

Θερμότητα-Κυματική- Οπτική



● Καταστατική Εξίσωση

$$P \cdot V = n R T$$



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

- n : αριθμός γραμμομορίων

$$n = \frac{m}{M}, \quad n = \frac{N}{N_A}$$

- $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

$$\text{ή } R = 0,0821 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$$

$$\bullet PV = nRT \xrightarrow{n = \frac{N}{N_A}} PV = \frac{N}{N_A} RT \xrightarrow{k = \frac{R}{N_A}} PV = NkT$$

οπότε $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ σταθερά Boltzmann



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Θερμοχωρητιμότητα και ειδική θερμότητα



Εμπειροεξ - Απρένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Θερμοχωρητιμότητα C (J/°C)

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

● Ειδική θερμότητα c (J/kg·°C)

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

● Σχέση Q-c

$$Q = mc \Delta T$$



Εμπειροεξ - Απρένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Λανθάνουσα θερμότητα

Όταν το σώμα υφίσταται μεταβολή φάσης (π.χ λιώνει από στερεό σε υγρό) η ενέργεια που καταναλώνεται (ή απρόδίδεται) ονομάζεται θερμότητα μετατροπής.

$$Q = mL$$

L: λανθάνουσα θερμότητα (J/kg)

Q: η θερμότητα που είναι αναγκαία για να μεταβληθεί η φάση

Εφαρμοχή

Θερμαίνουμε ένα κομμάτι μέταλλο, μάζας 0.05 kg , στους 200°C και κατόπιν τό τοποθετούμε σε ένα δοχείο που περιέχει 0.4 kg νερού θερμοκρασίας 20°C . Η τελική θερμοκρασία (αφού το σύστημα μέταλλο + νερό έχει ισορροπήσει θερμικά) είναι 22.4°C . Προσδιορίστε το είδος τού μετάλλου μετρώντας την ειδική θερμότητά του.

$$C_v = 4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Λύση

Η θερμότητα που έχασε το μέταλλο ισούται με την θερμότητα που κέρδισε το νερό

$$-m_m \cdot C_p (T_f - T_{aρχm}) = m_n C_v (T_f - T_{aρχn})$$

$$\Rightarrow C_p = 453 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι το μέταλλο είναι σίδηρος



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Εφαρμογή

Υπολογίστε τη μάζα υδρατμών θερμοκρασίας 130°C που χρειαζόμαστε για να θερμάνουμε 200 g νερού το οποίο βρίσκεται μέσα σε ένα γυάλινο ποτήρι μάζας 100 g από τους 20°C στους 50°C .

$$L_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg} \quad (\text{Λανθάνουσα θερμότητα υξάτμισης})$$

$$C_v = 4,19 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_g = 837 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$C_w = 2,01 \cdot 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$m_v = 0,2 \text{ kg}, m_g = 0,1 \text{ kg}, \theta = 100^{\circ}\text{C} \quad (\text{Θερμοκρασία που ψυχεται ο ατμός})$$

→ Εξίσωση της θερμότητας που χάνει ο ατμός με την θερμότητα που κερδίζει το νερό μαζί με το γυάλινο ποτήρι.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5$$

$$= m_w \cdot C_w \underbrace{(130 - 100)}_{\Delta T_1} + m_w \cdot L_v + m_w \cdot C_v \underbrace{(100 - 50)}_{\Delta T_3}$$

$$= m_v \cdot C_v \underbrace{(50 - 20)}_{\Delta T_4} + m_g \cdot C_g \underbrace{(50 - 20)}_{\Delta T_5}$$

Από την παραπάνω εξίσωση υπολογίζεται
 $m_w = 10,9 \text{ gr}$.

● Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος

$$\boxed{Q = \Delta U + W} \quad \text{ή} \quad dQ = dU + dW$$

- W : έργο (Joule)
 $W = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV$



Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

- ΔU : μεταβολή εσωτερικής ενέργειας (Joule)

● Αδιαβατική

$$Q = 0$$

$$\Delta U = -W$$

● Ισοβαρής

$$W = 0$$

$$\Delta U = Q$$

● Ισοόγκνη

$$\Delta U = 0$$

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



Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Εφαρμογή

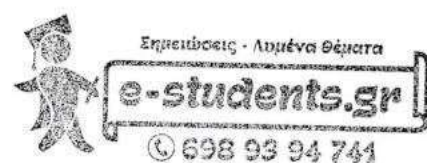
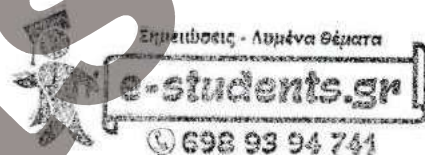
Ενα ιδανικό αέριο βρίσκεται αρχικά σε θερμοκρασία 300 K και υφίσταται μια ισοβαρή εκτόνωση υπό πίεση 2.5 kPa. Αν ο όγκος του αυξάνεται από 1 m³ σε 3 m³ και στο αέριο προστίθεται θερμότητα 12 500 J, βρείτε (α) τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου και (β) την τελική του θερμοκρασία.

Λύση

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta U &= Q - P \Delta V = 12,5 \text{ kJ} - 2,5 \text{ kPa} (3 - 1) \text{ m}^3 \\ &= 7500 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{b) } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{V_2}{V_1} T_1 = \frac{3,00}{1,00} (300 \text{ K}) = 900 \text{ K}$$



● Κινητική θεωρία των αερίων

● Πίεση και μοριακή ταχύτητα

$$P = \frac{1}{3} \frac{Nm}{V} \overline{U^2}$$



Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Πίεση και μοριακή κινητική ενέργεια

$$P = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left(\frac{1}{2} m \overline{U^2} \right)$$

$$● PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m \overline{U^2} \right)$$

$$PV = NkT$$

$$\rightarrow T = \frac{2}{3k} \left(\frac{1}{2} m \overline{U^2} \right)$$

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

● Ολική κινητική ενέργεια N μορίων

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

● Ενεργός ταχύτητα

$$U_{rms} = \sqrt{\overline{U^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$



Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Εφαρμογή

Ένα δοχείο όγκου 0.3 m^3 περιέχει 2 μολ αέριου ηλίου σε θερμοκρασία 20°C . Υποθέστε ότι το ήλιο συμπεριφέρεται ως ιδανικό αέριο, (a) Υπολογίστε την ολική εσωτερική ενέργεια του συστήματος. (b) Ποια είναι η μέση μοριακή κινητική ενέργεια ανά μόριο;

Λύση

$$a) E = \frac{3}{2} n R T = \frac{3}{2} (2 \text{ moles}) \cdot \left(8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \right) (293 \text{ K})$$

$$E = 7,3 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$b) \frac{1}{2} m \overline{U^2} = \frac{3}{2} k T = \frac{3}{2} \left(1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \right) (293 \text{ K})$$
$$= 6,07 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$



Εμπειρίες - Αμύενα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741



Εμπειρίες - Αμύενα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Εσωτερική ενέργεια ιδανικού μονοατομικού αερίου

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$$



Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Για ισόχωρη μεταβολή

$$Q = nC_V \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T$$

$$W = 0$$

$$Q = \Delta U \Rightarrow nC_V \Delta T = \frac{3}{2} nR \Delta T \Rightarrow C_V = \frac{3}{2} R$$

● Για ισοβαρή μεταβολή

$$Q = nC_P \Delta T$$

$$W = Q \Delta V$$

$$Q = \Delta U + W \Rightarrow nC_P \Delta T = nC_V \Delta T + Q \Delta V$$

$$P \Delta V = nR \Delta T$$

$$\Rightarrow nC_P \Delta T = nC_V \Delta T + nR \Delta T$$

$$\Rightarrow C_P = C_V + R$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3}$$



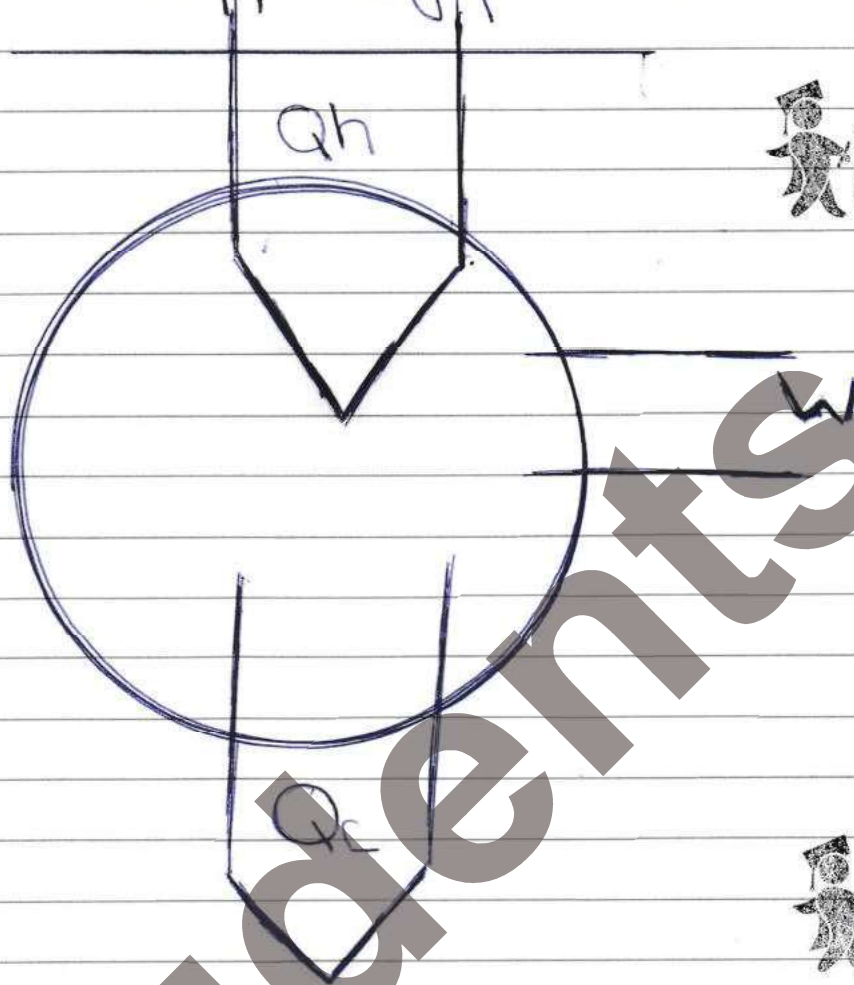
Σημειώσεις - Λυμένα θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Δεύτερος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Θεστή δέξαμενι σε T_h



Εκπαιδευσεις - Λύματα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741



Εκπαιδευσεις - Λύματα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Ψυχρή δέξαμενι σε T_c

Η μηχανή συμβολίζεται με τον κύκλο
Η μηχανή απορροφά Q_h από μια
θεστή δέξαμενι. Παράγει έργο W και
απρόβλεπτη θερμότητα Q_c σε μια
ψυχρή δέξαμενι

● Συντελεστής θερμικής απόδοσης

$$\epsilon = \frac{W}{Q_h} = \frac{Q_h - Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$$

Εφαρμογή

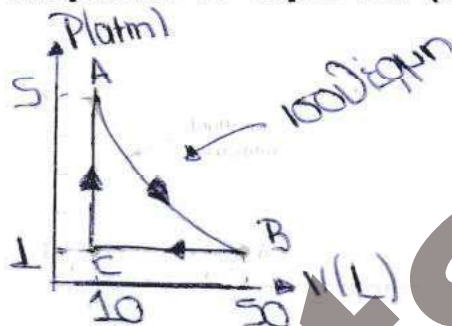


Επικοινωνία - Λογμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Ένα μολ ενός ιδανικού μονοατομικού αερίου εκτελεί τον κύκλο που φαίνεται στο σχήμα. Η διεργασία AB είναι μια αντιστρεπτή ισόθερμη εκτόνωση. Υπολογίστε (α) το καθαρό έργο που παράγει το αέριο, (β) τη θερμότητα που προστέθηκε στο αέριο, (γ) τη θερμότητα που αποβάλλει το αέριο και (δ) την απόδοση του κύκλου.



$$1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

Μ/Δ: Το έργο γίνεται από το αέριο στο περίβ.

$$a) W_{AB} = -P_A V_A \ln \frac{V_B}{V_A} = -5 (1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}) \cdot (10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3) \cdot \ln \left(\frac{50}{10} \right)$$

$$W_{BC} = -P_B \Delta V = - (1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}) [(10 - 50) \cdot 10^{-3}] \text{ m}^3 = -8.15 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$W_{BC} = 4.05 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$W_{CA} = 0$$

$$W_{\text{ολ}} = -W_{AB} - W_{BC} = 4.11 \text{ kJ}$$

b)

$$\Delta U_{AB} = 0$$

$$Q_{AB} = -W_{AB} = 8.15 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$C_V = \frac{3R}{2} \quad \text{και} \quad C_P = \frac{5R}{2}$$

$$T_B = T_A = \frac{P_B V_B}{nR} = \frac{5.05 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{nR}$$

$$T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{1.01 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{nR}$$

$$Q_{CA} = n C_V \Delta T = 1 \left(\frac{3}{2} R \right) \left(\frac{5.05 \cdot 10^3 - 1.01 \cdot 10^5}{R} \right) = -6.08 \text{ kJ}$$

$$Q_{AB} + Q_{CA} = 14.2 \text{ kJ}$$



Επικοινωνία - Λογμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

$$c) Q_{BC} = nC_{V,1}T = \frac{5}{2}(nR\Delta T) = \frac{5}{2}P_B\Delta V_{BL}$$

$$Q_{BL} = \frac{5}{2}(1,013 \cdot 10^5)(10-50) \cdot 10^{-3} = -10,1 \text{ kJ}$$

$$d) e = \frac{W}{|Q_h|} = \frac{W}{Q_{AB} + Q_{CA}} = \frac{4,11 \cdot 10^3}{1,42 \cdot 10^4}$$

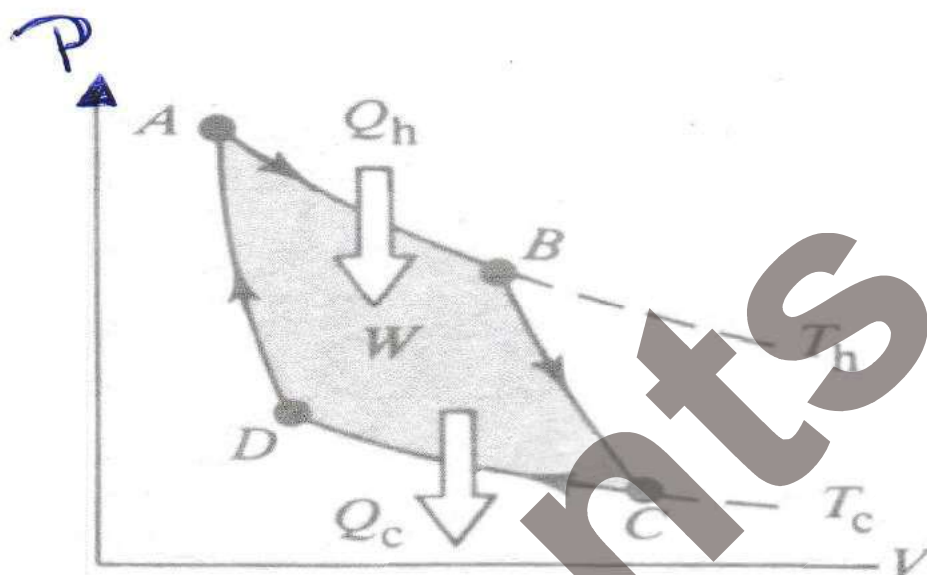
$$e = 0,289$$



Επισκεφθείτε το e-students.gr

e-students.gr

© 698 93 94 741



Η μεταβολή $A \rightarrow B$ είναι ισόθερμη εκτόνωση σε σταθερή θερμοκρασία T_h κατά τη διάρκεια της οποίας το αέριο έχει θερμική επαφή με τη δεξαμενή θερμότητας T_h . Κατά τη διεργασία αυτή το αέριο απορροφά θερμότητα Q_h από τη δεξαμενή διά μέσου της βάσης του κυλίνδρου, εκτονώνεται ισόθερμα με σταθερή θερμοκρασία T_h και παράγει έργο W_{AB} ανυψώνοντας το έμβολο.

2. Κατά τη μεταβολή $B \rightarrow C$ αντικαθιστούμε τη βάση του κυλίνδρου με ένα τοίχωμα που δεν άγει θερμότητα (είναι θερμομονωτής) και το αέριο εκτονώνεται αδιαβατικά, με άλλα λόγια δεν εισέρχεται ούτε εξέρχεται θερμότητα στο σύστημα. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας αυτής μειώνεται η θερμοκρασία του αερίου από T_h σε T_c και το αέριο παράγει έργο W_{BC} ανυψώνοντας το έμβολο.

3. Κατά τη μεταβολή $C \rightarrow D$ το αέριο αποκτά θερμική επαφή με τη δεξαμενή θερμότητας θερμοκρασίας T_c και συμπιέζεται ισόθερμα με σταθερή θερμοκρασία T_c . Κατά τη διάρκεια της διεργασίας αυτής το αέριο αποβάλλει στην δεξαμενή θερμότητα Q_c και το έργο που παράγει ο εξωτερικός παράγοντας πάνω στο αέριο είναι W_{CD} .

4. Στο τελευταίο σκέλος του κύκλου $D \rightarrow A$ αντικαθίσταται η βάση του κυλίνδρου με ένα θερμομονωτικό τοίχωμα και το αέριο συμπιέζεται αδιαβατικά. Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται στην T_h και το έργο που παράγει πάνω στο αέριο ο εξωτερικός παράγοντας είναι W_{DA} .

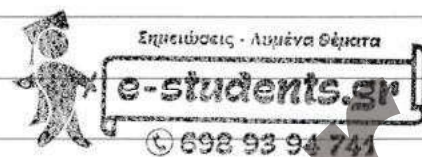
● Συντελεστής θερμομηνια απόδοσης Carnot

$$\epsilon_c = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

$$\epsilon_c > \epsilon$$

● Εντροπία (μέτρο της αταξίας)

$$dS = \frac{dQ}{T}$$



● $\Delta S = 0$ · για κύκλο Carnot

· για οποδήποτε αντιστοίχτο κύκλο

● $\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_{apx}}$ · για επέκταση ελεύθερης

● $\Delta S = m_1 c_1 \ln \frac{T_f}{T_{apx}} + m_2 c_2 \ln \frac{T_f}{T_{apx}}$: Μεταβολή

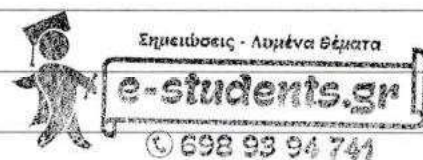
Εντροπίας
σε μια
διερχασία
μεταφοράς
θερμότητας

Από:

$$\Delta S = \int_1 \frac{dQ_1}{T} + \int_2 \frac{dQ_2}{T}$$

$$\Delta S = m_1 c_1 \int_{T_{apx}}^{T_f} \frac{dT}{T} + m_2 c_2 \int_{T_{apx}}^{T_f} \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = m_1 c_1 \ln \frac{T_f}{T_{apx}} + m_2 c_2 \ln \frac{T_f}{T_{apx}}$$



Εφαρμογή

Υπολογίστε τη μεταβολή της εντροπίας 2 mol ενός ιδανικού αερίου που υπόκειται σε ελεύθερη εκτόνωση τριπλασιάζοντας τον αρχικό του όγκο.

$$V_2 = 3V_1$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = 18,3 \text{ J/K}$$



Εφαρμογή

Αναμιγνύουμε ένα kg νερού 0°C με ένα kg νερού 100°C. Αφού επέλθει ισορροπία, το μίγμα έχει θερμοκρασία 50°C. Πόσο μεταβλήθηκε η εντροπία του συστήματος;

$$C_1 = 4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$m_1 = m_2 = 1 \text{ kg}$$

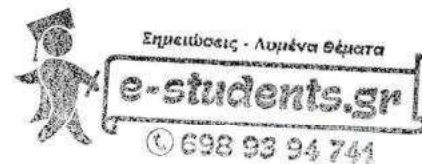
$$C_1 = C_2 = C_V$$

$$\Delta S = m_1 C_V \ln \frac{T_f}{T_{\text{ αρχ }}} + m_2 C_V \ln \frac{T_f}{T_{\text{ αρχ }}} = C_V \ln \frac{T_f}{T_{\text{ αρχ }}} (m_1 + m_2)$$

$$\Delta S = (1 \text{ kg}) (4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{323}{273}$$

$$+ (1 \text{ kg}) (4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}) \ln \left(\frac{323}{273} \right)$$

$$\Delta S = 102 \text{ J/K}$$



● Θερμική Διάστολη



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

Σώμα μήκους L και θερμότητας T
Όταν η θερμότητα αυξηθεί κατά ΔT , τότε
το μήκος αυξάνεται κατά ΔL .

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

α : μέτρος συντελεστής θερμικής γραμμικής
διαστολής

και για μεταβολή όγκου $\Delta V = \beta V \Delta T$

β : μέτρος συντελεστή θερμικής διαστολής
όγκου

Σχέση α & β $\beta = 3\alpha$



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

● Εφαρμογή

Μια χαλύβδινη σιδηροδρομική τροχιά έχει
μήκος 30m όταν η θερμότητα είναι 0°C.
Ποιο το μήκος όταν η θερμότητα είναι
40°C? ($\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Λύση

$$\Delta L = \alpha L \Delta T = 0,013 \text{ m}$$

$$L' = 30,013 \text{ m}$$

● Θερμική αγωγιμότητα

$$H = -kA \frac{dT}{dx}$$



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741

k : συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

H : ρυθμός ροής θερμότητας ($H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ J/s} = \text{W}$)

Αν υποθέσουμε ότι το υλικό έχει σχήμα μιας μεγάλης ραβδού μήκους L

$$H = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

Αν έχουμε μια γράνα που αποτελείται από στρώματα διαφορετικών υλικών πάχους $l_1, l_2, \dots$ και συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας $k_1, k_2, \dots$

$$H = \frac{A(T_2 - T_1)}{\sum (l_i / k_i)}$$



Σημειώσεις - Λυμένα Θέματα

e-students.gr

© 698 93 94 741