

Κεφάλαιο 8

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής

Εσωτερική ενέργεια

Η **εσωτερική ενέργεια** είναι η συνολική ενέργεια ενός συστήματος, η οποία σχετίζεται με τα μικροσκοπικά στοιχεία του.

- Τα στοιχεία αυτά είναι τα άτομα και τα μόριά του.

Θερμότητα

Η **θερμότητα** ορίζεται ως η μεταφορά ενέργειας διαμέσου του ορίου ενός σώματος, η οποία οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντός του.

Ιστορικά, η μονάδα μέτρησης της θερμότητας είναι η **θερμίδα**.

- Η μία θερμίδα ορίζεται ως η ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να μεταφερθεί ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 g νερού από τους 14.5°C στους 15.5°C.
- Ο παραπλήσιος όρος “Calorie” (με κεφαλαίο αρχικό γράμμα), που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ενέργειας των τροφίμων, είναι στην πραγματικότητα 1 χιλιοθερμίδα.

Άλλες μονάδες θερμότητας

Στο Παραδοσιακό Σύστημα των Η.Π.Α., η μονάδα μέτρησης της θερμότητας είναι η βρετανική θερμική μονάδα (British Thermal Unit, BTU).

- Η μία BTU είναι η ποσότητα της ενέργειας που πρέπει να μεταφερθεί ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία 1 lb νερού από τους 63°F στους 64°F.

Η μονάδα μέτρησης της θερμότητας που χρησιμοποιείται σε αυτό το βιβλίο είναι το joule.

James Prescott Joule

1818–1889

Βρετανός φυσικός

Ήταν ουσιαστικά αυτοδίδακτος.

- Είχε παρακολουθήσει κάποια μαθήματα από τον John Dalton.

Η έρευνά του οδήγησε στη θεμελίωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

Προσδιόρισε την ποσότητα του έργου που απαιτείται για να παραχθεί μία μονάδα ενέργειας.



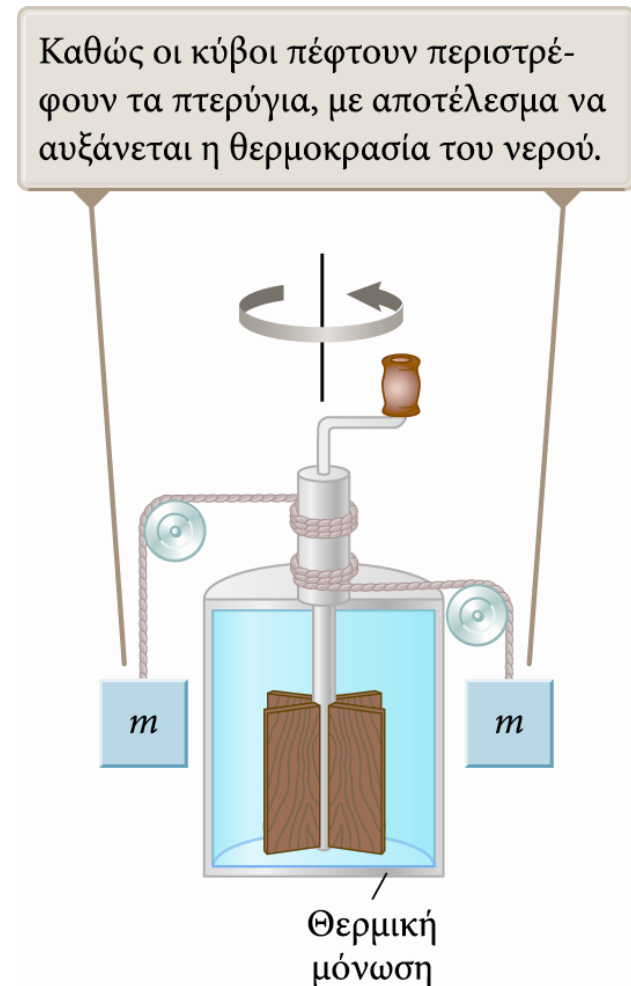
Το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας

Ο Joule απέδειξε την ισοδυναμία μεταξύ της μηχανικής και της εσωτερικής ενέργειας.

Στη δεξιά εικόνα φαίνεται η πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε.

Η μείωση της δυναμικής ενέργειας του συστήματος κατά την πτώση των κύβων ισούται με το έργο που παράγει ο τροχός στο νερό.

Καθώς οι κύβοι πέφτουν περιστρέφουν τα πτερύγια, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού.



Το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας (συνέχεια)

Ο Joule διαπίστωσε ότι 4.18 J μηχανικής ενέργειας αυξάνουν τη θερμοκρασία του νερού κατά 1°C.

Αργότερα έγιναν πιο ακριβείς μετρήσεις από τις οποίες προέκυψε η ποσότητα της μηχανικής ενέργειας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού από τους 14.5°C στους 15.5°C.

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

- Η παραπάνω ισότητα είναι γνωστή ως το **μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας**.

Θερμοχωρητικότητα

Η **θερμοχωρητικότητα** C ενός συγκεκριμένου σώματος ορίζεται ως η ποσότητα της ενέργειας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά 1°C .

Αν η ενέργεια Q προκαλεί μεταβολή ΔT της θερμοκρασίας του σώματος, τότε ισχύει:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Η εξίσωση εκφράζεται συχνά λυμένη ως προς την ενέργεια Q :

$$Q = C \Delta T$$

Ειδική θερμότητα

Η ειδική θερμότητα c είναι η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας.

Αν μεταφέρεται ενέργεια Q σε ένα σώμα μάζας m και η θερμοκρασία του σώματος μεταβάλλεται κατά ΔT , τότε η ειδική θερμότητα είναι

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

- Όσο μεγαλύτερη είναι η ειδική θερμότητα του υλικού, τόσο περισσότερη ενέργεια πρέπει να προστεθεί σε μια δεδομένη μάζα του για να προκληθεί μια συγκεκριμένη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Η εξίσωση εκφράζεται συχνά λυμένη ως προς την ενέργεια Q : $Q = mc \Delta T$

Ειδικές θερμότητες διαφόρων υλικών

ΠΙΝΑΚΑΣ Θ2.1

Ειδικές θερμότητες διαφόρων υλικών στους 25°C και σε ατμοσφαιρική πίεση

| Υλικό | Ειδική θερμότητα (J/kg · °C) | Υλικό | Ειδική θερμότητα (J/kg · °C) |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| <i>Στοιχειακά στερεά</i> | | <i>Άλλα στερεά</i> | |
| Αργίλιο (αλουμίνιο) | 900 | Ορείχαλκος | 380 |
| Βηρύλλιο | 1 830 | Γυαλί | 837 |
| Κάδμιο | 230 | Πάγος (−5°C) | 2 090 |
| Χαλκός | 387 | Μάρμαρο | 860 |
| Γερμάνιο | 322 | Ξύλο | 1 700 |
| Χρυσός | 129 | <i>Υγρά</i> | |
| Σίδηρος | 448 | Αλκοόλη (αιθυλική) | 2 400 |
| Μόλυβδος | 128 | Υδράργυρος | 140 |
| Πυρίτιο | 703 | Νερό (15°C) | 4 186 |
| Άργυρος | 234 | <i>Αέρια</i> | |
| | | Υδρατμοί (100°C) | 2 010 |

Σημείωση: Για τη μετατροπή των παραπάνω τιμών σε μονάδες cal/g · °C, διαιρούμε με 4 186.

Εσωτερική ενέργεια – Επανεξέταση

Ορίζουμε την ποσότητα $mc\Delta T$ ως τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος.

- Η παραπάνω σχέση ισχύει αν αγνοήσουμε τη θερμική διαστολή ή συστολή του συστήματος.

Τότε,
$$\Delta E_{\text{εσωτ.}} = Q$$

Για να μεταβληθεί η εσωτερική ενέργεια του συστήματος, πρέπει να μεταφερθεί ενέργεια σε αυτό με οποιονδήποτε μηχανισμό.

- Αυτό δείχνει επίσης ότι η θερμοκρασία σχετίζεται με την ενέργεια των μορίων ενός συστήματος.

Θερμιδομετρία

Μία από τις τεχνικές μέτρησης της ειδικής θερμότητας είναι και η ακόλουθη: Θερμαίνουμε ένα σώμα, το εμβαπτίζουμε σε μια ποσότητα νερού, και καταγράφουμε την αρχική και την τελική θερμοκρασία του νερού.

Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως **θερμιδομετρία**.

Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια (θερμότητα) που εγκαταλείπει το θερμό σώμα ισούται με την ενέργεια που προσλαμβάνει το νερό.

$$Q_{\text{ψυχρό}} = -Q_{\text{θερμό}} \quad \text{ή} \quad Q_{\text{ψυχρό}} + Q_{\text{θερμό}} = 0$$

Συμβάσεις προσήμων

- Αν η θερμοκρασία ενός σώματος αυξάνεται ($\Delta T > 0$), το σώμα προσλαμβάνει ενέργεια (θερμότητα). Η τιμή του Q είναι θετική ($Q > 0$).
- Αν η θερμοκρασία ενός σώματος μειώνεται ($\Delta T < 0$), το σώμα αποβάλλει ενέργεια. Η τιμή του Q είναι αρνητική ($Q < 0$).

Θερμιδομετρία (τελική διαφάνεια)

Έστω T_x η αρχική θερμοκρασία του σώματος και T_w η αρχική θερμοκρασία του νερού.

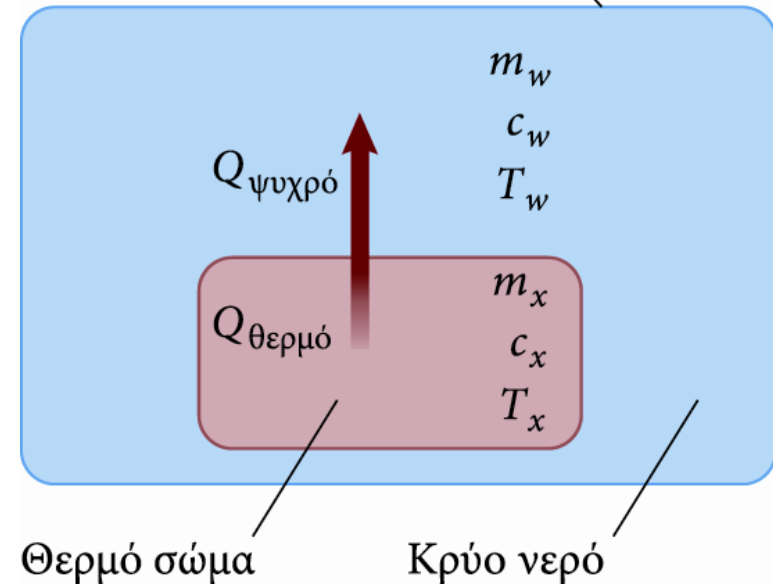
Αν T_f είναι η τελική θερμοκρασία που έχει το σύστημα σώμα και νερό όταν φτάνει σε ισορροπία, η εξίσωση της θερμιδομετρίας $Q_{\text{ψυχρό}} = -Q_{\text{θερμό}}$ μπορεί να γραφτεί

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

όπου, c_w και m_w είναι η μάζα και η ειδική θερμότητα του νερού και m_x και c_x του σώματος.

Λύνοντας ως προς την άγνωστη ειδική θερμότητα c_x έχουμε:

$$c_x = -\frac{m_w c_w (T_f - T_w)}{m_x (T_f - T_x)}$$



Άσκηση 11, σελ. 545

30 g σφαιρίδια χαλκού βγαίνουν από έναν φούρνο θερμοκρασίας 300°C και τοποθετούνται αμέσως σε ένα μονωμένο δοχείο με 100 mL νερού θερμοκρασίας 20°C. Πόση θα γίνει η θερμοκρασία του νερού;

ΛΥΣΗ

$$m_w c_w (T_f - T_w) = - m_x c_x (T_f - T_x)$$

Η ζητούμενη ποσότητα είναι η τελική θερμοκρασία του νερού (και του χαλκού) T_f .

Η αρχική απόλυτη θερμοκρασία του νερού και του χαλκού είναι 20+273=293 K και 300+273=573 K, αντίστοιχα.

Τα 100 mL νερού έχουν μάζα είναι 100 g (γιατί η πυκνότητα του νερού είναι 1 g/mL)

Οι ειδικές θερμότητες νερού και χαλκού είναι 385 J/kg·K και 4190 J/kg·K, αντίστοιχα.

Αντικαθιστώντας τις τιμές αυτές στην παραπάνω εξίσωση της θερμιδομετρίας, παίρνουμε:

$$(100\text{g})(4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}})(T_f - 293\text{K}) = - (30\text{g})(385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}})(T_f - 573\text{K})$$

$$(0.1\text{kg})(4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}})(T_f - 293\text{K}) = - (0.03\text{kg})(385 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}})(T_f - 573\text{K})$$

$$419(T_f - 293\text{K}) = -11.55(T_f - 573\text{K}) \Rightarrow 419 T_f - 122767 = -11.55 T_f + 6618$$

$$^{14} 419 T_f + 11.55 T_f = 6618 + 122767 \Rightarrow 430 T_f = 129385 \Rightarrow T_f = 301\text{K} \text{ ή } 27^\circ\text{C}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16.2 Ψύχοντας καυτό αλουμίνιο σε αιθυλική αλκοόλη

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

Οι ειδικές θερμότητες του αλουμινίου και της αιθυλικής αλκοόλης είναι $c_{al} = 900 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ και $c_{ethyl} = 2400 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, αντίστοιχα.

ΛΥΣΗ

Βλ. Σελ. 511

Αλλαγές φάσης

Όταν τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός υλικού αλλάζουν από μια μορφή σε μια άλλη, η μεταβολή ονομάζεται **αλλαγή φάσης**.

- Μερικές συνηθισμένες αλλαγές φάσης
 - Η **τήξη** (μεταβολή από στερεό σε υγρό)
 - Ο **βρασμός** (μεταβολή από υγρό σε αέριο)

Πολύ σημαντικό: Κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης ενός υλικού

- η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή
- οι δύο φάσεις του υλικού συνυπάρχουν (π.χ.: πάγος - νερό)

Λανθάνουσα θερμότητα

Το ποσό της ενέργειας που προσλαμβάνει ή αποβάλλει ένα υλικό όταν αλλάζει η φάση του ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα** ή **θερμότητα μετασχηματισμού** L

Η λανθάνουσα θερμότητα “πηγαίνει” στην αλλαγή της εσωτερικής διάταξης των μορίων του υλικού και όχι στην αύξηση της θερμοκρασίας του.

- Κατά το βρασμό, για παράδειγμα, η λανθάνουσα θερμότητα χρησιμεύει για τη ρήξη των δεσμών μεταξύ των μορίων στην υγρή κατάσταση, με αποτέλεσμα τα μόρια του αερίου να αποκτούν μεγαλύτερη διαμοριακή δυναμική ενέργεια

Αν απαιτείται ενέργεια Q για την αλλαγή της φάσης ενός υλικού, τότε η λανθάνουσα θερμότητα είναι

$$L = \frac{Q}{\Delta m}$$

όπου, $\Delta m = m_f - m_i$ είναι η μεταβολή της μάζας του υλικού υψηλότερης φάσης.

Με τον όρο *υλικό υψηλότερης φάσης* αναφερόμαστε στην κατάσταση του υλικού που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία: Για παράδειγμα, σε ένα μείγμα πάγου-νερού, το υλικό υψηλότερης φάσης είναι το νερό

Τιμές λανθάνουσας θερμότητας διαφόρων υλικών

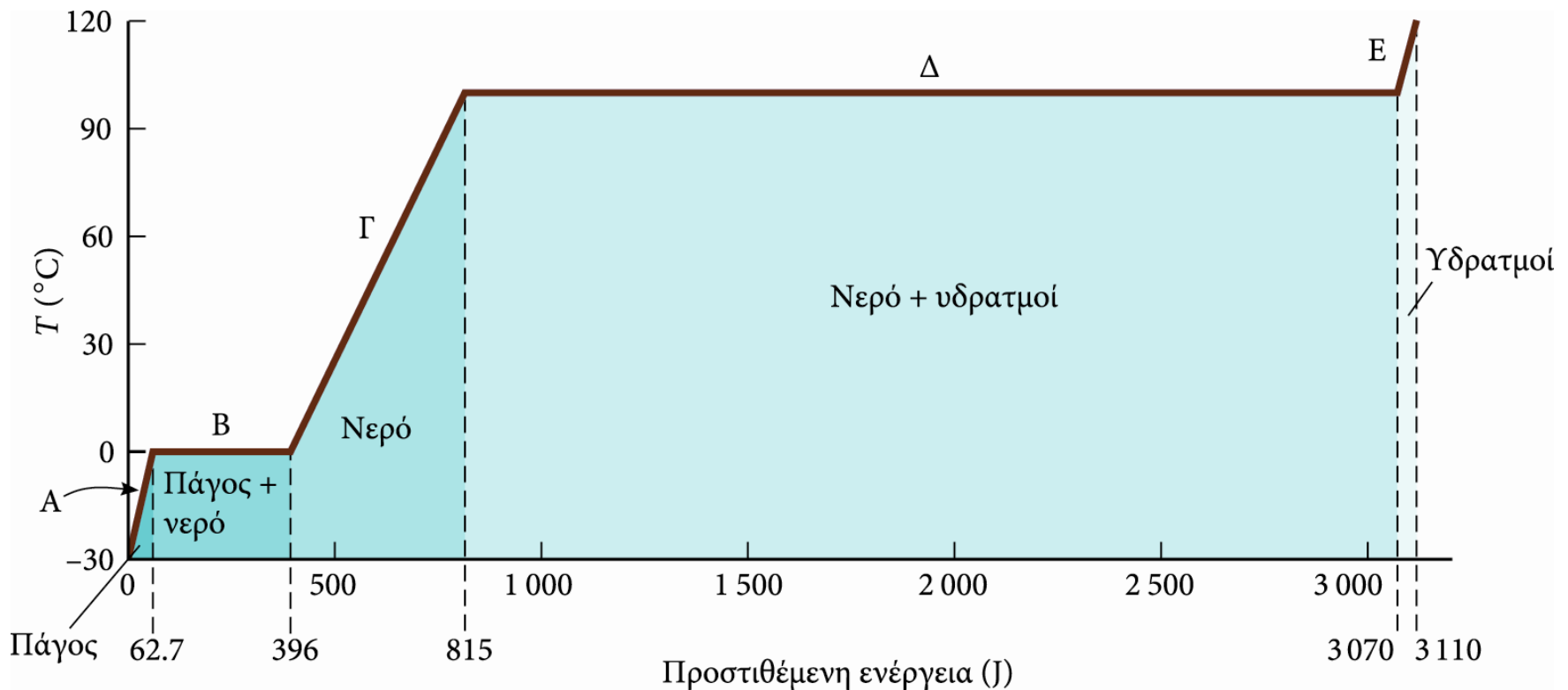
ΠΙΝΑΚΑΣ Θ2.2

Τιμές λανθάνουσας θερμότητας τήξης και εξάτμισης

| Υλικό | Σημείο τήξης (°C) | Λανθάνουσα θερμ. | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------------------------|
| | | τήξης (J/kg) | Σημείο βρασμού (°C) | Λανθάνουσα θερμ. εξάτμισης (J/kg) |
| Ήλιο | -269.65 | 5.23×10^3 | -268.93 | 2.09×10^4 |
| Οξυγόνο | -218.79 | 1.38×10^4 | -182.97 | 2.13×10^5 |
| Άζωτο | -209.97 | 2.55×10^4 | -195.81 | 2.01×10^5 |
| Αιθυλική αλκοόλη | -114 | 1.04×10^5 | 78 | 8.54×10^5 |
| Νερό | 0.00 | 3.33×10^5 | 100.00 | 2.26×10^6 |
| Θείο | 119 | 3.81×10^4 | 444.60 | 3.26×10^5 |
| Μόλυβδος | 327.3 | 2.45×10^4 | 1 750 | 8.70×10^5 |
| Αργίλιο (αλουμίνιο) | 660 | 3.97×10^5 | 2 450 | 1.14×10^7 |
| Άργυρος | 960.80 | 8.82×10^4 | 2 193 | 2.33×10^6 |
| Χρυσός | 1 063.00 | 6.44×10^4 | 2 660 | 1.58×10^6 |
| Χαλκός | 1 083 | 1.34×10^5 | 1 187 | 5.06×10^6 |

Γράφημα μετατροπής πάγου σε υδρατμούς

- Μετατροπή ενός γραμμαρίου πάγου από τους -30.0°C σε ατμό θερμοκρασίας 120°C
- Η συνολική ενέργεια, που απαιτείται, είναι 3110 J



ΠΡΟΒΛΗΜΑ 26, σελ. 545

Ένα φλυτζάνι με 300 mL καφέ θερμοκρασίας 90°C είναι πολύ ζεστό για να το πιούμε και γι' αυτό προσθέτουμε λίγο πάγο. Ποιά είναι η μάζα του πάγου που παίρνουμε από τον καταψύκτη, όπου η θερμοκρασία είναι -20°C , προκειμένου η θερμοκρασία του καφέ να πέσει στην επιθυμητή τιμή των 60°C ;

Ειδική θερμότητα πάγου $c_\pi = 2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ και νερού $c_v = 4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

Λανθάνουσα θερμότητα πάγου $L_\pi = 3.3 \times 10^5 \text{ J/kg}$.

Πυκνότητα νερού $\rho_v = 1 \text{ g/mL}$. Θεωρήστε ότι ο καφές έχει την ίδια πυκνότητα και ειδική θερμότητα με το νερό.

ΛΥΣΗ

Η μάζα του καφέ είναι $m_k = \rho_v V = (1 \text{ g/mL})(300 \text{ mL}) = 300 \text{ g}$

Η θερμότητα που χρειάζεται να αποβάλει ο καφές για να κρυώσει στους 60°C είναι

$$\begin{aligned} Q_k &= m_k c_k \Delta T = (300 \text{ g})(4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(90^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}) = (0.3 \text{ kg})(4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(30^\circ\text{C}) \\ &= (0.3 \text{ kg})(4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(30 \text{ K}) = 37800 \text{ J}. \end{aligned}$$

Έστω m_π η μάζα του πάγου που ρίχνουμε στον καφέ. Η θερμότητα που θα απορροφήσει ισούται με τη θερμότητα για να φτάσει ο πάγος από τους -20°C στους 0°C , Q_π , τη λανθάνουσα θερμότητα για να τηκεί, $Q_{\text{τηξ}}$, και τη θερμότητα σαν νερό για να φτάσει από τους 0°C στους 60°C , Q_v .

ΛΥΣΗ (συνέχεια)

$$\begin{aligned}Q_{\pi} + Q_{\tau\eta\xi} + Q_v &= m_{\pi}c_{\pi}\Delta T_{\pi} + m_{\pi}L_{\pi} + m_v c_v \Delta T_v \\&= m_{\pi}(2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K})[0 - (-20^{\circ}\text{C})] + m_{\pi}(3.3\times 10^5 \text{ J/kg}) + m_v(4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(60^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) \\&= m_{\pi}(2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(20^{\circ}\text{C}) + m_{\pi}(3.3\times 10^5 \text{ J/kg}) + m_v(4200 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(60^{\circ}\text{C}) \\&= m_{\pi}(40000 \text{ J/kg}) + m_{\pi}(3.3\times 10^5 \text{ J/kg}) + m_v(252000 \text{ J/kg}) \\&= m_{\pi}(622000 \text{ J/kg})\end{aligned}$$

Η θερμότητα αυτή ισούται με τη θερμότητα 37800 J που αποδίδει ο ζεστός καφές, δηλαδή,

$$m_{\pi}(622000 \text{ J/kg}) = 37800 \text{ J} \Rightarrow m_{\pi} = (37800 \text{ J}) / (622000 \text{ J/kg}) = 0.061 \text{ kg} = 61 \text{ g}.$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16.3 Μετατρέποντας τον πάγο σε ατμό

Πόση θερμότητα απαιτείται για να μετατραπούν 200 mL πάγου θερμοκρασίας -20°C (τυπική θερμοκρασία ενός ψυγείου) σε ατμό;

ΛΥΣΗ

Βλ. Σελ. 513

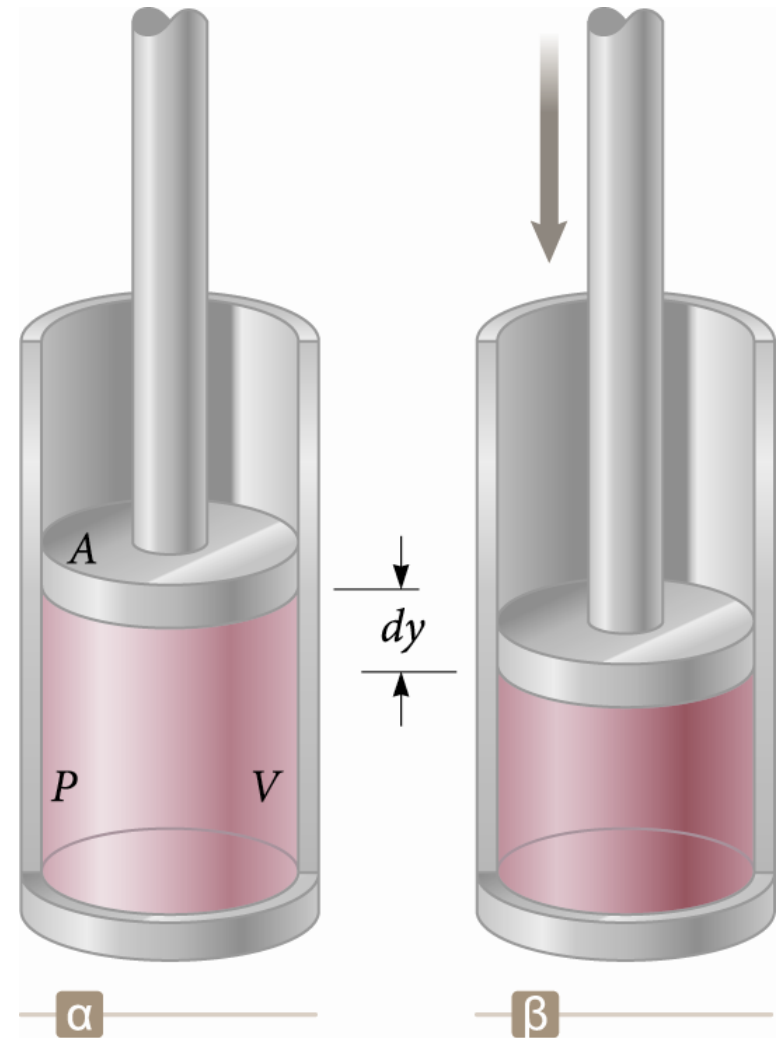
Το έργο στη θερμοδυναμική

Σε παραμορφώσιμα συστήματα, όπως είναι τα αέρια, μπορούμε να παραγάγουμε έργο.

Θεωρούμε έναν κύλινδρο με ένα κινητό έμβολο (Εικ. α).

Ασκούμε στο αέριο μια δύναμη, η οποία το συμπιέζει αργά (Εικ. β).

- Η συμπίεση γίνεται τόσο αργά ώστε ολόκληρο το σύστημα παραμένει πάντα σε εσωτερική θερμική ισορροπία.
- Το αέριο συμπιέζεται **σχεδόν στατικά** (ή ημιστατικά).



Έργο (συνέχεια)

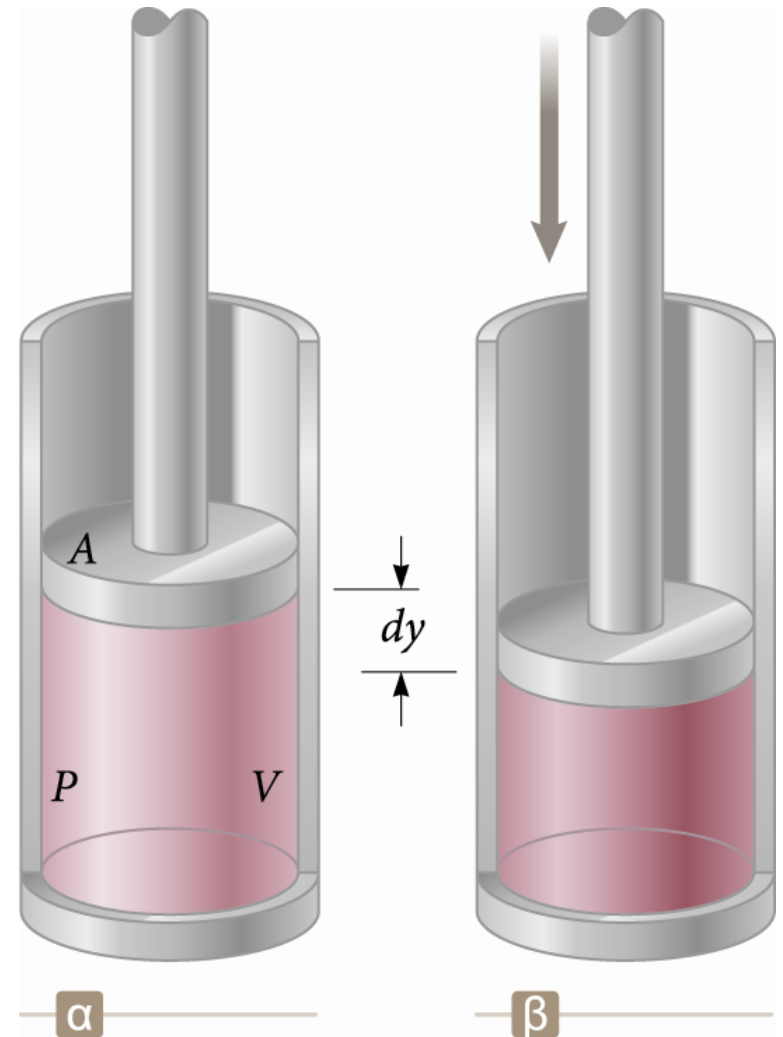
Καθώς ωθούμε το έμβολο προς τα κάτω με μια δύναμη F , η οποία προκαλεί μετατόπιση dy , το έργο που παράγεται στο αέριο είναι:

$$dW = -F dy = -PA dy$$

Η μεταβολή του όγκου του αερίου είναι $dV = A dy$.

Επομένως, το έργο που παράγεται στο αέριο είναι

$$dW = -P dV$$



Έργο (συνέχεια)

Ερμηνεία του έργου $dW = -PdV$

- Αν το αέριο **συμπιέζεται**, τότε η μεταβολή του όγκου dV είναι αρνητική και το έργο που παράγεται στο αέριο είναι **θετικό**.
- Αν το αέριο **εκτονώνεται**, τότε η μεταβολή του όγκου dV είναι θετική και το έργο που παράγεται στο αέριο είναι **αρνητικό**.
- Αν ο όγκος παραμένει **σταθερός**, τότε παράγεται **μηδενικό** έργο στο αέριο.

Το συνολικό έργο που παράγεται είναι:

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Διαγράμματα PV

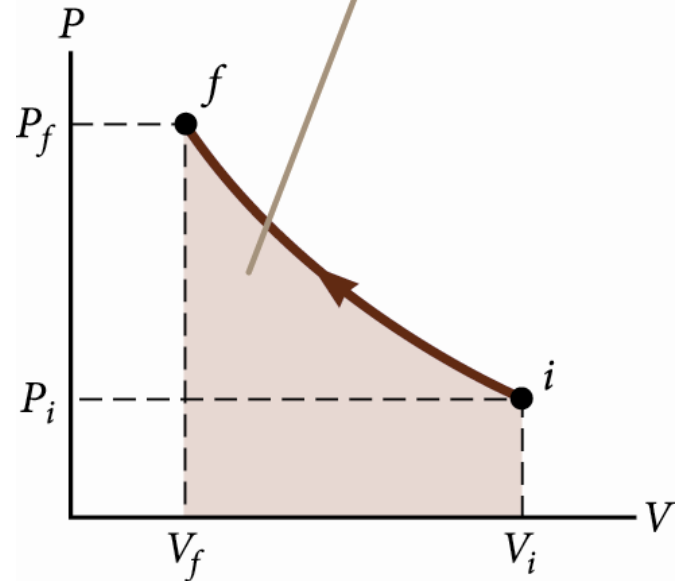
Μπορούμε να αναπαραστήσουμε την κατάσταση του αερίου σε κάθε βήμα της διεργασίας (ή μεταβολής) σε ένα γράφημα που ονομάζεται **διάγραμμα PV** .

Χρησιμοποιούμε αυτά τα διαγράμματα όταν γνωρίζουμε την πίεση και τον όγκο σε κάθε βήμα της διεργασίας.

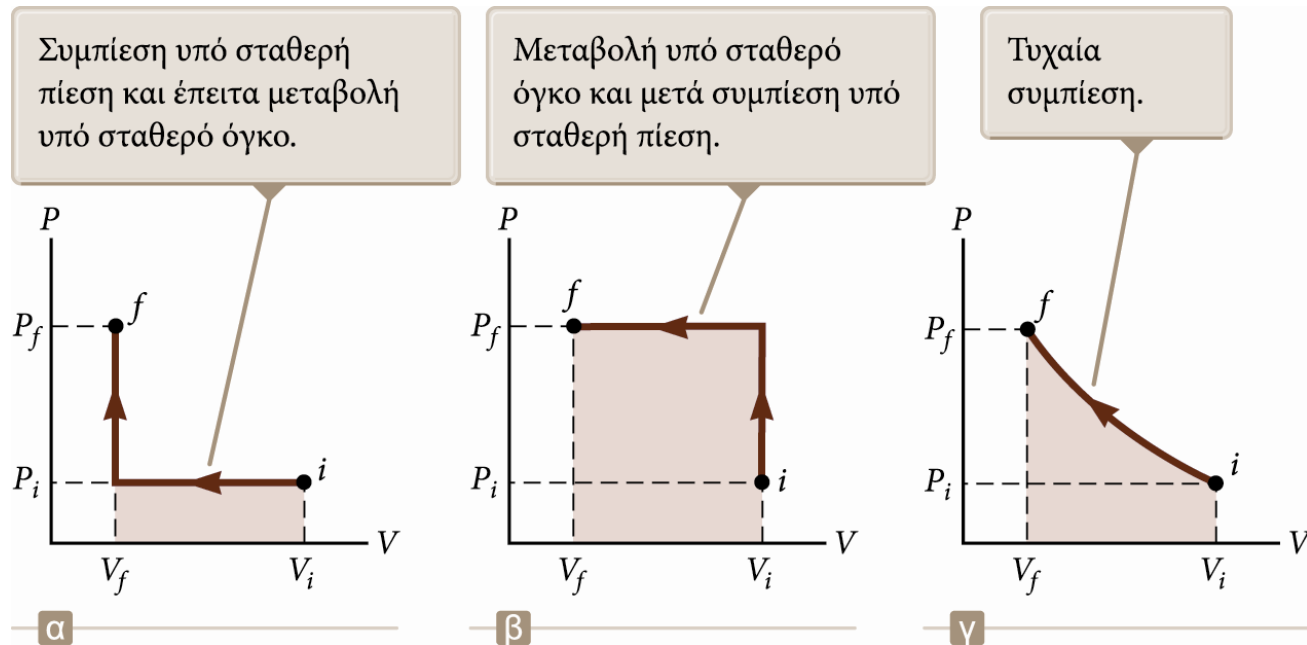
- Μας επιτρέπουν να οπτικοποιούμε τις διεργασίες των αέριων.

Η καμπύλη ονομάζεται **διαδρομή** της μεταβολής.

Το έργο που παράγεται σε ένα αέριο ισούται με το αντίθετο του εμβαδού κάτω από την καμπύλη PV . Εδώ, το εμβαδό είναι αρνητικό επειδή ο όγκος μειώνεται, με αποτέλεσμα το έργο να είναι θετικό.



Το έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια διαφορετικών διαδρομών



Καθεμία από αυτές τις διεργασίες έχει την ίδια αρχική και τελική κατάσταση.

Το παραγόμενο έργο διαφέρει σε κάθε διεργασία.

Το παραγόμενο έργο εξαρτάται από τη διαδρομή.

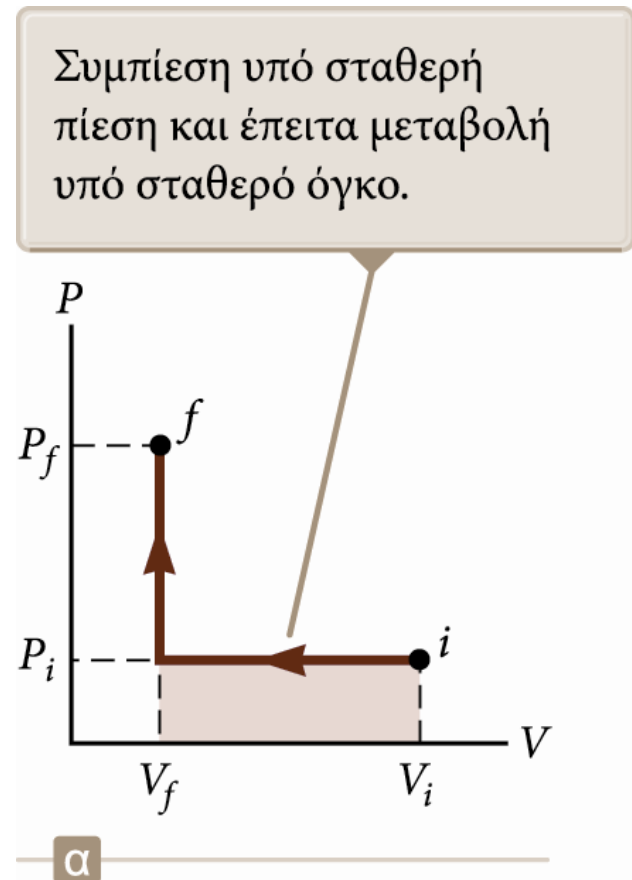
Υπολογισμός έργου από το διάγραμμα PV – Παράδειγμα 1

Ο όγκος του αερίου αρχικά μειώνεται από V_i σε V_f υπό σταθερή πίεση P_i .

Έπειτα, η πίεση αυξάνεται από P_i σε P_f με θέρμανση υπό σταθερό όγκο V_f .

Το έργο που παράγεται στο αέριο είναι

$$W = -P_i(V_f - V_i)$$



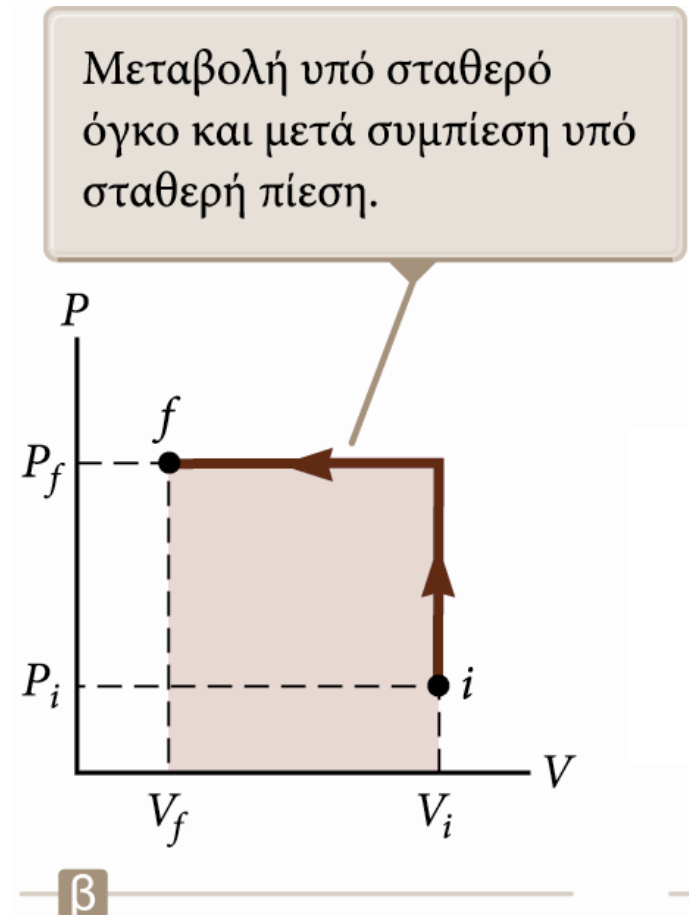
Υπολογισμός έργου από το διάγραμμα PV – Παράδειγμα 2

Η πίεση του αερίου αυξάνεται από P_i σε P_f υπό σταθερό όγκο.

Ο όγκος μειώνεται από V_i σε V_f .

Το έργο που παράγεται στο αέριο είναι

$$W = -P_f(V_f - V_i)$$

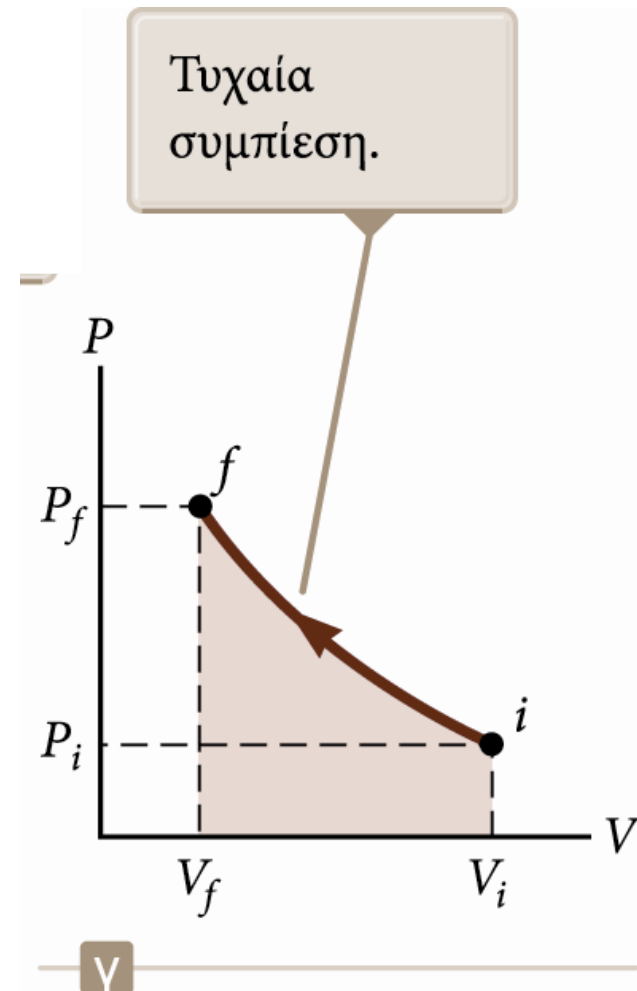


Υπολογισμός έργου από το διάγραμμα PV – Παράδειγμα 3

Η πίεση και ο όγκος μεταβάλλονται συνεχώς.

Το έργο έχει μια ενδιάμεση τιμή μεταξύ των $-P_f(V_f - V_i)$ και $-P_i(V_f - V_i)$.

Για να υπολογίσουμε το έργο, πρέπει να γνωρίζουμε τη συνάρτηση $P(V)$.



Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής αποτελεί μια ειδική περίπτωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

- Ισχύει σε ειδικές περιπτώσεις κατά τις οποίες μεταβάλλεται μόνο η εσωτερική ενέργεια του συστήματος και οι μεταφορές ενέργειας γίνονται μόνο μέσω θερμότητας και έργου.

Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής

$$\Delta E_{\text{εσωτ.}} = Q + W$$

- Όλα τα μεγέθη πρέπει να έχουν τις ίδιες μονάδες μέτρησης της ενέργειας.

Απομονωμένα συστήματα

Τα απομονωμένα συστήματα δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους.

- Δεν μεταφέρεται ενέργεια μέσω θερμότητας.
- Το έργο που παράγεται στο σύστημα είναι μηδενικό.
- $Q = W = 0$, άρα $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = 0$

Η εσωτερική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή.

Κυκλικές μεταβολές

Η **κυκλική μεταβολή** είναι μια διεργασία που αρχίζει και τελειώνει στην ίδια κατάσταση.

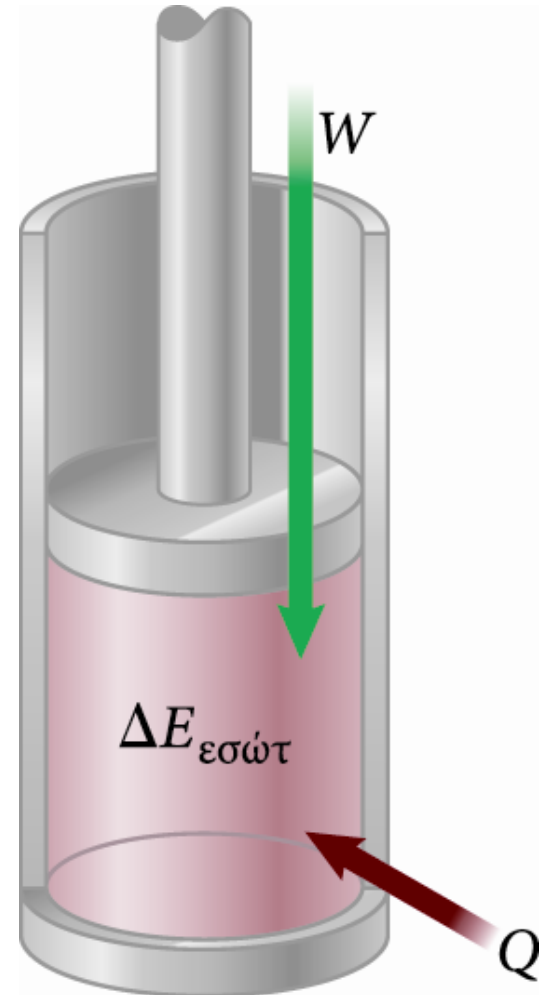
- Το σύστημα το οποίο ακολουθεί αυτή τη διεργασία δεν είναι απομονωμένο.
- Στα διαγράμματα PV , οι κυκλικές μεταβολές εμφανίζονται ως κλειστές καμπύλες.
- Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας σε μια κυκλική μεταβολή πρέπει να είναι μηδέν, $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = 0$, οπότε $Q = -W$.

Σε μια κυκλική μεταβολή, το συνολικό έργο που παράγεται στο σύστημα ανά κύκλο ισούται με το εμβαδόν της περιοχής που περικλείει η διαδρομή, η οποία αναπαριστά τη διεργασία στο διάγραμμα PV .

Αδιαβατική μεταβολή

Αδιαβατική μεταβολή είναι η μεταβολή κατά την οποία δεν μεταφέρεται ενέργεια μέσω θερμότητας από ή προς το σύστημα.

- $Q = 0$
- Για να εξασφαλίσουμε κάτι τέτοιο:
 - Μονώνουμε θερμικά τα τοιχώματα του συστήματος.
 - Εκτελούμε τη διεργασία τόσο γρήγορα ώστε να μην υπάρχει χρόνος για να συμβεί μεταφορά ενέργειας μέσω θερμότητας.



Αδιαβατική μεταβολή (συνέχεια)

Επειδή $Q = 0$, προκύπτει ότι $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = W$.

Αν το αέριο συμπιέζεται αδιαβατικά, τότε το έργο W είναι θετικό, η μεταβολή $\Delta E_{\text{εσωτ.}}$ είναι θετική, και η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται.

Αν το αέριο εκτονώνεται αδιαβατικά, η θερμοκρασία του μειώνεται.

Μερικά σημαντικά παραδείγματα αδιαβατικών μεταβολών σε τεχνολογικές εφαρμογές είναι τα εξής:

- Η εκτόνωση των καυσαερίων στους κινητήρες εσωτερικής καύσης.
- Η υγροποίηση των αερίων στα συστήματα ψύξης.
- Η φάση συμπίεσης στους κινητήρες ντίζελ.

Αδιαβατική μεταβολή (συνέχεια)

Σε μια αδιαβατική μεταβολή ενός αερίου ισχύει

$$PV^\gamma = \text{σταθερό} \quad \text{ή} \quad P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

όπου, ο εκθέτης γ έχει τιμή: $\gamma = \begin{cases} 1,67 & \text{για μονοατομικά αέρια} \\ 1,40 & \text{για διατομικά αέρια} \end{cases}$

Ισοβαρείς μεταβολές

Ισοβαρής (ή ισόθλιπτη) μεταβολή ονομάζεται η διεργασία η οποία συμβαίνει υπό σταθερή πίεση.

- Αυτό επιτυγχάνεται αν το έμβολο μπορεί να κινείται ελεύθερα έτσι ώστε να βρίσκεται πάντα σε ισορροπία υπό την επίδραση των δυνάμεων προς τα πάνω και προς τα κάτω. Προς τα πάνω ενεργεί η πίεση του αερίου, ενώ προς τα κάτω ενεργεί το άθροισμα του βάρους του εμβόλου και της δύναμης που ασκείται λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης.

Γενικά, οι τιμές της θερμότητας και του έργου είναι μη μηδενικές.

Το έργο που παράγεται στο αέριο είναι $W = -P (V_f - V_i)$, όπου P είναι η σταθερή πίεση.

Ισόχωρες μεταβολές

Ισόχωρη (ή ισόογκη) μεταβολή ονομάζεται η διεργασία κατά την οποία δεν συμβαίνει μεταβολή του όγκου.

- Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν σταθεροποιηθεί το έμβολο σε μια συγκεκριμένη θέση.

Εφόσον ο όγκος δεν μεταβάλλεται, $W = 0$.

Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = Q$.

Αν ένα σύστημα προσλαμβάνει ενέργεια μέσω θερμότητας και ο όγκος του διατηρείται σταθερός, τότε όλη η μεταφερόμενη ενέργεια παραμένει στο σύστημα και αυξάνει την εσωτερική ενέργειά του.

Ισόθερμες μεταβολές

Ισόθερμη (ή ισοθερμοκρασιακή) μεταβολή ονομάζεται η διεργασία η οποία συμβαίνει υπό σταθερή θερμοκρασία.

- Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν ο κύλινδρος τοποθετηθεί σε επαφή με κάποια δεξαμενή σταθερής θερμοκρασίας. Εφόσον η θερμοκρασία είναι σταθερή, $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = 0$.

Άρα, $Q = -W$.

Η ενέργεια που προσλαμβάνει το σύστημα μέσω θερμότητας αποδίδεται μέσω έργου.

Ισόθερμες μεταβολές (συνέχεια)

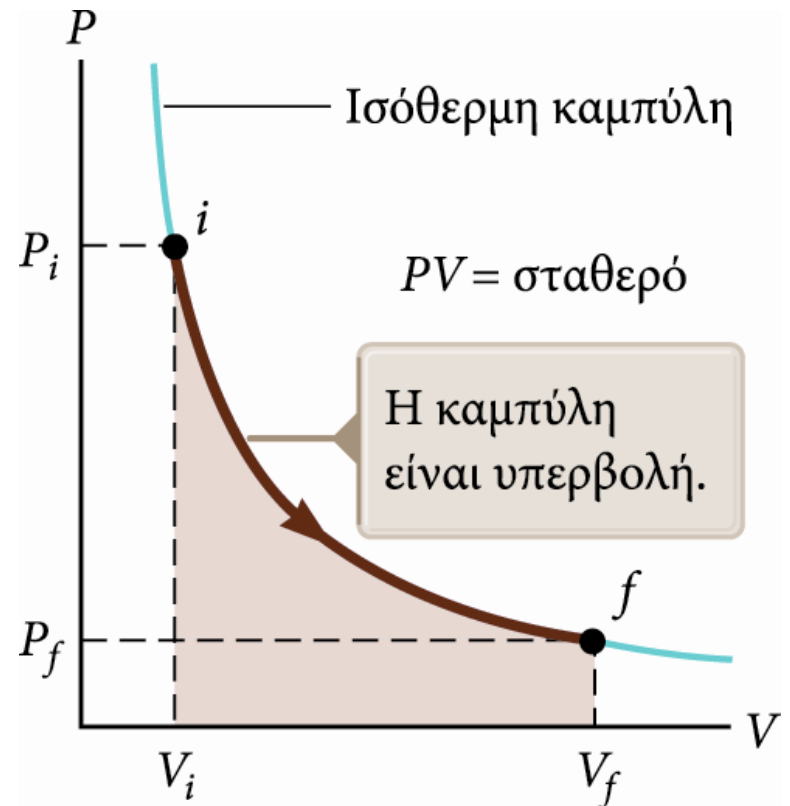
Δεξιά φαίνεται το διάγραμμα PV μιας ισόθερμης εκτόνωσης.

Η καμπύλη έχει μορφή υπερβολής.

Η εξίσωση της καμπύλης είναι

$$PV = nRT = \text{σταθερό}$$

Η υπερβολή ονομάζεται **ισόθερμη καμπύλη**.



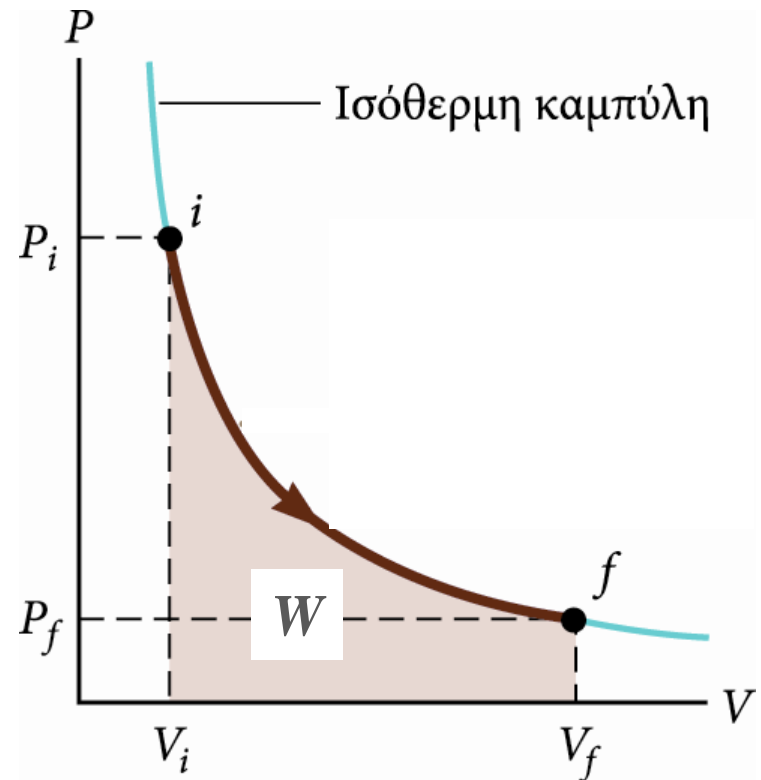
Ισόθερμη εκτόνωση, λεπτομέρειες

Το έργο σε μια ισόθερμη εκτόνωση ισούται με το αντίθετο του εμβαδού της επιφάνειας που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη στο διάγραμμα PV . Το έργο αυτό είναι:

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)$$

Επειδή το αέριο εκτονώνεται, $V_f > V_i$ και η τιμή για το έργο που παράγεται στο αέριο είναι αρνητική.

Αν το αέριο συμπιέζεται, τότε $V_f < V_i$ και η τιμή για το έργο που παράγεται στο αέριο είναι θετική.



Ειδικές μεταβολές, σύνοψη

1. Αδιαβατικές

- Δεν συμβαίνει ανταλλαγή θερμότητας
- $Q = 0$ και $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = W$
- $PV^\gamma = \text{σταθερό}$

2. Ισοβαρείς

- Σταθερή πίεση
- $W = P (V_f - V_i)$ και $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = Q + W$

3. Ισόθερμες

- Σταθερή θερμοκρασία
- $\Delta E_{\text{εσωτ.}} = 0$ και $Q = -W$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16.7 Αδιαβατική συμπίεση

Στον κύλινδρο μιας μηχανής εσωτερικής καύσης εισέρχεται μίγμα αέρα-βενζίνης. Οι συνθήκες που επικρατούν είναι: πίεση 1 atm και θερμοκρασία 30°C. Το έμβολο συμπιέζει πολύ γρήγορα το αέριο μίγμα από τα 500 cm³ στα 50 cm³ (λόγος συμπίεσης 10:1).

- (α) Ποιά είναι η θερμοκρασία και η πίεση του αερίου μετά τη συμπίεση;
- (β) Να σχεδιαστεί η μεταβολή σε διάγραμμα PV.

ΛΥΣΗ

(α) Η συμπίεση (λόγω της ταχύτητας) είναι αδιαβατική. Επομένως: $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$

$$P_f = P_i \frac{V_i^\gamma}{V_f^\gamma} = P_i \left(\frac{V_i}{V_f} \right)^\gamma = (1 \text{ atm}) \left(\frac{500 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^3} \right)^{1.40} = 25.1 \text{ atm}$$

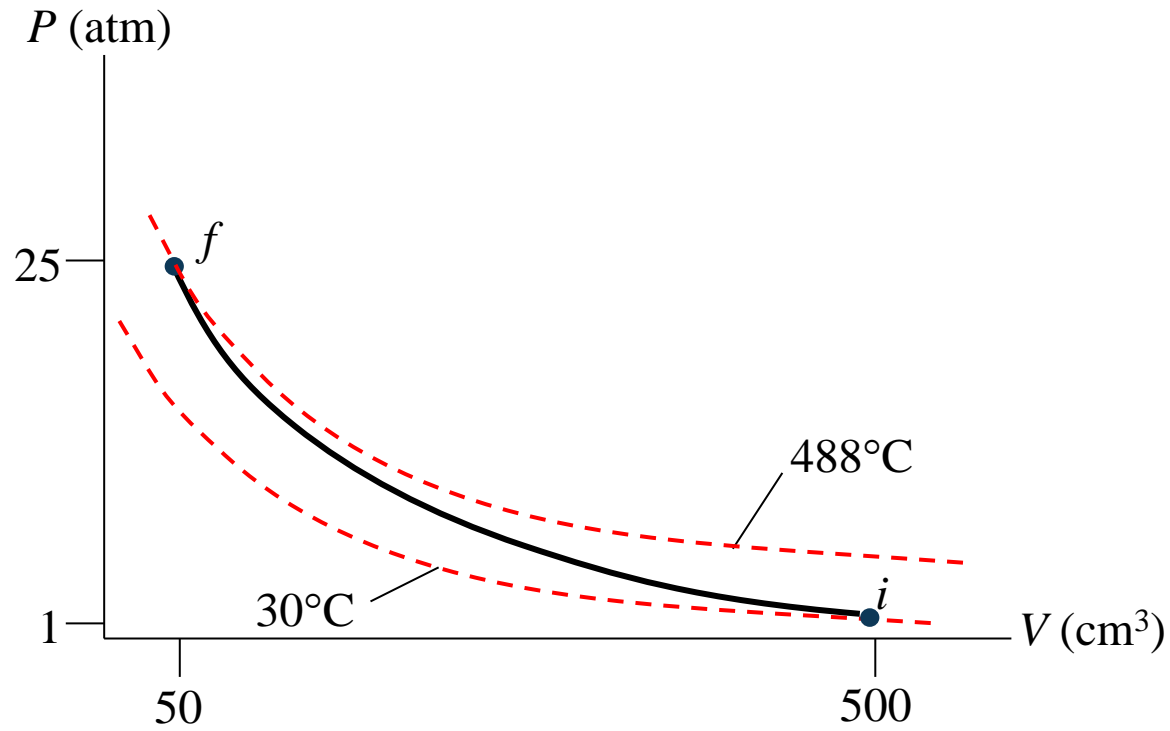
Η θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί από το νόμο των ιδανικών αερίων

$$\frac{P_f V_f}{T_f} = \frac{P_i V_i}{T_i} \Rightarrow \frac{T_f}{P_f V_f} = \frac{T_i}{P_i V_i} \Rightarrow T_f = \frac{P_f V_f}{P_i V_i} T_i$$

$$T_f = \frac{(25.1 \text{ atm})(50 \text{ cm}^3)}{(1.0 \text{ atm})(500 \text{ cm}^3)} (303 \text{ K}) = 761 \text{ K} = 488^\circ\text{C}$$

ΛΥΣΗ (συνέχεια)

(β) Το διάγραμμα PV της αδιαβατικής συμπίεσης



Μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας

Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με διάφορους μηχανισμούς:

- Αγωγή
- Μεταφορά
- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Αγωγή θερμότητας

Αυτό ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας γίνεται σε ατομική κλίμακα.

- Τα άτομα (ή μόρια ή ελεύθερα ηλεκτρόνια στα μέταλλα) στα θερμότερα σημεία ενός σώματος έχουν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια από τα άτομα στα ψυχρότερα σημεία του σώματος.
- Μέσα από τις συγκρούσεις τους (και γενικά τη σύζευξή τους) τα ψυχρότερα άτομα κερδίζουν ενέργεια από τα θερμότερα και έτσι η θερμότητα μεταφέρεται από τα θερμά σημεία προς τα ψυχρά.

Ο ρυθμός αγωγής θερμότητας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού (τα άτομά του ή τα μόριά του ή τα ελεύθερά ηλεκτρόνιά του και τον τρόπο σύζευξης μεταξύ τους).

Αγωγή θερμότητας (συνέχεια)

Γενικά, τα μέταλλα είναι καλοί αγωγοί θερμότητας.

- Περιέχουν μεγάλος πλήθος ηλεκτρονίων, τα οποία κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στο μέταλλο.
- Μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια από τη μία περιοχή του υλικού στην άλλη.

Υλικά όπως ο αμίαντος, το χαρτί, και τα αέρια είναι κακοί αγωγοί θερμότητας.

Αγωγή θερμότητας έχουμε μόνο όταν η θερμοκρασία δύο τμημάτων του αγωγίμου μέσου είναι διαφορετική.

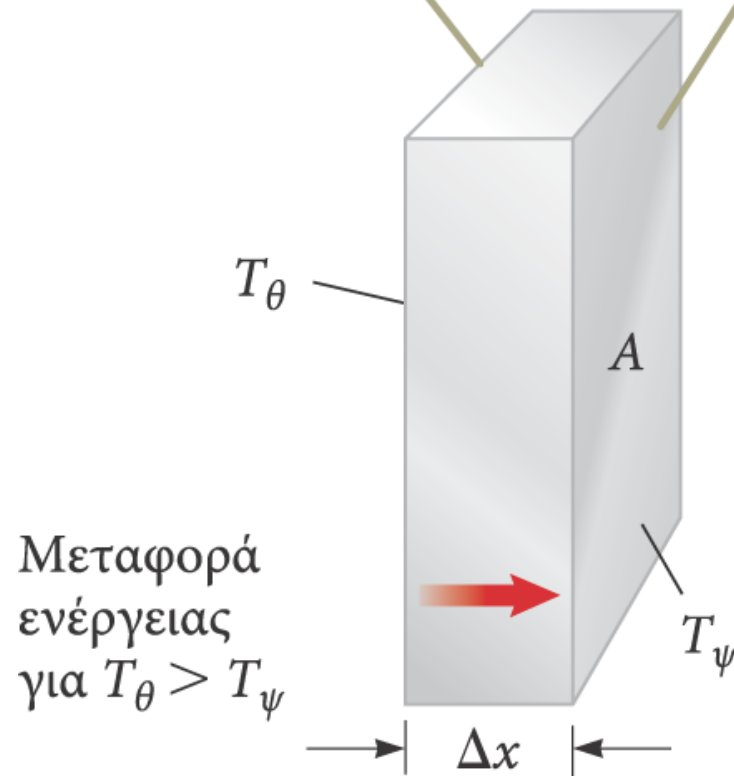
Αγωγή θερμότητας - Η εξίσωση

Η πλάκα που φαίνεται στην εικόνα επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από την περιοχή με υψηλότερη θερμοκρασία στην περιοχή με χαμηλότερη θερμοκρασία.

Ο ρυθμός μεταφοράς δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = kA \left| \frac{dT}{dx} \right|$$

Οι αντίθετες πλευρές έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, με $T_{\theta} > T_{\psi}$.



Αγωγή θερμότητας - Η εξίσωση (συνέχεια)

A είναι το εμβαδόν της διατομής.

dT είναι η διαφορά θερμοκρασίας.

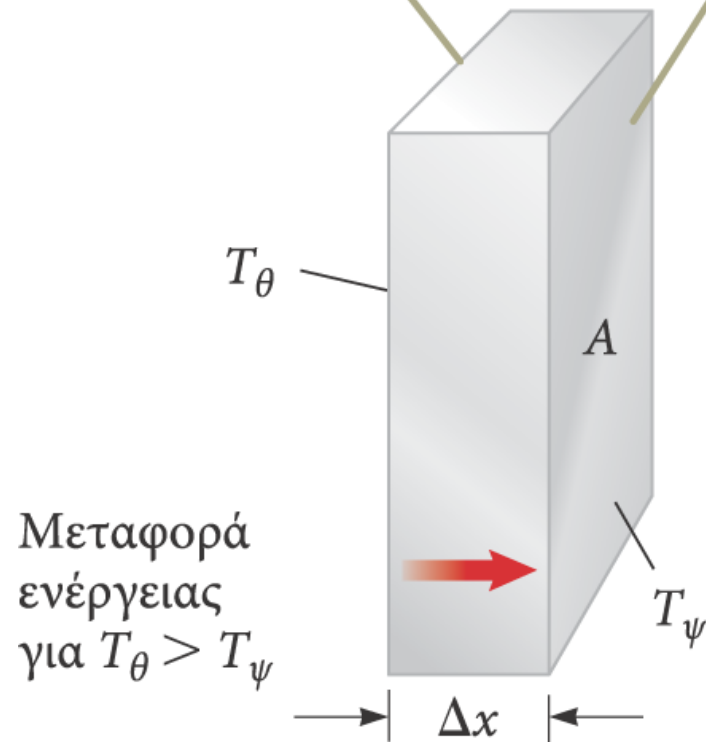
dx είναι το πάχος της πλάκας ή το μήκος μιας ράβδου.

Ο ρυθμός P μετριέται σε watt όταν η ενέργεια Q μετριέται σε joule και το t μετριέται σε δευτερόλεπτα.

Η σταθερά k είναι η **θερμική αγωγιμότητα του υλικού**.

- Οι τιμές της σταθεράς k είναι μεγάλες στους καλούς αγωγούς και μικρές στους καλούς μονωτές.

Οι αντίθετες πλευρές έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, με $T_{\theta} > T_{\psi}$.



Μερικές τιμές του k

| Υλικό | Θερμική αγωγιμότητα (W/m · °C) | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
| <i>Μέταλλα (στους 25°C)</i> | | <i>Άλλα υλικά (τιμές κατά προσέγγιση)</i> | |
| Αργίλιο (αλουμίνιο) | 238 | Αμίαντος | 0.08 |
| Χαλκός | 397 | Σκυρόδεμα | 0.8 |
| Χρυσός | 314 | Διαμάντι | 2 300 |
| Σίδηρος | 79.5 | Γυαλί | 0.8 |
| Μόλυβδος | 34.7 | Πάγος | 2 |
| Άργυρος | 427 | Καουτσούκ | 0.2 |
| | | Νερό | 0.6 |
| | | Εύλο | 0.08 |
| | | <i>Αέρια (στους 20°C)</i> | |
| | | Αέρας | 0.023 4 |
| | | Ήλιο | 0.138 |
| | | Υδρογόνο | 0.172 |
| | | Άζωτο | 0.023 4 |
| | | Οξυγόνο | 0.023 8 |

Βαθμίδα θερμοκρασίας

Η ποσότητα $\frac{dT}{dx}$ ονομάζεται **βαθμίδα θερμοκρασίας**.

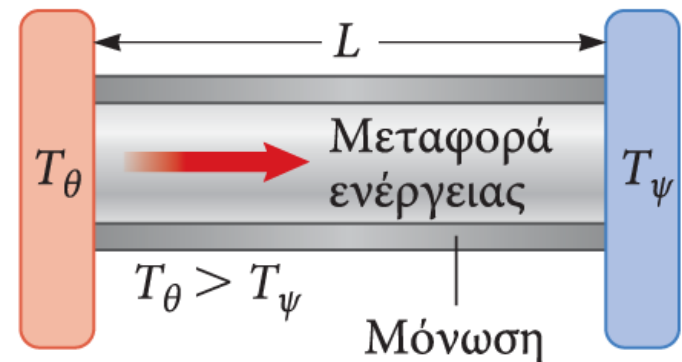
- Μετράει τη μεταβολή της θερμοκρασίας με τη θέση.

Για μια ράβδο μήκους L , η βαθμίδα θερμοκρασίας μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_{\theta} - T_{\psi}}{L}$$

Αν χρησιμοποιήσουμε την παραπάνω εξίσωση για τη ράβδο, ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας γίνεται:

$$P = kA \left(\frac{T_{\theta} - T_{\psi}}{L} \right)$$



Θερμομόνωση των σπιτιών

Η εξίσωση αγωγής της θερμότητας γράφεται και $P = \frac{(T_\theta - T_\psi)}{L/kA}$
ή $P = \frac{(T_\theta - T_\psi)}{R}$

όπου, $R = L/kA$ είναι η **θερμική αντίσταση του σώματος**

Τα υλικά αξιολογούνται με βάση την τιμή της θερμικής τους αντίσταση R .

- Όταν ένα υλικό αποτελείται από πολλά στρώματα, η συνολική τιμή του R ισούται με το άθροισμα των τιμών R για κάθε στρώμα.

$$P = \frac{(T_\theta - T_\psi)}{\sum_i R_i}$$

Στα σπίτια, ο άνεμος αυξάνει τις απώλειες ενέργειας οι οποίες συμβαίνουν λόγω αγωγής θερμότητας.

Τιμές του R

Τιμές R για μερικά συνηθισμένα δομικά υλικά (Η.Π.Α.)

| Υλικό | Τιμή R ($\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{h}/\text{Btu}$) |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Επένδυση από σκληρό ξύλο (πάχους 1 in.) | 0.91 |
| Εύλινη επένδυση (ραμποτέ) | 0.87 |
| Τούβλο (πάχους 4 in.) | 4.00 |
| Τσιμεντόλιθος (γεμάτος) | 1.93 |
| Υαλοβάμβακας (πάχους 3.5 in.) | 10.90 |
| Υαλοβάμβακας (πάχους 6 in.) | 18.80 |
| Επεξεργασμένος υαλοβάμβακας (πάχους 1 in.) | 4.35 |
| Ίνες από κυτταρίνη (πάχους 1 in.) | 3.70 |
| Υαλοπίνακας (πάχους 0.125 in.) | 0.89 |
| Θερμομονωτικός υαλοπίνακας (διάκενο 0.25 in.) | 1.54 |
| Διάκενο αέρα (πάχους 3.5 in.) | 1.01 |
| Στρώμα στάσιμου αέρα | 0.17 |
| Γυψοσανίδα (πάχους 0.5 in.) | 0.45 |
| Εύλινη εσωτερική επένδυση τοίχου (πάχους 0.5 in.) | 1.32 |

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 16.9 Θερμικές απώλειες σε απλό και διπλό τζάμι

Μια χειμωνιάτικη νύχτα, η θερμοκρασία έξω από ένα σπίτι είναι 0°C , ενώ, στο εσωτερικό του σπιτιού, η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 22°C . Να υπολογίσετε το ρυθμό με τον οποίο χάνεται θερμική ενέργεια από το σπίτι δια μέσου ενός παραθύρου (θερμικές απώλειες παραθύρου),

(α) όταν το παράθυρο αποτελείται από απλό τζάμι που έχει εμβαδόν $A = 0.3 \text{ m}^2$ και πάχος 0.5 cm και

(β) όταν το παράθυρο αποτελείται από δύο τζάμια, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 0.5 cm και στο ενδιάμεσο κενό υπάρχει αέρας.

ΛΥΣΗ

(α) Το γυαλί (glass) έχει πάχος $L_g = 0.5 \text{ cm} = 0.005 \text{ m}$.

Η θερμική αγωγιμότητα του γυαλιού είναι $k_g = 1.05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Επομένως, η θερμική αντίσταση του απλού τζαμιού είναι:

$$R_g = \frac{L_g}{k_g A} = \frac{0.005 \text{ m}}{(1.05 \text{ W/mK})(0.3 \text{ m}^2)} = 0.0159 \text{ K/W}$$

και ο ρυθμός θερμικών απωλειών του απλού τζαμιού είναι

$$P_{\text{απλού τζαμιού}} = \frac{(22 - 0) \text{ K}}{0.0159 \text{ K/W}} = 1380 \text{ W}$$

ΛΥΣΗ (συνέχεια)

(β) Στην περίπτωση του διπλού τζαμιού, η συνολική θερμική αντίσταση του παραθύρου είναι το άθροισμα της θερμικής αντίστασης των δύο στρωμάτων γυαλιού συν τη θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα μεταξύ τους, πάχους $L_{\text{αέρα}} = 0.5 \text{ cm} = 0.005 \text{ m}$.

$$R_{\text{ολ}} = 2 R_g + R_{\text{αέρα}} = 2 R_g + \frac{L_{\text{αέρα}}}{k_{\text{αέρα}} A}$$

Η θερμική αγωγιμότητα του αέρα είναι $k_{\text{αέρα}} = 0.24 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, επομένως:

$$R_{\text{ολ}} = 2(0.0159 \text{ K/W}) + \frac{(0.005 \text{ m})}{(0.24 \text{ W/K})(0.3 \text{ m}^2)} = 0.694 \text{ K/W}$$

Ο ρυθμός θερμικών απωλειών του παραθύρου με το διπλό τζάμι είναι:

$$P_{\text{διπλού τζαμιού}} = \frac{(22 - 0) \text{ K}}{0.694 \text{ K/W}} = 31.7 \text{ W}$$

Διάδοση θερμότητας με μεταφορά μάζας (Μεταφορά θερμότητας)

Η διάδοση αυτή της θερμότητας συμβαίνει λόγω της κίνησης (ροής) ενός θερμού υλικού.

Είναι μία μορφή μεταφοράς ύλης:

- Όταν η κίνηση προκαλείται από διαφορές της πυκνότητας του θερμού υλικού, ονομάζεται *φυσική ροή (ή συναγωγή) θερμότητας*.
- Όταν η κίνηση προκαλείται από έναν ανεμιστήρα ή μια αντλία, ονομάζεται *εξαναγκασμένη ροή (ή συναγωγή) θερμότητας*.

Αγωγή θερμότητας – Παράδειγμα

Ο αέρας πάνω από το καλοριφέρ θερμαίνεται και διαστέλλεται.

Η πυκνότητα του αέρα μειώνεται και αρχίζει να ανεβαίνει προς τα πάνω.

Δημιουργείται ένα συνεχές ρεύμα αέρα.



Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία δεν απαιτεί φυσική επαφή.

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ενέργεια συνεχώς με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία παράγονται από τις θερμικές ταλαντώσεις των μορίων.

Ο ρυθμός εκπομπής της ακτινοβολίας δίνεται από το **νόμο του Stefan**.

Ο νόμος του Stefan

Ένα σώμα, ευρισκόμενο σε θερμοκρασία T , εκπέμπει θερμότητα με μορφή Η/Μ ακτινοβολίας με ρυθμό

$$P = \sigma A e T^4$$

όπου:

- P είναι ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας ή εκπεμπόμενη θερμική ισχύς (σε watt).
- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ είναι η σταθερά των Stefan-Boltzmann
- A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος.
- e είναι μια σταθερά που ονομάζεται συντελεστής εκπομπής.
 - Το e παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1.
 - Ο συντελεστής εκπομπής ισούται με τον συντελεστή απορρόφησης.
- T είναι η θερμοκρασία του σώματος (σε Kelvin).

Άσκηση 18, σελ. 545

Να υπολογίσετε τη θερμική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας που εκπέμπεται από ένα πραγματικό αντικείμενο (φαιού χρώματος) το οποίο έχει θερμοκρασία 25 °C και συντελεστή εκπομπής 0.6. (σταθερά Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

ΛΥΣΗ

Η θερμική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου είναι η θερμική ισχύς P , ενώ η θερμική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας είναι το πηλίκιο P/A

Από το νόμο του Stefan έχουμε

$$\frac{P}{A} = \sigma e T^4 = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4)(0.6)(273 + 25 \text{ K})^4 = 268 \text{ W/m}^2$$

Ιδανικά απορροφητικά σώματα

Ιδανικό απορροφητικό σώμα ονομάζεται το σώμα οποίο απορροφά όλη την ενέργεια που προσπίπτει σε αυτό.

- $e = 1$

Αυτό το είδος σώματος ονομάζεται **μέλαν σώμα**.

Ένα ιδανικά απορροφητικό σώμα είναι επίσης και ιδανικός εκπομπός ενέργειας, δηλαδή έχει $e = 1$.

Απορρόφηση και εκπομπή ενέργειας μέσω ακτινοβολίας

Ο ρυθμός με τον οποίο ένα σώμα θερμοκρασίας T εκπέμπει ενέργεια στο περιβάλλον του, το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία T_0 , είναι

$$P_{\text{ολικό}} = \sigma Ae(T^4 - T_0^4)$$

Όταν το σώμα βρίσκεται σε ισορροπία με το περιβάλλον του, εκπέμπει και απορροφά ενέργεια με τον ίδιο ρυθμό.

- Η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή.

Άσκηση

Στην Άσκηση 17 της σελ. 545, να υπολογίσετε τη συνολική θερμική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας που εκπέμπεται από το αντικείμενο θερμοκρασίας 25 °C το οποίο βρίσκεται σε περιβάλλον θερμοκρασία (α) 0°C και (β) –10 °C

ΛΥΣΗ

Η συνολική θερμότητα ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας που αποβάλλει το σώμα σε περιβάλλον θερμοκρασίας T_0 είναι

$$\frac{P_{\text{ολικό}}}{A} = \sigma e(T^4 - T_0^4)$$

(α) Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 0°C = 273 K, έχουμε

$$\frac{P_{\text{ολικό}}}{A} = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)(0.6)(298^4 - 273^4) \text{ K}^4 = 79.3 \text{ W/m}^2$$

(β) Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι –10°C = 263 K, έχουμε

$$\frac{P_{\text{ολικό}}}{A} = (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4)(0.6)(298^4 - 263^4) \text{ K}^4 = 105 \text{ W/m}^2$$

Το δοχείο Dewar

Το δοχείο Dewar είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τις απώλειες ενέργειας μέσω αγωγής, συναγωγής, και ακτινοβολίας.

- Εφευρέθηκε από τον Sir James Dewar (1842–1923).

Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ψυχρών ή θερμών υγρών για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

- Η οικιακή μορφή του δοχείου Dewar είναι το θερμός.

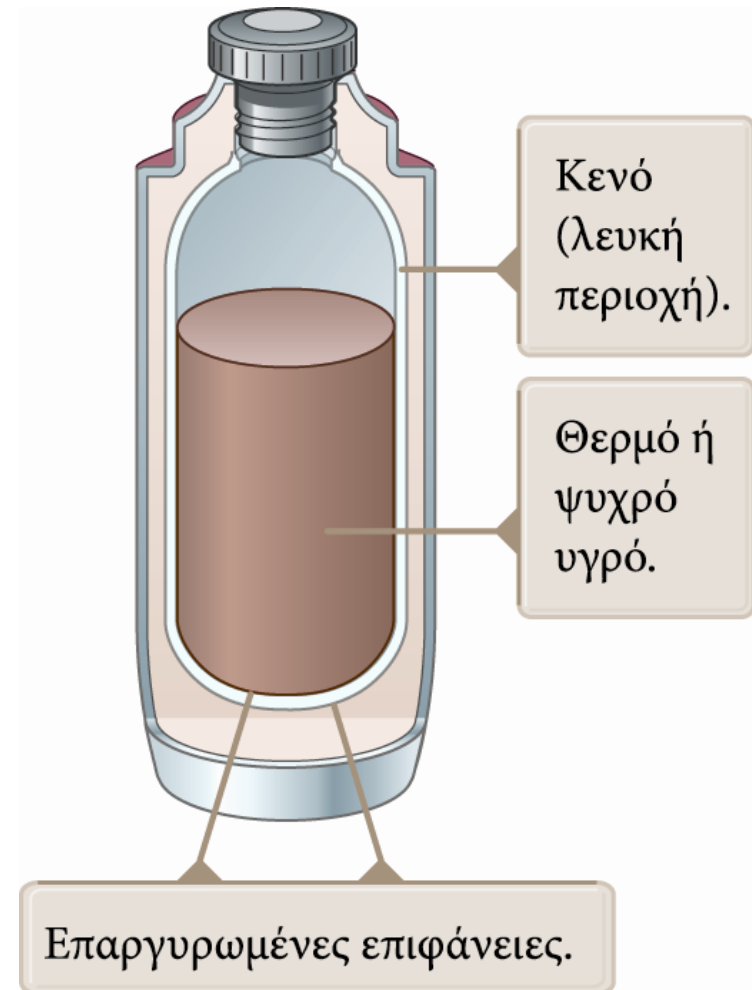
Το δοχείο Dewar – Περιγραφή

Ο χώρος μεταξύ των τοιχωμάτων είναι κενός για να ελαχιστοποιείται η μεταφορά ενέργειας μέσω αγωγής και μεταφοράς.

Οι επαργυρωμένες επιφάνειες ελαχιστοποιούν τη μεταφορά ενέργειας μέσω ακτινοβολίας.

- Ο άργυρος είναι καλός ανακλαστήρας.

Για να ελαττώσουμε περισσότερο τις απώλειες ενέργειας, μπορούμε να μειώσουμε το μέγεθος του λαιμού του δοχείου.



Άλυτα προβλήματα

1. Άσκηση 9, σελ. 545
2. Πρόβλημα 20, σελ. 545
3. Πρόβλημα 21, σελ. 545
4. Πρόβλημα 22, σελ. 545
5. Πρόβλημα 24, σελ. 545
6. Πρόβλημα 27, σελ. 545