

ΦΥΣΙΚΗ

- **Θερμοδυναμική**

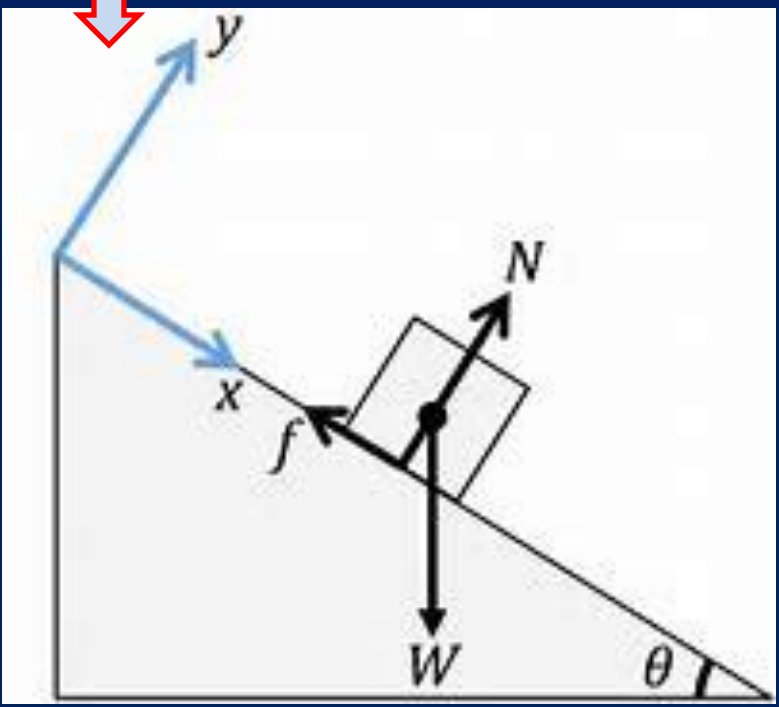
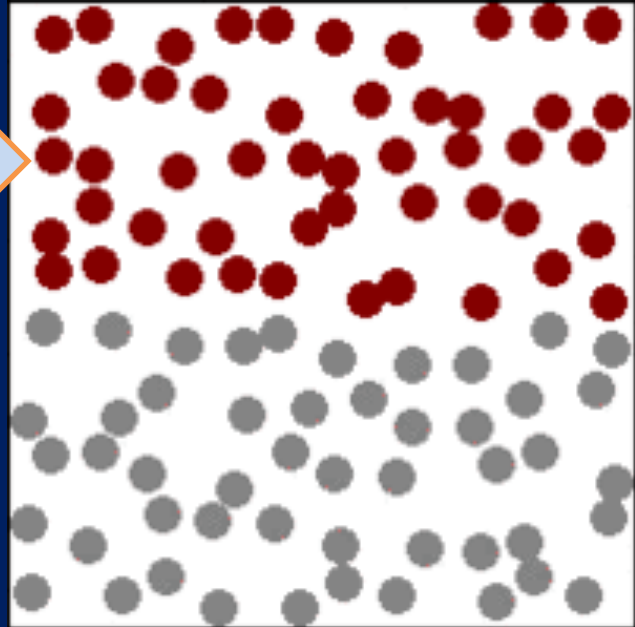
- Νίκος Παπανδρέου

parandre@aia.gr

- Εργαστήριο Φυσικής

- **ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΤΕ -
ΣΥΜΜΕΤΕΧΕΤΕ ΣΤΟ e-class !!!!**

Μηχανική και Θερμοδυναμική



κεκλιμένο επίπεδο:
σώμα ~ υλικό σημείο, στο οποίο
επιδρούν τρεις δυνάμεις
μπορούμε να προβλέψουμε θέση και
ταχύτητα του σώματος

Αέριο σε δοχείο: δεν μας βοηθά
η γνώση θέσης-ταχύτητας κάθε
σωματιδίου.
Μακροσκοπικές μεταβλητές:
Όγκος – Πίεση – Θερμοκρασία
 V P T
Καταστατικές μεταβλητές
περιγράφουν μία μακροσκοπική
(θερμοδυναμική) κατάσταση

Καταστατικές Μεταβλητές

Περιγράφουν την μακροσκοπική κατάσταση ενός συστήματος σωμάτων,
ανεξάρτητα από τις προηγούμενες καταστάσεις του (ανεξάρτητα από την ιστορία του)

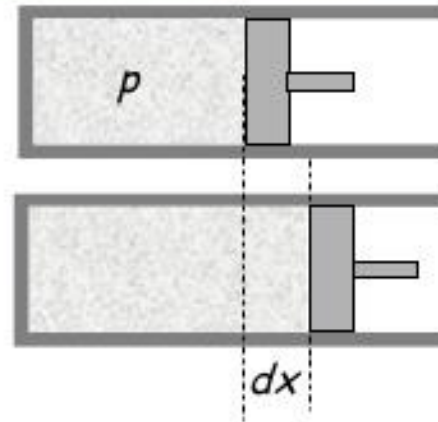
Π.χ. Πίεση – Όγκος – Θερμοκρασία
 P V T

Κίνηση → μεταβολή του όγκου → παραγωγή έργου

Work done by gas volume change

A gas with pressure p expands by pushing a piston by a distance dx

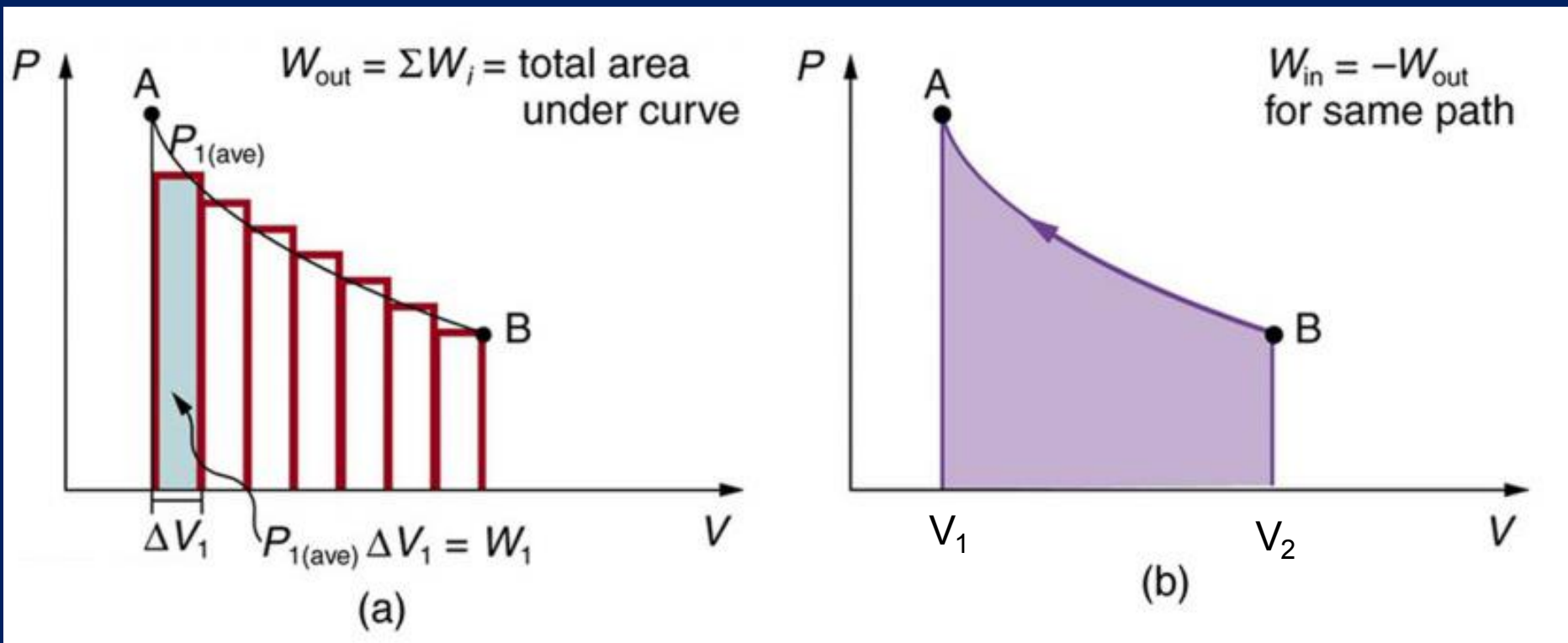
Force by gas on piston $F = pA$
(A = area of the piston)



Work by gas: $dW = pA dx = p dV$

As volume goes from V_i to V_f $W = \int_{V_i}^{V_f} p dV$

ολοκλήρωμα = άθροισμα έργων για στοιχειώδεις μεταβολές dV



Το έργο ΔΕΝ είναι καταστατική μεταβλητή
Εξαρτάται από την διαδρομή

Πρόσημο του W - σύμβαση

- Όταν εκτελείται έργο επί του συστήματος (πχ συμπίεση, οπότε μετάβαση από V_2 προς V_1), $W < 0$
- Όταν το σύστημα παράγει έργο προς το περιβάλλον (πχ εκτόνωση, οπότε μετάβαση από V_1 προς V_2), $W > 0$

PHYSICS-ANIMATIONS.COM



Θερμοδυναμική

Θερμοδυναμικά Συστήματα:
μεγάλος αριθμός σωματιδίων
(τυπικά $\sim 10^{24}$ και πάνω) πχ
ατμόσφαιρα, δοχεία με υγρά,
ωκεανοί, μηχανές

Αριθμός Avogadro

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} =$$

αριθμός σωματιδίων σε 1 mole

Αλληλεπίδραση

Θερμοδυναμικών Συστημάτων:
ανταλλαγή μάζας και ενέργειας

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Θερμοκρασία - Οός Νόμος - Θερμότητα - Θερμιοδυναμική

Αλλαγές φάσης - Μετάδοση Θερμότητας

ΣΧΕΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Ιδανικό Αέριο - 1ος Νόμος - Εσωτερική Ενέργεια

ΑΠΟ ΤΟΝ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ ΣΤΟΝ ΜΑΚΡΟΚΟΣΜΟ

Εντροπία - 2ος Νόμος - Στατιστική Φυσική

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ

Ενθαλπία - Ελεύθερη Ενέργεια

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Θερμικές Μηχανές - Αντλίες Θερμότητας

**Θερμοκρασία: ποσοτικό μέτρο της εσωτερικής
κινητικής ενέργειας ενός σώματος (δηλ εκτός της
όποιας συλλογικής κίνησης)**

**Πρωταρχικό μέγεθος, βασίζεται στις αισθήσεις μας
(ζεστό – κρύο)**

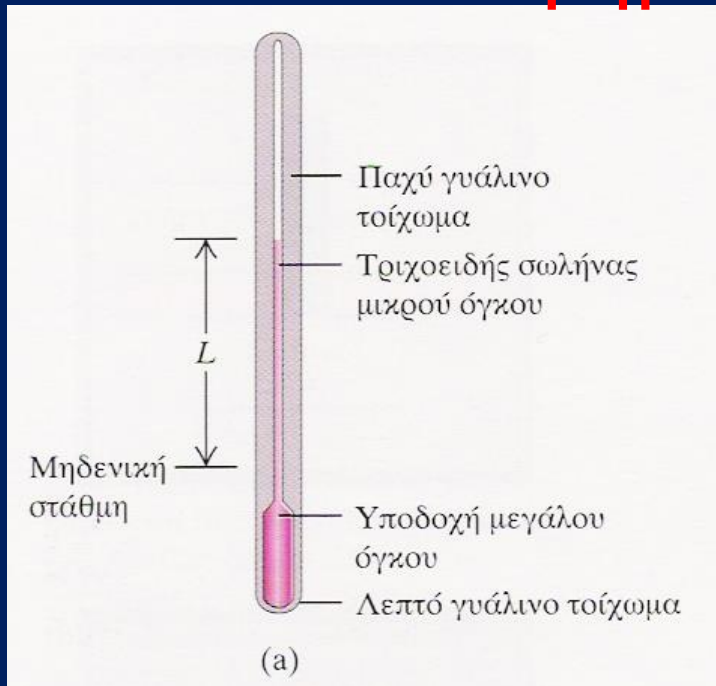
Σώματα σε θερμική επαφή: Μεταφορά θερμότητας
(ενέργειας): θερμότερο \rightarrow ψυχρότερο

Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ σωμάτων σταματά όταν
εξισωθούν οι θερμοκρασίες (θερμική ισορροπία)

Μέτρηση Θερμοκρασίας - Θερμόμετρα

Με τη χρήση ενός όργανου μέτρησης (θερμομέτρου), μπορεί κανείς να καθορίσει χωριστά μια ιδιότητα του κάθε αντικειμένου (τη θερμοκρασία του), προκειμένου να γνωρίζει αν θα γίνει ανταλλαγή θερμότητας όταν τα δύο αντικείμενα έρθουν σε θερμική επαφή.

Διαστολή υγρού

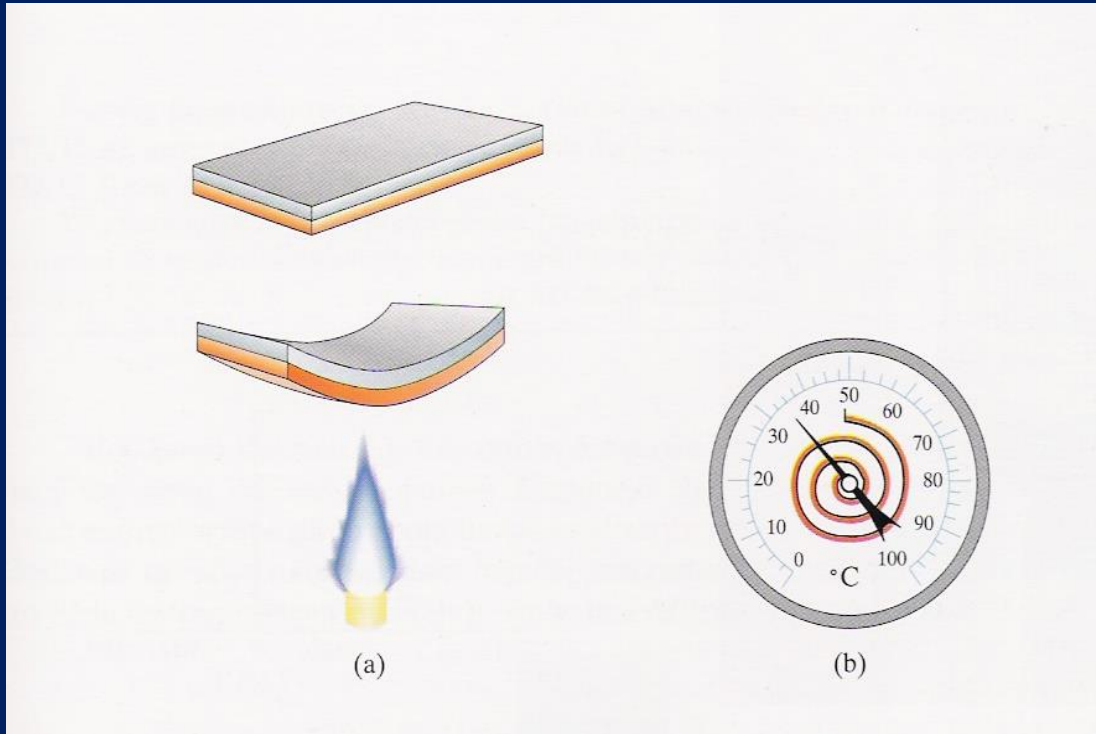


Η κλίμακα Κελσίου καθορίζεται θεωρώντας (αυθαίρετα) ότι το εύρος της θερμοκρασίας μεταξύ του σημείου πήξης και του σημείου βρασμού του νερού αντιστοιχεί σε 100 βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και ότι το σημείο πήξης του νερού είναι 0°C .

Σχέση κλίμακας Κελσίου και Φαρενάιτ

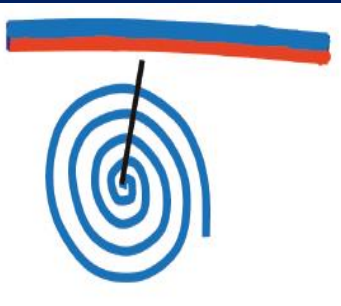
$$T_{(^{\circ}\text{C})} = (T_{(^{\circ}\text{F})} - 32) / 1.8$$

Μέτρηση Θερμοκρασίας - Θερμόμετρα



Κάμψη λόγω διαφοράς συντελεστή διαστολής

Το διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του εξαιτίας των διαφορετικών θερμικών διαστολών των δύο μετάλλων. Το έλασμα χρησιμοποιείται και ως θερμοστάτης που κλείνει ή ανοίγει ηλεκτρικά κυκλώματα.



Η ΑΠΟΛΥΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

* Το "0" της απόλυτης θερμοκρασίας αντιστοιχεί στην κατάσταση όπου όλα τα συστατικά ενός θερμοδυναμικού συστήματος έχουν μηδενική (ή την ελάχιστη δυνατή) εσωτερική κινητική ενέργεια.

* Το "απόλυτο μηδέν" δεν είναι πρακτικά εφικτό.

* Μπορεί όμως να το πλησιάσουμε όσοδήποτε κοντά.

* κλίμακα Κελβιν για την απόλυτη θερμοκρασία.

$$\Delta T (\text{Κελβιν}) = \Delta T (^{\circ}\text{C})$$

$$0^{\circ}\text{C} = 273,15 \text{ K}$$

Απόλυτη Θερμοκρασία → κλίμακα Kelvin

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = \Delta T (\text{Kelvin})$$

Στην ορολογία SI η λέξη «βαθμός» δεν χρησιμοποιείται με την κλίμακα Kelvin

- Κλίμακα Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$)
- Κλίμακα Kelvin T (K)
- $T_{\text{K}} = T_{\text{C}} + 273,15$

<i>Θερμοκρασία</i>	<i>Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$)</i>	<i>Κέλβιν (K)</i>
Υγροποίηση ηλίου (He)	-269	4,2
Υγροποίηση αζώτου	-196	77
Ξηρός πάγος (πήξη CO_2)	-78	195
Σημείο πήξης νερού	0	273
Ανθρώπινο σώμα (εσωτερικό)	37	310
Σημείο βρασμού του νερού	100	373
Φλόγα φυσικού αερίου	1.630	1.900
Επιφάνεια του ήλιου	5.730	6.000
Κέντρο της Γης	15.700	16.000
Κέντρο του Ήλιου	10^7	10^7

Υπολογισμός απόλυτης θερμοκρασίας (παράδειγμα: ιδανικό αέριο).

Θερμόμετρο σταθερού όγκου

Υπό σταθερό όγκο, η απόλυτη θερμοκρασία είναι ανάλογη της πίεσης μετράμε πίεση, βρίσκουμε θερμοκρασία

$$T = \alpha \cdot p$$



p_m και p_v : πιέσεις του αερίου στο σημείο τήξης

και εξαέρωσης του νερού αντίστοιχα. Πειραματικά, ανεξάρτητα

της ποσότητας του αερίου $p_v/p_m = 1,366$. Άρα $T_v/T_m = 1,366$ (1)

Αν θέλουμε η κλίμακα της απόλυτης θερμοκρασίας να έχει τις

ίδιες μονάδες με την κλίμακα Κελσίου: $T_v - T_m = 100$ (2)

Λύνοντας το σύστημα (1,2): $T_v = 373,16$ και $T_m = 273,16$

Θερμότητα

Μεταφορά ενέργειας...λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (από το θερμότερο στο ψυχρότερο)

. Δεν περιλαμβάνει μεταφορά ενέργειας λόγω παραγωγής έργου – όχι συλλογική κίνηση.

Δεν μπορούμε να μιλήσουμε για απόλυτη ποσότητα θερμότητας Q , αλλά για μεταφορά θερμότητας dQ ή ΔQ μεταξύ σωμάτων. Το σύμβολο Q , όταν χρησιμοποιείται, έχει την έννοια του ΔQ .

...γιατί η θερμότητα δεν εξαρτάται μόνο από την κατάσταση ενός σώματος/συστήματος, αλλά και από τον τρόπο/δρόμο που έφτασε εκεί.

Q : Δεν είναι καταστατικό μέγεθος.

(το dQ συμβολίζεται και με δQ)

Έργο W : δεν είναι καταστατικό μέγεθος (εξαρτάται από την διαδρομή)

(το dW συμβολίζεται και με δW)

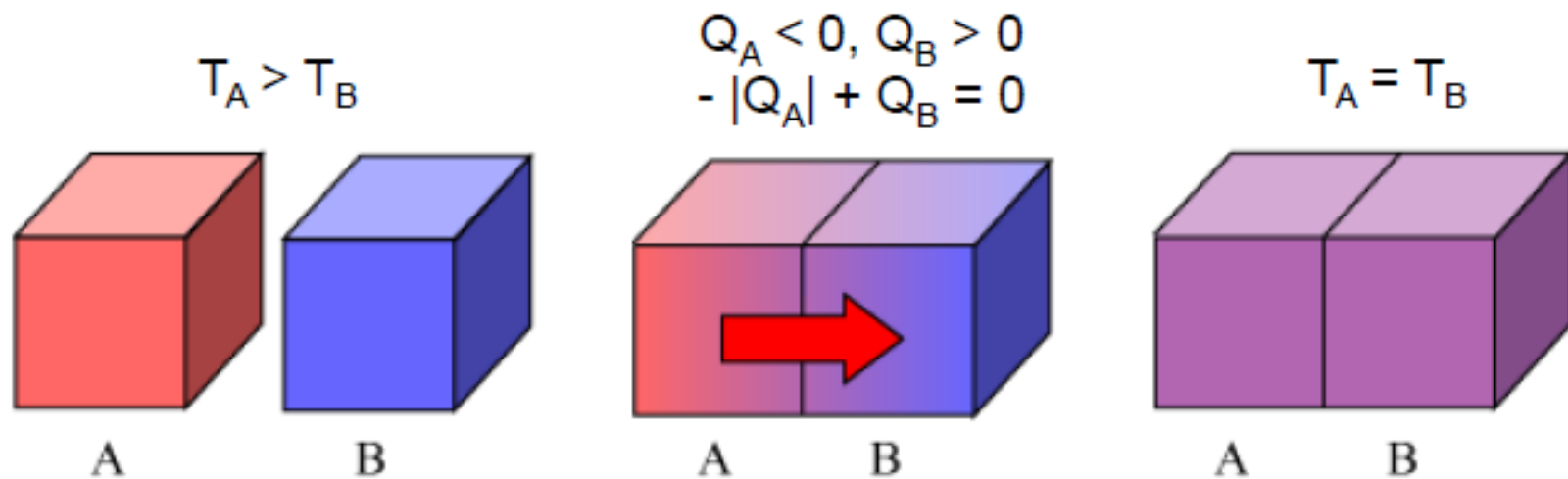
*Μονάδες Θερμότητας = Μονάδες Ενέργειας
(Joule)*

*άλλη μονάδα: θερμίδα, $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$
(όσο χρειάζεται για να θερμανθεί 1 g νερού από
 $14,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ σε $15,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$)*

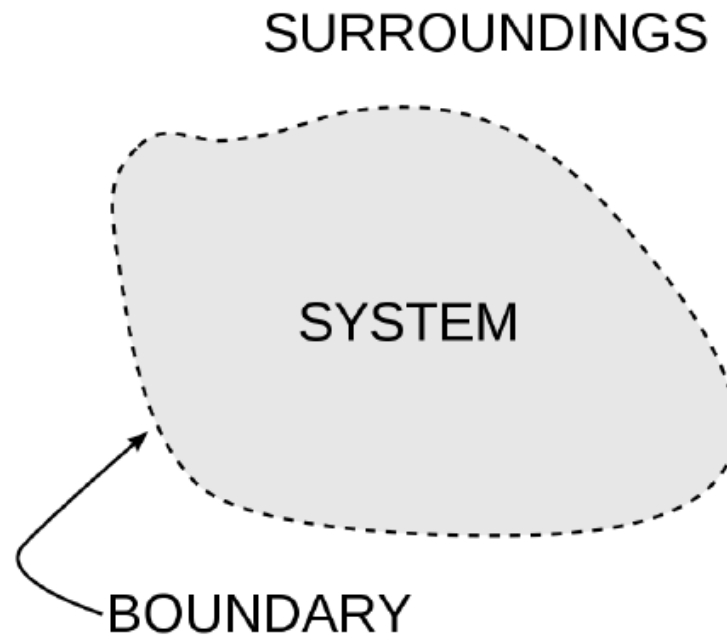
Διαιτητική θερμίδα = $1000 \text{ cal} = 1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ J}$

Βασικές Αρχές

- Όταν ρέει θερμότητα ανάμεσα σε δύο σώματα που είναι απομονωμένα από το περιβάλλον τους, το ποσό της θερμότητας που αποβάλλει το ένα σώμα πρέπει να είναι ίσο με το ποσό που απορροφάται από το άλλο
- Θεωρούμε ως θετική κάθε ποσότητα θερμότητας που απορροφάται από ένα σώμα και ως αρνητική κάθε ποσότητα που αποδίδεται από αυτό.
- Κατά την αλληλεπίδραση διαφόρων σωμάτων το αλγεβρικό άθροισμα των ποσών θερμότητας που ανταλλάσσονται μεταξύ των σωμάτων πρέπει να είναι μηδέν



Κάθε θερμοδυναμική μελέτη χωρίζει το **σύμπαν** σε δύο μέρη: το **σύστημα**, που το αποτελούν τα σώματα που μελετάμε και το **περιβάλλον**, που είναι όλα τα άλλα.



Είδη συστημάτων



Ενέργεια

Ύλη

Ανοιχτό σύστημα
ανταλλάσσει μάζα και ενέργεια με το περιβάλλον του.

Οι ζωντανοί οργανισμοί είναι ανοικτά συστήματα. (Εισάγουν και αποβάλλουν νερό, θρεπτικά συστατικά, οξυγόνο και απόβλητα για να επιβιώσουν)



Κλειστό σύστημα
δεν ανταλλάσσει μάζα αλλά μπορεί να ανταλλάσει ενέργεια με το περιβάλλον του.



Μονωμένο σύστημα

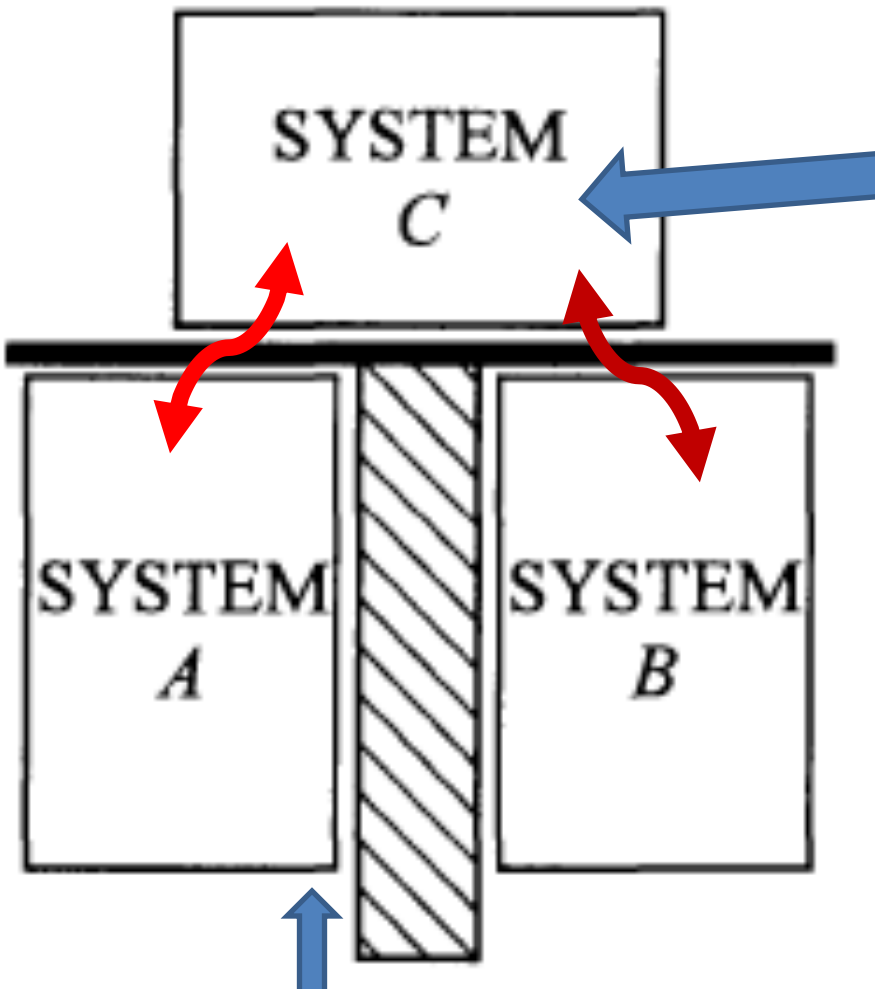
Κλειστά Συστήματα και Θερμική Ισορροπία

Όταν δύο αντικείμενα που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες έρθουν σε *θερμική επαφή*, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να γίνει ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ τους, θερμότητα θα εκρεύσει από το θερμότερο προς το ψυχρότερο αντικείμενο μέχρι που τελικά τα δύο αντικείμενα αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία. Όταν επιτυγχάνεται αυτή η κοινή, τελική, θερμοκρασία, λέμε ότι τα δύο αντικείμενα είναι σε *θερμική ισορροπία*.

Εφόσον είναι απομονωμένα από άλλα αντικείμενα και δεν μπορούν να ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον τους, θα παραμείνουν στην ίδια αυτή θερμοκρασία.

ΜΗΔΕΝΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

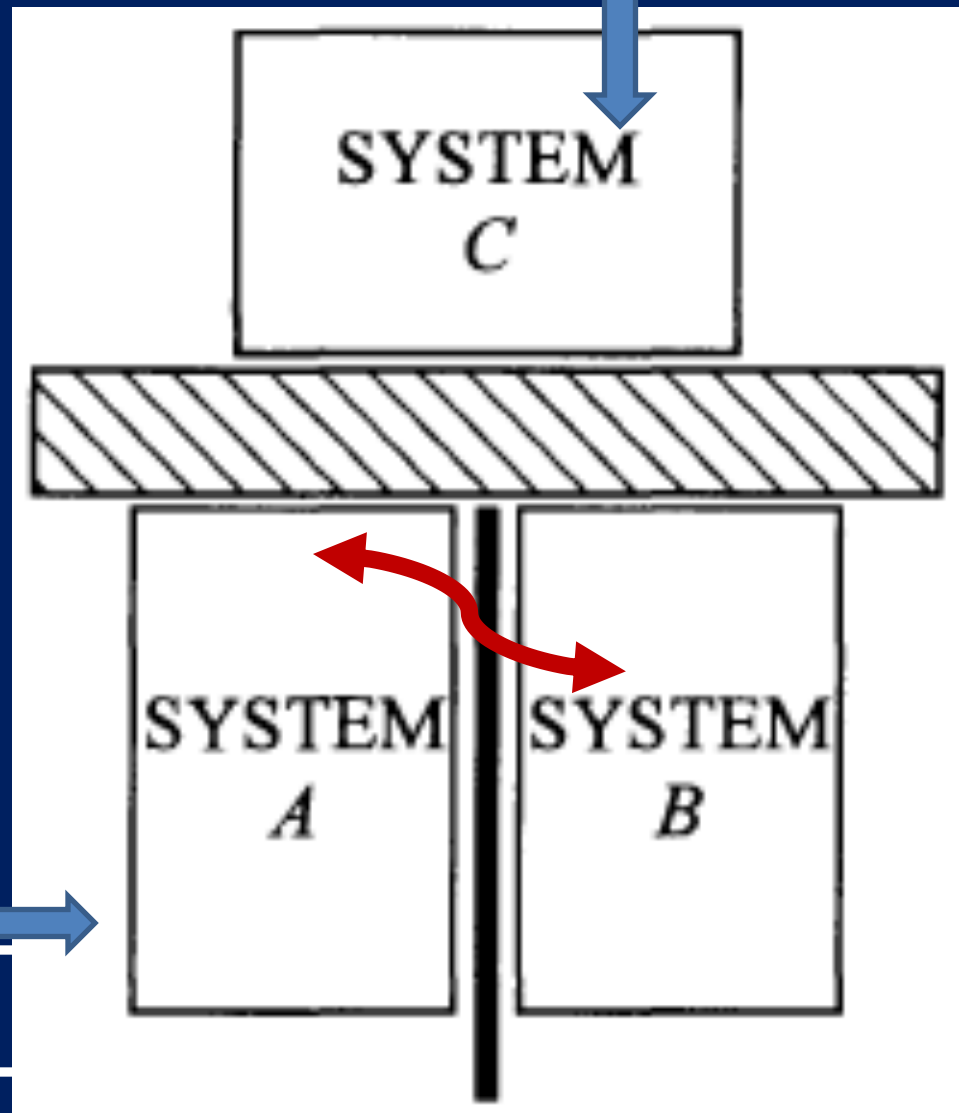
Δύο συστήματα που το καθένα τους είναι σε *θερμική ισορροπία* με ένα τρίτο είναι και μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.



$$\begin{aligned} T_a &= T_c \\ T_b &= T_c \end{aligned}$$

$$T_a = T_b$$

Γνωστή θερμοκρασία T_c



Κλειστά Συστήματα και Θερμική Ισορροπία

Η επίτευξη θερμικής ισορροπίας, περιορίζεται σε κλειστά συστήματα.

Τα ανοικτά συστήματα δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον τους και γι' αυτό είναι γνωστά ως συστήματα μη ισορροπίας.

Ως τέτοια συστήματα, οι ζωντανοί οργανισμοί αντικαθιστούν συνεχώς τα περισσότερα από τα συστατικά τους μόρια στο δέρμα, στους μυς και στα κύτταρα του αίματος.

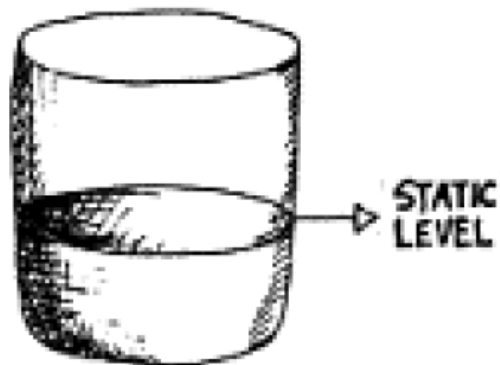
Ανοικτά Συστήματα και Σταθερή κατάσταση

Πολλά ανοικτά συστήματα, αν και δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, φτάνουν σε αυτή που είναι γνωστή ως **σταθερή κατάσταση**. Σε αυτή την κατάσταση έχει επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης συνολικής ενέργειας.

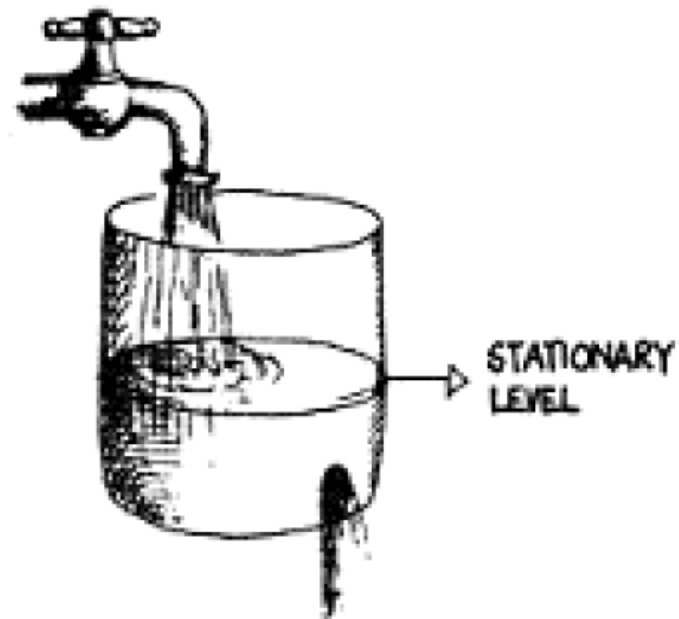
Αυτή η διάκριση μπορεί, επίσης, να γίνει σε μια χημική αντίδραση. Όταν η συνολική ποσότητα των αντιδρώντων και των προϊόντων είναι αμετάβλητη και δεν ανταλλάσσεται μάζα με το περιβάλλον, η αντίδραση θα φθάσει σε χημική ισορροπία. Όταν, όμως, νέα αντιδρώντα συνεχώς προσφέρονται στο σύστημα με τέτοιο ρυθμό ώστε να διατηρείται μια σταθερή παραγωγή προϊόντων, τα οποία εγκαταλείπουν με τον ίδιο ρυθμό το σύστημα, έχουμε μια κατάσταση μη ισορροπίας που εμφανίζει συμπεριφορά σταθερής κατάστασης.

Θα περιοριστούμε σε κλειστά συστήματα για την εισαγωγή των βασικών εννοιών της θερμοδυναμικής.

Ισορροπία



Σταθερή κατάσταση



Ένα σώμα μπορεί να διατηρείται σε θερμοκρασία διαφορετική από αυτήν του περιβάλλοντός του αν έχει πηγή ή καταβόθρα εσωτερικής ενέργειας ώστε να εξισορροπεί την απώλεια ή την λήψη, ενέργειας αντίστοιχα.

Όταν συμβαίνει αυτό, λέμε ότι έχουμε **σταθερή κατάσταση, και όχι θερμική ισορροπία**. Τα θερμόαιμα ζώα αποτελούν πρωταρχικό παράδειγμα αυτού του φαινομένου. Ο ρυθμός της συνολικής ενέργειας που παράγουμε μέσω μεταβολισμού είναι ίσος με τον ρυθμό των απωλειών ενέργειας προς το περιβάλλον, έτσι ώστε να διατηρούμε μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία.

Ένα άλλο παράδειγμα συστήματος που βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση είναι ο πλανήτης μας, η Γη.

Η ισορροπία, μεταξύ της εισροής θερμότητας από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της εκροής θερμότητας από την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας στο διάστημα, είναι εκείνη που καθορίζει τη μέση θερμοκρασία της Γης.

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΥΛΗΣ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Νόμος της Θερμιδομετρίας: *όταν η μεταφορά θερμότητας έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της θερμοκρασίας*

Η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για τη μεταβολή κατά ΔT της θερμοκρασίας ενός κλειστού συστήματος, είναι ανάλογη της μάζας του και της μεταβολής της θερμοκρασίας του :

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

όπου c = **ειδική θερμότητα**, χαρακτηριστική του κάθε υλικού, και

δίνεται σε μονάδες $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ή $\text{kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ή $\text{cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$.

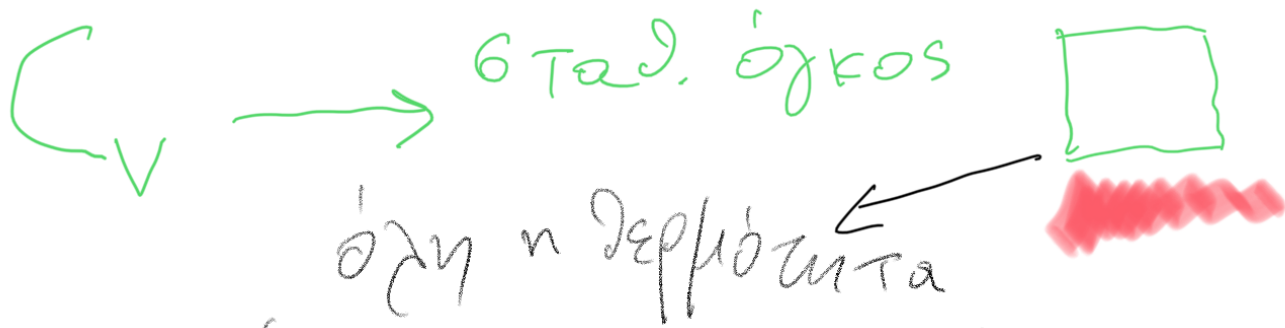
Η εξίσωση της θερμιδομετρίας δεν ισχύει όταν η μεταφορά θερμότητας προκαλεί αλλαγή φάσης ή παραγωγή έργου

Ειδική θερμότητα με
σταθερό όγκο (c_v) ή σταθερή πίεση (c_p)

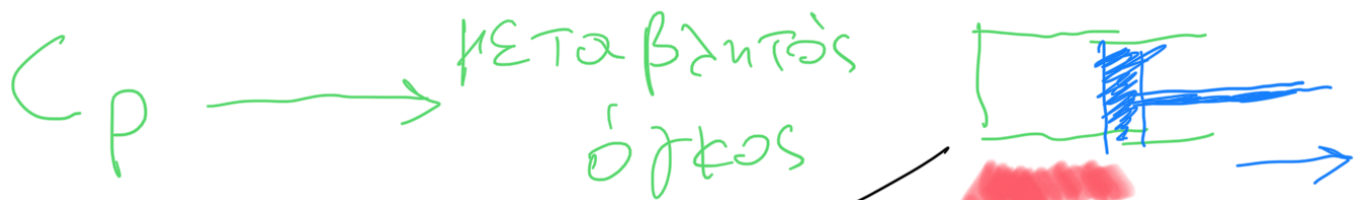
c_v : αέρια. c_p : στερεά-υγρά-αέρια

Στερεά και Υγρά: πρακτικά $c_p \sim c_v$ γιατί ο όγκος τους
είναι ουσιαστικά σταθερός.

Αέρια: $c_p > c_v$ γιατί όταν δεν βρίσκεται σε κλειστό
δοχείο σταθερού όγκου, ένα μέρος της θερμικής
ενέργειας μετατρέπεται σε έργο.



χρησιμοποιεί στην αύξηση του T
θερμαίνεται ευκολότερα → μικρό C_v



μέρος της θερμότητας μετατρέπεται
 σε έργο (κίνηση εμβόλου)
 θερμαίνεται δυσκολότερα → μεγάλο C_p

Πρόσημο του ΔQ

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{\text{τελική}} - T_{\text{αρχική}}$$

άρα: Όταν αυξάνει η
θερμοκρασία έχουμε $\Delta Q > 0$
και

Όταν μειώνεται η
θερμοκρασία έχουμε $\Delta Q < 0$



Το σύστημα απορροφά
θερμότητα από το
περιβάλλον: $\Delta Q > 0$

και

Το σύστημα αποδίδει
θερμότητα προς το
περιβάλλον: $\Delta Q < 0$

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

m = μάζα συστήματος

M = Μοριακή μάζα

n = αριθμός mole

$$m = n \cdot M$$

c = ειδ. 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
Μόλυβδος	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
Άργυρος	234	0,108	25,3
Νερό	4190	0,0180	75,4

1 cal / g · °C

$C = M \cdot c$ = γραμμομοριακή ειδική θερμότητα

$$\Delta Q = n \cdot M \cdot (C/M) \cdot \Delta T \rightarrow \Delta Q = n \cdot C \cdot \Delta T$$

Η ειδική θερμότητα ενός υλικού:

- ✓ Δείχνει πόσο θα αυξηθεί (ή μειωθεί) η θερμοκρασία σε ένα σώμα που απορροφά (ή αποδίδει) δεδομένη ποσότητα θερμότητας
- ✓ Εξαρτάται από τη λεπτομερή ηλεκτρονιακή δομή του.
- ✓ Σχετίζεται με τη δυναμική ενέργεια των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων του υλικού
- ✓ Εξαρτάται εν γένει από τη θερμοκρασία, αλλά κοντά στη θερμοκρασία δωματίου, συχνά θεωρείται προσεγγιστικά σταθερή.

- Ουσιαστικά, η εξίσωση της θερμιδομετρίας προέρχεται από τον ορισμό της ειδικής θερμότητας:
- **Ανά μονάδα μάζας** μιας ουσίας, ορίζουμε ως ειδική θερμότητα $c = Q_m / \Delta T$, όπου
- Q_m είναι η θερμότητα ανά μονάδα μάζας, που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά ΔT .
- Για μάζα m : $m \cdot c = m \cdot Q_m / \Delta T = Q / \Delta T$
- όπου $Q = m \cdot Q_m$ η ολική θερμότητα που πρέπει να προσφερθεί στην ουσία.
- Λύνοντας ως προς Q : $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

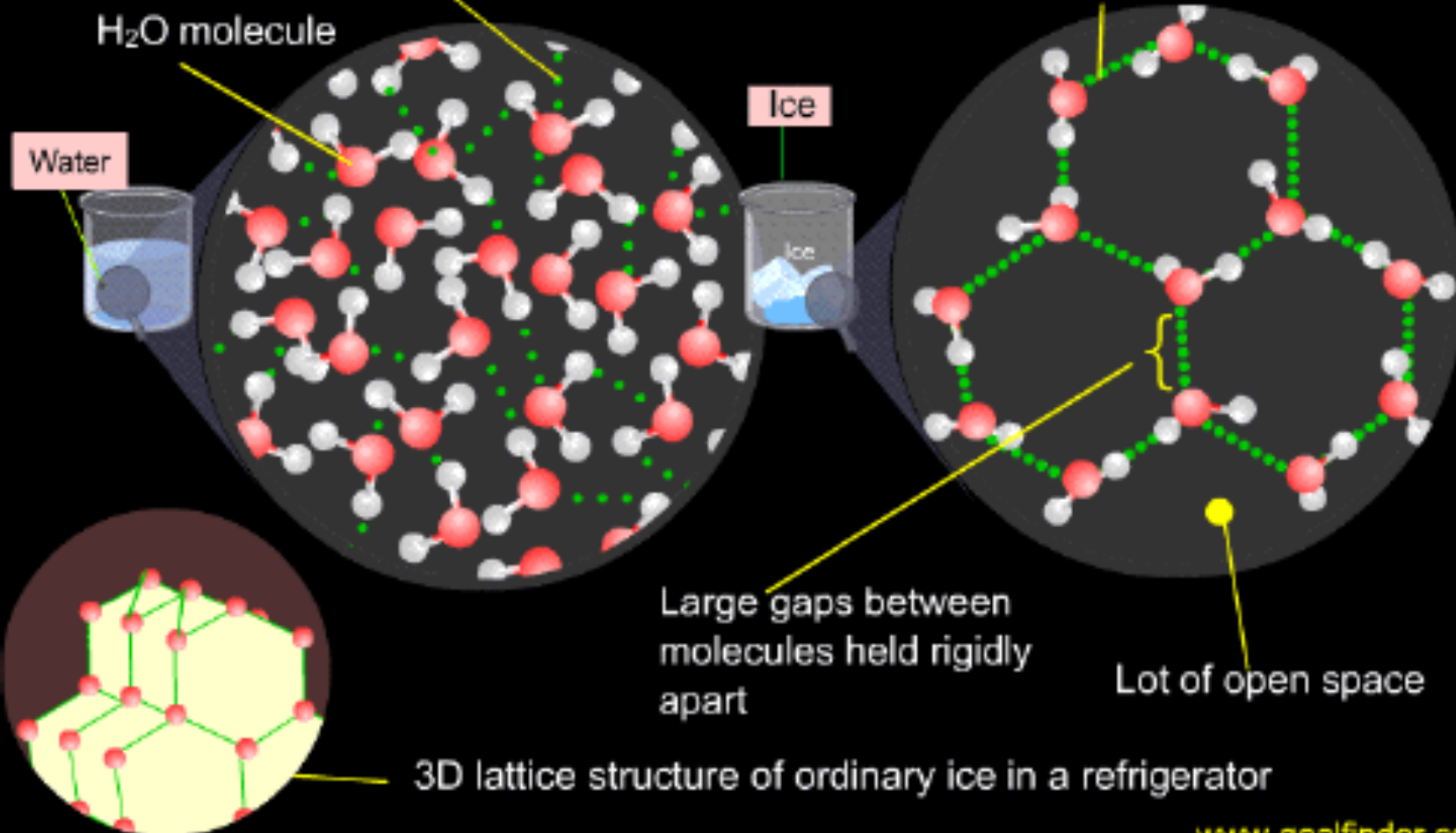
Γιατί το υγρό H_2O έχει διπλάσια ειδική θερμότητα από τον πάγο και τους υδρατμούς;

Το υγρό H_2O απορροφά μέρος της προσφερόμενης θερμότητας για να “σπάσει” δεσμούς υδρογόνου μεταξύ μορίων του, οπότε χρειάζεται περισσότερη θερμότητα για να αυξήσει την θερμοκρασία του.

Ο πάγος “σπάει” τους δεσμούς υδρογόνου στους $0^\circ C$. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η προσφερόμενη θερμότητα απορροφάται προκειμένου να αυξηθούν οι ταλαντώσεις των μορίων νερού του πάγου, οπότε η θερμοκρασία αυξάνει ευκολότερα. Στην αέρια κατάσταση δεν υπάρχουν δεσμοί υδρογόνου και η προσφερόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται για την αύξηση της ταχύτητας και της ταλάντωσης των μορίων νερού, οπότε η θερμοκρασία αυξάνει γρηγορότερα.

Loose hydrogen bonds between continuously moving H₂O molecules at 10 °C

Strong stable hydrogen bonds between H₂O molecules at 0 °C, forming a rigid hexagonal crystal lattice structure



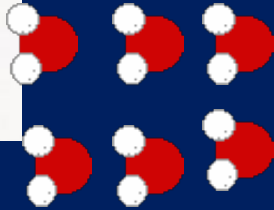
<i>Υλικό</i>	<i>Ειδική θερμότητα</i>	
	<i>kcal/(kg·°C)</i>	<i>J/(kg·°C)</i>
Αλουμίνιο	0,22	900
Χαλκός	0,093	390
Γυαλί	0,20	840
Ανθρώπινο σώμα (μέση θερμοκρασία 37 °C)	0,83	3.500
Πάγος (-5 °C)	0,50	2.100
Σίδηρος ή ατσάλι	0,11	450
Υδράργυρος	0,033	140
Άργυρος	0,056	240
Ατμός (110 °C)	0,48	2.010
Νερό	1,00	4.186
Ξύλο	0,4	1.700

❑ Υλικά με υψηλότερη ειδική θερμότητα απαιτούν περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα μάζας για την αύξηση της θερμοκρασίας τους και αποδίδουν περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα μάζας όταν μειώνεται η θερμοκρασία τους.

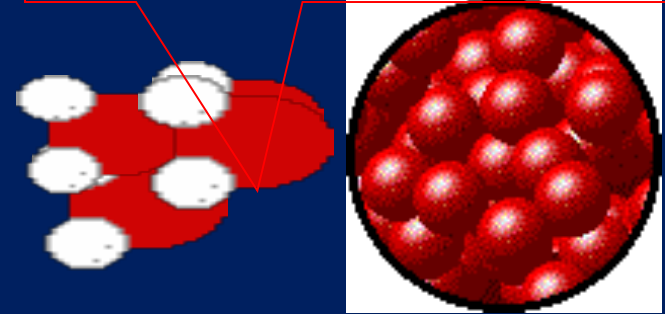
❑ Η ειδική θερμότητα του νερού είναι μια από τις υψηλότερες όλων των υλικών, γεγονός που το καθιστά πολύτιμη πηγή θερμότητας π.χ. σε θερμοσίφωνες αλλά και στο σώμα μας.

Στερεά – Υγρά - Αέρια

ΣΤΕΡΕΑ:
Κανονικότητα
μεγάλης εμβέλειας



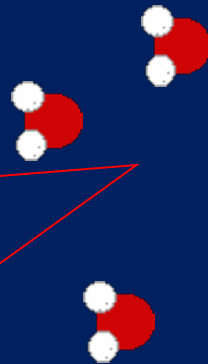
ΥΓΡΑ: Κανονικότητα
μικρής εμβέλειας
(περιοχή άμεσων
γειτόνων μόνο)



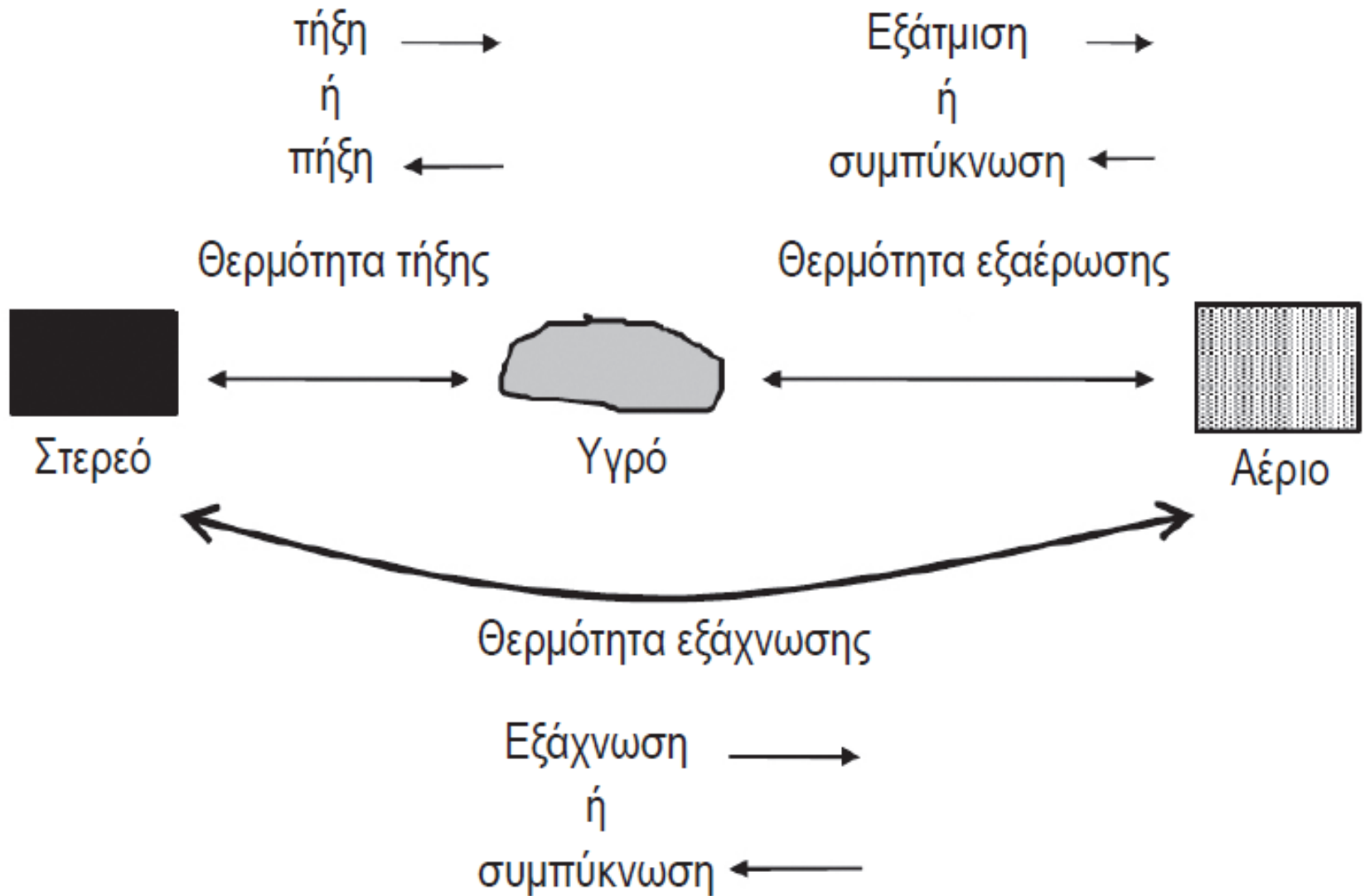
Αλλαγές φάσεων

Σε κάθε δεδομένη πίεση, η αλλαγή φάσης πραγματοποιείται σε καθορισμένη θερμοκρασία και συνοδεύεται συνήθως από απορρόφηση ή απόδοση θερμότητας και από μεταβολή όγκου και πυκνότητας

ΑΕΡΙΑ: Αμελητέες
ελκτικές δυνάμεις,
έλλειψη δυναμικής
ενέργειας, καμία
κανονικότητα



Αλλαγές φάσης στερεού - υγρού - αερίου



Αλλαγές φάσεων

Τήξη: Όταν προσφέρουμε θερμότητα σε πάγο στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ και υπό ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία του πάγου δεν μεταβάλλεται. Αντίθετα, μέρος αυτού λιώνει σε νερό.

Μετατροπή πάγου $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε νερό $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ατμοσφαιρική πίεση απαιτεί θερμότητα $L_f = 3,34 \times 10^5\text{ J/Kg}$.

Η απαιτούμενη θερμότητα ανά μονάδα μάζας ονομάζεται

θερμότητα τήξης (L_f) (εξαρτάται από το υλικό και την πίεση)

$$\Delta Q = \pm m \cdot L_f$$

Θετικό πρόσημο = προσφορά θερμότητας = τήξη
αρνητικό πρόσημο = αφαίρεση θερμότητας = πήξη

Αλλαγή φάσης: Στερεό → Υγρό

$$\Delta Q = \pm mL$$

* Το θετικό σημείο (προσφορά θερμότητας στο υλικό) αντιστοιχεί στην τήξη

* Το αρνητικό σημείο (αφαίρεση θερμότητας από το υλικό) αντιστοιχεί στην πήξη

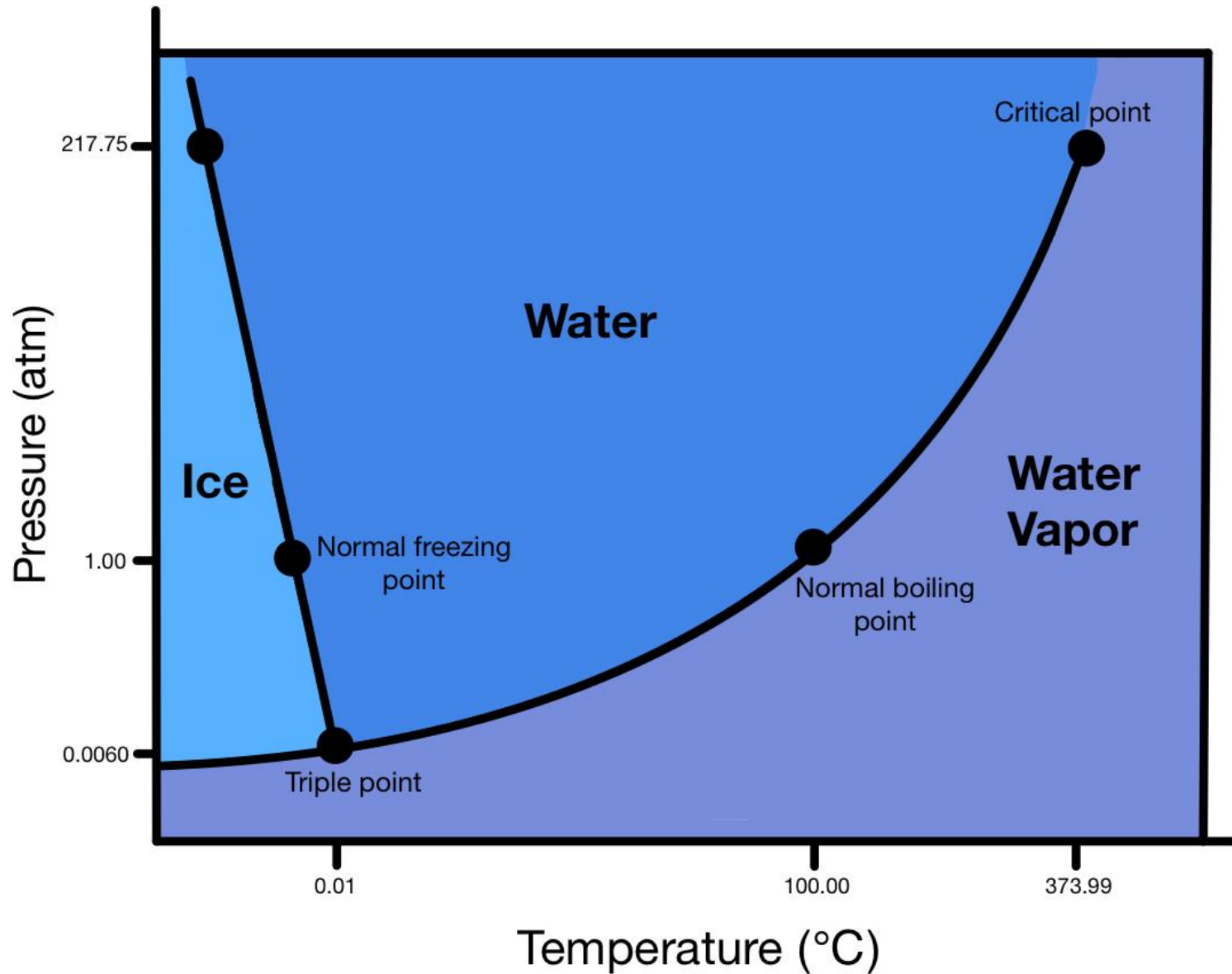
Αλλαγή φάσης: Υγρό → Αέριο

θερμότητα εξαέρωσης (L_v) (μεγάλης σημασίας για το μηχανισμό προσαρμογής της θερμοκρασίας σε πολλά θερμοίμα ζώα μέσω εξαέρωσης του ιδρώτα. Η θερμοκρασία του δέρματος μπορεί να είναι ως και 30°C χαμηλότερη από εκείνη του περιβάλλοντος αέρα.

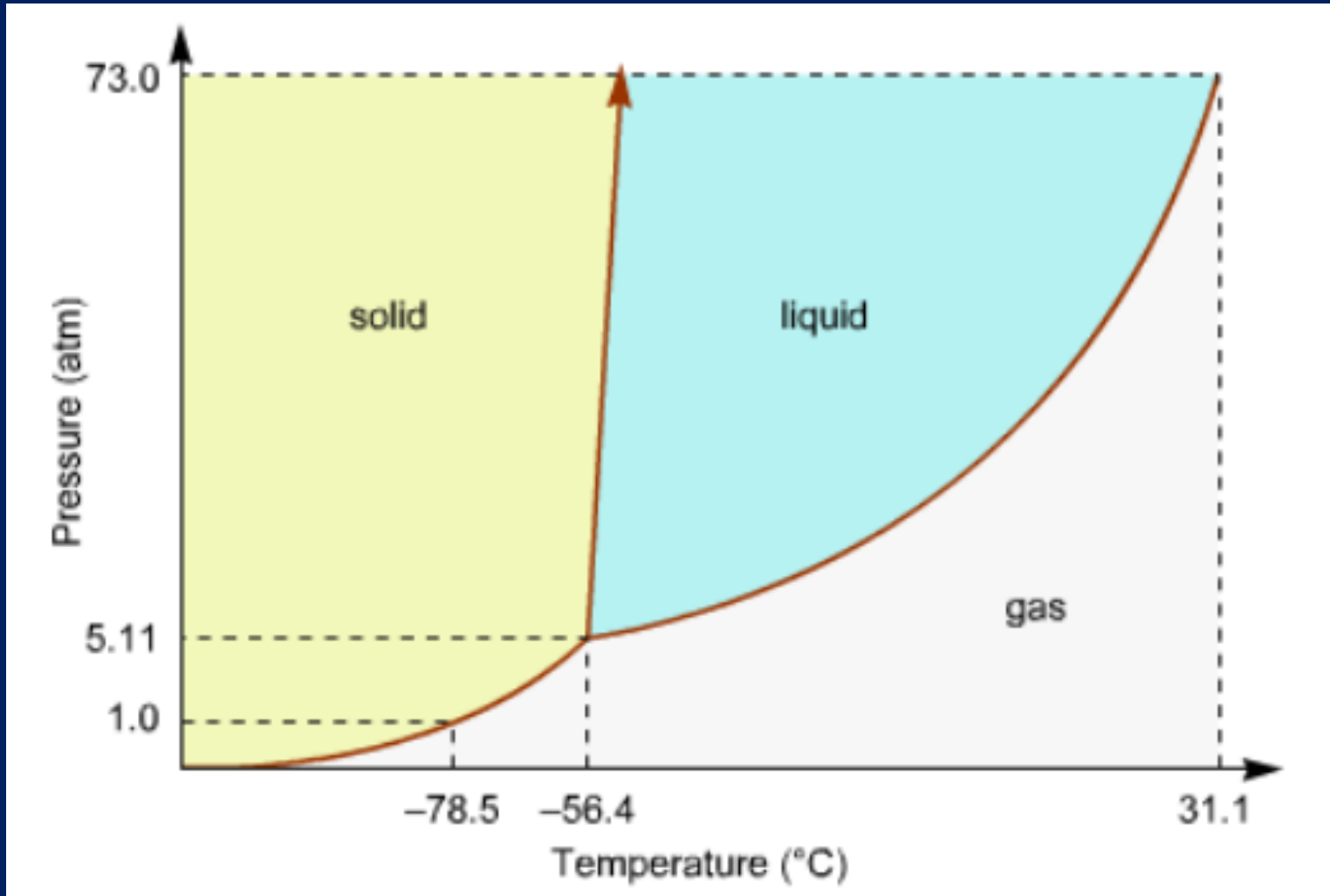
Αλλαγή φάσης: Στερεό → Αέριο

θερμότητα εξαχνωσης (L_s) (π.χ το στερεό διοξείδιο του άνθρακα, «ξηρός πάγος», παράγεται με συμπίεση του CO_2 σε υγρή φάση για πιέσεις μεγαλύτερες των 5 atm). Ο ξηρός πάγος σε συνθήκες περιβάλλοντος εξαχνώνεται απευθείας σε αέριο.

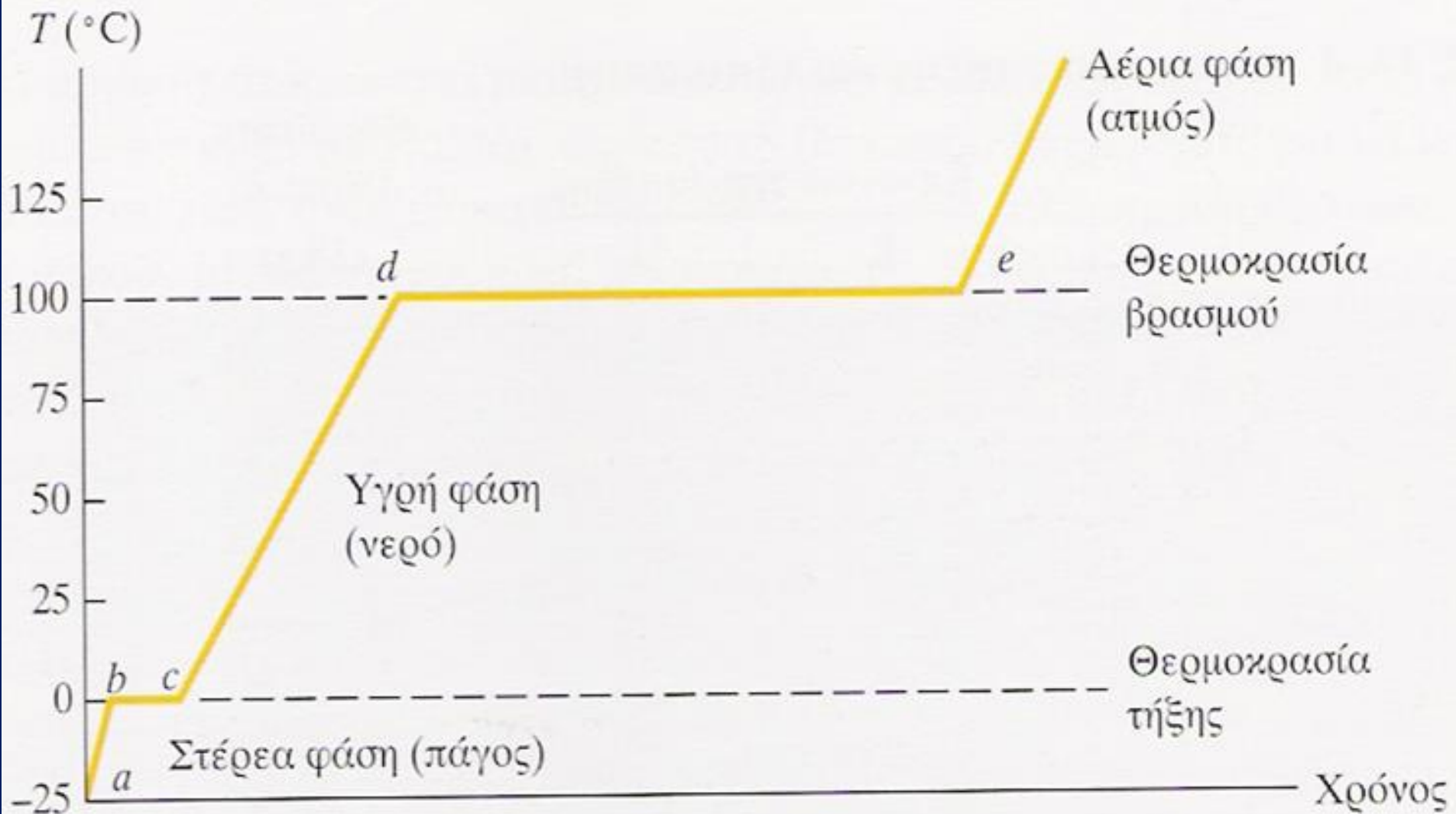
Phase Diagram of Water



CO₂ phase diagram



Αλλαγές φάσεων



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένα λίτρο τσαγιού στους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ χύνεται σε επενδυμένη με γυαλί φιάλη θερμός, που βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Εάν η γυάλινη φιάλη έχει μάζα $0,2\text{ kg}$, βρείτε την τελική θερμοκρασία του τσαγιού στο σφραγισμένο θερμός.

Λύση:

Θερμότητα θα εκρεύσει από το τσάι (νερό) στο γυαλί έως ότου και τα δύο να έρθουν σε θερμική ισορροπία αποκτώντας την ίδια τελική θερμοκρασία T .

$$Q_{\text{εκρέουσα από το τσάι}} + Q_{\text{εισρέουσα στο γυαλί}} = 0$$

και επομένως

$$c_{\text{νερού}} m_{\text{νερού}} (T - 100) + c_{\text{γυαλιού}} m_{\text{γυαλιού}} (T - 20) = 0$$

$$\text{ή} \quad c_{\text{νερού}} m_{\text{νερού}} (100 - T) = c_{\text{γυαλιού}} m_{\text{γυαλιού}} (T - 20)$$

Αντικαθιστούμε τις τιμές ειδικής θερμότητας από τον αντίστοιχο Πίνακα και έχουμε ότι:

$$c_{\text{νερού}} = 4186\text{ J/Kg}\cdot^{\circ}\text{C} \text{ και } c_{\text{γυαλιού}} = 840\text{ J/Kg}\cdot^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Μάζες: νερό} = 1\text{ Kg}, \text{ γυαλί} = 0,2\text{ Kg}$$

Οι θερμοκρασίες είναι σε $^{\circ}\text{C}$ γιατί εδώ έχουμε διαφορές θερμοκρασιών, οπότε είτε σε $^{\circ}\text{C}$, είτε σε K , έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα. Βρίσκουμε $T = 96,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

ΑΣΚΗΣΗ

Θέλουμε να κρυώσουμε στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (σε υγρή κατάσταση) ένα αναψυκτικό όγκου 250 ml και αρχικής θερμοκρασίας $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, προσθέτοντας παγάκια θερμοκρασίας -20°C . Πόσα παγάκια βάρους 23g χρειαζόμαστε;

Λύση: Αναψυκτικό ~ νερό. Άγνωστος είναι η μάζα m του πάγου.

Πρέπει να ξεχωρίσουμε τις διαδικασίες που συμβαίνουν:

1. Η ψύξη του αναψυκτικού. Δηλ η ψύξη 250 ml (cm^3) νερού από τους $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, πάντα σε υγρή κατάσταση.
2. Η θέρμανση του πάγου από τους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, σε στερεά κατάσταση.
3. Το λιώσιμο του πάγου, σε σταθερή θερμοκρασία $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (η εκφώνηση λέει ότι το αναψυκτικό τελικά είναι σε υγρή κατάσταση στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Πρέπει να υπολογίσουμε τις μεταβολές στην θερμότητα που συμβαίνουν σε κάθε μία από τις διαδικασίες αυτές. Αν δεχθούμε ότι το όλο σύστημα είναι μονωμένο, το αλγεβρικό άθροισμα όλων των μεταβολών της θερμότητας πρέπει να είναι 0 .

Η μάζα του αναψυκτικού θα υπολογιστεί από τον όγκο του, πολλαπλασιασμένο με την πυκνότητα του αναψυκτικού, που δεχόμαστε ίση με του νερού (1 g/cm^3). Άρα, 250 cm^3 νερού αντιστοιχούν σε 250 g μάζας.

συνέχεια →

→ συνέχεια (μετατρέπουμε τα πάντα σε μονάδες S.I.)

1. Για την ψύξη του αναψυκτικού (δείκτης w = water):

$$\Delta Q_w = m_w \cdot c_w \Delta T_w = 0.25 \text{Kg} \times 4190 \text{J/Kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (0 - 25)^\circ\text{C} \approx -26000 \text{J}$$

Το ΔQ_w σωστά είναι αρνητικό γιατί αφαιρείται θερμότητα από το αναψυκτικό.

2. Για την θέρμανση του πάγου (δείκτης ice):

$$\Delta Q_{ice} = m_{ice} \cdot c_{ice} \Delta T_{ice} = m_{ice} \cdot (2100 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (0 - (-20))^\circ\text{C} = m_{ice} \cdot (4,2 \times 10^4 \text{ J/Kg})$$

Το ΔQ_{ice} σωστά είναι θετικό γιατί προσφέρεται θερμότητα στον πάγο.

3. Για την τήξη του πάγου (δείκτης τηξ)

$$\Delta Q_{τηξ} = m_{ice} \cdot L_{τηξ} = m_{ice} \cdot (3,34 \times 10^5 \text{ J/Kg})$$

Το $\Delta Q_{τηξ}$ σωστά είναι θετικό γιατί προσφέρεται θερμότητα στον πάγο.

Το αλγεβρικό άθροισμα των μεταβολών της θερμότητας πρέπει να είναι μηδέν:

$$\Delta Q_w + \Delta Q_{ice} + \Delta Q_{τηξ} = -26000 \text{J} + m(42000 \text{ J/Kg}) + m(3,34 \times 10^5 \text{ J/Kg}) = 0$$

Λύνοντας ως προς m = 0,069 Kg = 69g = 3 παγάκια (3x23 g)

ΠΡΟΣΟΧΗ

ΠΑΝΤΑ

$$\Delta T = T_{\text{τελική}} - T_{\text{αρχική}}$$

Όταν έχουμε διαφορά θερμοκρασίας ΔT , μπορούμε να την εκφράσουμε είτε σε $^{\circ}\text{C}$, είτε σε K , αριθμητικά είναι το ίδιο.

Όμως, όταν έχουμε απόλυτη θερμοκρασία T , υποχρεωτικά την εκφράζουμε σε K .

Θέμα εξετάσεων Φεβ 2017

Το 2011, η συνολική παραγωγή ενέργειας των Η.Π.Α. ήταν περίπου 100 exajoule (1 exajoule = 10^{18} Joule). Από αυτά, περίπου τα μισά (50 exajoule), είναι η συνολικά παραχθείσα θερμότητα, που διοχετεύτηκε στο περιβάλλον. Αν η παραχθείσα ετήσια θερμότητα διοχετευόταν ολόκληρη στην λίμνη Ontario, ποια θα ήταν προσεγγιστικά η άνοδος της θερμοκρασίας της λίμνης;

Δεδομένα: Η λίμνη Ontario έχει όγκο περίπου 5000 Km^3 .

$c_{\text{νερού}} = 4200 \text{ J/Kg.K}$. Προτιμήστε χρήση δυνάμεων του 10 στις πράξεις σας.

ΛΥΣΗ

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 50 \cdot 10^{18} \text{ Joule}$$

Άγνωστος: ΔT .

c : γνωστό = 4200 J/Kg.K

m ? --> $m = \rho \cdot V$

ρ : πυκνότητα νερού = 1 g/cm³ = 1000 Kg/m³.

$$m = (1000 \text{ Kg/m}^3) \cdot (5000 \text{ Km}^3) = 1000 \cdot (5000) \cdot (10^3)^3 = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 10^9 \text{ Kg} = 5 \cdot 10^{15} \text{ Kg.}$$

$$Q = 50 \cdot 10^{18} \text{ J} = (5 \cdot 10^{15} \text{ Kg}) \cdot (4,2 \cdot 10^3 \text{ J/Kg.K}) \cdot \Delta T \implies$$

$$\Delta T = \frac{50 \cdot 10^{18}}{5 \cdot 10^{15} \cdot 4,2 \cdot 10^3} = \frac{50}{5 \cdot 4,2} = \frac{50}{21} = 2,38 \text{ K}$$

Θα είναι η άνοδος της θερμοκρασίας της λίμνης

Θέμα εξετάσεων Φεβ 2017

- Το 2011, η συνολική παραγωγή ενέργειας των Η.Π.Α. ήταν περίπου 100 exajoule (1 exajoule = 10^{18} Joule). Από αυτά, περίπου τα μισά (50 exajoule), είναι η συνολικά παραχθείσα θερμότητα, που διοχετεύτηκε στο περιβάλλον. Αν η παραχθείσα ετήσια θερμότητα διοχετευόταν ολόκληρη στην λίμνη Ontario και αν υποθέσουμε ότι είναι παγωμένη στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, τί ποσοστό του όγκου της θα μπορούσε να ξεπαγώσει; *Δεδομένα: Η λίμνη Ontario έχει όγκο περίπου 5000 Km^3 . Η θερμότητα τήξης του πάγου είναι $L = 3,3 \cdot 10^5\text{ J/Kg}$. Πυκνότητα νερού $\rho = 1000\text{ Kg/m}^3$. Προτιμήστε χρήση δυνάμεων του 10 στις πράξεις σας.*

ΛΥΣΗ

Υπόθεση: όλος ο όγκος της λίμνης είναι πάγος.

$$\rho_{\text{παγ}} \sim 0,92 \text{ g/cm}^3 .$$

Εδώ θα δεχθούμε για απλότητα ότι $\rho_{\text{παγ}} = \rho_{\text{νερ}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ Kg/m}^3$.

$$m = \rho_{\text{παγ}} \cdot V = 10^3 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot (10^3)^3 \text{ Kg} = 5 \cdot 10^{15} \text{ Kg} = \text{ολική μάζα λίμνης (πάγος)}.$$

Αν m είναι η μάζα που μπορεί να λιώσει η παραχθείσα θερμότητα:

$$Q = m \cdot L \implies 50 \cdot 10^{18} \text{ J} = m \cdot 3,3 \cdot 10^5 \text{ J/Kg} \implies m = \frac{5 \cdot 10^{19}}{3,3 \cdot 10^5} = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ Kg}$$

Το ποσοστό της μάζας που θα λιώσει:

$$\frac{1,5 \cdot 10^{14}}{5 \cdot 10^{15}} = 0,03 = 3\%.$$

Άσκηση

Η ενέργεια ενός δεσμού υδρογόνου είναι περίπου 5 Kcal/mole.

A) Υπολογίστε την ενέργεια του δεσμού υδρογόνου σε Joule

B) Δεδομένου ότι η ενέργεια εξαέρωσης του νερού είναι $2,25 \times 10^6$ J/Kg, βρείτε πόσοι δεσμοί υδρογόνου αντιστοιχούν σε ένα μόριο νερού.

Δίνεται η ατομική μάζα του Οξυγόνου = 16, του Υδρογόνου = 1.

Αριθμός Avogadro = 6×10^{23} μόρια/mole.

Λύση

$$A) 1 \text{ cal} = 4,2 \text{ Joule}, \text{ \acute{a}\rho\alpha } 5 \text{ Kcal} = 5 \times 10^3 \text{ cal} = 5 \times 4,2 \times 10^3 \text{ J} = 21 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\text{Ενέργεια δεσμού υδρογόνου} = 21 \times 10^3 \text{ J/mole}$$

B) 1 mole νερού αντιστοιχεί σε 18 g (= 16 + 1 + 1). Η θερμότητα εξαέρωσης του νερού είναι η ενέργεια που χρειάζεται για να σπάσουν οι δεσμοί υδρογόνου, που διατηρούν την υγρή κατάσταση.

Μετατρέπουμε την ενέργεια εξαέρωσης από J/Kg σε J/g και μετά J/mole:

$$\text{Σε J/g: } 2,25 \times 10^6 \times 10^{-3} = 2,25 \times 10^3 \text{ J/g}$$

$$\text{Σε J/mole, πολλαπλασιάζουμε με το 18: } 40,5 \times 10^3 \text{ J/mole.}$$

Αν διαιρέσουμε την ενέργεια εξαέρωσης ανά mole με την ενέργεια ενός δεσμού υδρογόνου ανά mole, βρίσκουμε πόσοι δεσμοί υδρογόνου αντιστοιχούν κατά μέσο όρο σε ένα μόριο νερού: $40,5 \times 10^3 / 21 \times 10^3 = 1,93 \sim 2$.

Άρα, 2 δεσμοί υδρογόνου/μόριο νερού.

Άσκηση

Ένας δίσκος αλουμινίου μάζας 50 g και θερμοκρασίας 300 °C τοποθετείται εξ' ολοκλήρου μέσα σε 200 cm³ αιθυλικής αλκοόλης θερμοκρασίας 10 °C και αποσύρεται πολύ γρήγορα. Η θερμοκρασία του δίσκου αλουμινίου βρέθηκε να έχει πέσει στους 120 °C. Ποια είναι η νέα θερμοκρασία της αιθυλικής αλκοόλης;

Δεδομένα: ειδικές θερμότητες $c_{Al} = 900 \text{ J/Kg.K}$, $c_{ethyl} = 2400 \text{ J/Kg.K}$, πυκνότητα αιθυλικής αλκοόλης $\rho_{ethyl} = 789 \text{ Kg/m}^3$.

Λύση

Βρίσκουμε την μάζα της αιθυλικής αλκοόλης: $m_{\text{ethyl}} = \rho_{\text{ethyl}} \cdot V_{\text{ethyl}}$.

$$V_{\text{ethyl}} = 200 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{ethyl}} = \rho_{\text{ethyl}} \cdot V_{\text{ethyl}} = 789 \times 200 \times 10^{-6} = 0,1578 \text{ Kg.}$$

Επειδή η επαφή του δίσκου με την αλκοόλη ήταν πολύ σύντομη, μπορούμε να δεχθούμε ότι υπήρξε ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ τους, αλλά όχι με το περιβάλλον τους, συνεπώς μπορούμε να υποθέσουμε πως, για την διάρκεια της επαφής το σύστημα δίσκου-αλκοόλης ήταν απομονωμένο.

$$\text{Άρα } \Delta Q_{\text{Al}} + \Delta Q_{\text{ethyl}} = 0.$$

$$\text{Άρα } m_{\text{Al}} \cdot c_{\text{Al}} \cdot \Delta T_{\text{Al}} + m_{\text{ethyl}} \cdot c_{\text{ethyl}} \cdot \Delta T_{\text{ethyl}} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow 0,050 \times 900 \times (120 - 300) + 0,1578 \times 2400 \times (T - 10) = 0,$$

Όπου T είναι η ζητούμενη τελική θερμοκρασία της αλκοόλης.

$$\text{Άρα } -8100 + 378,72 \times T - 3787,2 = 0 \rightarrow 378,72 \times T = 11887,2 \rightarrow T = 11887,2 / 378,72 = 31,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

Είναι η τελική θερμοκρασία της αλκοόλης.