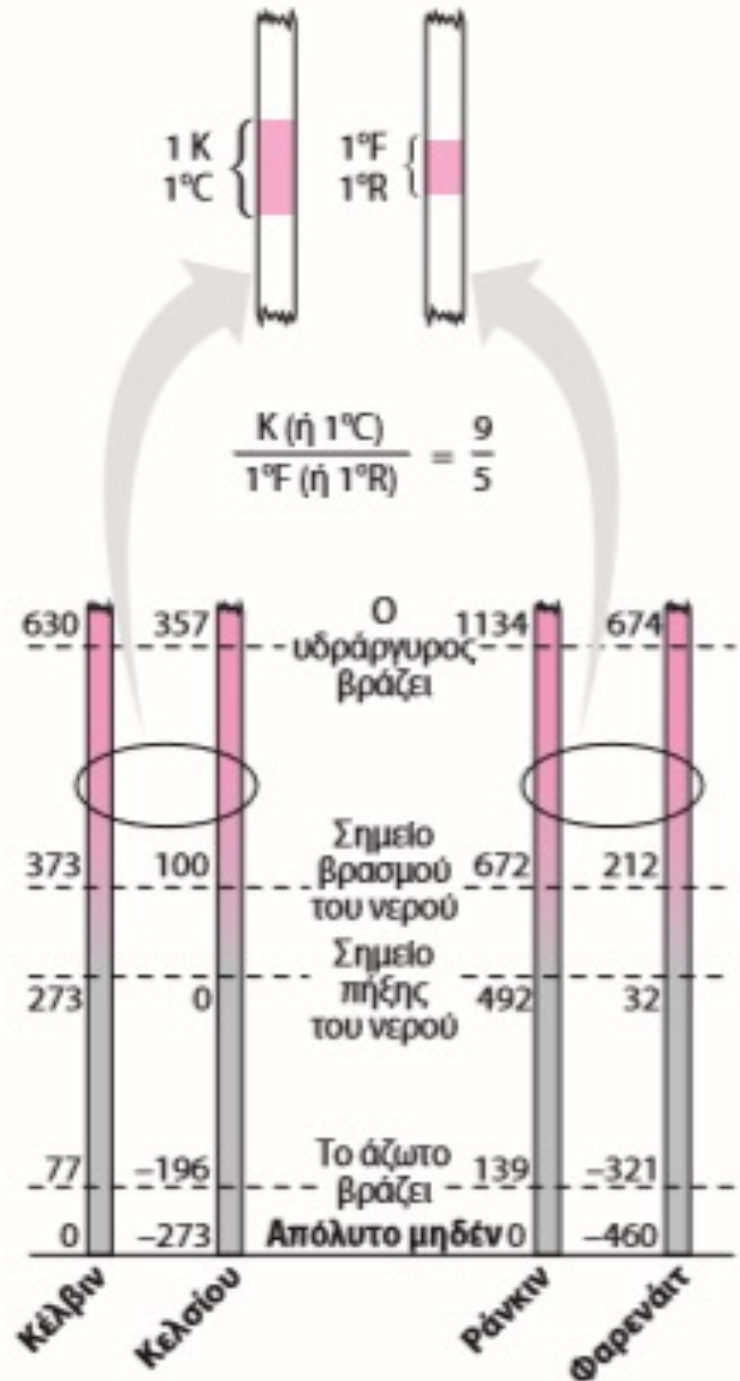
$$T_C = T - 273,15$$

- Ένας βαθμός Φαρενάιτ αντιστοιχεί στα 5/9 ενός βαθμού Κελσίου και το μηδέν στην κλίμακα Φαρενάιτ είναι 32°F κάτω από το σημείο πήξης του νερού:

$$T_F = T_R - 459,67$$

- Στην κλίμακα Ράνκιν (Rankine) το μηδέν βρίσκεται στο απόλυτο μηδέν και οι βαθμοί της αντιστοιχούν σε αυτούς της κλίμακας Φαρενάιτ:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$



Θερμότητα

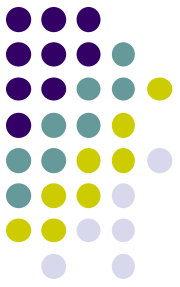


Θερμότητα = μορφή ενέργειας (θερμική ενέργεια)
= κινητική & δυναμική ενέργεια της τυχαίας μικροσκοπικής κίνησης σωματιδίων (μορίων, ατόμων, ιόντων, ηλεκτρονίων, κτλ.)

Απορρόφηση θερμότητας

από ένα σώμα (δηλ. αύξηση θερμοκρασίας) = ευθέως ανάλογη αύξηση μηχανικής (κινητικής) ενέργειας ατόμων και μορίων του σώματος

Η θερμότητα ως μορφή ενέργειας



1 cal = 10^{-3} Kcal = θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1 g νερού από τους 14,5 στους 15,5⁰ C

1 Btu = 0,252 cal = θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1 lb νερού κατά 1⁰ F

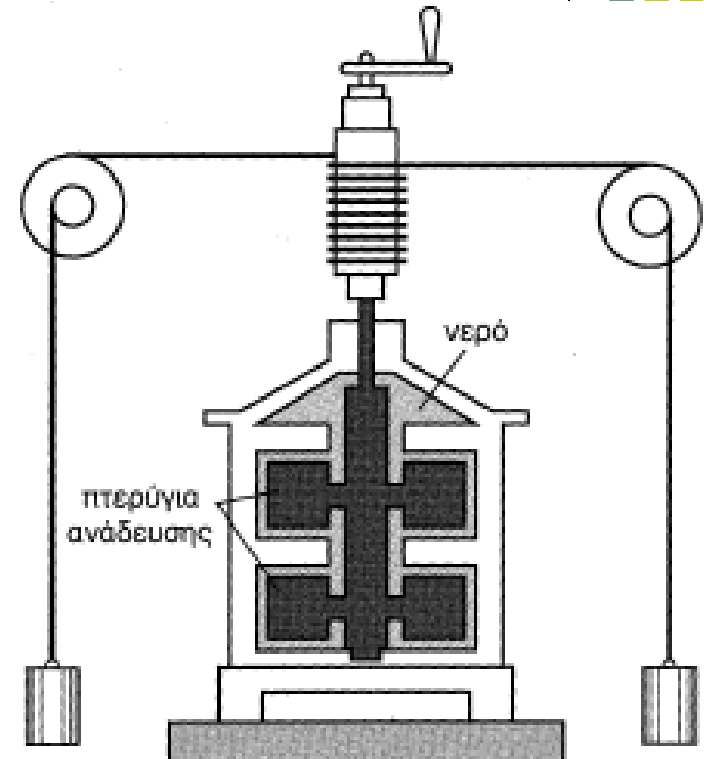
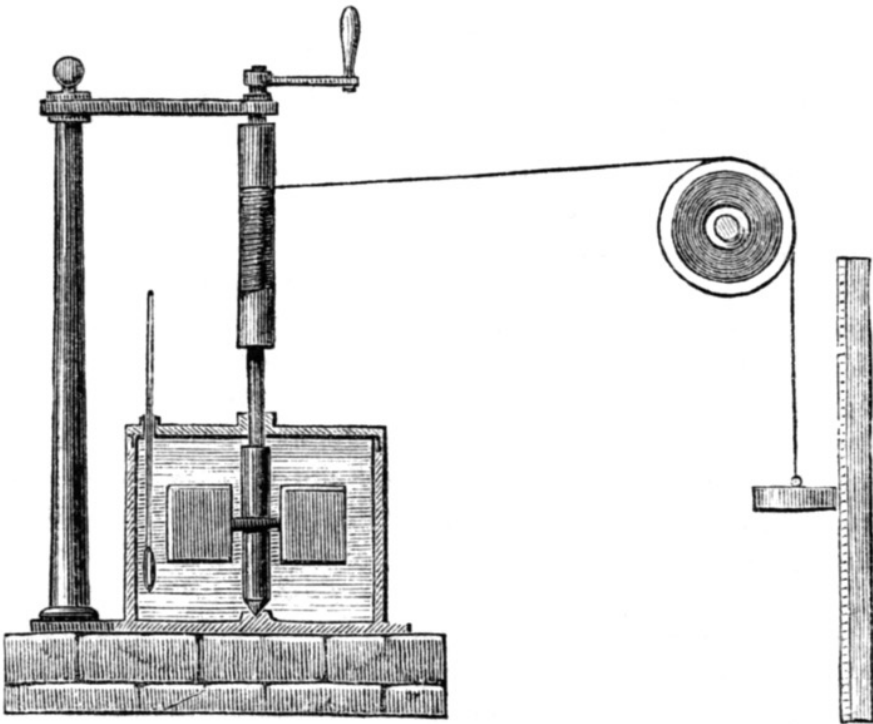
Ειδική θερμοχωρητικότητα ή ειδική θερμότητα :

θερμότητα που απαιτείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας 1kg κάποιου υλικού κατά 1⁰ C

$\Delta Q = mc\Delta T$ (σχέση μεταβολών θερμότητας και θερμοκρασίας)

Πείραμα Joule

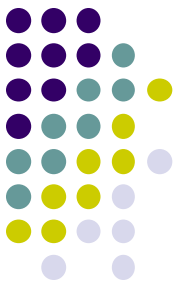
Μέτρηση μηχανικού ισοδύναμου θερμότητας



Αύξηση θερμοκρασίας νερού μετά από ανάδυσή του μέσα σε μονωμένο δοχείο με κίνηση πτερυγίων από πτώση βαρών

Μετατροπή βαρυτικής δυναμικής ενέργειας σε θερμότητα

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$



Πίνακας. Ειδική θερμότητα μερικών υλικών.

(σε θερμοκρασία δωματίου και 1 atm)

Υλικό	Ειδική θερμότητα (c)
Αργίλιο	0,214 kcal/kg · °C
Ορείχαλκος	0,092
Χαλκός	0,092
Σίδηρος, χάλυβας	0,11
Μόλυβδος	0,031
Κασσίτερος	0,054
Αργυρος	0,056
Ίνταρ	0,120
Υδράργυρος	0,033
Νερό	1,00
Πάγος (- 10°C)	0,530
Αιθυλική αλκοόλη	0,581
Γλυκόλη	0,571
Ορυκτέλαιο	0,5
Γυαλί, θερμομέτρου	0,20
Μάρμαρο	0,21
Γρανίτης	0,19
Θαλάσσιο νερό	0,93



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1. Όταν ένα αυτοκίνητο φρενάρι, η τριβή ανάμεσα στα ταμπούρα και τα πέδπλα μετατρέπει τη μεταφορική κινητική ενέργεια σε θερμότητα. Εάν ένα αυτοκίνητο 2000 kg φρενάρι από 25 m/s (90 km/h) στα 0 m/s πόση θερμότητα παράγεται από το φρένα; Εάν καθένα από τα τέσσερα ταμπούρα έχει μάζα 9,0 kg και είναι από σίδηρο ειδικής θερμότητας 0,11 kcal/kg · °C, κατά πόσο αυξάνει η θερμοκρασία των ταμπούρων; Υποθέστε ότι όλη η θερμότητα συσσωρεύεται στα ταμπούρα (δεν υπάρχει αρκετός χρόνος, ώστε η θερμότητα να διαρρέυσει προς τον αέρα) και ότι η θερμότητα σε όλα τα ταμπούρα είναι η ίδια.

ΛΥΣΗ: Η αρχική κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου είναι

$$K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \times 2000 \text{ kg} \times (25 \text{ m/s})^2 = 6,3 \times 10^5 \text{ J}$$

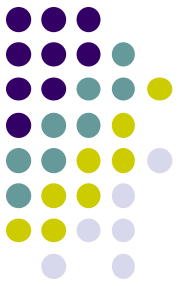
Εκφρασμένη σε kcal, δίνει την ποσότητα της θερμότητας

$$\Delta Q = 6,3 \times 10^5 \text{ J} \times \frac{1 \text{ kcal}}{4,19 \times 10^3 \text{ J}} = 1,5 \times 10^2 \text{ kcal}$$

Η ολική μάζα του σιδήρου που θα θερμανθεί ισούται με $4 \times 9,0 \text{ kg}$. Επομένως, η αντίστοιχη αύξηση θερμοκρασίας είναι [βλ. Εξ. (1)]

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{mc} = \frac{1,5 \times 10^2 \text{ kcal}}{4 \times 9,0 \text{ kg} \times 0,11 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 38^\circ\text{C}$$

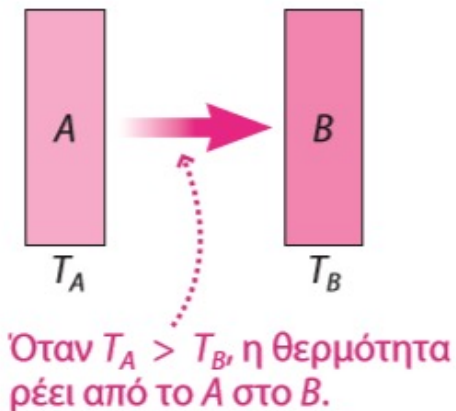
Θερμοκρασία Ισορροπίας



- Όταν δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία έρχονται σε θερμική επαφή χωρίς κάποια απώλεια ενέργειας, φτάνουν σε ισορροπία σε μια θερμοκρασία η οποία καθορίζεται από τη μάζα τους και την ειδική τους θερμότητα:

$$m_1 c_1 \Delta T_1 + m_2 c_2 \Delta T_2 = 0$$

- Για το θερμότερο σώμα, το ΔT είναι αρνητικό
- Η θερμότητα ρέει από το θερμότερο σώμα προς το ψυχρότερο



Τα συστήματα A και B βρέθηκαν σε θερμική επαφή χωρίς περαιτέρω μακροσκοπικές μεταβολές.



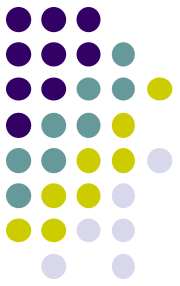
Έφτασαν σε θερμοδυναμική ισορροπία και συνεπώς έχουν την ίδια θερμοκρασία.

Διάδοση θερμότητας: Τρεις συνήθεις μηχανισμοί

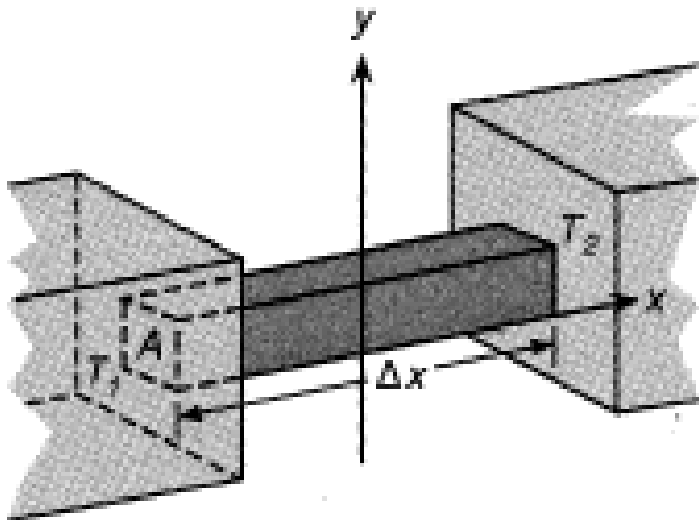


- **Αγωγή θερμότητας** είναι η διάδοση θερμότητας με άμεση φυσική επαφή
 - Λαμβάνει χώρα όταν τα μόρια σε μια θερμότερη περιοχή συγκρούονται με μόρια που βρίσκονται σε μια γειτονική ψυχρότερη περιοχή και τους μεταφέρουν ενέργεια
- Η διάδοση θερμότητας με **μεταφορά μάζας** πραγματοποιείται μέσω της κίνησης των ρευστών
 - Λαμβάνει χώρα όταν ένα θερμαινόμενο ρευστό γίνεται λιγότερο πυκνό και ως εκ τούτου ανυψώνεται
- Στην περίπτωση της **ακτινοβολίας** η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - Λαμβάνει χώρα όταν η επιφάνεια ενός σώματος εκπέμπει ή απορροφά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Αγωγιμότητα θερμότητας



Μεταφορά θερμότητας με **αγωγιμότητα** (παράδειγμα, επεξήγηση με την ύπαρξη ελεύθερων ηλεκτρονίων)

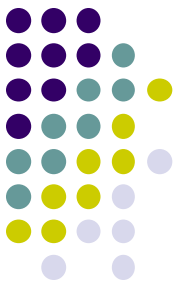


$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Ροή θερμότητας κατά μήκος της ράβδου ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας και αντίστροφα ανάλογη του μήκους

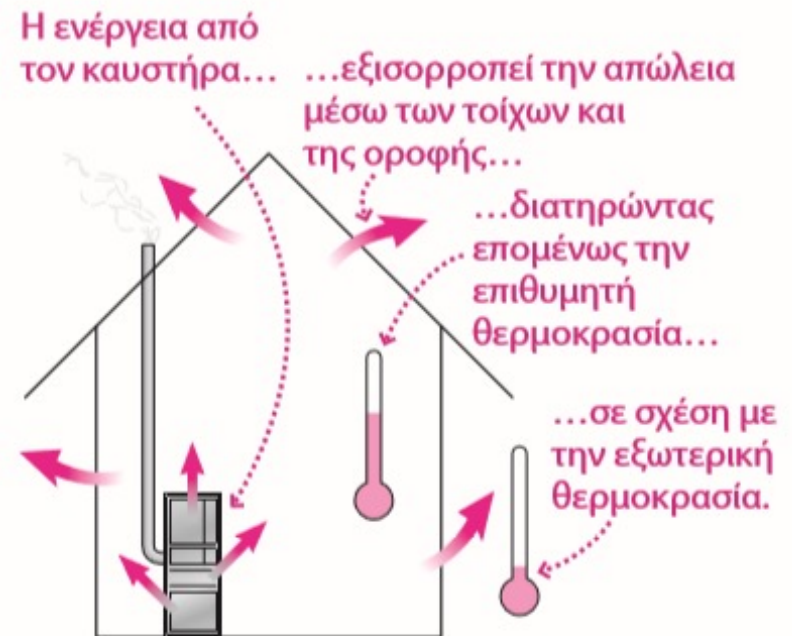
Πίνακας. Τιμές θερμικής αγωγιμότητας (k).

Υλικό	k
Αργίλιο	49 cal/(s · m · °C)
Χαλκός	92
Σίδηρος, χυτός	11
Χάλυβας	11
Μόλυβδος	8,3
Αργυρος	97
Πάγος, 0°C	0,3
Χιόνι, 0°C, συμπιεσμένο	0,05
Στεφανιάλος	0,25
Πορσελάνη	0,25
Μπετόν	0,2
Τούβλα	0,15
Μόνωση υαλοβάμβακα	0,01
Φελιξόλ	0,002
Ξύλο, πεύκου	0,03
Πούπουλα	0,0046

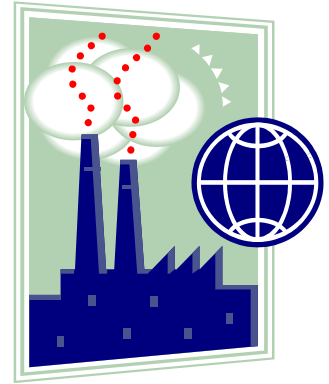


Ισοζύγιο θερμικής ενέργειας

- Ένα σύστημα έχει **ισοζύγιο θερμικής ενέργειας** όταν ο ρυθμός με τον οποίο προσλαμβάνει ενέργεια ισούται με τον ρυθμό απώλειας ενέργειας
- Η **θερμοκρασία** ενός συστήματος με ισοζύγιο θερμικής ενέργειας είναι **σταθερή**
- Αν η απώλεια ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την πρόσληψη ενέργειας, **το σύστημα ψυχραίνεται**
- Αν η πρόσληψη είναι μεγαλύτερη από την απώλεια, **το σύστημα θερμαίνεται**

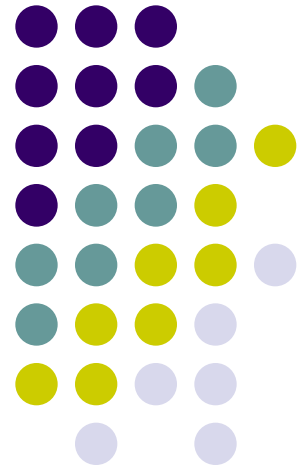


Κεφάλαια 16, 17



Κεφ. 17

Η Θερμική συμπεριφορά της ύλης



Τι μαθαίνετε

- Θα κατανοήσετε τα ιδανικά αέρια βασιζόμενοι τόσο σε πειράματα όσο και στην εφαρμογή της Νευτώνειας φυσικής στα μόριά τους
- Πώς η θερμοκρασία συνδέεται με την ενέργεια των μορίων
- Να περιγράψετε τις τρεις φάσεις της ύλης:
 - Να υπολογίζετε την ενέργεια που σχετίζεται με τις αλλαγές φάσεων
 - Να ερμηνεύετε τα διαγράμματα φάσης
- Να υπολογίζετε τη θερμική διαστολή στερεών, υγρών και αερίων



Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων



Πειραματικά αποδεικνύεται ότι ένα αέριο με N μόρια που βρίσκεται σε ένα ερμητικά κλειστό δοχείο υπακούει σε μια απλή σχέση μεταξύ πίεσης p , όγκου V και θερμοκρασίας T :

$$pV = NkT$$

Αυτή είναι η **καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων** και τα περισσότερα πραγματικά αέρια υπακούουν σε αυτή με πολύ καλή προσέγγιση

Εδώ $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ είναι η **σταθερά του Boltzmann**

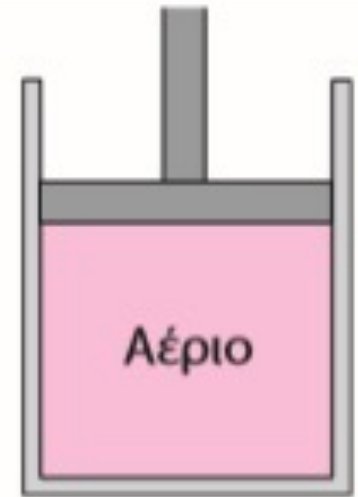
Η καταστατική εξίσωση μπορεί επίσης να γραφεί:

$$pV = nRT$$

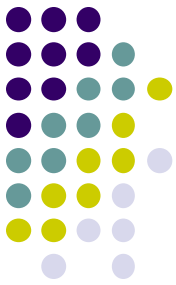
όπου n είναι ο αριθμός των mole του αερίου και

$$R = N_A k = 8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$$

η **παγκόσμια σταθερά των αερίων**



Ένα σύστημα
εμβόλου-κυλίνδρου



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 17.1

Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων: ΚΣ

Πόσο όγκο καταλαμβάνει 1,00 mol ενός ιδανικού αερίου σε κανονικές συνθήκες (ΚΣ) πίεσης και θερμοκρασίας, όπου $T = 0^\circ\text{C}$ και $p = 101,3 \text{ kPa}$;

ΕΡΜΗΝΕΥΣΤΕ Μελετάμε ένα ιδανικό αέριο και μας δίνεται η ποσότητα του αερίου, η θερμοκρασία και η πίεσή του.

ΑΝΑΠΤΥΞΤΕ Επειδή μας δίνεται ο αριθμός των mole n , θα χρησιμοποιήσουμε την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων (Εξίσωση 17.2), $pV = nRT$, για να υπολογίσουμε τον όγκο.

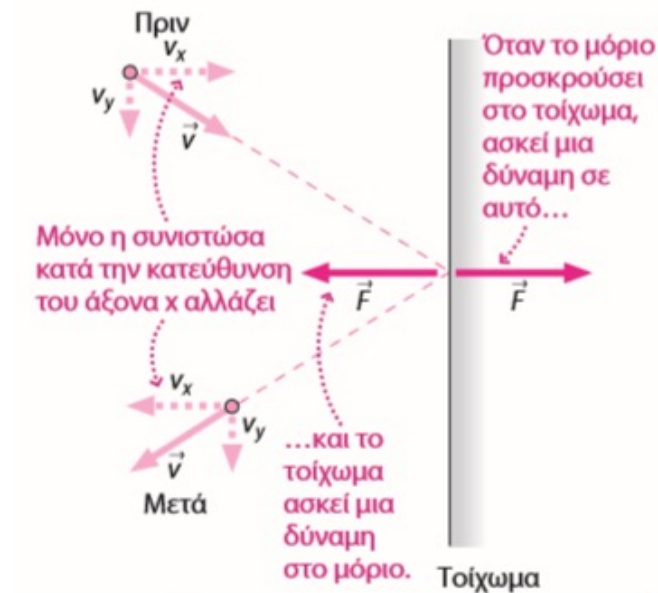
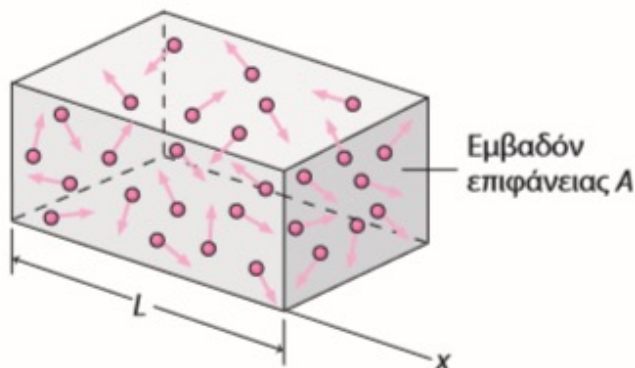
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕ Επιλύοντας ως προς V , προκύπτει

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(1,00 \text{ mol})(8,314 \text{ J/K} \cdot \text{mol})(273,15 \text{ K})}{1,013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$
$$= 22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 22,4 \text{ L}$$

όπου εκφράσαμε το $T = 0^\circ\text{C}$ ως $273,15 \text{ K}$.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΤΕ Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να σας είναι γνώριμο από προηγούμενα μαθήματα χημείας ή φυσικής: 1 mole οποιουδήποτε ιδανικού αερίου –ανεξάρτητα από τη χημική του σύσταση– καταλαμβάνει 22,4 L σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

Κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων

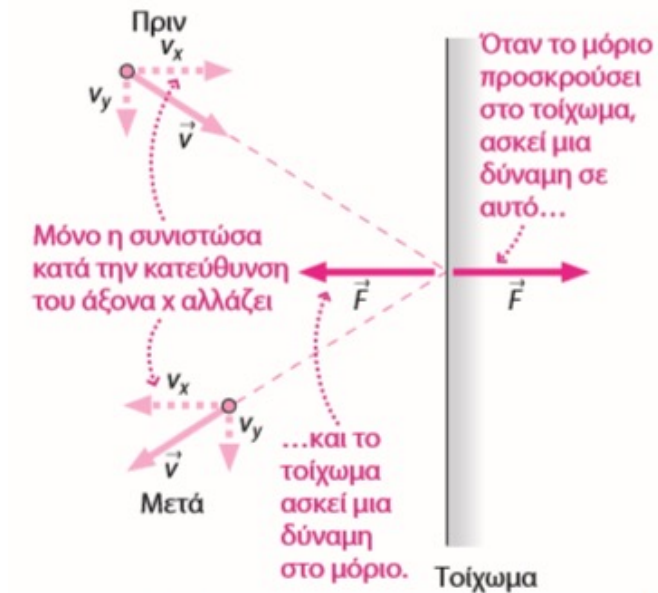


Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων προκύπτει από την παραδοχή ότι ένα αέριο απαρτίζεται από μόρια που υπακούουν στους νόμους του Νεύτωνα.

Για την ανάλυση κάνουμε τις παρακάτω παραδοχές

- Το αέριο αποτελείται από N πανομοιότυπα μόρια μάζας m χωρίς εσωτερική δομή
- Τα μόρια δεν ασκούν μεταξύ τους δυνάμεις και έχουν μόνο κινητική ενέργεια
- Η κίνηση των μορίων είναι τυχαία
- Οι κρούσεις με τα τοιχώματα του δοχείου είναι ελαστικές
 - Η πίεση του αερίου προκύπτει από τη μέση δύναμη που ασκούν τα μόρια όταν προσκρούουν στα τοιχώματα του δοχείου

Κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων



- Ας θεωρήσουμε την κρούση που φαίνεται στο σχήμα:
 - Το μέτρο των v_x και v_y δεν αλλάζει
 - Στη διάρκεια της κρούσης, το μέτρο της μεταβολής της ορμής είναι $2mv_x$
 - Μεταξύ δύο κρούσεων μεσολαβεί χρόνος $2L/v_x$
- Η μέση δύναμη που ασκείται από το i -οστό μόριο είναι

$$\bar{F}_i = \frac{2mv_{xi}}{2L/v_{xi}} = \frac{mv_{xi}^2}{L}$$

- Αθροίζοντας όλα τα μόρια N , προκύπτει

$$p = \frac{\bar{F}}{A} = \frac{\sum \bar{F}_i}{A} = \frac{\sum mv_{xi}^2/L}{A} = \frac{m \sum v_{xi}^2}{AL}$$

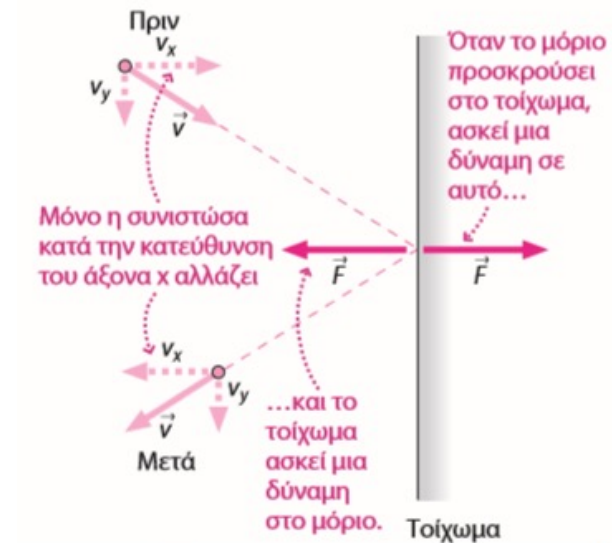
Κινητική θεωρία των ιδανικών αερίων

- Η προηγούμενη διαφάνεια έδειξε ότι $p = \frac{mN}{V} \overline{v_x^2}$

- Ωστόσο, η κίνηση των μορίων είναι τυχαία, επομένως το μέτρο της ταχύτητάς τους είναι ανεξάρτητο από την κατεύθυνση της κίνησης. Οπότε, μπορούμε να γράψουμε $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}$

- Επομένως, $pV = \frac{mN}{3} \overline{v^2} = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right)$

- Σημειώστε ότι αυτή είναι η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων αν κάνουμε την αντικατάσταση



$$\frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = NkT$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$$

Η κατανομή Maxwell-Boltzmann



Τα μόρια σε ένα αέριο εμφανίζουν ένα εύρος μέτρων των ταχυτήτων ως αποτέλεσμα τυχαίων κρούσεων μεταξύ των μορίων

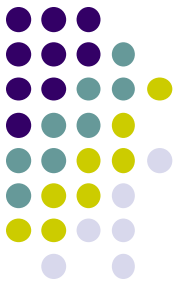
- Αυτή είναι η **κατανομή Maxwell-Boltzmann**
- Σε υψηλές θερμοκρασίες η κατανομή έχει μεγαλύτερο εύρος

- Η μέση κινητική ενέργεια είναι $\bar{K} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$

- Η **θερμική ταχύτητα** είναι $v_{th} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ όπου m είναι η μοριακή μάζα



Αλλαγές φάσης



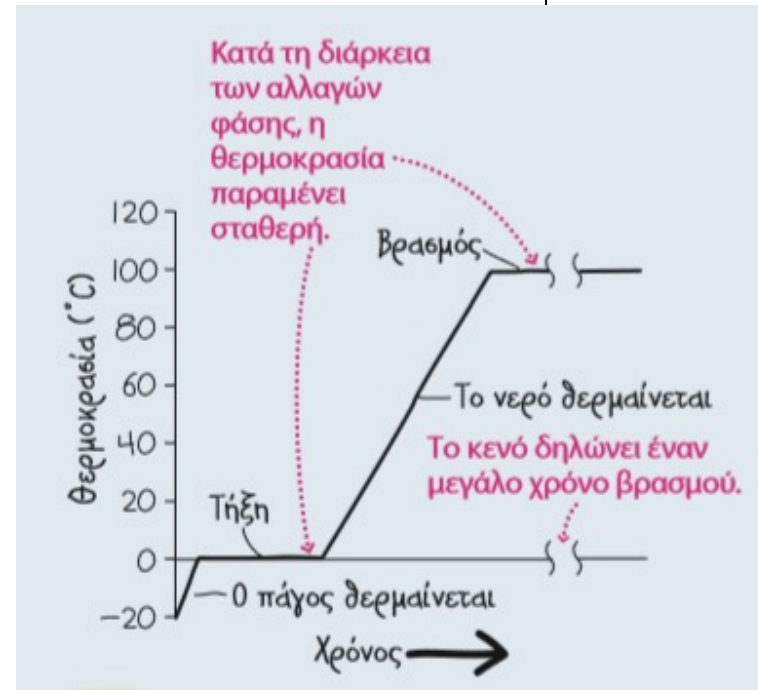
Οι περισσότερες ουσίες εμφανίζονται σε τρεις **φάσεις στερεά, υγρή, αέρια**

Απαιτείται ενέργεια, που ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα (L)**, για να επιτευχθεί η αλλαγή φάσης

Η λανθάνουσα θερμότητα μετρά την ενέργεια Q που απαιτείται για την αλλαγή φάσης μιας μάζας m : **$Q = mL$**

Για να αντιστραφεί η αλλαγή, πρέπει να αφαιρεθεί το ίδιο ποσό ενέργειας

- Για την αλλαγή από τη στερεή στην υγρή φάση απαιτείται **λανθάνουσα θερμότητα τήξης, L_f**
- Για την αλλαγή από την υγρή στην αέρια φάση απαιτείται **λανθάνουσα ενέργεια εξαέρωσης, L_v**
- Για την απευθείας μετάβαση από τη στερεά στην αέρια φάση απαιτείται **λανθάνουσα ενέργεια εξαχνωσης, L_s**
- Στη διάρκεια μιας αλλαγής φάσης, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή καθώς η ενέργεια εισέρχεται για να σπάσει τους μοριακούς δεσμούς



Μεταβολές καταστάσεων



Πίνακας. Ειδικές θερμότητες μερικών στοιχείων-ενώσεων.

Ουσία	Σημείο τήξεως	Θερμότητα τήξεως	Σημείο βρασμού	Θερμότητα βρασμού
Νερό	0°C	79,7 kcal/kg	100°C	539 kcal/kg
Αζωτο	-210	6,2	-196	47,8
Οξυγόνο	-218	3,3	-183	51
Ηλιο	-	-	-269	5,97
Υδρογόνο	-259	15,0	-253	107
Αργίλιο	660	95,3	2467	2520
Χαλκός	1083	48,9	2567	1240
Σίδηρος	1535	65	2750	1620
Μόλυβδος	328	6,8	1740	203
Κασσίτερος	232	14,2	2270	463
Αργυρος	962	23,7	2212	563
Βολφράμιο	3410	44	5660	1180
Υδράργυρος	-39	2,7	357	69,7
Διοξείδιο άνθρακα ^b	-79	-	-	138

^a Σε πίεση 1 atm.

^b Υφίσταται άμεση εξαέρωση (εξάχνωση) από στερεό σε αέριο.

Διαγράμματα φάσεων



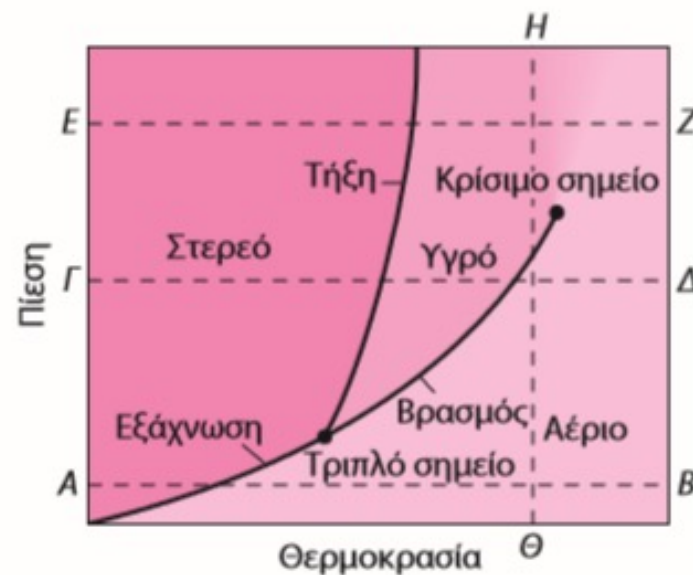
Οι φάσεις μιας ουσίας μπορούν να παρασταθούν σε ένα διάγραμμα της πίεσης ως προς τη θερμοκρασία.

Οι γραμμές που διαχωρίζουν τις περιοχές σημειώνουν τις αλλαγές φάσης και τους συνδυασμούς πίεσης και θερμοκρασίας που συνυπάρχουν σε ισορροπία οι δύο φάσεις

Οι γραμμές τέμνονται σε ένα **τριπλό σημείο**, όπου και οι τρεις φάσεις συνυπάρχουν σε ισορροπία

Οι διάφορες διαδρομές σε ένα διάγραμμα φάσης αποτυπώνουν τις επιμέρους ακολουθίες φάσεων ενός υλικού:

- Η διαδρομή $\Gamma\Delta$ δείχνει γνωστή σειρά στερεό-υγρό-αέριο
- Η διαδρομή AB οδηγεί απευθείας από στερεό σε αέριο
- Η διαδρομή $H\Theta$ δείχνει ότι η αλλαγή πίεσης μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές φάσης



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4. Πόσα παγάκια πρέπει να προστεθούν σε δοχείο που περιέχει 1 l βραστό νερό στους 100°C έτσι, ώστε το μίγμα που θα προκύψει να έχει θερμοκρασία 40°C ; Υποθέστε ότι κάθε παγάκι έχει μάζα 20 g και ότι το δοχείο και το περιβάλλον δεν ανταλλάσσουν θερμότητα με το νερό.

ΛΥΣΗ: Η θερμότητα που ελευθερώνεται από το θερμό νερό καθώς ψύχεται από τους 100°C στους 40°C είναι

$$m_1 c_1 \Delta T_1 + m_2 c_2 \Delta T_2 = 0$$

$$\Delta Q = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times 60^{\circ}\text{C} = 60 \text{ kcal}$$

Εάν η ολική μάζα του πάγου είναι m , τότε η θερμότητα που απορροφήθηκε από αυτή τη μάζα κατά την τήξη και την μετέπειτα θέρμανση από 0°C στους 40°C είναι

$$\Delta Q = m \times 79,7 \text{ kcal}/\text{kg} + m \times 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \times 40^{\circ}\text{C}$$

Αυτές οι ποσότητες θερμότητας πρέπει να είναι ίσες,

$$m \times 79,7 \text{ kcal}/\text{kg} + m \times 40 \text{ kcal}/\text{kg} = 60 \text{ kcal}$$

από την οποία

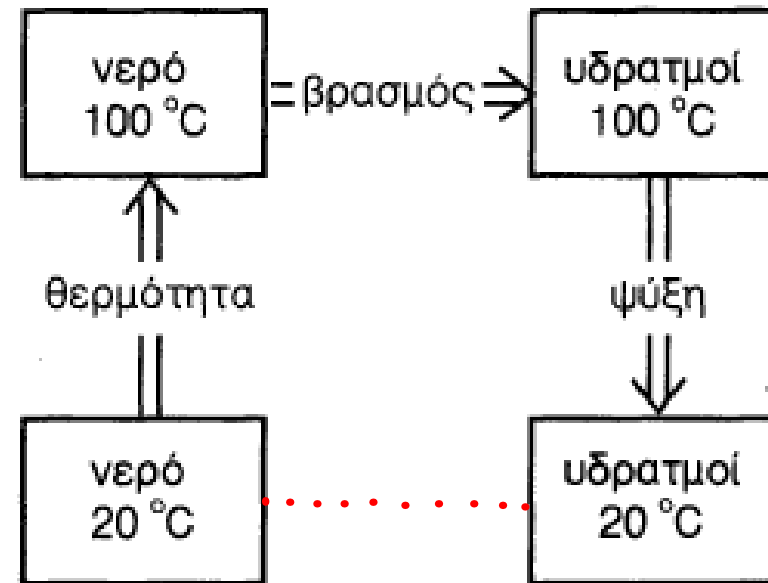
$$m = 0,50 \text{ kg}$$

Η μάζα αυτή αντιστοιχεί σε $500/20 = 25$ παγάκια.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1. Σε πίεση 1 atm, η θερμοκρασία εξαερώσεως του νερού είναι 539 kcal/kg· είναι η θερμότητα που απαιτείται για να μετατρέψει νερό 100°C σε υδρατμό της ίδιας θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι η ειδική θερμότητα του νερού ισούται κατά προσέγγιση με 1 kcal/kg · °C και ότι η ειδική θερμότητα των υδρατμών είναι $c_p = 0,48$ kcal/kg · °C, υπολογίστε τη θερμότητα εξατμίσεως του νερού στους 20°C.

Αντί να μετατρέψουμε κατευθείαν το νερό των 20°C σε υδρατμούς,

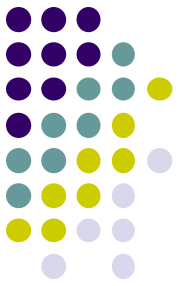
μπορούμε να ακολουθήσουμε τη διαδικασία του διπλανού σχήματος που καταλήγει στην ίδια τελική κατάσταση



$$\Delta Q = (1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 80^\circ\text{C} + 539 \text{ kcal/kg} - (0,48 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 80^\circ\text{C} =$$

$$= 581 \text{ kcal/kg}$$

Θερμική διαστολή



Η θερμική διαστολή είναι η αύξηση του όγκου ενός σώματος καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του.

Η θερμική διαστολή ενός σώματος προκαλείται από τη μεταβολή της μέσης απόστασης μεταξύ των ατόμων του.

Αν η διαστολή ενός σώματος είναι αρκετά μικρή σε σχέση με τις αρχικές διαστάσεις του, η μεταβολή οποιασδήποτε διάστασής του είναι κατά προσέγγιση ανάλογη της πρώτης δύναμης της μεταβολής της θερμοκρασίας.

Θερμική διαστολή – Παράδειγμα

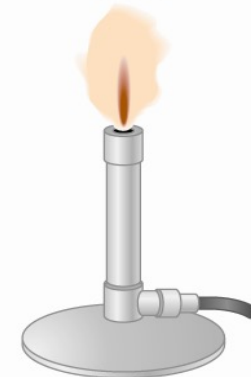
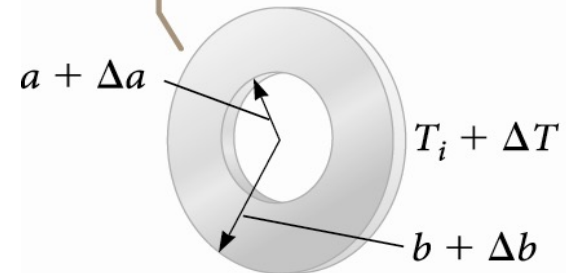
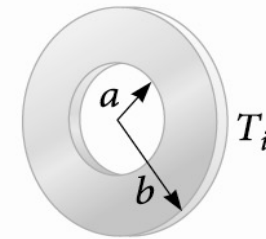


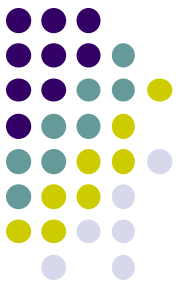
Καθώς θερμαίνεται η ροδέλα που φαίνεται στα δεξιά, όλες οι διαστάσεις της αυξάνονται.

Όταν ένα κομμάτι υλικού έχει κάποια κοιλότητα, αυτή διαστέλλεται όπως ακριβώς στην περίπτωση που η κοιλότητα είναι πλήρης.

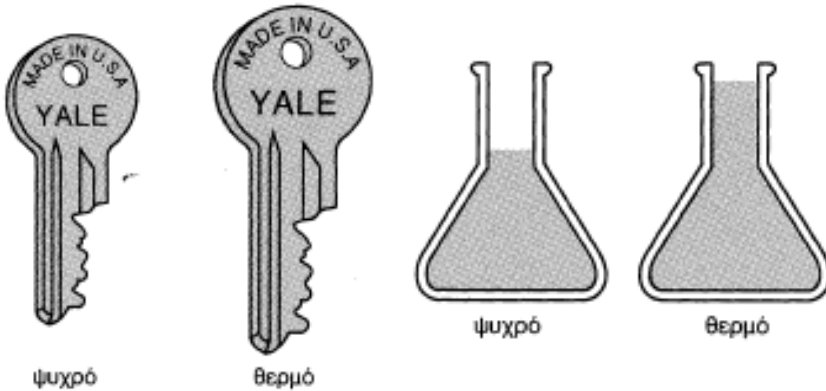
Σημ. Η διαστολή στην εικόνα είναι μεγαλύτερη από ό,τι στην πραγματικότητα.

Καθώς η ροδέλα θερμαίνεται, όλες οι διαστάσεις αυξάνονται, συμπεριλαμβανομένης της ακτίνας της τρύπας.





Θερμική διαστολή στερεών - υγρών



$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (\alpha = \text{συντ. θερμικής διαστολής})$$

$$\Delta V = \beta V \Delta T \quad (\beta = \text{συντ. κυβικής διαστολής})$$

Στερεά

α

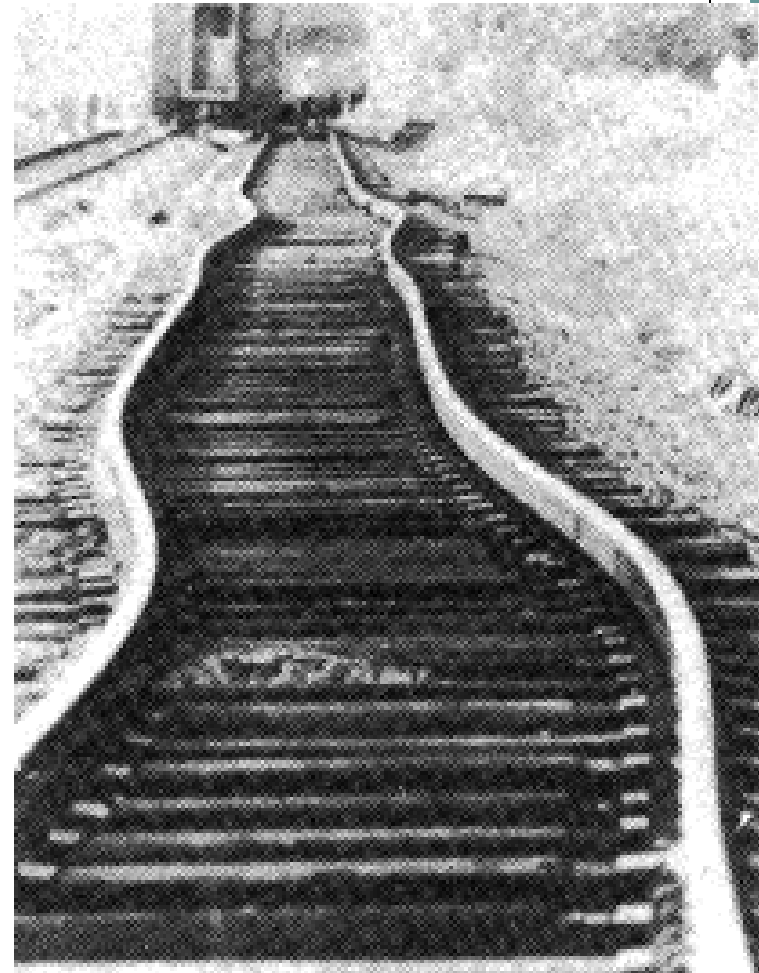
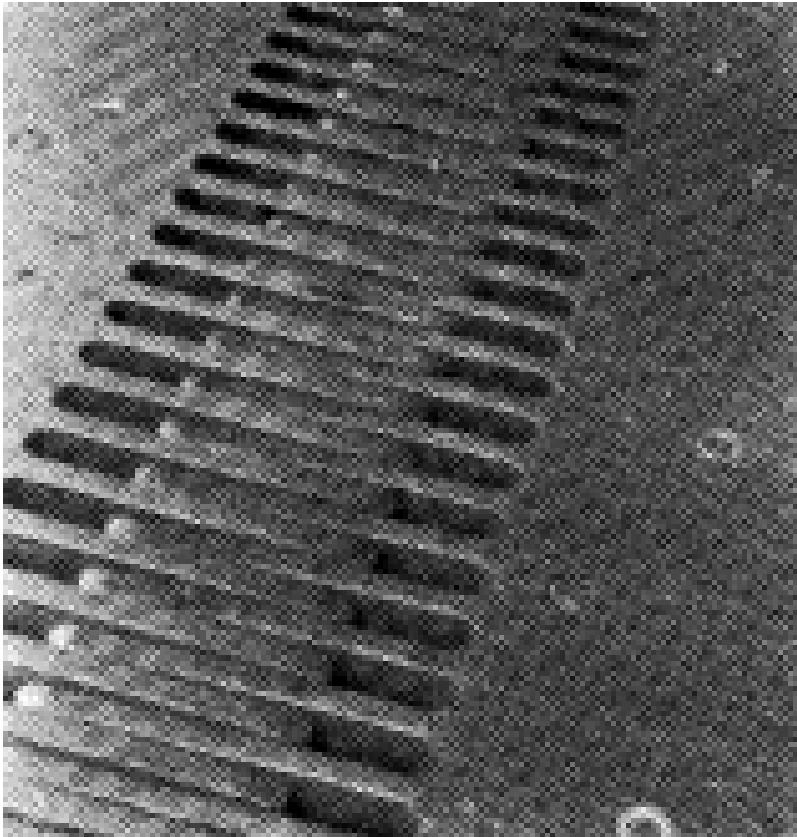
Αργίλιο	$24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Ορείχαλκος	19
Μπετόν	~ 12
Χαλκός	17
Γυαλί	
εμπορικό	11
Pyrex	3,3
Invar	0,9
Σίδηρος, χάλυβας	~ 12
Μόλυβδος	29
Χαλαζίας, υαλοποιημένος	0,50

Υγρά

β

Αλκοόλη, αιθυλική (99%)	$1,01 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$
Ανθρακας τετραχλωριούχος	1,18
Αιθέρας	1,51
Βενζίνη	0,95
Γλυκερίνη	0,49
Ελαιόλαδο	0,68
Υδράργυρος	0,18

Θερμική διαστολή στερεών - υγρών



Σχήμα. Σύνδεσμοι διαστολής σε γέφυρα και στρέβλωση σιδηροδρομικής γραμμής.

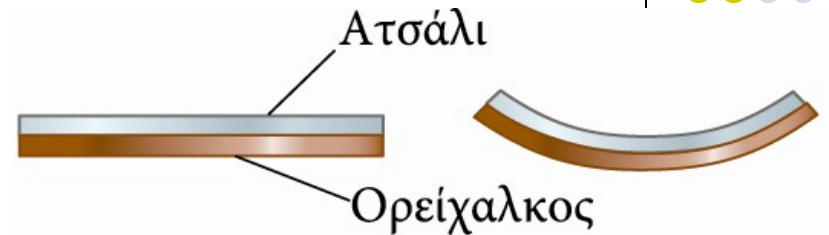
Διμεταλλικό έλασμα

Κάθε υλικό έχει το δικό του χαρακτηριστικό μέσο συντελεστή διαστολής.

Αυτό μπορούμε να το αξιοποιήσουμε στον μηχανισμό που φαίνεται στην εικόνα και ονομάζεται διμεταλλικό έλασμα

- Καθώς η θερμοκρασία του ελάσματος αυξάνεται, τα δύο μέταλλα διαστέλλονται κατά διαφορετικό μήκος.
- Το έλασμα κυρτώνει.

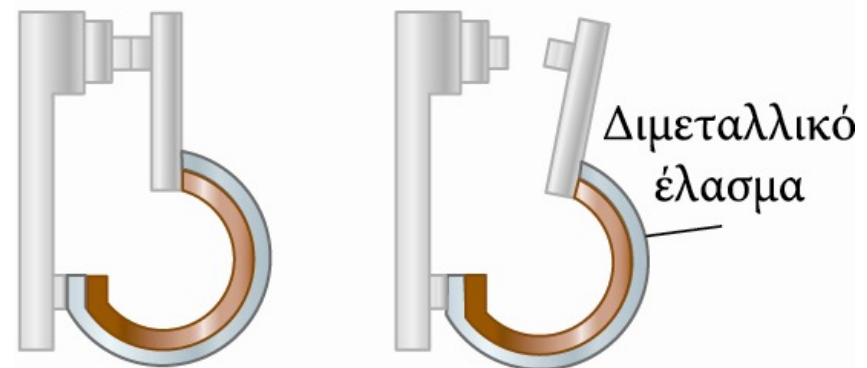
Ο μηχανισμός αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοστάτες.



Θερμοκρασία
δωματίου

Υψηλότερη
θερμοκρασία

α



Ανοιχτό 25°C

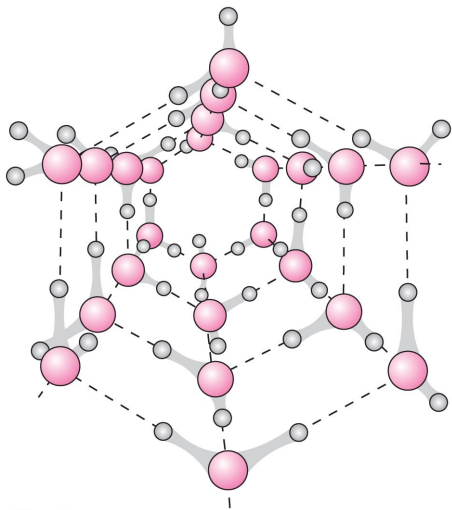
Κλειστό 30°C

β

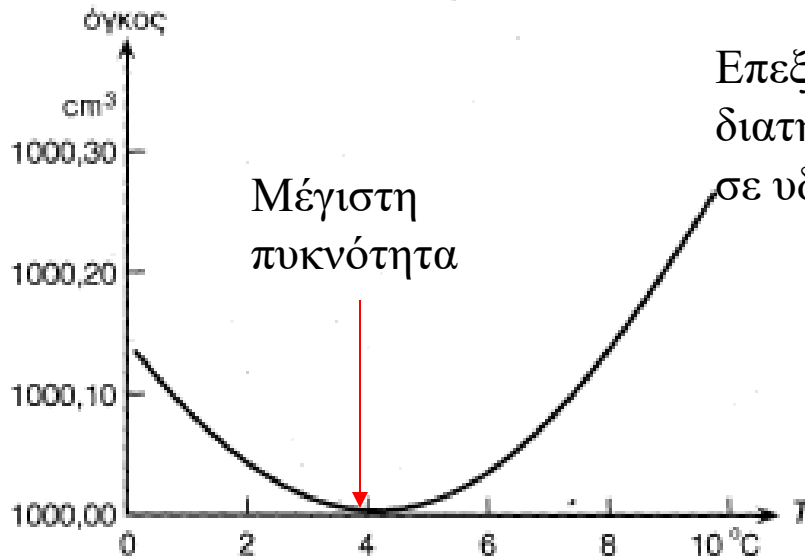
Η παράδοξη συμπεριφορά του νερού



- Μεταξύ 0°C και 4°C το νερό συστέλλεται όταν θερμαίνεται
 - Αυτό είναι ένα υπολειπόμενο αποτέλεσμα των δεσμών υδρογόνου που σχηματίζουν κρυστάλλους πάγου
 - Η ανοιχτή δομή του κρυστάλλου πάγου κάνει τον πάγο λιγότερο πυκνό από το υγρό νερό
 - Έτσι το «στερεό» νερό, σε αντίθεση με τις περισσότερες ουσίες, επιπλέει μέσα στην υγρή φάση του
 - Το γεγονός αυτό έχει τεράστιες επιδράσεις στην υδρόβια ζωή



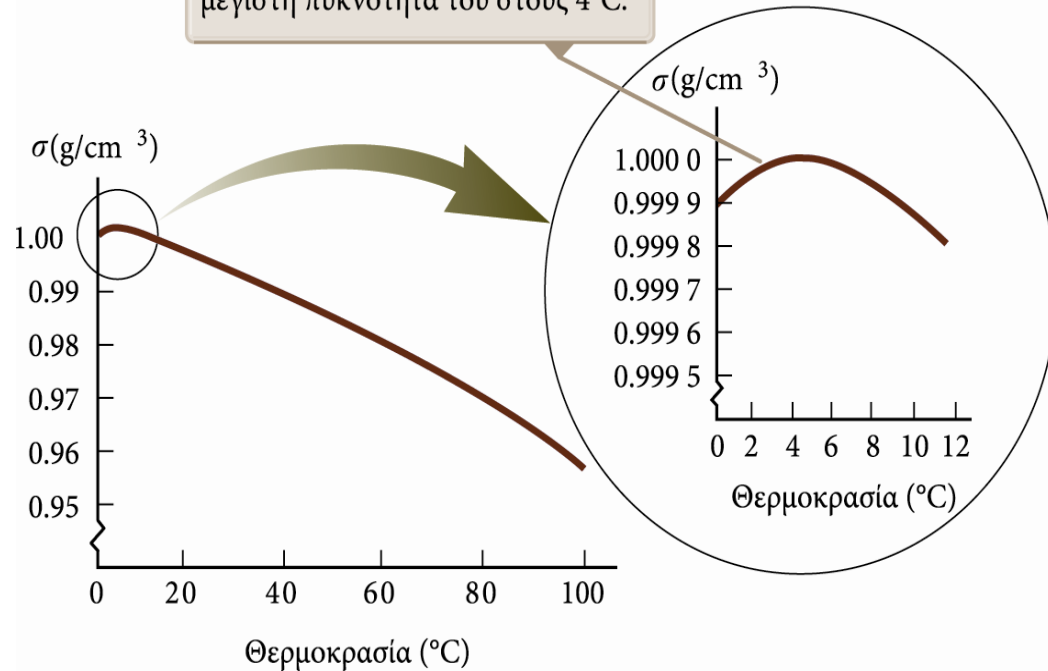
Θερμική διαστολή στερεών - υγρών



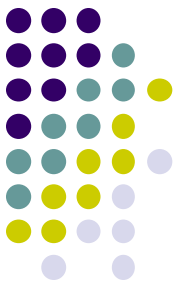
Επεξήγηση της ιδιομορφίας του νερού στη διατήρηση υδρόβιας ζωής και ισορροπίας σε υδάτινα συστήματα

Στο μεγεθυμένο τμήμα του γραφήματος φαίνεται ότι το νερό έχει τη μέγιστη πυκνότητά του στους 4°C.

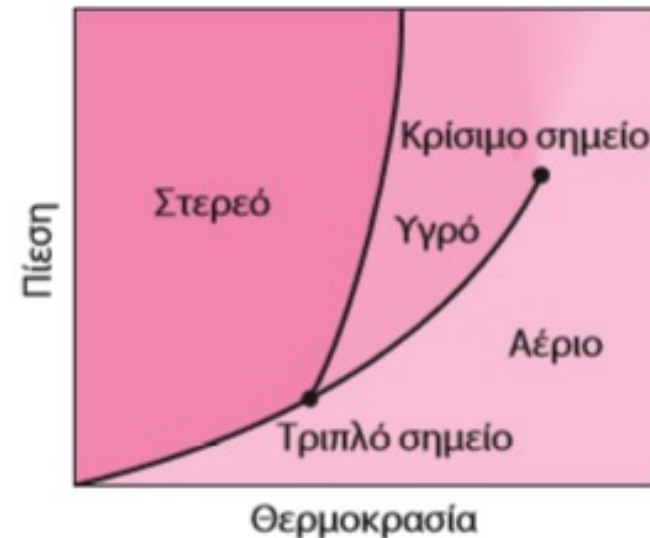
Σχήμα. Όγκος 1kg νερού συναρτήσει της θερμοκρασίας



Σύνοψη



- Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων συσχετίζει την πίεση, τον όγκο και τη θερμοκρασία: $pV = NkT$
 - Η σχέση της καταστατικής εξίσωσης των ιδανικών αερίων με τη Νευτώνεια μηχανική δείχνει ότι η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της μέσης τιμής της κινητικής ενέργειας των μορίων
- Οι αλλαγές φάσεις μεταβάλλουν τις ουσίες από στερεό σε υγρό, από υγρό σε αέριο, από στερεό σε αέριο και απαιτούν ενέργεια η οποία περιγράφεται ως λανθάνουσα
- Η δομή των φάσεων μιας ουσίας περιγράφεται σε ένα διάγραμμα φάσης
- Η θερμική διαστολή παρατηρείται με τη θέρμανση των περισσότερων ουσιών. Εξαίρεση αποτελεί το νερό σε θερμοκρασία μεταξύ 0°C και 4°C



Ερωτήσεις



1. Μπορεί η θερμότητα του σώματος από ένα πλήθος ανθρώπων να προκαλέσει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας ενός δωματίου;
2. Η φράση "κάνει τόσο κρύο που άρχισαν να πέφτουν οι «μπάλες» από τις «μαϊμούδες»", είναι ελεύθερη μετάφραση μιας ανάλογης φράσης που εχρησιμοποιείτο στο Αγγλικό Ναυτικό. "Μπάλες" ήταν οι (σφαιρικές) οβίδες των κανονιών και "μαϊμούδες" ήταν οι σκάρες αποθήκευσης τους, που είχαν ράφια κατασκευασμένα με παράλληλους σωλήνες, τοποθετημένους σε απόσταση λίγο μικρότερη από τη διάμετρο των οβίδων. Μπορείτε να μαντέψετε πώς οι μπάλες θα μπορούσαν να πέσουν από τις μαϊμούδες τους σε μια πολύ κρύα μέρα;
3. Πολλές φορές μπορείτε να ξεσφίξετε το μεταλλικό καπάκι ενός γυάλινου βάζου κρατώντας το για λίγο κάτω από ζεστό νερό. Εξηγήστε γιατί.
4. Στις ζεστές μέρες οι γέφυρες διαστέλλονται. Με ποιό τρόπο οι κατασκευαστές σχεδιάζουν τη γέφυρα, ώστε να αποφεύγεται το σκέβρωμα του οδοστρώματος από αυτή τη διαστολή;
5. Σε κανονικά διαστήματα, οι αγωγοί πετρελαίου έχουν εγκάρσιους βρόχους (σε σχήμα U· βλ. Σχ. 20.17). Ποιός είναι ο σκοπός αυτών των βρόχων;
6. Όταν ζεσταίνετε σούπα σ' ένα μεταλλικό δοχείο, πολλές φορές η σούπα φουσκώνει στο χείλος του δοχείου και πέφτει στο κέντρο. Γιατί;
7. Ένα τζάμι θα σπάσει όταν ζεσταθεί τοπικά. Γιατί;

Ερωτήσεις



9. Η συχνότητα με την οποία ακούγεται το "τικ-τακ" ενός μηχανικού ρολογιού εξαρτάται από τη ροπή αδρανείας του αντισταθμιστικού του τροχού. Εάν αυξηθεί η θερμοκρασία του ρολογιού, ο αντισταθμιστικός τροχός διαστέλεται και η ροπή αδρανείας του αυξάνει, με αποτέλεσμα το ρολόϊ να πάει πίσω. Τα καλά ρολόγια έχουν αυτορυθμιζόμενους, ως προς τη θερμοκρασία, τροχούς έτσι, ώστε η ροπή αδρανείας να παραμένει σταθερή. Σχεδιάστε ένα τέτοιο αντισταθμιστικό τροχό, χρησιμοποιώντας δύο μέταλλα με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής.
10. Υποθέστε ότι ένα κομμάτι μέταλλο και ένα κομμάτι ξύλο βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Γιατί, στην αφή, το μέταλλο φαίνεται ψυχρότερο από το ξύλο;
16. Ένα μεγάλο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται από ένα σπίτι, ξεφεύγει από τα παράθυρα (Σχ. 20.18). Η θερμότητα μεταφέρεται στο παράθυρο (τζάμι) με μεταφορά – ο θερμός αέρας από την οροφή κατέρχεται κατά μήκος των παραθύρων, μεταβιβάζοντας τη θερμότητα του. Υποθέστε ότι τα παράθυρα είναι εφοδιασμένα εσωτερικά με περσίδες (βενετικά στορ). Για να ελαχιστοποιήσετε την απώλεια θερμότητας, θα πρέπει να κλείσετε τις περσίδες έτσι, ώστε οι γρίλιες να έχουν κλίση προς τα κάτω ή προς τα πάνω;
26. Εάν ξεφουσκώνετε ένα ελαστικό αυτοκινήτου, ο αέρας που βγαίνει από τη βαλβίδα είναι ψυχρός. Γιατί;
28. Ο αέρας κοντά στην κορυφή ενός βουνού είναι συνήθως ψυχρότερος από τον αέρα κοντά στους πρόποδες. Εξηγήστε αυτό το φαινόμενο θεωρώντας την αδιαβατική διαστολή μιας μάζας αέρα που φέρεται από τους πρόποδες προς την κορυφή από ένα ρεύμα αέρα.