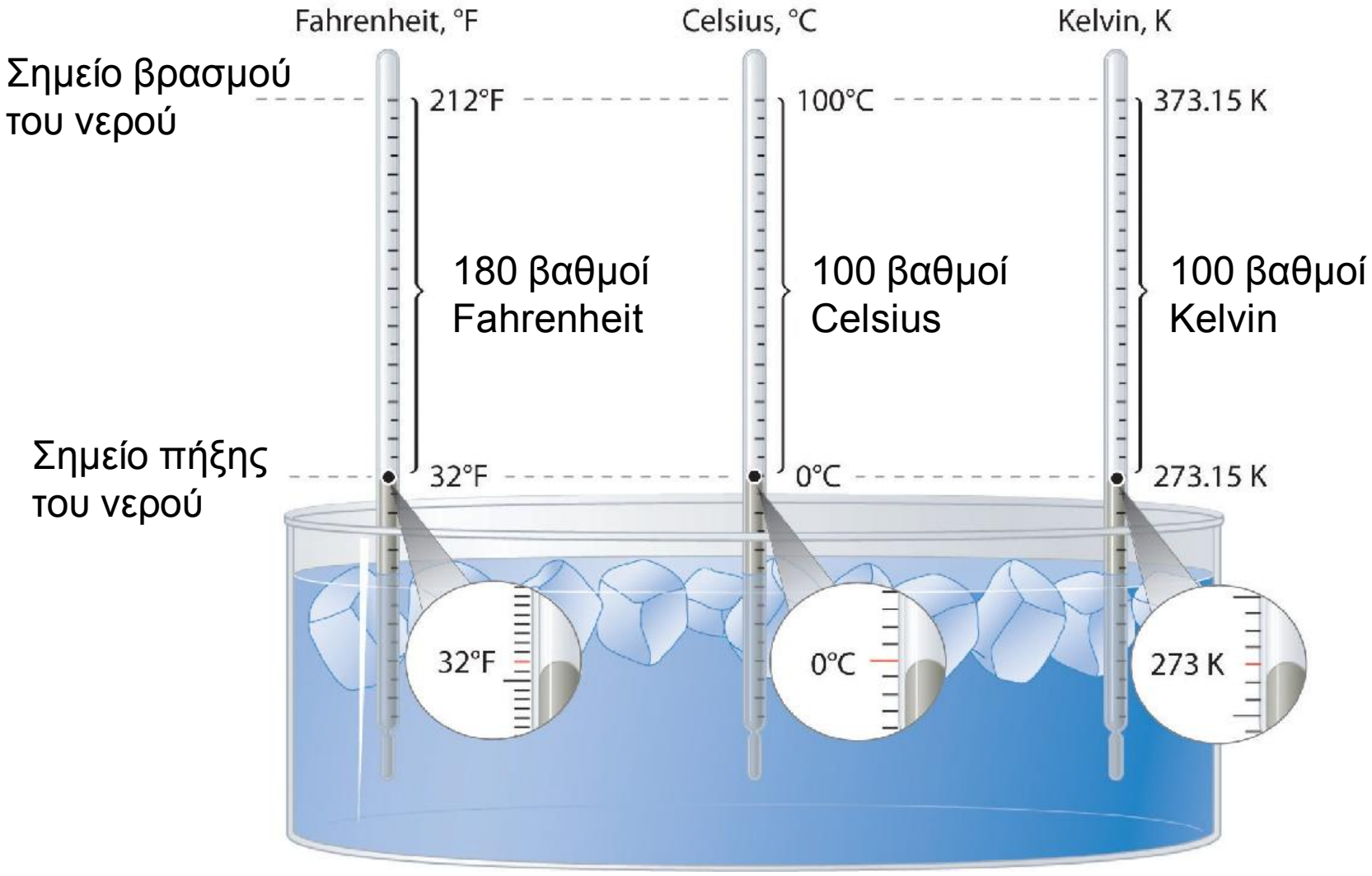
Θερμοκρασία - Θερμότητα

(Θερμοκρασία / Θερμική διαστολή / Ποσότητα θερμότητας / Θερμοχωρητικότητα / Θερμιδομετρία / Αλλαγή φάσης)

Θερμοκρασία

- Ποσοτικοποιεί την αντίληψή μας για το πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα.
- Μετριέται με τη βοήθεια μιας σειράς διαφορετικών κλιμάκων (Celsius, Fahrenheit, Kelvin=απόλυτη θερμοκρασία) που ορίζονται με τη βοήθεια δύο συγκεκριμένων θερμοκρασιών.

Οι τρείς κλίμακες



Διάφορες τιμές θερμοκρασίας

Θερμοκρασία	*Κελσίου (°C)*	*Κέλβιν (K)*	*Φαρενάιτ (°F)*
Υγροποίηση ηλίου (He)	–269	4,2	–452
Υγροποίηση αζώτου	–196	77	–321
Ξηρός πάγος (πήξη CO_2)	–78	195	–108
Σημείο πήξης νερού	0	273	32
Ανθρώπινο σώμα (εσωτερικό)	37	310	98,6
Σημείο βρασμού του νερού	100	373	212
Φλόγα φυσικού αερίου	1.630	1.900	2.970
Επιφάνεια του ήλιου	5.730	6.000	10.350
Κέντρο της Γης	15.700	16.000	28.300
Κέντρο του Ήλιου	10^7	10^7	$1{,}8 \times 10^7$

Άσκηση

- Δείξτε ότι η σχέση μεταξύ των ενδείξεων θερμοκρασίας σε Celsius και Fahrenheit είναι:

$$\vartheta_F = \frac{9}{5}\vartheta_C + 32$$

μεταξύ Celsius και Kelvin είναι:

$$T_K = \vartheta_C + 273{,}15$$

και μεταξύ Fahrenheit και Kelvin είναι:

$$\vartheta_F = \frac{9}{5}T_K - 459{,}67$$

Άσκηση

- Ποια θερμοκρασία, στην κλίμακα Celcius, είναι ίδια σε τιμή με μια θερμοκρασία στην κλίμακα Fahrenheit;
- Ποια θερμοκρασία, στην κλίμακα Kelvin, είναι ίδια σε τιμή με μια θερμοκρασία στην κλίμακα Fahrenheit;

Είδη Θερμομέτρων

- Υδραργυρικό.
- Θερμόμετρα αντιστάτη.
- Θερμόμετρα αερίου.
- Θερμόμετρα αλκοόλης.
- Θερμόμετρα διμεταλλικού ελάσματος

Θερμική διαστολή (γραμμική)

- Στο κλασικό υδραργυρικό θερμόμετρο η μέτρηση της θερμοκρασίας βασίζεται στο φαινόμενο της θερμικής διαστολής.
- Για μια ράβδο μήκους *L*, μια αύξηση θερμοκρασίας κατά Δ*T*, προκαλεί αύξηση μήκους κατά Δ*L* που είναι:

$$\Delta L = a \cdot L \cdot \Delta T$$

όπου *α* ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του υλικού.

Συντελεστές γραμμικήςδιαστολής

Υλικό	*Συντελεστής γραμμικής διαστολής (10^{-6}/°C)*
Στερεά	α
Χαλαζίας	0,4
Γυαλί	9
Ατσάλι	12
Αλουμίνιο	24
Μόλυβδος	29
Πάγος	51

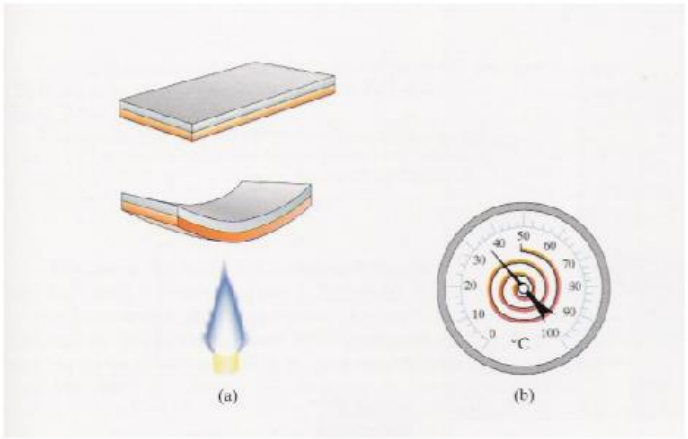
Άσκηση

- Δείξτε ότι μια ράβδος μήκους που έχει μήκος L_0 σε θερμοκρασία 0° C θα έχει σε θερμοκρασία θ μήκος L_θ που θα δίνεται από τη σχέση:

$$L_\vartheta = \left(1 + a \cdot \vartheta\right) L_0$$

Θερμόμετρα με διμεταλλικό έλασμα

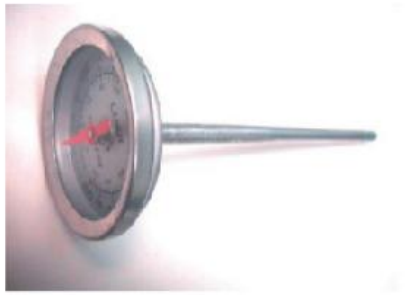
- Τα θερμόμετρα αυτά αποτελούνται από δύο μέταλλα με διαφορετικούς συντελεστές γραμμικής διαστολής που είναι ενωμένα μεταξύ τους.



Κάμψη λόγω διαφοράς συντελεστή διαστολής







Θερμική διαστολή (κυβική)

- Στην περίπτωση της γραμμικής διαστολής το στερεό μας είχε μια διάσταση πολύ μεγαλύτερη από τις άλλες.
- Αυτό είχε ως συνέπεια (εξαιτίας του γεγονότος ότι $\Delta L \propto L$) η διαστολή σε μια διεύθυνση να είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στις άλλες διευθύνσεις.

Κυβική διαστολή

- Στην γενικότερη όμως περίπτωση, όπου έχουμε ένα στερεό όγκου *V* (π.χ. έναν κύβο ακμής *L*), θα έχουμε κατά τη θέρμανση μια αύξηση του όγκου κατά Δ*V* που είναι:

$$V + \Delta V = \left(L + \Delta L \right)^3 = L^3 \cdot \left(1 + \frac{\Delta L}{L} \right)^3$$

$$= L^3 \cdot \left(1 + a \cdot \Delta \vartheta \right)^3 = V \cdot \left(1 + a \cdot \Delta \vartheta \right)^3$$

Κυβική διαστολή

- Χρησιμοποιώντας τώρα την προσέγγιση

$$(1+x)^n \simeq 1+n\cdot x$$

που ισχύει όταν $x \ll 1$ προκύπτει

$$V+\Delta V = V\cdot(1+a\cdot\Delta\vartheta)^3 \simeq$$

$$V\cdot(1+3\cdot a\cdot\Delta\vartheta) = V+3\cdot a\cdot V\cdot\Delta\vartheta$$

δηλαδή

$$\Delta V = 3\cdot a\cdot V\cdot\Delta\vartheta$$

β: Συντελεστής κυβικής διαστολής

Άσκηση

- Ένας κύβος αλουμινίου θερμαίνεται από τους 20° C στους 100 ° C και η ακμή του διαστέλλεται κατά 0,19 mm. Ποια η διαστολή του όγκου του; Ποιο το ποσοστό αύξησης του όγκου του; Δίνεται ο συντελεστής γραμμικής διαστολής για το αλουμίνιου ίσος με 24×10^{-6} 1/° C.

Άσκηση

- Μελετήστε το φαινόμενο της επιφανειακής διαστολής, δηλαδή της αύξησης του εμβαδού μιας πολύ λεπτής πλάκας σχήματος τετραγώνου με πλευρά ίση με *L* όταν αυτή θερμαίνεται. Εντοπίστε τις ομοιότες με τους νόμους που ισχύουν για την γραμμική και κυβική διαστολή.

Άσκηση

- Η κάψα ενός υδραργυρικού θερμομέτρου έχει σφαιρικό σχήμα και έχει όγκο V_0 σε θερμοκρασία 0° C. Ο σωλήνας του θερμομέτρου έχει εμβαδόν διατομής A_0 στην ίδια θερμοκρασία, ενώ ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του γυαλιού είναι α_γ. Αν ο υδράργυρος στους 0 ° C γεμίζει ακριβώς τη γυάλινη κάψα του θερμομέτρου, να υπολογίσετε πόσο θα ανέβει στο σωλήνα όταν η θερμοκρασία γίνει θ° C. Δίνεται ο συντελεστής κυβικής διαστολής $\beta_{υδρ}$ για τον υδράργυρο.

Διαστολή οπών

- Η διαστολή ενός σώματος μοιάζει σαν να έχουμε μια φωτογραφία του σώματος την οποία μεγεθύνουμε.



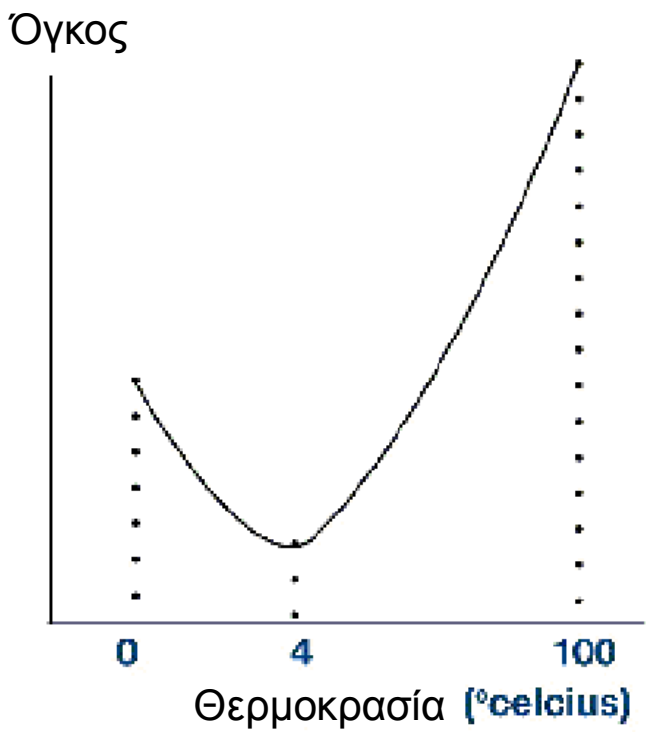
- Αυτό σημαίνει ότι και οπές που υπαρχουν στο σώμα μεγεθύνονται.

Άσκηση

- Μπορούμε να περάσουμε μια ατσάλινη βίδα διαμέτρου 0,6 cm σε μια οπή πλάκας από αλουμούνιο διαμέτρου 0,5988 cm; Σε ποια θερμοκρασία θα πρέπει να βρίσκεται η πλάκα και πόση θα είναι η διάμετρος της οπής; Δίνονται οι συντελεστές θερμικής διαστολής για το αλουμίνιο 24×10^{-6} 1/°C και για το ατσάλι 12×10^{-6} 1/°C.

Η περίπτωση της διαστολής του νερού

- Το νερό έχει μια σημαντική ιδιαιτερότητα κατά τη διαστολή του.
- Πιο συγκεκριμένα, ξεκινώντας από τους 0° C και μέχρι τους 4° C το νερό συστέλλεται αντί να διαστέλλεται, ενώ από εκεί και μετά συμπεριφέρεται με τυπικό τρόπο.

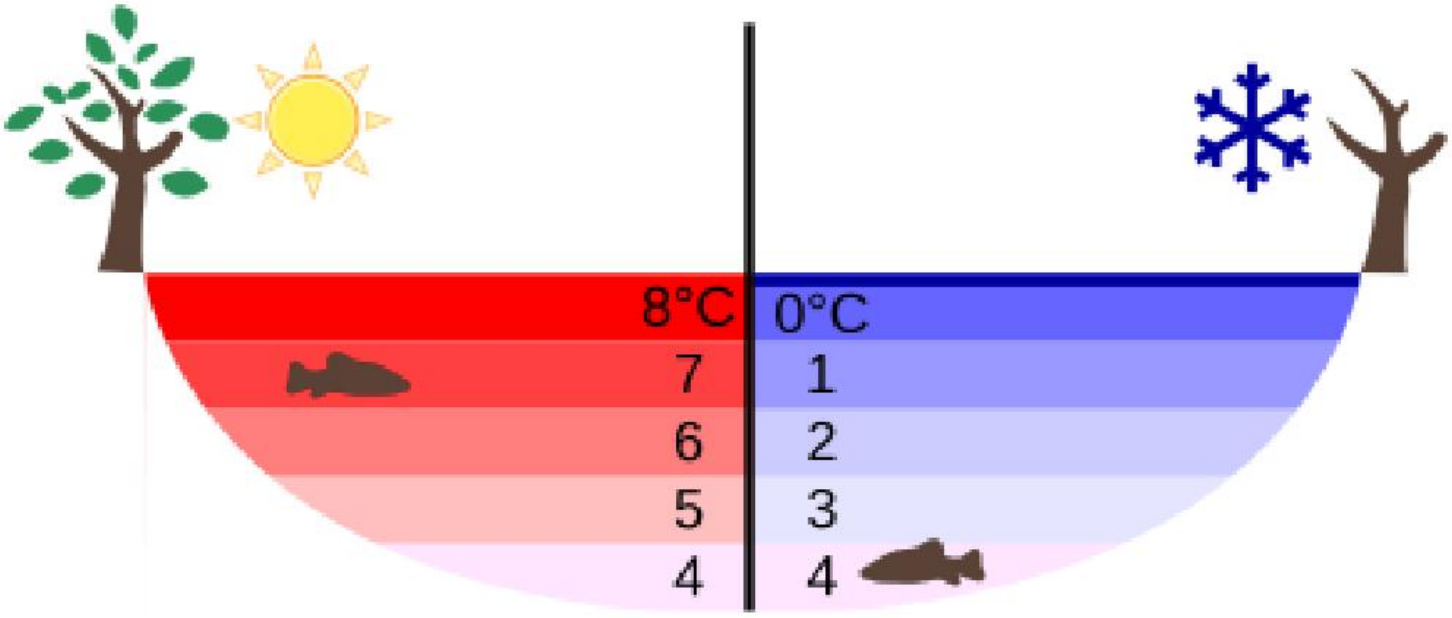


Η περίπτωση του νερού

- Αυτό σημαίνει ότι σε αυτή την περιοχή θερμοκρασίων (0° C μέχρι 4° C) η πυκνότητα του νερού αυξάνεται (στους 4° C έχουμε τη μέγιστη πυκνότητα).
- Όταν λοιπόν η θερμοκρασία πέσει στους 0° C ή πιο κάτω, τότε θα σχηματιστέι ένα στρώμα πάγου το οποίο θα παραμείνει στην επιφάνεια αφού έχει μικρότερη πυκνότητα με συνέπεια από κάτω το νερό να διατηρείται σε υγρή μορφή.

Η περίπτωση του νερού

- Σχηματικά

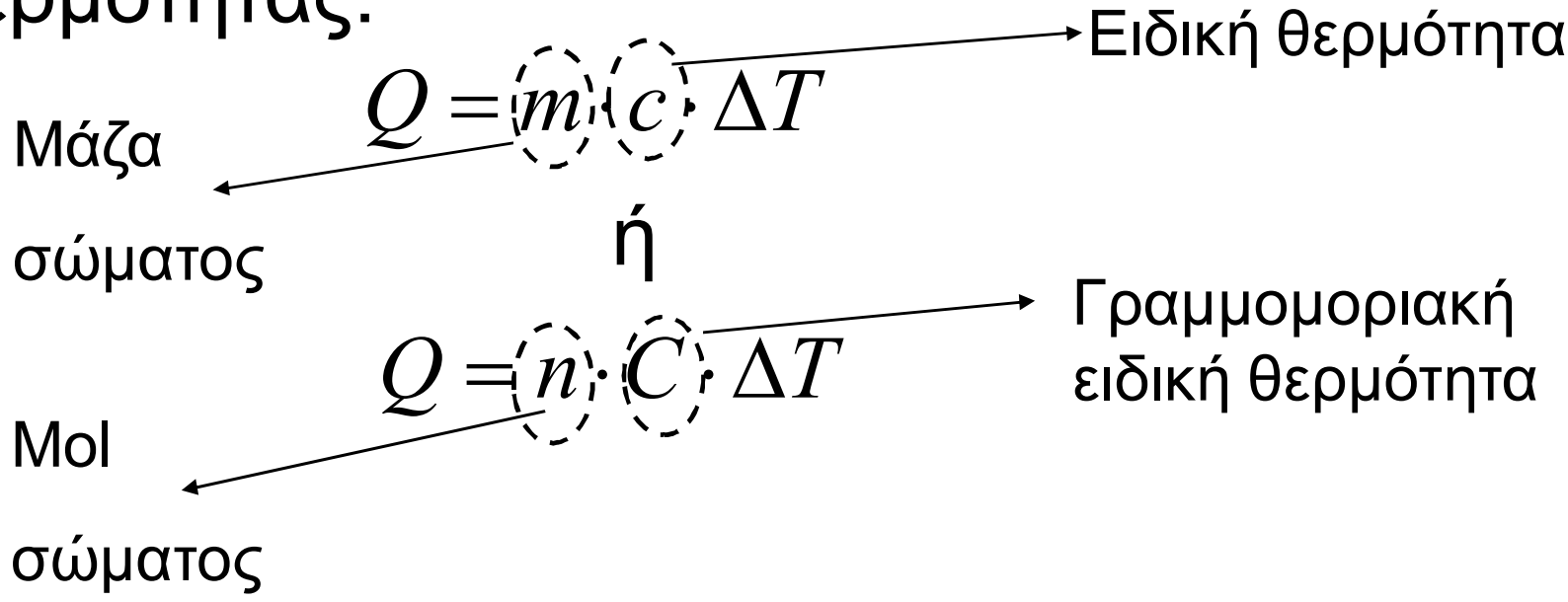


Θερμότητα

- Μορφή ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.
- Είναι ο δεύτερος τρόπος μεταφοράς ενέργειας (ο άλλος είναι το έργο).
- Συμβολίζεται με *Q* και έχει ως μονάδα το 1 Joule.
- Άλλες μονάδες (με ευρεία χρήση στην τεχνολογία) είναι το 1 cal (1 cal = 4,186 J) η θερμίδα 1 Cal = 1 kcal = 4186 J και η βρετανική θερμική μονάδα 1 BTU = 1055 J.

Βασική εξίσωση

- Εφόσον ΔΕΝ συμβαίνει αλλαγή φάσης, τότε αν παρατηρήσω σε ένα σώμα αλλαγή θερμοκρασίας ίση με ΔT, στο σώμα θα έχει μεταφερθεί ενέργεια με μορφή θερμότητας:



Ειδική θερμότητα

- Η ειδική θερμότητα (θερμοχωρητικότητα) εξαρτάται από το σώμα αλλά και από τη θερμοκρασία.
- Την εξάρτηση όμως από τη θερμοκρασία συνήθως την αγνοούμε.
- Πρόκειται για ένα εξαιρετικά σημαντικό μέγεθος καθώς όπως θα δούμε η μέτρησή του μπορεί να μας δώσει στοιχεία για τη δομή του υλικού μας.
- Δείχνει το πόσο δύσκολα ή εύκολα (πόση θερμότητα απαιτείται) μπορεί να θερμανθεί (ή να ψυχθεί) ένα σώμα.

Ειδική θερμότητα

Ουσία	Ειδική θερμότητα, c (J/kg·K)	M (kg/mol)	Γραμμομοριακή ειδική θερμότητα, C (J/mol·K)
Αργίλιο	910	0,0270	24,6
Βηρύλλιο	1970	0,00901	17,7
Χαλκός	390	0,0635	24,8
Αιθανόλη	2428	0,0460	112,0
Αιθυλενογλυκόλη	2386	0,0620	148,0
Πάγος	2000	0,0180	36,5
Σίδηρος	470	0,0559	26,3
Μολυβδος	130	0,207	26,9
Μάρμαρο ($CaCO_3$)	879	0,100	87,9
Υδράργυρος	138	0,201	27,7
Αλάτι (NaCl)	879	0,0585	51,4
Αργυρος	234	0,108	25,3
Νερό	4190	0,0180	75,4

Άσκηση

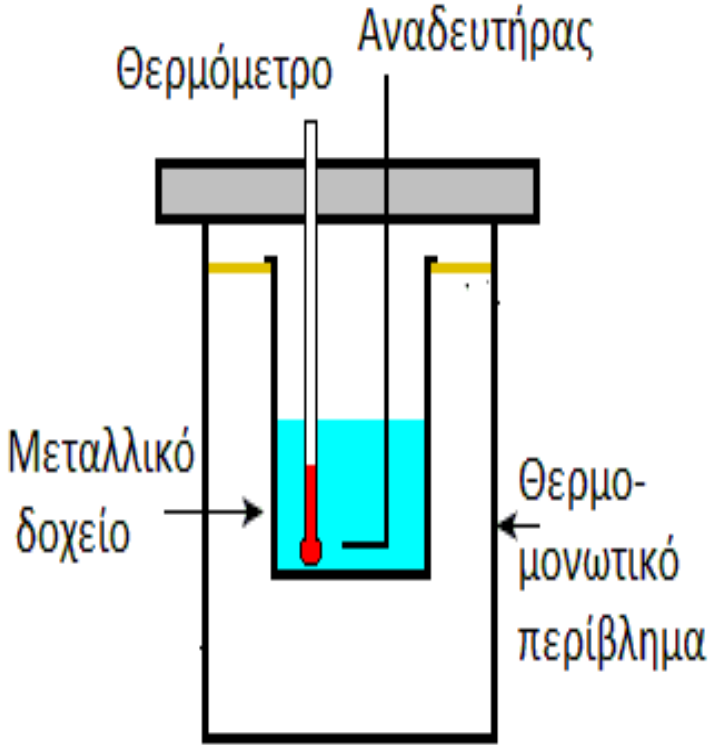
- Δείξτε, χρησιμοποιώντας τις δύο εκφράσεις για τη θερμότητα που προσφέρεται σε ένα σώμα, ότι η σχέση μεταξύ της ειδικής θερμότητας (*c*) και της γραμμομοριακής ειδικής θερμότητας (*C*) είναι:

$$c = \frac{C}{M_r}$$

όπου M_r είναι η σχετική μοριακή μάζα της ουσίας.

Θερμιδόμετρα

- Είναι όργανα με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να μετράμε ποσά θερμότητας.
- Αποτελείται από μεταλλικό δοχείο που περιέχει ορισμένη ποσότητα νερού την θερμοκρασία του οποίου μπορούμε να μετράμε με θερμόμετρο.
- Θερμομονωτικό τοίχωμα που ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον.



- Λειτουργεί τοποθετώντας στο εσωτερικό του ένα σώμα σε γνωστή θερμοκρασία και καταγράφοντας την τελική θερμοκρασία στην οποία «ισορροπεί» το σύστημα.

Άσκηση

- Σώμα άγνωστης ειδικής θερμότητας (c_x) μάζας (m_x) και αρχικής θερμοκρασίας (T_x) βυθίζεται σε χάλκινο δοχείο με νερό. Το νερό έχει μάζα (m_w) ειδική θερμότητα (c_w) και αρχική θερμοκρασία (T_0) ενώ το δοχείο βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία με το νερό και έχει μάζα (m_{Cu}) και ειδική θερμότητα (c_{Cu}). Ρίχνουμε το σώμα μέσα στο δοχείο με το νερό και τελικά το σύστημα ισορροπεί σε θερμοκρασία T. Υπολογίστε το c_x.

  Θεωρήστε ότι το σύστημα των τριών σωμάτων (σώμα, νερό, δοχείο) είναι θερμικά μονωμένο από το περιβάλλον.

Άσκηση

- Δοχείο από αργίλιο μάζας 0,5 kg περιέχει 0,13 kg νερού στους 20° C. Ρίχνουμε μέσα στο νερό ένα κομμάτι σιδήρου μάζας 0,2 kg που αρχικά βρίσκεται στους 75° C. Υπολογίστε την τελική θερμοκρασία.
- $C_{\alpha\rho\gamma\iota\lambda\acute{\iota}ου}$ =24,57 J/mol·K, $M_r^{\alpha\rho\gamma\iota\lambda\acute{\iota}ου}$ = 0,027 kg/mol
- $c_{\nu\epsilon\rho\circ\acute{\upsilon}}$ = 4190 J/kg·K
- $c_{\sigma\iota\delta\acute{\eta}\rho\circ\upsilon}$= 470 J/kg·K

Άσκηση

- Βάζουμε 1 L τσαγιού (πυκνότητας και ειδικής θερμότητας ίσης με αυτή του νερού δηλ. 1 g/ml και 1 cal/g·grad αντιστοίχως) θερμοκρασίας 100°C, σε επενδυμένη με γυαλί φιάλη θερμός, που βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου (20 °C). Εάν η γυάλινη φιάλη έχει μάζα 0,2 kg, βρείτε την τελική θερμοκρασία του τσαγιού στο σφραγισμένο θερμός θεωρώντας τη ειδική θερμότητα του γυαλιού ίση με 0,2 cal/g·grad.

Θερμότητα στις αλλαγές φάσης

- Γνωρίζουμε ότι στις αλλαγές φάσης (π.χ. βρασμός) η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται.
- Παρόλ’ αυτά θερμότητα μεταφέρεται στο σώμα καθόλη τη διάρκεια του βρασμού.
- Η προσφερόμενη θερμότητα (ενέργεια) χρησιμεύει για να διασπαστούν οι δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού.

Θερμότητα στις αλλαγές φάσης

- Η εξίσωση $Q = mc\Delta T$ είναι προφανώς ανεπαρκής για να υπολογίσει το ποσό θερμότητας σε μια αλλαγή φάσης.
- Τήξη-πήξη: $Q_T = \pm L_T \cdot m$
- Βρασμός-συμπύκνωση: $Q_E = \pm L_E \cdot m$
- Εξάχνωση-απόθεση: $Q_s = \pm L_s \cdot m$

  όπου L_T , L_E και L_s οι λανθάνουσες θερμότητες τήξης, βρασμού και εξάχνωσης αντιστοίχως με μονάδα το 1 J/kg.

Λανθάνουσες Θερμότητες

Υλικό	Σημείο τήξης (°C)	Θερμότητα τήξης		Σημείο βρασμού (°C)	Θερμότητα εξαέρωσης	
		(kJ/kg)	(kcal/kg)		(kJ/kg)	(kcal/kg)
Ήλιο	–	–		–269	25	6
Άζωτο	–210	25,7	6,1	–195,8	200	48
Αιθυλική αλκοόλη	–114	104	24,8	78	854	204
Υδράργυρος	–39	11,3	2,7	357	296	71
Νερό	0	333	79,7	100	2.260	539
Διοξείδιο του άνθρακα	–79	Εξαχνώνεται		–	578	138
Αλουμίνιο	660	399	95,3	2.467	10.550	2.520
Βολφράμιο	3.410	184	44	5.660	4.940	1.180

Άσκηση

- Σε ένα κομμάτι πάγου μάζας 100 g και αρχικής θερμοκρασίας -20° C προσφέρεται θερμότητα με σταθερό ρυθμό.

Α) Να γίνει το διάγραμμα της μεταβολής της θερμοκρασίας με το χρόνο μέχρι ο πάγος να γίνει ατμός θερμοκρασίας 150° C.

Β) Ποια τα ποσά θερμότητας που πρέπει να προσφερθούν στα διάφορα στάδια της θέρμανσης;

Γ) Υπάρχουν χρονικά διαστήματα όπου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Ποια η φαινόμενη θερμοχωρητικότητα σε αυτά;

Άσκηση (συνέχεια)

Δ) Σχεδιάστε το διάγραμμα της θερμότητας που προσφέρεται στο σύστημα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

Δίνονται οι προσεγγιστικές τιμές για τις ειδικές θερμότητες και τις λανθάνουσες θερμότητες:

$c_{\text{πάγου}}$ = 2000 J/Kg·°C

$c_{\text{νερού}}$= 4000 J/Kg·°C

$c_{\text{ατμού}}$= 2000 J/Kg·°C

$L_{\text{τήξης}}$ = 330.000 J/Kg

$L_{\text{εξάτμισης}}$= 2.200.000 J/Kg

Άσκηση

- Ρίχνουμε ένα κομμάτι πάγου μάζας m_{π}, που βρίσκεται σε θερμοκρασία 0°C, μέσα σε ένα δοχείο (θερμιδόμετρο) που περιέχει νερό μάζας m_{ν} σε θερμοκρασία θ_1. Αν το σύστημα καταλήγει σε θερμοκρασία θ_2 (με τον πάγο να έχει λιώσει) υπολογίστε την λανθάνουσα θερμότητα τήξης του πάγου.
- Μπορείτε να προτείνετε ένα τρόπο για να μετρήσουμε τη θερμότητα συμπύκνωσης του νερού;

Άσκηση

- Ένα χάλκινο δοχείο (θερμιδόμετρο) μάζας 100 g περιέχει 150 g νερού και 8 g πάγου σε θερμική ισορροπία στους 0 °C. 100 g μολύβδου, θερμοκρασίας 200 °C ρίχνονται μέσα στο θερμιδόμετρο. Υπολογίστε την τελική θερμοκρασία του συστήματος αν υποθέσουμε ότι θερμότητα δεν διαφεύγει προς το περιβάλλον.

  Δίνονται: $c_{\text{πάγου}}$ = 2300 J/Kg·°C c_{χ}= 390 J/Kg·°C $c_{\text{νερού}}$= 4190 J/Kg·°C $c_{\text{μολύβδου}}$= 130 J/Kg·°C $L_{\text{τήξης}}$ = 333.000 J/Kg

Άσκηση

- Ένα θερμιδόμετρο περιέχει 500 g νερού και 300 g πάγου που βρίσκονται μσε θερμοκρασία 0 °C. Ένα κομμάτι μετάλλου μάζας 1000 g που μόλις έχει βγεί από φούρνο που βρίσκεται σε θερμοκρασία 240 °C βυθίζεται αμέσως στο θερμιδόμετρο με αποτέλεσμα όλη η μάζα του πάγου οριακά να μετατρέπεται σε υγρό. Ποια θα ήταν η τελική θερμοκρασία του συστήματος αν το κομμάτι του μετάλλου είχε διπλάσια μάζα; Αγνοήστε τη θερμοχωρητικότητα του θερμιδομέτρου και υποθέστε ότι δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον.

  Δίνονται: $c_{\text{πάγου}}$ = 2300 J/Kg·°C $c_{\text{νερού}}$= 4190 J/Kg·°C $L_{\text{τήξης}}$ = 333.000 J/Kg.