

Ενέργεια-Θερμότητα

Ενέργεια

Ιδιότητα της Ύλης: Μέγεθος χαρακτηριστικό της κατάστασης ενός σώματος ή ενός φυσικού συστήματος που σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα ενός σώματος ή του συστήματος να μπορεί να παράγει έργο ή να αλλάξει την κατάσταση του εαυτού του ή του περιβάλλοντός του

Εμφανίζεται κυρίως ως μεταβολή και μετασχηματισμός από τη μια μορφή στην άλλη παρά μονοσήμαντα

Διατήρηση της ενέργειας

Η ολική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή σε οποιαδήποτε μεταβολή του συστήματος

Τρεις στοιχειώδης μορφές της σωματιδιακής ύλης:

Κινητική Ενέργεια ($1/2mU^2$, $1/2\theta\omega^2$, $1/2kx^2$), Δυναμική Ενέργεια (mgh), Ισοδύναμης Μάζας (mc^2 με $m = m_0 (1/(1-u^2/c^2))^{1/2}$)

Κινητική Ενέργεια

- Σώμα μάζας 80 kg που κινείται με σταθερή ταχύτητα 65 km/h (=18 m/s)
 $E = \frac{1}{2} m v^2 = 13 \times 10^3 \text{ J}$.
Περιστροφική ενέργεια γης με περίοδο $T = 23.93 \text{ h}$ ή $\omega = 7.3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ και ροπή αδράνειας $\theta = 8 \times 10^{37} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \rightarrow E = 2.14 \times 10^{29} \text{ J}$.

Δυναμική Ενέργεια

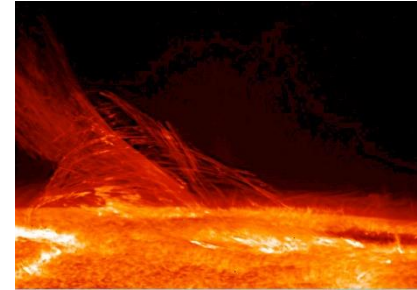
- Σώμα μάζας 1 kg που βρίσκεται σε ύψος 10^6 m : $E = mgh = 9.81 \times 10^6 \text{ J}$
(υποθέτοντας ότι η δυναμική ενέργεια στην επιφάνεια της γης είναι 0).
- Αν υποθέσουμε ότι η δυναμική ενέργεια είναι 0 σε άπειρη απόσταση, τότε $E = -G M_{\text{Γ}} m / (R_{\text{Γ}} + h) = -8.9 \times 10^6 \text{ J}$, αρνητική καθώς η κινητική ενέργεια αυξάνει καθώς το σώμα έρχεται προς τη γη και η ενέργεια διατηρείται.

Ενέργεια ισοδύναμης μάζας

- $E/m = c^2 = 9 \times 10^{16} \text{ J/kg} = 25000 \text{ GWh}$

Μορφές Ενέργειας

- Θερμότητα
- Ενέργεια Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας
- Χημική Ενέργεια
- Ηλεκτρική Ενέργεια
- Πυρηνική Ενέργεια (σχάση και σύντηξη)



Ορισμοί για την Ενέργεια

- Ορισμός από τη Φυσική: πρωταρχική έννοια
- Τεχνολογικός Ορισμός: θερμικό ισοδύναμο – μετατροπή από μία ενεργειακή μορφή σε άλλη
- Α' Θερμοδυναμικό Αξίωμα: διατήρηση ενέργειας στο κλειστό σύστημα (ποσότητα ενέργειας – μετατροπή)
- Απόδοση ενεργειακού συστήματος: Έξοδος προς Είσοδο
- Β' Θερμοδυναμικό Αξίωμα: κατά τις μετατροπές η ενέργεια υποβαθμίζεται και η εντροπία αυξάνει
- Διαθέσιμη ενέργεια: μέγιστο μέρος της ενέργειας που μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμο έργο
- Οικονομικός Ορισμός: προϊόν με ανταλλακτική αξία ή θέληση για πληρωμή
- Ενεργειακό Προϊόν:
- Ενσωματώνει ενέργεια προς διάθεση σε χρήση: αξία χρήσης και υποκατάστασης
- Η χρήση αυτή, δηλαδή η μετατροπή ενέργειας, απαιτεί τεχνολογικό εξοπλισμό: κεφάλαιο

Θερμότητα-Εφαρμογές

- Παραγωγή Ηλεκτρικής Ισχύος
- Εναλλακτικά Ενεργειακά Συστήματα
- Συστήματα Καύσης-Προώθησης
- Σχεδιασμός Κτιρίων
- Συστήματα Θέρμανσης-Ψύξης
- Οικιακές Εφαρμογές
- Επεξεργασία Υλικών/ Τροφής
- Ψύξη ηλεκτρονικών & Συσκευασιών
- Κρυογενικών Συστημάτων
- Περιβαλλοντικών Διεργασιών
- Διαστημικών Συστημάτων

Θερμότητα-Ορισμοί (1/2)

Θερμότητα

Μορφή ενέργειας που αφορά μακροσκοπικά αντικείμενα και προκύπτει από μικροσκοπικά φαινόμενα όπως την ενέργεια μεταφοράς και περιστροφής (κινητική ενέργεια) και την ενέργεια ταλάντωσης των μορίων, ατόμων ή ιόντων ενός σώματος.

Αποθηκεύεται και μεταφέρεται με φορείς στη μικροκοσμική κλίμακα (διέγερση των δεσμευμένων ηλεκτρονίων σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες).

Θερμοδυναμική

Μελέτη της μετατροπής ενέργειας από μηχανική ενέργεια -έργο- σε θερμότητα και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη θερμικών διεργασιών.

Θερμιδομετρία

Μέτρηση της ποσότητας της θερμότητας που εκλύεται ή απορροφάται κατά τις θερμικές μεταβολές των σωμάτων και ειδικότερα της μέτρησης της ειδικής θερμότητας αυτών.

École Polytechnique	Glasgow school	Berlin school	Edinburgh school
			
Sadi Carnot (1796-1832)	William Thomson (1824-1907)	Rudolf Clausius (1822-1888)	James Maxwell (1831-1879)
Vienna school	Gibbsian school	Dresden school	Dutch school
			
Ludwig Boltzmann (1844-1906)	Willard Gibbs (1839-1903)	Gustav Zeuner (1828-1907)	Johannes der Waals (1837-1923)

Περιβάλλον

Σύστημα

Όρια Συστήματος

Θερμότητα-Ορισμοί (2/2)

Διεργασία

Μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.

Η θερμοδυναμική ασχολείται με τη μελέτη της ενεργειακής κατάστασης ενός συστήματος σε θερμοδυναμική ισορροπία και τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την αλλαγή της. Τη θερμοδυναμική μακροσκοπική απόκριση του συστήματος μπορούμε να την προσδιορίσουμε πειραματικά.

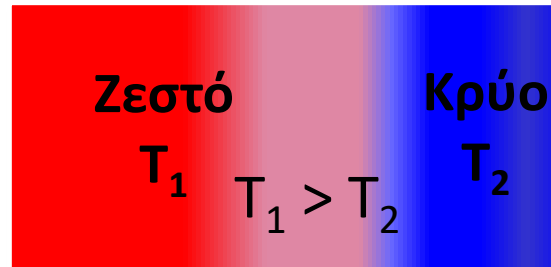
Μετάδοση Θερμότητας

Προσδιορισμός του ρυθμού ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ συστημάτων αλλά και των εσωτερικών ρυθμών ροής ενέργειας και της κατανομής θερμοκρασίας που αυτή συνεπάγεται.

Αυθόρμητη Διεργασία από T_1 σε T_2
με $T_1 > T_2$

Ροή Ενέργειας

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$



Θερμότητα-Συμβολισμοί

<u>Μέγεθος</u>	<u>Συμβολισμός</u>	<u>Μονάδες SI</u>
Θερμότητα (μεταφορά θερμότητας)	Q	Joule (J)
Ρυθμός Θερμότητας (ρυθμός μεταφοράς θερμότητας) (ρυθμός θερμικής ενέργειας) (ρυθμός θερμικής ροής)	$\dot{Q}=P=dQ/dt$	Watt (W)
Ροή Θερμότητας (Ρυθμός θερμότητας ανά μονάδα επιφάνειας)	q''	W/m ²
Ρυθμός θερμότητας ανά μονάδα μήκους	q'	W/m
Ογκομετρική παραγωγή θερμότητας (ρυθμός παραγωγής θερμότητας ανά μονάδα όγκου)	q	W/m ³

Μετατροπή: 1 Btu = 1054 J, 1 kcal = 4184 J

Εσωτερική Ενέργεια

Εσωτερική ενέργεια (U)

Συνολική ενέργεια οποιασδήποτε μορφής, όλων των σωματιδίων που αποτελούν το σύστημα (κινητική ενέργεια της άτακτης μεταφορικής κίνησης των μορίων, η ενέργεια περιστροφής και ταλάντωσής τους, αλλά και η ηλεκτρική, η χημική ή η ατομική ενέργεια του συστήματος)

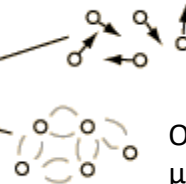
Απομονωμένα συστήματα δεν ανταλλάσσουν ούτε ύλη ούτε ενέργεια με το περιβάλλον,

Κλειστά αυτά που ανταλλάσσουν μόνο ενέργεια

Ανοικτά αυτά που ανταλλάσσουν και ύλη και ενέργεια

Εμφανίζει το ποτήρι σε ισορροπία κάποια μορφή ενέργειας;

Μακροσκοπικά Όχι



Η μικροσκοπική κινητική ενέργεια είναι μέρος της εσωτερικής ενέργειας

Οι ελκτικές μοριακές δυνάμεις συνδέονται με τη δυναμική ενέργεια

Θερμότητα-Θερμοκρασία

Η **θερμότητα** είναι το ποσό ενέργειας που η απελευθέρωση και η δέσμευσή του (απαγωγή ή προσφορά) από την ύλη μπορεί να συνδέονται, ανάλογα με τις συνθήκες, με μεταβολή της θερμοκρασίας, μεταβολή του όγκου και με μετατροπές φάσεων ή καταστάσεων.

Θερμοκρασία είναι το μέτρο της μέσης κινητικής κατάστασης των μορίων ή ατόμων ενός υλικού. Αν m είναι η μάζα ενός σωματίου τότε το παραπάνω εκφράζεται μαθηματικά με τη σχέση:

$$\frac{1}{2}m \times v^2 = 3kT / 2 \longrightarrow T_{kinetic} = \frac{2}{3k} \left[\overline{\frac{1}{2}mv^2} \right] = \frac{2}{3k} KE_{avg}$$

όπου k σταθερά Boltzmann ($1.38064852 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$).

Επομένως, όταν τα άτομα ή μόρια έχουν ταχύτητα μηδέν και η θερμοκρασία θα είναι μηδέν και αυτός είναι ο ορισμός του μηδενός στην απόλυτη κλίμακα θερμοκρασιών (κλίμακα Kelvin). Στην κλίμακα Κελσίου το μηδέν ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία συνυπάρχουν νερό και πάγος σε πίεση μιας ατμοσφαιράς.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσει την μοριακή ταχύτητα.
- Ένα αντικείμενο με λιγότερο ογκώδη μόρια θα έχει μεγαλύτερη μοριακή ταχύτητα στην ίδια θερμοκρασία.
- Όταν εφαρμόζεται η θερμοκρασία κίνησης, δύο αντικείμενα με την ίδια μέση κινητική ενέργεια μεταφοράς θα έχουν την ίδια θερμοκρασία.

Θερμότητα-Θος Νόμος

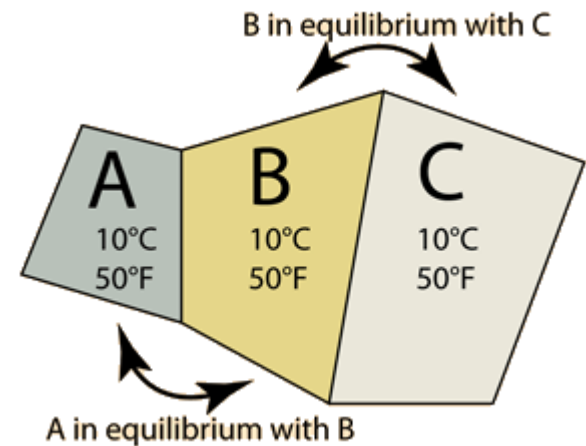
Μηδενικός Νόμος Θερμοδυναμικής

Η **Θερμότητα** έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή είτε της κινητικής ενέργειας ατόμων ή μορίων (μεταβολή θερμοκρασίας) με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης απόστασης μεταξύ ατόμων ή μορίων (διαστολή των σωμάτων) είτε της δυναμικής ενέργειας ατόμων ή μορίων (αλλαγή φάσης).

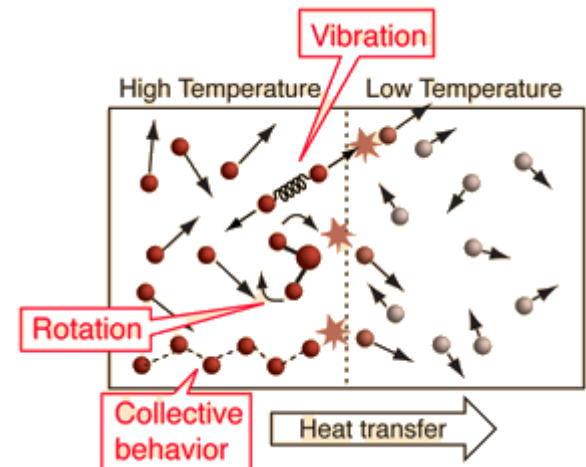
Αν φέρουμε δυο συστήματα με διαφορετική θερμοκρασία σε θερμική επαφή μεταφέρεται θερμότητα από το θερμότερο στο ψυχρότερο, μέχρι να εξισωθούν οι θερμοκρασίες τους. Με τον όρο **Θερμότητα** εννοούμε το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται από ή σ' ένα σύστημα.

Η ολοκλήρωση της ροής θερμότητας, σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, Δt , προσδιορίζει το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας, δηλαδή:

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt$$



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>



Θερμότητα-Ειδική Θερμότητα-Θερμοχωρητικότητα

Θερμοχωρητικότητα K (heat capacity) ορίζεται ως η σταθερά αναλογίας της μεταβολής της θερμοκρασίας ΔT ενός συστήματος με το ποσό θερμότητας ΔQ που ανταλλάσει το σύστημα και προκαλεί τη μεταβολή της θερμοκρασίας

$$\Delta Q = K \cdot (T_{\tau} - T_{\alpha})$$

όπου T_{α} και T_{τ} είναι η αρχική και η τελική θερμοκρασία του συστήματος αντιστοίχως.

Θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα ποσού ύλης-ειδική θερμότητα C (specific heat capacity)

Η θερμότητα που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου μοναδιαίας μάζας κατά ΔT 1°C ή

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot (T_{\tau} - T_{\alpha})$$

Η ειδική θερμότητα αναφέρεται όχι στο αντικείμενο αλλά στο υλικό από το οποίο αυτό είναι κατασκευασμένο.

Θερμότητα-Ειδική Θερμότητα

Ειδική θερμότητα γραμμομορίων (γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα (molar heat capacity)) : θερμοχωρητικότητα/γραμμομόρια ($c = K/v$),

Ειδική θερμότητα ανά χιλιόγραμμα (specific heat capacity))

θερμοχωρητικότητα/μάζα m ($c = K/m$), οπότε και λέγεται Ειδική Θερμότητα (heat capacity).

Ειδικές θερμότητες υλικών σε θερμοκρασία δωματίου

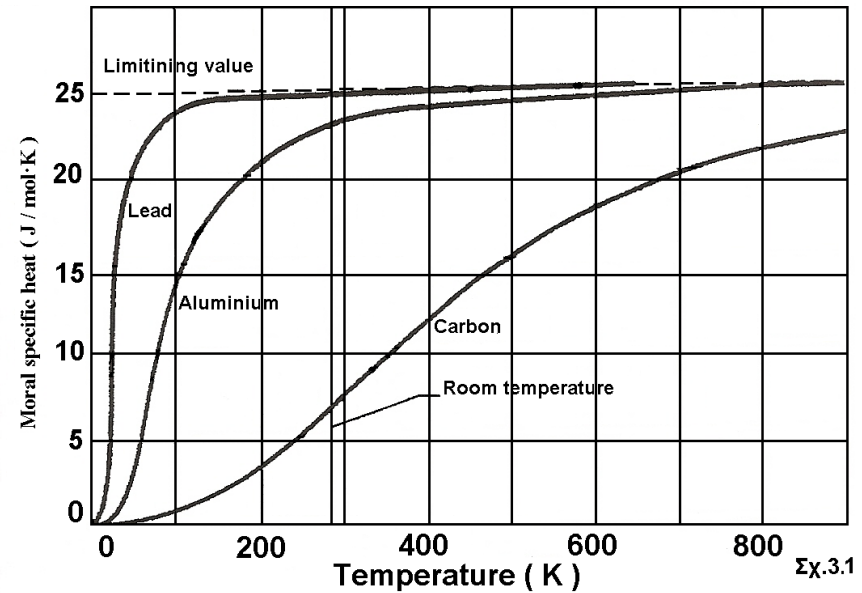
Υλικό	[J/kg·K]	[J/mol·K]
Μόλυβδος	128	26.5
Άργυρος	236	25.5
Χαλκός	386	24.5
Αλουμίνιο	900	24.5
Γρανίτης	790	
Γυαλί	840	
Πάγος στους - 10°C	2220	
Υδράργυρος	140	
Αιθυλική Αλκοόλη	2430	
Θαλασσινό Νερό	3900	
Νερό	4190	

Θερμότητα-Θερμοχωρητικότητα

Η γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα των στοιχείων σε στερεά κατάσταση μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και πλησιάζει την τιμή των $25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ σε υψηλές θερμοκρασίες.

Όταν συγκρίνουμε δυο ουσίες ίσου αριθμού γραμμομορίων, συγκρίνουμε δείγματα που περιέχουν τον ίδιο αριθμό ατόμων.

Το γεγονός ότι σε υψηλές θερμοκρασίες όλα τα στοιχεία σε στερεά κατάσταση έχουν την ίδια γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα, σημαίνει ότι σ' αυτές τις θερμοκρασίες άτομα όλων των ειδών απορροφούν ενέργεια κατά τον ίδιο τρόπο.



Ειδική Θερμότητα-Ασκήσεις (1/2)

1. Κατόπιν εξαντλητικής εργασίας, πίνουμε 1 L σχεδόν παγωμένο νερό (0 °C). Πόση θερμότητα σε θερμίδες δίνεται από το σώμα σας για την ανύψωση του νερού στη θερμοκρασία του σώματος των 36 °C;

ΛΥΣΗ

1 L = 1 kg και ειδική θερμότητα νερού 1 calorie/(g °C)

$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ calorie}/(\text{g } ^\circ\text{C}) \cdot (36 - 0) ^\circ\text{C} = 36.000 \text{ calories} = 36 \text{ kcal} = 36 \text{ Calories (calorie τροφής)}$

2. Για τις ίδιες μάζες χαλκού, νερού και ανθρώπινου σώματος δίνεται το ίδιο ποσό θερμότητας, 1000 J. Ποιο σώμα θα αποκτήσει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία;

ΛΥΣΗ

Ειδική θερμότητα χαλκού 387 J/(kg°C), νερού 4186 J/(kg°C), Ανθ. Σωμ. 3500J/(kg°C)

$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T$ Άρα ΔT αντιστρόφως ανάλογη με ειδική θερμότητα και ο χαλκός θα βρεθεί στη μεγαλύτερη θερμοκρασία

3. Σύμφωνα με τον τσελεμεντέ προετοιμασίας τηγανητού ψαριού, το ψάρι θα πρέπει να βράσει σε 1 kg λάδι στη θερμοκρασία των 175°C. Το λάδι βρίσκεται αρχικά στους 25 °C. Εάν η κουζίνα μεταφέρει ενέργεια στο λάδι με ρυθμό 200 W, υπολογίστε το χρόνο που απαιτείται για να θερμανθεί το λάδι στη θερμοκρασία που θα τοποθετηθεί το ψάρι (Η ειδική θερμότητα του λαδιού είναι 2000 J/(kg °C))

ΛΥΣΗ

$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T \rightarrow W \cdot t = m \cdot C \cdot \Delta T \rightarrow 200 \text{ W} \cdot t = 1 \text{ kg} \cdot 2000 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \cdot (175 - 25) ^\circ\text{C} \rightarrow t = 1500 \text{ s}$

Ειδική Θερμότητα-Ασκήσεις (2/2)

4. Σε απομονωμένο δοχείο τοποθετούμε νερό με μάζα 0.96 kg και θερμοκρασία 20 °C. Πόση είναι η θερμότητα που μεταφέρεται από καυτό κομμάτι σιδήρου (0.42 kg) και η αρχική θερμοκρασία του σιδήρου αν η τελική θερμοκρασία του συστήματος στην κατάσταση ισορροπίας θα είναι 30 °C; Δίνονται οι ειδικές θερμότητες του νερού και του σιδήρου στις θερμοκρασίες αναφοράς ως $C_{\text{νερού}} = 4200 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ και $C_{\text{σιδήρου}} = 480 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$

ΛΥΣΗ

$$\Delta Q_{\text{νερού}} = \Delta Q_{\text{σιδήρου}} \quad (1)$$

Άρα όλη η μεταβολή της θερμότητας του νερού οφείλεται στη θερμότητα που προσφέρεται από το σίδηρο ώστε τα 2 σώματα να βρεθούν σε θερμική ισορροπία.

$$\Delta Q_{\text{νερού}} = M_{\text{νερού}} \cdot C_{\text{νερού}} \cdot \Delta T_{\text{νερού}} = 0.96 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \cdot 10 ^\circ\text{C} = 40320 \text{ J}$$

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του σιδήρου θα είναι:

$$\Delta T_{\text{σιδήρου}} = \Delta Q_{\text{σιδήρου}} / (m_{\text{σιδήρου}} \cdot C_{\text{σιδήρου}}) = 200 ^\circ\text{C}$$

$$\text{Άρα } T_{\text{αρχ-σιδήρου}} = T_{\text{τελ-σιδήρου}} + \Delta T_{\text{σιδήρου}} = 230 ^\circ\text{C}$$

5. Ποια θα είναι η τελική θερμοκρασία του συστήματος όταν 0.5 kg νερού στους 80 °C αναμιγνύονται με 0.2 kg νερού στους 20 °C;

6. Πόση ενέργεια θα καταναλώσει το ψυγείο για να ψύξει κουτάκι αναψυκτικού από τους 25 °C στους 5 °C (θερμοχωρητικότητα αναψυκτικού 1400 J/ °C);

7. Πως θα μπορούσατε να μετρήσετε πειραματικά την ειδική θερμότητα ενός κομματιού αλουμινίου αν είχατε στη διάθεσή σας: νερό, ζυγαριά, εστία θερμότητας, θερμόμετρο και θερμιδόμετρο (δοχείο από φελιζόλ για τη θερμική απομόνωση των συστημάτων). Γράψτε τις εξισώσεις που θα χρησιμοποιήσετε.

Θερμική Διαστολή

Γραμμική Διαστολή: Η μεταβολή ΔL μεταλλικής ράβδου μήκους L λόγω αύξησης της θερμοκρασίας κατά ΔT , είναι ανάλογη του μήκους L , της μεταβολής της θερμοκρασίας ΔT και του συντελεστή γραμμικής διαστολής α

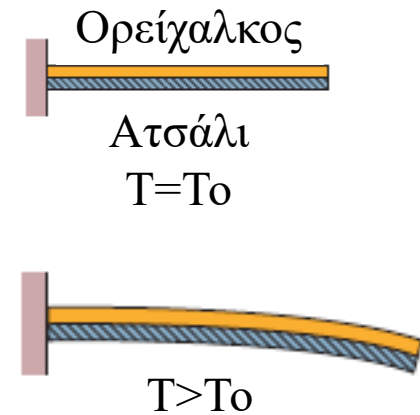
$$\Delta L = L\alpha \Delta T$$

Διαστολή Όγκου: Η μεταβολή ΔV στερεού ή υγρού όγκου V λόγω αύξησης της θερμοκρασίας κατά ΔT , είναι ανάλογη του όγκου V , της μεταβολής της θερμοκρασίας ΔT και του συντελεστή διαστολής όγκου β

$$\Delta V = V\beta \Delta T$$

$$\text{με } \beta = 3\alpha$$

Το νερό συστέλλεται ανάμεσα στους 0 και 4°C και διαστέλλεται για μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Η μέγιστη πυκνότητα του νερού εμφανίζεται στους 4° C.



Θερμότητα-Θερμική Κίνηση

Αέρια: Μόρια σε τυχαία κίνηση όπου η πυκνότητα πιθανότητας, ανά μονάδα ταχύτητας, να βρεθεί το σωματίο σε ταχύτητα u , δίνεται από τη σχέση:

$$f(v) = 4\pi \left[\frac{m}{2\pi kT} \right]^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT}$$

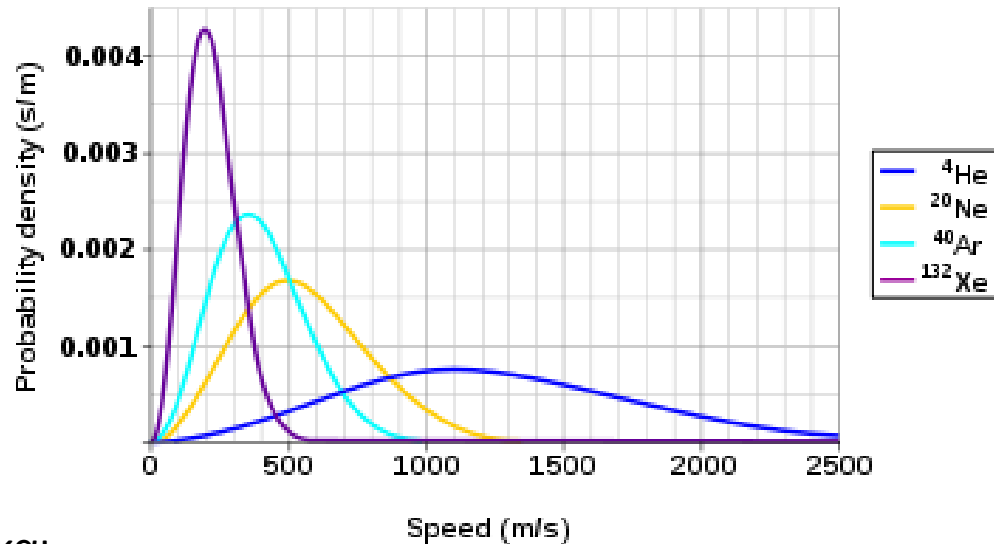
Όπου m η μάζα του σωματίου, k η σταθερά του Boltzmann
 T η θερμοδυναμική θερμοκρασία

Υγρά: Περιορισμένη κίνηση μορίων όπου οι δυνάμεις συνοχής επιτρέπουν μικρές μετατοπίσεις. Μπορεί να δημιουργηθεί με την αύξηση της **πίεσης** σε ένα αέριο σώμα.

Στερεά: Ταλαντωτικές κινήσεις των μορίων γύρω από κέντρο ταλάντωσης (μέση θέση). Είναι σταθερές όταν η θερμοκρασία είναι σταθερή και δεν ασκούνται δυνάμεις στο σώμα. Οι ισχυρές διαμοριακές δυνάμεις συγκρατούν τα γειτονικά μόρια.

Αν **θερμανθεί**, αυξάνεται η ταχύτητα ταλάντωσης με αύξηση της **θερμοκρασίας** και μικρή αύξηση του μεγέθους του στερεού (θερμική διαστολή).

Κατανομή μοριακής ταχύτητας Maxwell-Boltzmann για τα ευγενή αέρια στους 25 °C (Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες, η κατανομή μετατοπίζεται προς τα δεξιά όπως και στο σχήμα)



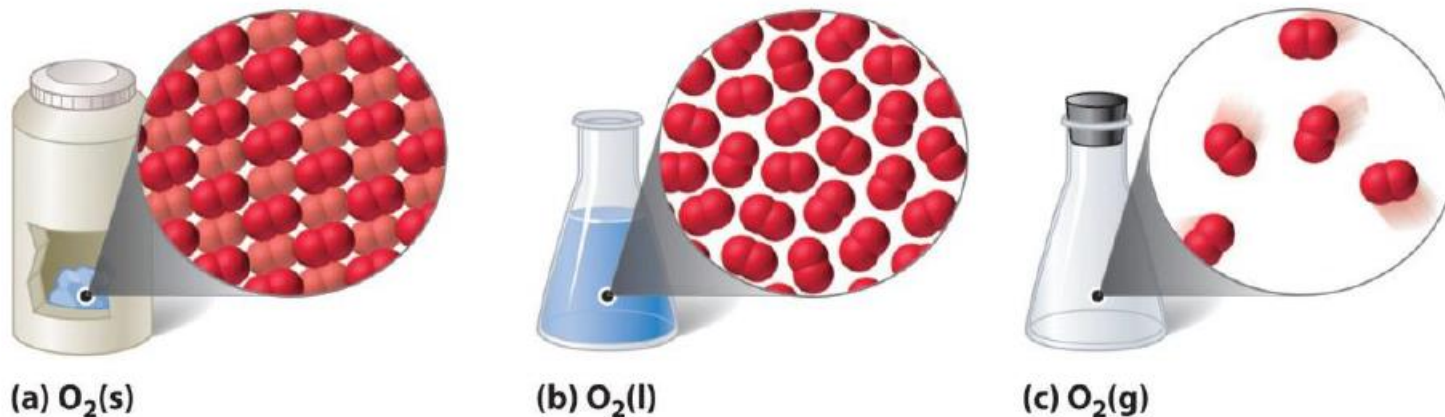
https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%E2%80%93Boltzmann_distribution

Θερμότητα-Αλλαγή φάσης

Η μεταβολή στη θερμοκρασία δεν είναι το μόνο φαινόμενο που συνδέεται με ανταλλαγή θερμότητας. Επιπλέον ή αντί των μεταβολών θερμοκρασίας είναι δυνατόν να επέλθουν μετατροπές φάσεων. Έτσι πάγος 0 °C απορροφώντας θερμότητα λιώνει, ενώ διατηρεί σταθερή θερμοκρασία. Αντίστοιχα το νερό 100 C απορροφώντας θερμότητα εξατμίζεται διατηρώντας σταθερή θερμοκρασία. Κατά την αντίστροφη διαδικασία (πήξη, υγροποίηση ατμών) απελευθερώνεται θερμότητα πάλι χωρίς μεταβολή της θερμοκρασίας. Το ποσό της θερμότητας ΔQ , που απαιτείται για την εξάτμιση ποσότητας m ενός υγρού, θα είναι :

$$\Delta Q = L_v \cdot m$$

Ο συντελεστής L_v λέγεται ειδική λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (specific latent heat of vaporization). Η τιμή του L_v είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό και εξαρτάται από το σημείο βρασμού



<http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s14-gases.html>

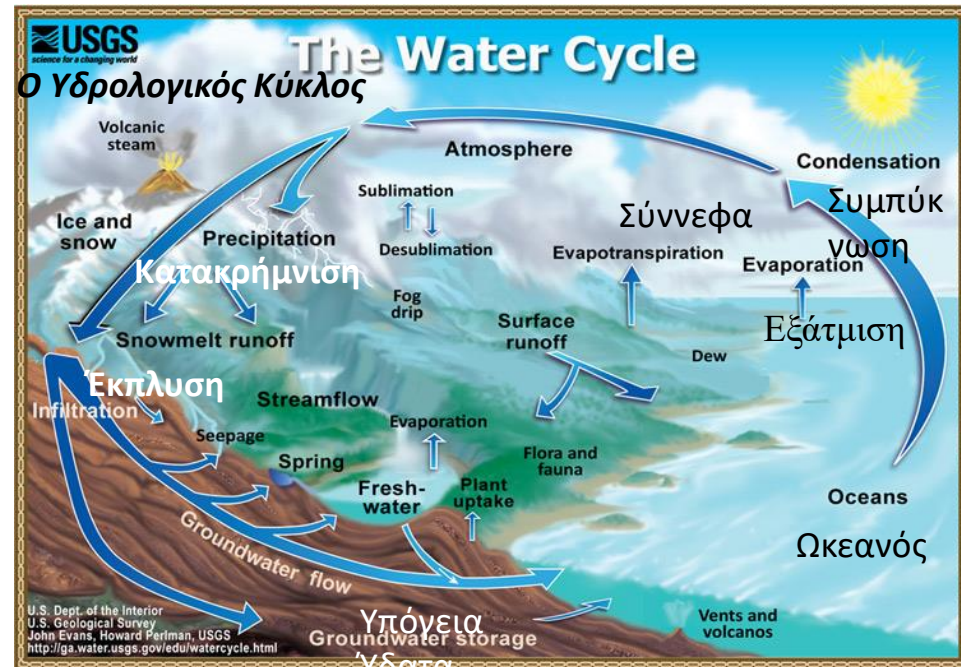
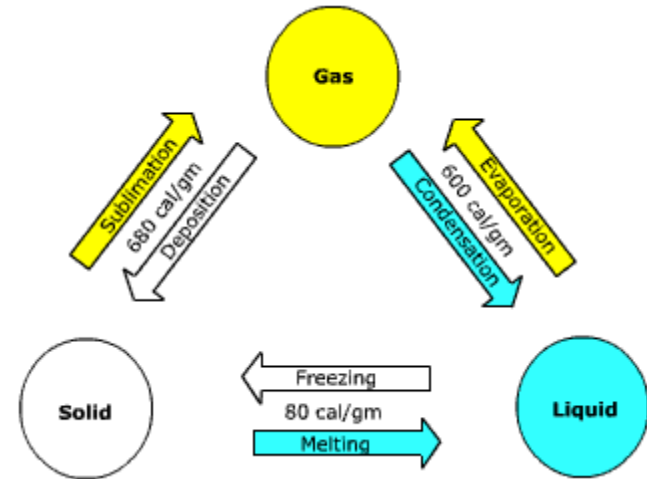
Θερμότητα-Αλλαγή φάσης

- Τήξη:** από στερεά (πάγος) σε υγρή φάση
- Εξάτμιση:** από υγρή σε αέρια (υδρατμοί) φάση
- Συμπύκνωση:** από αέρια (υδρατμοί) σε υγρή φάση
- Πήξη:** από υγρή σε στερεή φάση (πάγος)
- Στερεοποίηση:** από αέρια (υδρατμοί) σε στερεά φάση
- Εξάχνωση:** από στερεά (πάγος) σε αέρια (υδρατμοί) φάση

Οι σημαντικότερες μεταβολές που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα είναι η Εξάτμιση (ενδόθερμη και απορροφάται θερμότητα από το σώμα του νερού) και η Συμπύκνωση (εξώθερμη και απελευθερώνεται θερμότητα στον αέρα)

Ερώτημα: Γιατί όταν βγαίνουμε από τη θάλασσα, κρυώνουμε;

Κύκλος Νερού



Θερμότητα-Αλλαγή φάσης-Εξάτμιση

Ερώτημα: Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η εξάτμιση του νερού στο περιβάλλον;

- **Αύξηση θερμοκρασίας**
 - π.χ. τα ρούχα στεγνώνουν γρηγορότερα αν η μέρα είναι θερμή.
- **Μείωση υγρασίας**
 - Αν η μέρα είναι υγρή, τα ρούχα στεγνώνουν πιο αργά, γιατί μόρια υδρατμών επιστρέφουν πίσω στα ρούχα σχεδόν με την ίδια ταχύτητα που διαφεύγουν.
- **Ένταση αέρα**
 - Τα ρούχα στεγνώνουν πιο εύκολα αν ο αέρας είναι πιο δυνατός, γιατί μεταφέρονται μακριά μόρια του αέρα και δεν ξαναεπιστρέφουν πίσω στα ρούχα.
- **Αύξηση επιφάνειας**
 - Μετά από μια βροχερή μέρα, το νερό στους δρόμους εξατμίζεται γρηγορότερα, απ' ό,τι σ' ένα δοχείο.
- **Κατάσταση νερού (ελεύθερη ή δεσμευμένη)**
 - Διαφορετική ταχύτητα εξάτμισης για επιφανειακό νερό σε σχέση με το νερό δεσμευμένο σε χώμα ή άλλα υλικά

Θερμότητα-Αλλαγή φάσης

Θερμότητα εξάτμισης του νερού στο κανονικό του σημείο βρασμού ($T_b = 100\text{ }^\circ\text{C}$ σε πίεση 1 Atm) **$L_f = 2260\text{ kJ/kg}$** (ίση με θερμότητα ανά μονάδα μάζας που απελευθερώνεται κατά την συμπύκνωση-υγροποίηση ίσης ποσότητας ατμού στην ίδια θερμοκρασία και πίεση).

Θερμότητα πήξης ανά μονάδα μάζας που ελευθερώνεται όταν το νερό παγώνει **$L_f = 334\text{ kJ/kg}$** για το κανονικό σημείο πήξης του νερού ($T_f = 0\text{ }^\circ\text{C}$) (ίση με **θερμότητα τήξης**)

Τιμές λανθανουσών θερμοτήτων διαφόρων ουσιών (http://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat)

Ουσία	Λανθάνουσα θερμότητα τήξης (kJ/kg)	Σημείο Τήξης (C)	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (kJ/kg)	Σημείο βρασμού (C)
Αιθυλική Αλκοόλη	108	-114	855	78.3
Αμμωνία	339	-75	1369	-33.34
Διοξείδιο του άνθρακα	184	-78	574	-57
Υδρογόνο	58	-259	455	-253
Μόλυβδος	24.5	327.5	871	1750
Άζωτο	25.7	-210	200	-196
Οξυγόνο	13.9	-219	213	-183

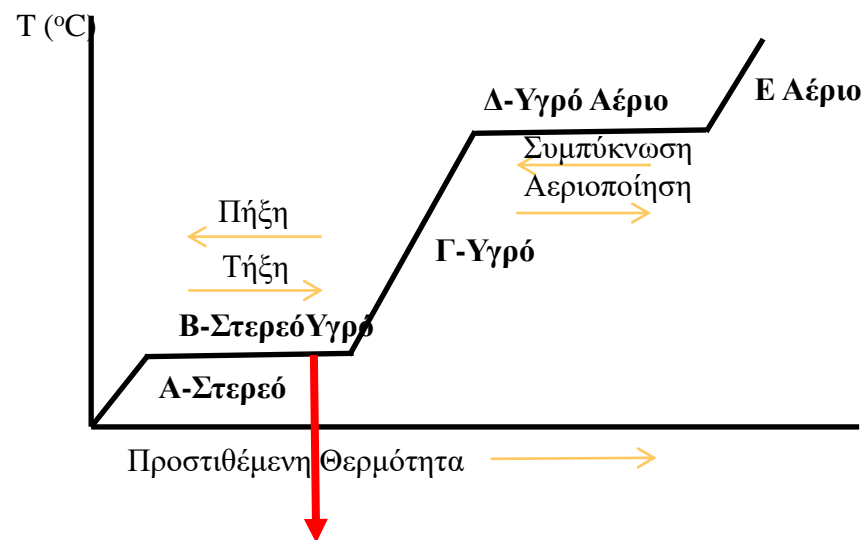
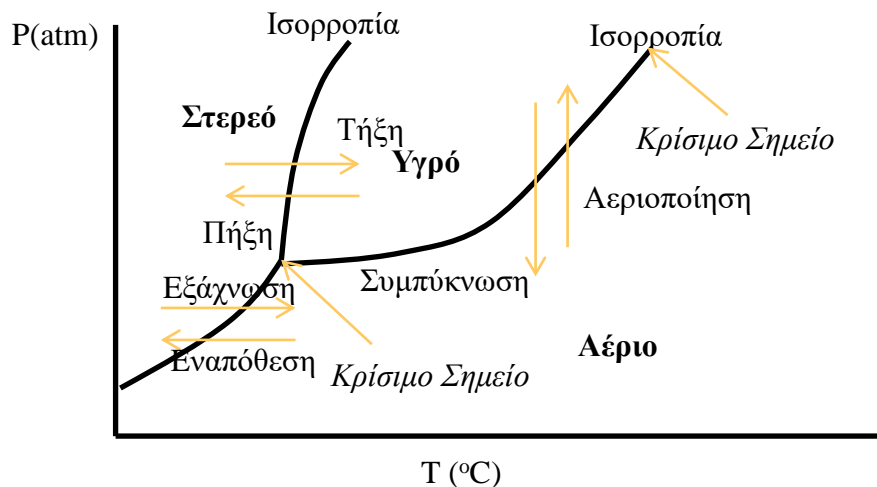
Ερώτημα: Γιατί η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού είναι μικρότερη από τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού;

Απάντηση: Γιατί στην τήξη διατηρείται σημαντικός αριθμός δεσμών υδρογόνου και απαιτείται και απορροφάται λιγότερη θερμότητα

Θερμότητα-Υλικά Αλλαγής Φάσης

Θερμική
Αποθήκευση

Αισθητή Θερμότητα
Λανθάνουσα Θερμότητα
Θερμοχημική



Η προστιθέμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης δεν αυξάνει τη θερμοκρασία

Λανθάνουσα Θερμότητα-Ασκήσεις (1/2)

1. Σε έντονη εργασία, αποβάλλεται μέσω ιδρώτα και εξάτμισης 1 L νερό ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία του σώματος (37 °C). Πόση ποσότητα κρύου νερού (2 °C) θα πρέπει να πει ο εργαζόμενος ώστε να δημιουργήσει το ίδιο συναίσθημα δροσισμού; Δίνονται η ειδική θερμότητα του νερού $C_{\text{νερού}} = 4200 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ και η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού $L_v = 2200 \text{ kJ}/\text{kg}$

ΛΥΣΗ

$Q_{\text{εξάτμισης}} = L_v M = 2200 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot 1 \text{ kg}$; $Q_c = m \cdot C \cdot \Delta T = m \cdot 4200 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \cdot 35 ^\circ\text{C}$
 $M = 2200/147 \text{ kg} = 15 \text{ kg}$ ή 15 L

2. Πόση ποσότητα πάγου (0 °C) θα πρέπει να προστεθεί σε 0.5 L (25 °C) για να ψυχθεί κατά 10 °C Δίνονται οι ειδικές θερμότητες του νερού $C_{\text{νερού}} = 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$ και η λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού $L = 80 \text{ cal}/\text{g}$

25-10

ΛΥΣΗ

$Q_{\text{νερού}} = m \cdot C \cdot \Delta T = 0.5 \text{ kg} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C}) \cdot 15 ^\circ\text{C} = 7500 \text{ calories}$

$Q_{\text{πάγου}} = M \cdot C \cdot \Delta T + L \cdot M = Q_{\text{νερού}}$ (και θερμότητα τήξης και αύξησης της θερμοκρασίας μέχρι 10 °C)

$M = Q_{\text{πάγου}} / (L + C \cdot \Delta T) = 7500 \text{ cal} / (80 \text{ cal}/\text{g} + 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C}) \cdot 10 ^\circ\text{C}) = 83.3 \text{ g}$

3. Παγοκυψέλες σκεπάζονται με 0.5 kg νερό 20 °C και τοποθετούνται στο ψυγείο. Πόση ενέργεια απαιτείται να απομακρυνθεί από το νερό για να το μετατρέψει σε παγοκύβους στους -5 °C. Δίνονται τα ίδια στοιχεία με την Άσκηση (2)

ΛΥΣΗ

Νερό από 20 → 0 °C: $Q_1 = m \cdot C \cdot \Delta T_1 = 0.5 \text{ kg} \cdot 1 \text{ cal}/(\text{g } ^\circ\text{C}) \cdot (-20 ^\circ\text{C}) = -10000 \text{ cal}$

Αλλαγή φάσης νερού: $Q_2 = m \cdot L = -40000 \text{ cal}$

Πάγος από 0 → -5 °C: $Q_3 = m \cdot C \cdot \Delta T_2 = -1250 \text{ cal}$

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -51250 \text{ cal}$

Λανθάνουσα Θερμότητα-Ασκήσεις (2/2)

4. Πόση θερμότητα απαιτείται για να μετατραπεί 1 kg νερό 20 °C σε ατμό; Αν η θέρμανση γίνει στο «μάτι» της κουζίνας ισχύος 1000 W όπου απορροφάται από το νερό 60%, σε πόσο χρόνο όλο το νερό θα μετατραπεί σε ατμό; Δίνονται η ειδική θερμότητα του νερού $C_{\text{νερού}} = 1 \text{ cal / (g } ^\circ\text{C)}$ και η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσης του νερού $L_v = 540 \text{ cal/g}$.

ΛΥΣΗ

$$\alpha) Q_{\text{θερμ}} = Q_{20 \rightarrow 100} + Q_{100} = 1000 \cdot 1 \cdot 80 \text{ cal} + 1000 \cdot 540 \text{ cal} = 620 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{θερμ}} = 60\% Q_{\text{ηλεκ}} \rightarrow Q_{\text{ηλεκ}} = 620 \text{ kcal} / 0.6 = 1033 \text{ kcal} = 1033 \cdot 4.19 \text{ J} = 4.33 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$\beta) P = Q/t \rightarrow t = Q/P = 4.33 \cdot 10^6 \text{ J} / 1000 \text{ W} = 4.33 \cdot 10^3 \text{ s} = 1.2 \text{ h} = 1 \text{ h } 12 \text{ min}$$

5. Πόσος χρόνος απαιτείται για να φτάσει το νερό της Άσκησης 4 στους 100 °C;

6. Πόσος χρόνος απαιτείται για τη ψύξη της Άσκησης 3 εάν η ισχύς του καταψύκτη είναι 100 W;

7. **Ερώτημα:** Γιατί το χειμώνα ρίχνεται αλάτι στους δρόμους πριν τη χιονόπτωση;

Μέτρηση θερμοκρασίας

Κλίμακες Θερμοκρασίας:

Kelvin Celsius Fahrenheit

373.15 K 100°C 212°F

Σημείο Βρασμού του Νερού σε ατμοσφαιρική πίεση

$$T_K = T_C + 273.15 \quad T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) \quad T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

Σημείο Πήξης του Νερού σε ατμοσφαιρική πίεση

273.15 K 0°C 32°F
Kelvin Celsius Fahrenheit

Θερμόμετρο Υπέρουθρης Ακτινοβολίας



Ψηφιακό Θερμόμετρο

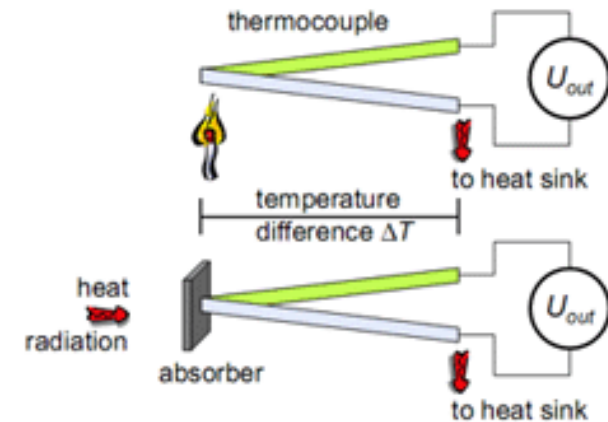
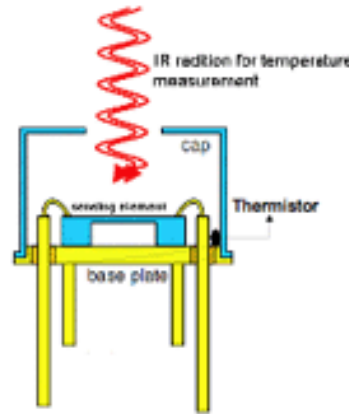
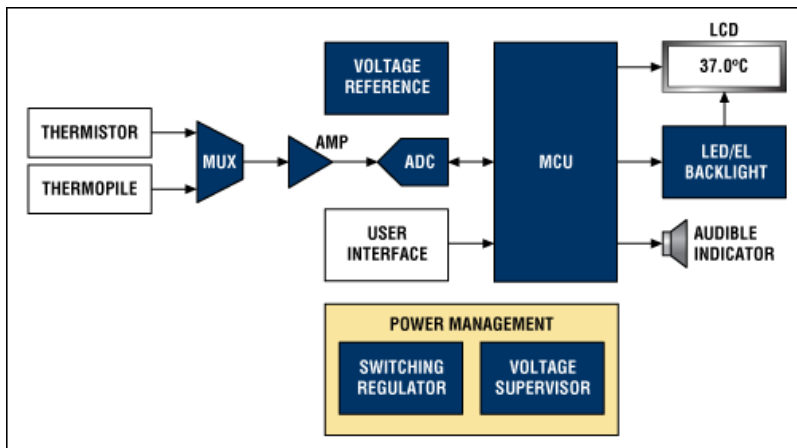


Figure 3. IR temperature sensor

Θερμότητα

Θερμότητα Q

Σχετίζεται με αλλαγές στην εσωτερική ενέργεια μέσω

Δημιουργεί μεταβολές θερμοκρασίας που επηρεάζονται από

1^{ος} Νόμος
Θερμοδυναμικής

$$\Delta U = Q - W$$

Ειδική Θερμότητα

$$Q = m c \Delta T$$

Ή έργο που παράγει την ίδια τελική κατάσταση σε

Συμμετέχει σε μηχανισμούς για

Παράδειγμα
Θερμότητας

Μεταφορά
Θερμότητας

$$Q/t = kA\Delta T/d$$

Δημιουργεί πολλά πρακτικά

Ερωτήματα

Θερμότητα – 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής

Η μεταβολή ενός συστήματος από μια κατάσταση εσωτερικής ενέργειας U_1 σε μια άλλη εσωτερικής ενέργειας U_2 μπορεί να μην προέρχεται μόνο από ανταλλαγή θερμότητας, αλλά και λόγω προσφοράς στο σύστημα ή απόδοσης από το σύστημα μακροσκοπικού έργου ΔW . Η συνολική ενέργεια διατηρείται καθώς ισχύει (πρώτος θερμοδυναμικός νόμος):

$$dU = \delta Q - \delta W$$

Σύμφωνα με τον πρώτο θερμοδυναμικό νόμο, σε μια αδιαβατική μεταβολή όπου αποκλείεται η θερμική επαφή του συστήματος με το περιβάλλον του ($\delta Q=0$), η μεταβολή dU της εσωτερικής του ενέργειας οφείλεται αποκλειστικά στο προσφερόμενο στο σύστημα ή στο αποδιδόμενο από το σύστημα έργο δW .

Θερμοδυναμική: χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής θερμότητας που μεταφέρεται σε μια διεργασία στην οποία το σύστημα μεταβαίνει από μια κατάσταση ισορροπίας σε κάποια άλλη (τη «γενική» εικόνα της διεργασίας).

Μεταφορά Θερμότητας: προσφέρει τους φυσικούς νόμους για τον υπολογισμό της ροής θερμότητας και του χρόνου που απαιτείται για να συμβεί η διεργασία, καθώς και την κατανομή θερμοκρασίας σε ένα σύστημα σε οποιοδήποτε χρόνο (τις «λεπτομέρειες» για το σχεδιασμό)

Θερμότητα – 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής

Θερμοδυναμικό Έργο (W)

Το έργο δίνεται από τη σχέση $dW=f.dX$ και καθώς η πίεση $P=F/A$ το έργο μπορεί να γραφεί ως:

$dW = PAdx = PdV$ όπου A είναι το εμβαδό που εξασκείται η δύναμη.

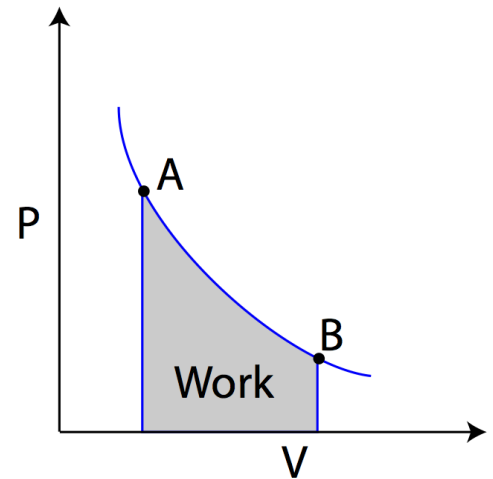
Για πεπερασμένες μεταβολές από αρχικό όγκο V_1 σε V_2 το έργο ισούται με:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} dW = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Διαγράμματα P-V

Χρήσιμα εργαλεία για την οπτικοποίηση των θερμοδυναμικών διεργασιών των αερίων

Στη μετάβαση από την κατάσταση A στην B, ο όγκος του ιδανικού αερίου αυξάνεται, ενώ η πίεσή του μειώνεται. Στην μετάβαση από την κατάσταση B στην A, συμβαίνει το αντίθετο. Επειδή το έργο για το ιδανικό αέριο δίνεται από $W = -P\Delta V$, μπορεί να βρεθεί το έργο για το ιδανικό αέριο γραφικά από το διάγραμμα με τον υπολογισμό της περιοχής κάτω από την καμπύλη. Λόγω της σύμβασης θετικού/ αρνητικού προσήμου, καθώς ο όγκος του αερίου επεκτείνεται, το αέριο παράγει το έργο (W είναι αρνητική), ενώ καθώς το αέριο συμπιέζεται, το έργο γίνεται στο αέριο (W είναι θετικό).



Θερμότητα – 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής

Οι τύποι των διεργασιών περιλαμβάνουν:

Αδιαβατική - θερμότητα (Q) δεν μεταφέρεται μέσα ή έξω από το σύστημα

$$PV^\gamma = c \rightarrow W = (P_2V_2 - P_1V_1)/(1-\gamma)$$

$\gamma > 1$ και $c = \text{σταθερό}$

Ισοβαρής - Πίεση (P) παραμένει σταθερή

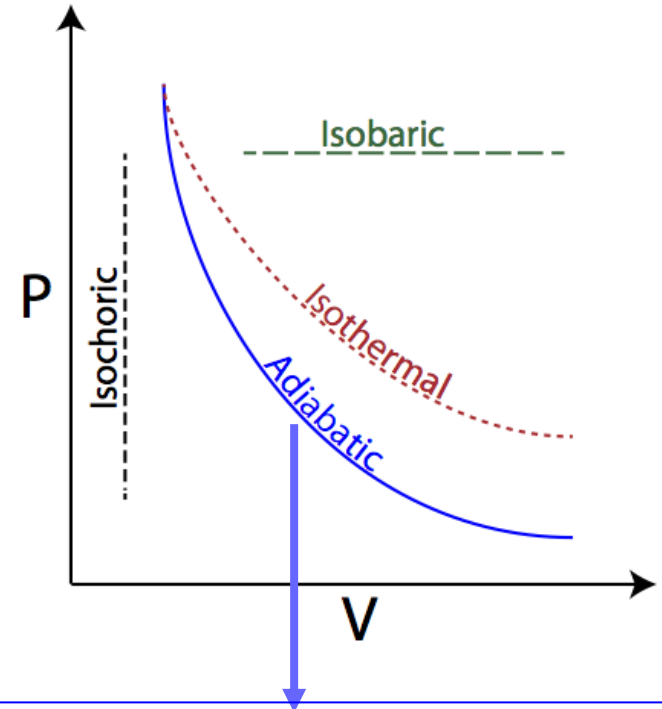
$$W = \int_{V_1}^{V_2} P_0 dV = P_0 \int_{V_1}^{V_2} dV = P_0(V_2 - V_1) = P_0\Delta V$$

Ισόχωρη - Όγκος (V) παραμένει σταθερός

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P_0 dV = 0$$

Ισόθερμη - Θερμοκρασία (T) παραμένει σταθερή

Για ιδανικό αέριο ($PV=nRT$) $\rightarrow W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = c \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT_0(\ln V_2 - \ln V_1) = nRT_0 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$



Η μεταβολή της ΔU του αερίου οδηγεί σε παραγωγή έργου (και αντίστροφα όλο το προσφερόμενο έργο στο αέριο αποθηκεύεται ως εσωτερική ενέργεια του αερίου)

Θερμότητα – 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής – Ασκήσεις (1/2)

1. Σε ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης, το μείγμα αέρα-καυσίμου βρίσκεται αρχικά σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 20 °C. Εάν το μείγμα συμπιέζεται στο 1/12 του αρχικού του όγκου, ποια είναι η τελική του πίεση και θερμοκρασία; Θεωρήστε ιδανικό αέριο με $\gamma = 1.3$.

ΛΥΣΗ

Η εξίσωση της αδιαβατικής είναι $PV^\gamma = c$ όπου η c είναι σταθερά $\rightarrow P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma$

Επειδή $V_1 = 12 V_2 \rightarrow P_2 = 12^\gamma P_1 = 12^{1.3} \times 1 \text{ atm}$. Συνδυάζοντας την καταστατική εξίσωση $P = nRT/V$ με την εξίσωση της αδιαβατικής έχουμε:

$$P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma \rightarrow (nRT_1/V_1)V_1^\gamma = (nRT_2/V_2)V_2^\gamma \rightarrow T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$$

Επομένως $T_2 = 12^{\gamma-1}T_1 = 12^{0.3}(20 + 273) = 617 \text{ K}$ δηλαδή 344 °C.

2. Πόσο έργο απαιτείται για να συμπιεστεί ισόθερμα αέριο N₂ μάζας 7 g και θερμοκρασίας 81 °C στον μισό του όγκο ($V_f = V_i/2$); (Δίνεται η γραμμομοριακή μάζα του αζώτου 28 g/mol)

ΛΥΣΗ

Η μάζα των 7 g είναι 0.25 mol.

Λόγω ισόθερμης συμπίεσης

$$W = -nRT \ln(V_f/V_i) = -(0.25 \text{ mol}) (8.32 \text{ J/molK}) (81+273)\text{K} \ln(1/2) = 508 \text{ J}$$

3. α) Σχεδιάστε ένα διάγραμμα P-V για την ακόλουθη διεργασία δύο σταδίων: (1) Ισοβαρής διαστολή ενός αερίου εντός ενός κυλίνδρου από V_0 σε $2V_0$ στο P_0 , και (2) Ισόχωρη θέρμανση του κυλίνδρου και του αερίου με σταθερό έμβολο; η πίεση αυξάνεται από P_0 έως $\frac{3}{2}P_0$.
β) Προσδιορίστε το έργο κατά τη διάρκεια κάθε σταδίου της διεργασίας.

Θερμότητα – 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής – Ασκήσεις (2/2)

4. 5000 J θερμότητας προστίθεται σε 2 mol ιδανικού μονοατομικού αερίου, αρχικής θερμοκρασίας 500 K ενώ το αέριο παράγει έργο 7500 J. Ποια είναι η τελική θερμοκρασία του αερίου;

ΛΥΣΗ

Διαφάνεια 7

$$\Delta U = Q - W = 5000 \text{ J} - 7500 \text{ J} = -2500 \text{ J}$$

$$\Delta U = -2500 \text{ J} = (3/2) nR\Delta T = (3/2) (2) (8.31) \Delta T \rightarrow \Delta T = -100 \text{ K} \rightarrow T_f = 500 \text{ K} - 100 \text{ K} = 400 \text{ K}$$

Το αέριο παράγει περισσότερο θετικό έργο από τη θερμότητα που παίρνει, άρα θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την εσωτερική του ενέργεια.

5. Καταρράκτης έχει ύψος 75 m και το νερό έχει θερμοκρασία 20 °C στο μέγιστο ύψος στην αρχή του καταρράκτη με ταχύτητα 4 m/s. Υπολόγισε την αναμενόμενη θερμοκρασία στο βάση του καταρράκτη. (Παραβλέψετε οποιαδήποτε μεταφορά θερμότητας από το νερό στο έδαφος ή στον αέρα. Θεωρήστε πυκνότητα νερού 10³ kg/m³ και ειδική θερμότητα 4.2 x10³ J/kg K).

ΛΥΣΗ

$$\Delta U = Q - W$$

Διεργασία αδιαβατική $\rightarrow Q=0$ και το έργο δίνεται στο σύστημα από τη γη και την κινητική ενέργεια του νερού (έργο αρνητικό)

$\Delta U = -W = E_i - E_f = 1/2 \cdot m \cdot u^2 + m \cdot g \cdot h = m \cdot C \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = 0.18 \text{ }^\circ\text{C}$ οπότε η τελική θερμοκρασία του νερού τη βάση θα είναι 20.18 °C. Το πείραμα εκτελέστηκε από τον Joule αλλά δεν κατάφερε να δει τη μεταβολή της θερμοκρασίας επειδή είναι πολύ μικρή.

6. Κύβος πάγου 0 °C και μάζας 50 kg γλιστρά σε οριζόντια επιφάνεια με αρχική ταχύτητα 5.4 m/s και σταματά σε απόσταση 28.3 m. Θεωρώντας συντελεστή τριβή μ , υπολογίστε τη θερμότητα που παράγεται, θεωρώντας ότι όλη μεταφέρεται στο πάγο, ο οποίος και αρχίζει να λειώνει.

(Υπόδειξη: η αρχική κινητική ενέργεια του κύβου μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια του πάγου, η οποία είναι ίση με την θερμότητα αλλαγής φάσης μάζας του κύβου)

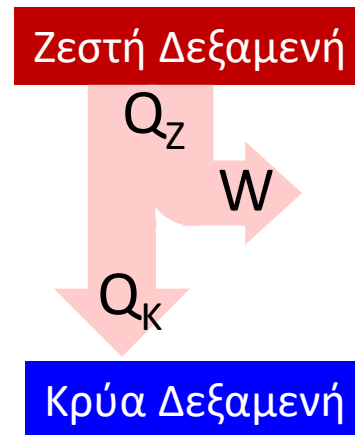
Θερμότητα – 2^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής

Αυθόρμητες καταστατικές μεταβολές μπορούν να συντελεστούν σ' ένα μονωμένο σύστημα με καθορισμένες συνθήκες, μόνο έως ότου το σύστημα βρεθεί στη μοναδική κατάσταση **ευσταθούς ισορροπίας**, η οποία δεν αλλάζει χωρίς εξωτερική παρέμβαση. Η κατάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιτρεπτή από τις συνθήκες εντροπία (αταξία της ύλης).

Η **κατεύθυνση** δηλαδή οποιωνδήποτε αυθόρμητων φαινομένων σ' ένα σύστημα σύμφωνα με το 2ο θερμοδυναμικό νόμο, στον οποίο αποκλείεται κάθε επικοινωνία με το περιβάλλον, είναι τέτοια, ώστε η μεταβολή της εντροπίας να είναι **θετική ή μηδέν**.

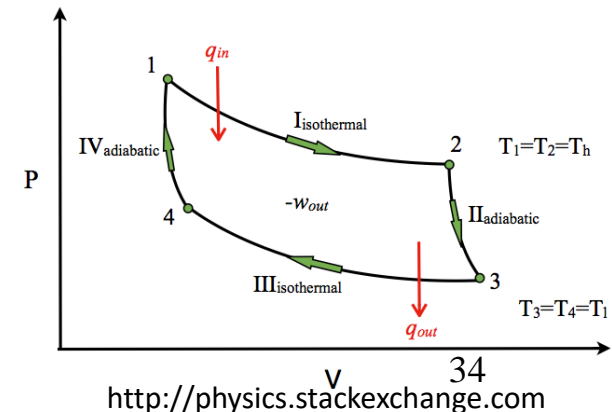
$$dS \geq 0 \text{ όπου } dS = dQ/T$$

Ορισμός του 2ου νόμου κατά Kelvin-Planck: Είναι αδύνατο να κατασκευασθεί μια θερμική μηχανή της οποίας το μοναδικό αποτέλεσμα σε ένα κύκλο να είναι η πλήρης μετατροπή ενός ποσού θερμότητας σε έργο.



$$\begin{aligned} \text{Απόδοση} &= W/Q_Z \\ &= (Q_Z - Q_K)/Q_Z \\ &< 1 \end{aligned}$$

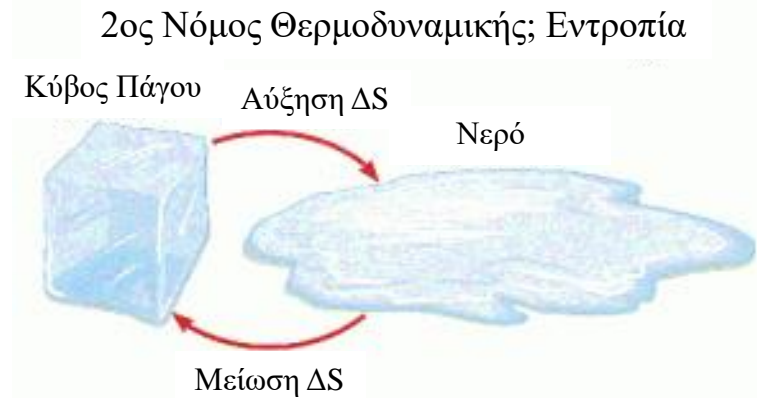
Μέγιστη για τον κύκλο Carnot



Θερμότητα – 2^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής

Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος δεν ισχύει σε ανοικτά συστήματα. Αν σ' ένα μονωμένο σύστημα ξεκινώντας από μια κατάσταση ισορροπίας, συντελεσθούν διαδοχικές μεταβολές που οδηγούν κυκλικά πάλι στην αρχική κατάσταση, τότε η συνολική μεταβολή της εντροπίας του θα είναι $\Delta S = 0$.

Έτσι, κάθε φορά που η ενέργεια μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, ένα ποσό της αποδίδεται, χάνεται στο περιβάλλον με τη μορφή υποβαθμισμένης θερμικής ενέργειας.



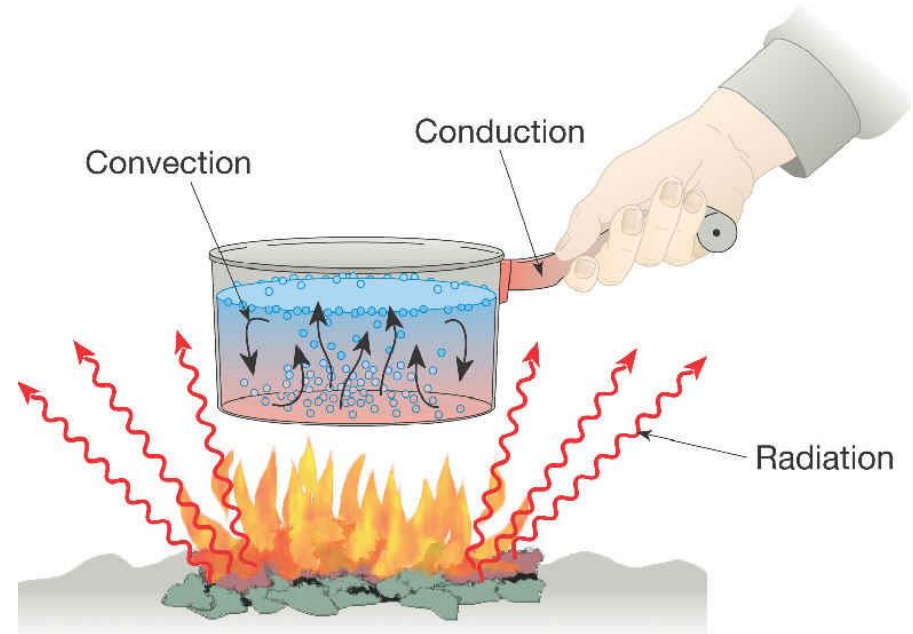
<https://proof.directory/second-law-thermodynamics-disprove-evolution/>

Π.χ. η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων κυμαίνεται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους από 7 έως 15%. Η υπόλοιπη ενέργεια, μεταφέρεται τελικά στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας, η οποία είναι μη αξιοποιήσιμη μορφή ενέργειας.

Μεταφορά Θερμότητας

Η θερμότητα μεταφέρεται στο περιβάλλον με τρεις μηχανισμούς:

- Θερμική Αγωγιμότητα (conduction)
- Θερμική Συναγωγή (convection)
- Θερμική ακτινοβολία (radiation)



www.tes.com

Μεταφορά Θερμότητας-Αγωγιμότητα

Όταν θερμαίνεται μεταλλική ράβδος, η θερμότητα διαδίδεται από το θερμότερο σημείο στο ψυχρότερο σημείο.

Μόρια σε υψηλή θερμοκρασία έχουν μεγαλύτερη ΚΕ από μόρια χαμηλότερης θερμοκρασίας και μέσω κρούσεων τους μεταφέρουν μέρος της ΚΕ.

Η μεταφορά της θερμότητας μέσω θερμικής αγωγιμότητας περιγράφεται από το Νόμο του Fourier

(γενική σχέση) $q = \lambda \nabla T$ με q διάνυσμα θερμικής ροής και T το πεδίο θερμοκρασίας

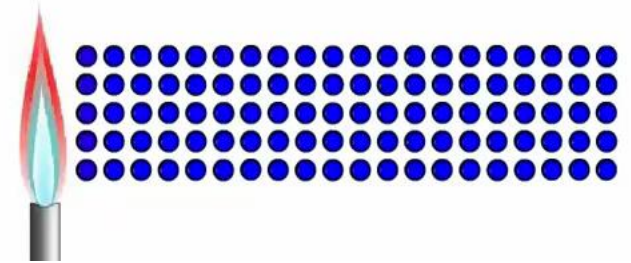
(για 1-D διάδοση) $dQ/dt = \lambda A dT/dS$

όπου A είναι επιφάνεια κάθετη στη ροή θερμότητας (m^2), dS είναι το πάχος του υλικού (m) και λ ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού ($W/m.K$)

Ερώτημα: Γιατί το ξύλο το αισθανόμαστε θερμότερο όταν το πιάνουμε σε σχέση με ένα μεταλλικό αντικείμενο;



Conduction of Heat



<https://www.youtube.com/watch?v=qW59Y9IJs08>

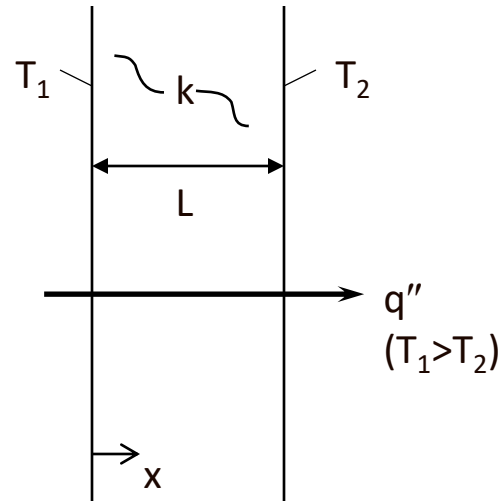
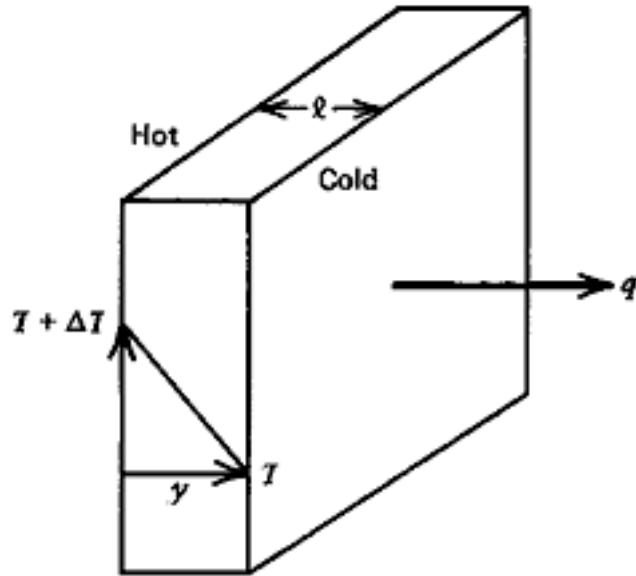
Μεταφορά Θερμότητας-Αγωγιμότητα

Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικών στους 25 C (W/m.K)
(http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html).

Υλικό	λ (W/m.K)	Υλικό	λ (W/m.K)
Αέρας	0.024	Ελαφρομπετόν	0.42
Αλουμίνιο	250	Χαλκός	401
Γυψοσανίδα	0.166	Βαμβάκι	0.03
Σοβάς	2.07	Γυαλί, Παράθυρο	0.96
Άσφαλτος	0.75	Γρανίτης	1.7-4.0
Τούβλο	1.31	Χαρτί	0.05
Τσιμέντο Portland	0.29	Περλίτης (ατμοσφαιρική πίεση)	0.031
Άργυρος	429	Περλίτης (κενός)	0.00137
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0.03	Πετροβάμβακας	0.045
Άμμος (στεγνή)	0.15-0.25	Άμμος (υγρή)	0.25-2
Silica aerogel	0.02	Χιόνι (θερμ<0 C)	0.05-0.25
Χώμα (με οργανική ύλη)	0.15-2	Νερό	0.58
Ξύλο (οξιά)	0.17	Νερό (ατμός στους 125 C)	0.016

Μεταφορά Θερμότητας-Αγωγιμότητα

- Θερμική Αγωγιμότητα με σταθερή ροή από κατακόρυφο τοίχο :



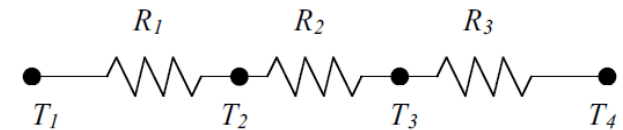
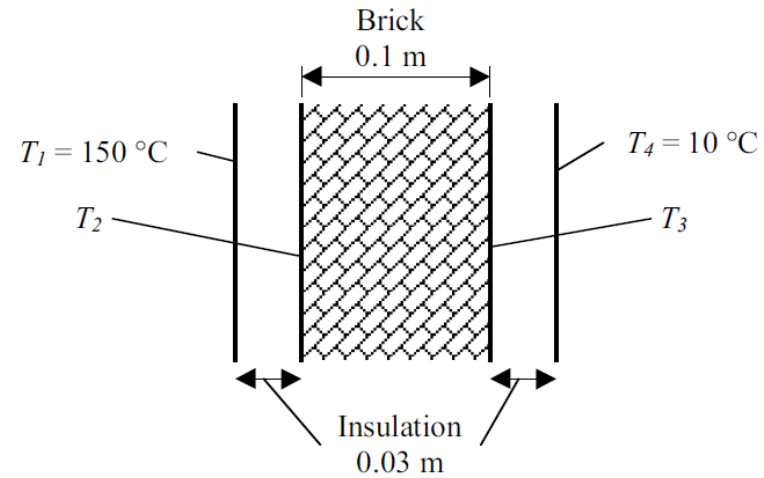
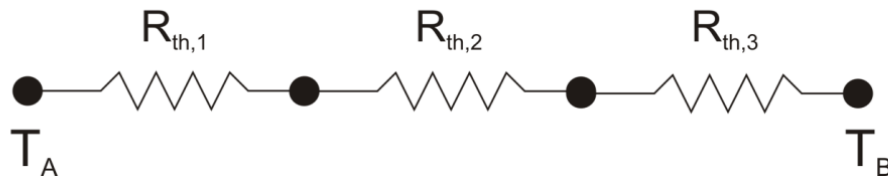
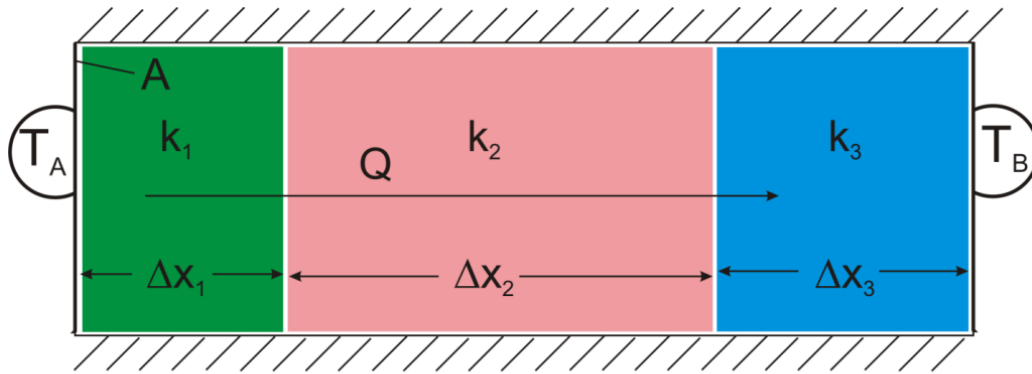
$$q''_x (\text{ροή} / \text{επιφάνεια}) = \text{σταθερό} = -k \frac{dT}{dx}$$

$$\text{εάν } k = \text{σταθερό}, \rightarrow \frac{dT}{dx} = \text{σταθερό}$$

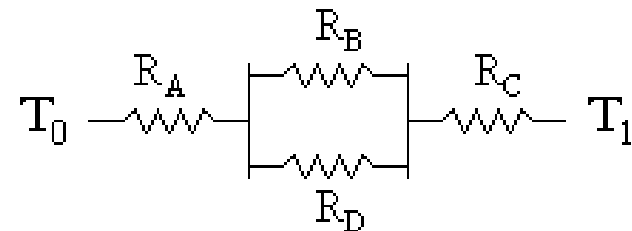
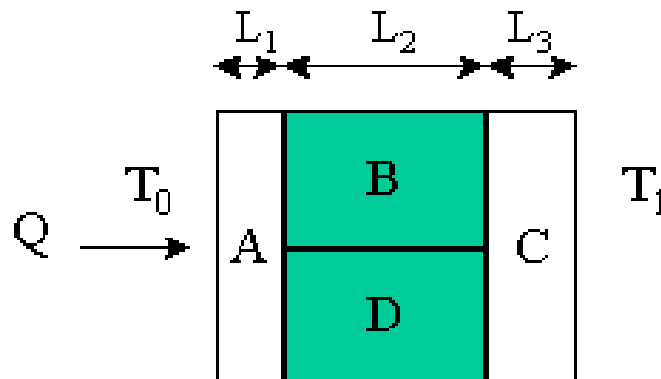
$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}, \quad q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Μεταφορά Θερμότητας-Αγωγιμότητα

Ηλεκτρικά Ισοδύναμα



$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{L_1}{k_1 A_1} + \frac{L_2}{k_2 A_2} + \frac{L_3}{k_3 A_3}$$



Μεταφορά Θερμότητας-Αγωγιμότητα-Ασκήσεις

1. Η μπροστινή επιφάνεια πλάκας μολύβδου ($\lambda = 35 \text{ W/m.K}$) διατηρείται σε θερμοκρασία $110 \text{ }^\circ\text{C}$ και η πίσω επιφάνεια σε $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Εάν η επιφάνεια της πλάκας είναι 0.4 m^2 και το πάχος της 0.03 m , βρείτε τη ροή θερμότητας, q , και το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας Q .

Λύση

$$q = -\lambda \Delta T/X = -35 \text{ W/mK} (50 \text{ }^\circ\text{C} - 110 \text{ }^\circ\text{C})/0.03 \text{ m} = 70.000 \text{ W/m}^2 = 70 \text{ kW/m}^2$$

$$Q = q A = 70 \text{ kW/m}^2 \cdot 0.4 \text{ m}^2 = 28 \text{ kW}$$

2. Ο τοίχος ενός σπιτιού, 7 m πλάτος και 6 m ύψος, είναι φτιαγμένος από τούβλο πάχους 0.3 m με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $k = 0.6 \text{ W/mK}$. Η επιφανειακή θερμοκρασία στην εσωτερική πλευρά του τοίχου είναι $16 \text{ }^\circ\text{C}$ και της εξωτερικής $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Βρείτε τη ροή θερμότητας στον τοίχο και τις συνολικές απώλειες θερμότητας μέσα από αυτόν.

Λύση

$$q = -k dT/dX = -k (T_i - T_o)/L = -0.6/0.3 (16 - 6) = -20 \text{ W/m}^2$$

(όπου το μείον δηλώνει ροή από μέσα προς τα έξω).

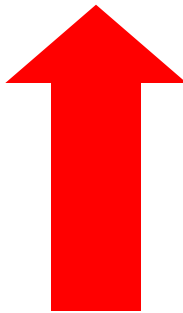
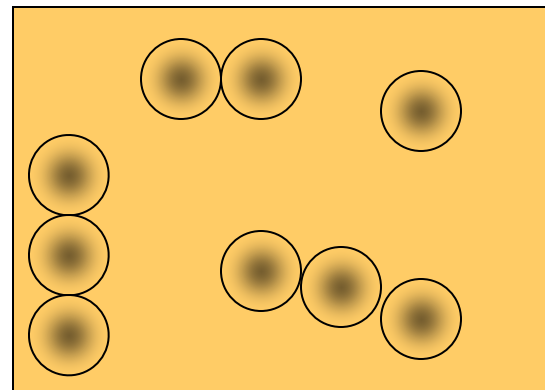
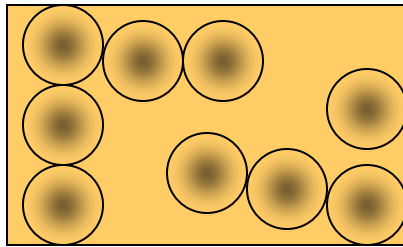
$$\text{Απώλειες } Q = q A = -20 \times (6 \times 7) = -840 \text{ W}.$$

Μεταφορά Θερμότητας-Συναγωγή

Συναγωγή: Μεταφορά θερμότητας μέσω της κίνησης της μάζας ρευστού, όταν το θερμό ρευστό κινείται μακριά από την πηγή θέρμανσης μεταφέροντας μαζί του θερμότητα

Τι συμβαίνει στα σωμάτια ενός υγρού ή αερίου όταν θερμαίνονται;

Τα σωμάτια απλώνονται και γίνονται λιγότερα πυκνά



education.jlab.org

Προκαλείται κίνηση του ρευστού

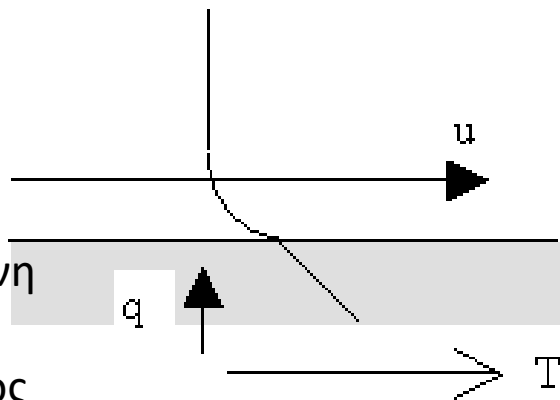
Τι ονομάζουμε ρευστό;

Ένα υγρό ή αέριο σύστημα σωμάτων

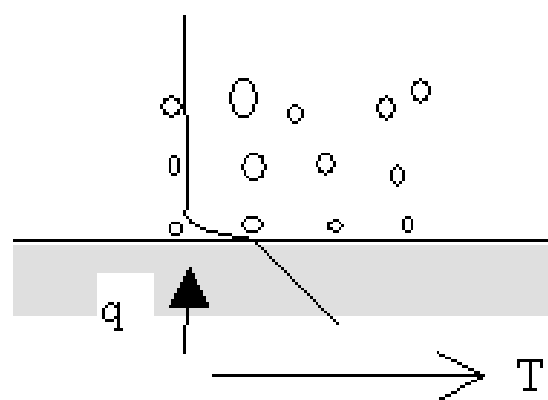
Μεταφορά Θερμότητας-Συναγωγή

Διαφορετικά είδη συναγωγής

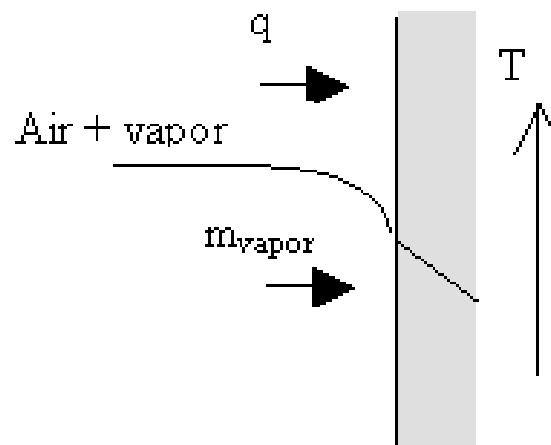
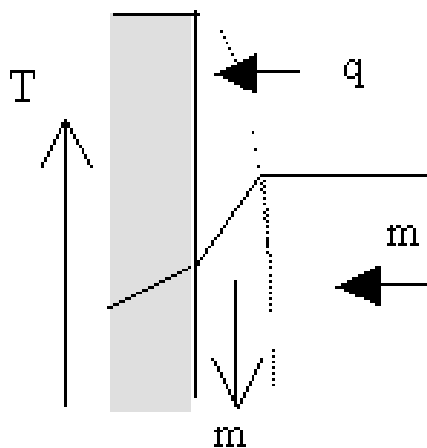
Φυσική
(ανωστικές
δυνάμεις) ή
Εξαναγκασμένη
(αντλία,
ατμοσφαιρικός
άνεμος)
συναγωγή



Βρασμός



Συμπύκνωση



Διάχυση,
μεταφορά μάζας,
ανωμεταφορά⁴³

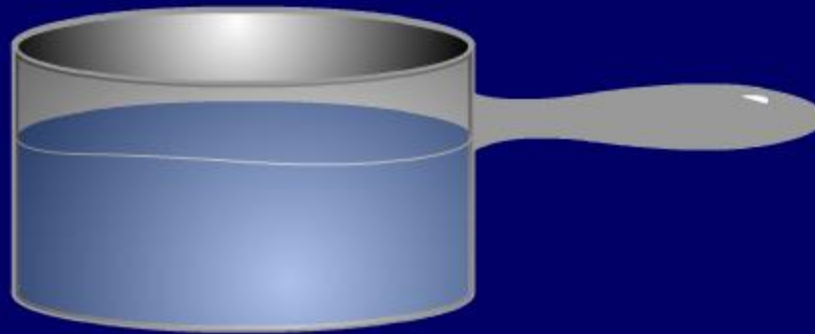
Μεταφορά Θερμότητας-Κίνηση Υδρατμών

Ψύξη στην
επιφάνεια

Ρεύμα
Συναγωγής

Δεξαμενή
Πιο Κρύου
Νερού

Το ζεστό
νερό
ανυψώνεται



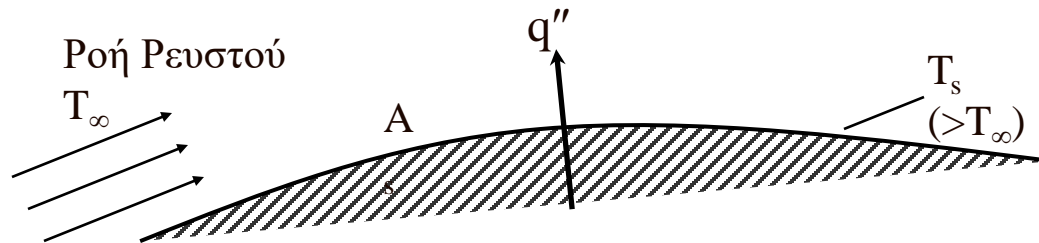
education.jlab.org



Μεταφορά Θερμότητας-Νόμος του Newton

- Η εξίσωση που περιγράφει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή (Newton, ~1700) είναι γνωστή ως ο νόμος του Newton για “δροσισμό”:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad \text{ή} \quad q = hA_s(T_s - T_\infty)$$



- Όπου q'' = ροή θερμότητας κάθετη στην επιφάνεια
 q = ρυθμός θερμότητας από ή προς την επιφάνεια A_s
 T_s = θερμοκρασία επιφάνειας
 T_∞ = θερμοκρασία «ελεύθερου» ρευστού freestream fluid temperature
 A_s = επιφάνεια εκτεθειμένη στο ρευστό
 h = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή (W/m^2-K)

Συναγωγή-Συντελεστής ΜΘΣ

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναγωγής (h)

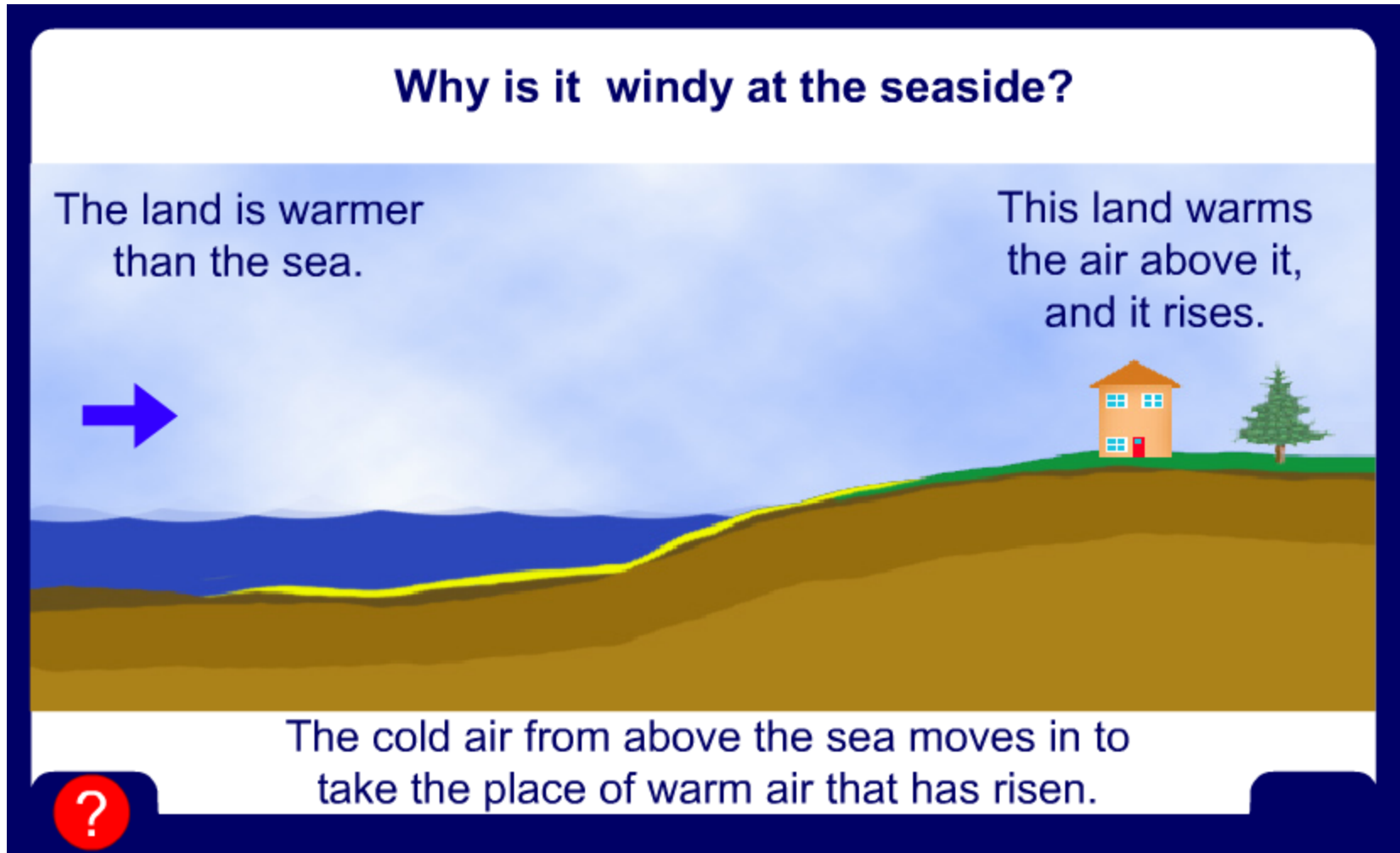
- ✓ δεν είναι ιδιότητα του υλικού
- ✓ είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση των πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν τη συναγωγή όπως η ταχύτητα ρευστού, ιδιότητες του ρευστού, και η γεωμετρία της επιφάνειας
- ✓ καθορίζεται συχνά από το πείραμα και όχι τη θεωρία

Τυπικές τιμές του συντελεστή μεταφοράς h [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]		
Ελεύθερη Μεταφορά	Αέρας	3-25
	Νερό	15-100
Εξαναγκασμένη Μεταφορά	Αέρας	10-200
	Νερό	50-10000
Συμπύκνωση ατμού		5000-50000
Βρασμός νερού		3000-100000

<http://www.mech.upatras.gr/~panidis/books/>

Μεταφορά Θερμότητας-Συναγωγή

Γιατί δημιουργείται ο άνεμος στην παράκτια ζώνη;



Μεταφορά Θερμότητας-Συναγωγή-Ασκήσεις

1. Η ροή θερμότητας, q , είναι 6000 W/m^2 στην επιφάνεια μιας ηλεκτρικής θερμάστρας. Η θερμοκρασία της θερμάστρας είναι $120 \text{ }^\circ\text{C}$ όταν ψύχεται από αέρα θερμοκρασίας $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Πόσος είναι ο μέσος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συναγωγής, h ; Ποια θα είναι η θερμοκρασία της θερμάστρας εάν η ισχύς μειώνεται ώστε η ροή q να είναι 2000 W/m^2 .

Λύση

$$h = q/\Delta T = 6000/(120-70) = 120 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Εάν η ροή μειωθεί, ο συντελεστής διατηρείται σταθερός σε εξαναγκασμένη συναγωγή οπότε:

$$\Delta T = T_{\text{θερμάστρας}} - 70^\circ\text{C} = q/h = \frac{2000 \text{ W/m}^2}{120 \text{ W/m}^2\text{K}} = 16.67 \text{ K}$$

$$\text{Άρα η } T_{\text{θερμάστρας}} = 86.67 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. Η εξωτερική επιφάνεια σωλήνα χαλκού διαμέτρου 20 mm που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά νερού έχει συντελεστή μεταφοράς θερμότητας συναγωγής $h = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Βρείτε τις απώλειες θερμότητας του σωλήνα λόγω συναγωγή ανά μονάδα μήκους όταν η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα είναι $80 \text{ }^\circ\text{C}$ και του περιβάλλοντός του $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Λύση

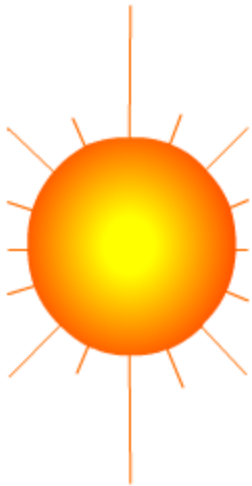
$$q_{\text{συν}} = h (T_s - T_f) = 6 (80 - 20) = 360 \text{ W/m}^2$$

Για 1 m μήκους του σωλήνα, ο ρυθμός απωλειών θερμότητας είναι:

$$Q_{\text{συν}} = q_{\text{συν}} A = q_{\text{συν}} 2\pi r = 360 \cdot 2\pi \cdot 0.01 = 22.6 \text{ W/m}.$$

Μεταφορά Θερμότητας-Ο τρίτος τρόπος

Πως φτάνει η θερμότητα από τον ήλιο στην γη



Δεν υπάρχουν σωμάτια ανάμεσα στον ήλιο και στη γη και έτσι δεν μπορεί η θερμότητα να διαδοθεί με αγωγή ή συναγωγή.

ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

