



**Εξέταση στη Θερμοδυναμική  
ΣΕΜΦΕ-ΗΛΕΚ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ**

Αθήνα 14 Φεβρουαρίου 2004

Διδάσκων : Ε. Λιαροκάπης

Διάρκεια : 2ώρες

Τα θέματα θεωρούνται βαθμολογικά ισοδύναμα.

Δεν επιτρέπονται σημειώσεις, βιβλία και κινητά τηλέφωνα.

**Θέμα 1<sup>ο</sup>** : Σε ένα πείραμα Joule-Thomson ολόκληρο το αέριο που βρίσκεται σε χώρο  $V_1$  υπό σταθερή πίεση  $p_1$ , αναγκάζεται να περάσει μέσω ενός πορώδους διαφράγματος (που επιτρέπει την διόδο του αερίου ενώ κοντρολάρει την πίεση) σε άλλη περιοχή όπου η πίεση είναι σταθερή  $p_2$ . Το όλο σύστημα είναι θερμικά μονωμένο.

A) Αποδείξτε ότι κατά την διαδικασία αυτή διατηρείται η ενθαλπία.

B) Με ποιό τρόπο μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος  $V_2$  από τα  $V_1$ ,  $p_1$  και  $p_2$ ;

Γ) Εκφράστε για απειροστές μεταβολές της πίεσης τη μεταβολή της θερμοκρασίας  $(\partial T / \partial p)_V$  συναρτήσει των  $V$ ,  $T$ ,  $C_p$  και  $(\partial V / \partial T)_p$ .

**Θέμα 2<sup>ο</sup>** : Ένα πραγματικό αέριο περιγράφεται από την καταστατική εξίσωση  $pV = A(T) + B(T)p + C(T)p^2 + \dots$ , με γνωστές τις συναρτήσεις  $A(T)$ ,  $B(T)$ ,  $C(T)$ , ...

A) Υπολογίστε την  $C_p(p, T)$  ως προς την τιμή της  $C_p(p_o, T)$  σε μια αρχική πίεση  $p_o$ .

B) Με βάση την (A) αποδείξτε ότι  $(\partial C_p / \partial p)_T = 0$  για το ιδανικό αέριο.

Γ) Αν η καταστατική εξίσωση είχε την μορφή  $\frac{pV}{nRT} = 1 + \frac{B(T)}{V}$ , βρήτε την αντίστοιχη εξάρτηση  $C_V(T, V)$  ως προς την τιμή της  $C_V(T, V_o)$  για πολύ μεγάλους όγκους  $V_o$ .

**Θέμα 3<sup>ο</sup>** : Μία αντιστρεπτή θερμική μηχανή  $M$  βρίσκεται συνδεδεμένη με δεξαμενές θερμότητας  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  θερμοκρασιών  $T_1=450$  K,  $T_2=360$  K,  $T_3=300$  αντίστοιχα, πρώτα με τις  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$  και μετά με τις  $\Delta_1$  και  $\Delta_3$ . Διά μέσου αυτού του διπλού κύκλου η μηχανή δίνει θερμότητα  $1800$  J στην δεξαμενή  $\Delta_2$  και λαμβάνει από την  $\Delta_3$  θερμότητα  $600$  J.

A) Υπολογίστε το συνολικό έργο που παρήγαγε η μηχανή.

B) Βρήτε τους συντελεστές απόδοσης όταν λειτουργεί με τις δεξαμενές  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  και  $\Delta_1$ ,  $\Delta_3$ .

Γ) Υπολογίστε τον συνολικό συντελεστή απόδοσης.

**Θέμα 4<sup>ο</sup>** : Δοχείο όγκου  $V_1=150$  lt και θερμοκρασίας  $T_1=20^\circ\text{C}$  περιέχει σε ισορροπία νερό με ατμούς συνολικής μάζας  $m=1$  kg. Αν θερμάνουμε το δοχείο στους  $T_2=180^\circ\text{C}$ , (α) να υπολογίσετε το ποσοστό των κεκορεσμένων ατμών  $x$  στις δύο θερμοκρασίες. Αν το σύστημα υποστεί αδιαβατική εκτόνωση μέχρι  $20^\circ\text{C}$  και επαναφερθεί στην αρχική του κατάσταση ισόθερμα, (β) σχεδιάστε τις αντιστρεπτές αυτές μεταβολές και υπολογίστε (γ) το έργο που παράγεται στην κλειστή διαδρομή και (δ) τον συντελεστή απόδοσης.

Δίνονται στους  $20^\circ\text{C}$  και  $180^\circ\text{C}$  ο ειδικός όγκος  $v_1=57.8\text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_2=0.175\text{ m}^3/\text{kg}$ , η πίεση των κεκορεσμένων ατμών  $p_1=0.02\text{ atm}$ ,  $p_2=11\text{ atm}$ , η λανθάνουσα θερμότητα  $L=606-0.7\theta \text{ kcal/kg}$ ,

η ανηγμένη εντροπία  $s = c \ln T + \frac{Lx}{T}$  και εσωτερική ενέργεια  $u = cT + x[L - p(v_{atm} - v_{vap})]$ .

## ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

$k_B = 1,38 \times 10^{-23}$  J/K,  $N_{av} = 6,023 \times 10^{23}$  /mole,  $R = N_{av}k_B = 8,314$  J/mole.K,  
 $1\text{cal} = 4,1868$  J,  $1\text{atm} = 1,013 \times 10^5$  Pa

1<sup>ον</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα:  $\delta Q = dU + p dV$

Ειδική θερμότητα:  $C = \delta Q/dT$ ,  $C_p - C_V = -T \frac{(\partial V/\partial T)_p^2}{(\partial V/\partial p)_T}$  [=R (για ιδανικό αέριο)]

Συμπιεστότητα (ισόθερμη):  $k_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$

Συντελεστής θερμικής διαστολής:  $\beta = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$

Καταστατική εξίσωση ιδανικών αερίων:  $pV = nRT$

Για αδιαβατική μεταβολή:  $pV^\gamma = const$ , όπου  $\gamma = C_p/C_V$

Ελεύθερη ενέργεια:  $F = U - TS$

Ενέργεια Gibbs:  $G = U + pV - TS$

Ενθαλπία:  $H = U + pV$

Van der Waals εξίσωση:  $\left( p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = nRT$

Εξίσωση Clausius-Clapeyron:  $\frac{dp}{dT} = \frac{L}{(V_1 - V_2)T}$

Σχέσεις Maxwell:  $\left( \frac{\partial T}{\partial V} \right)_S = -\left( \frac{\partial p}{\partial S} \right)_V$ ,  $\left( \frac{\partial T}{\partial p} \right)_S = \left( \frac{\partial V}{\partial S} \right)_p$ ,  $\left( \frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$ ,  $\left( \frac{\partial S}{\partial p} \right)_T = -\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$

Άλλες σχέσεις:  $\left( \frac{\partial x}{\partial z} \right)_f = \left( \frac{\partial x}{\partial y} \right)_f \left( \frac{\partial y}{\partial z} \right)_f$ ,  $\left( \frac{\partial x}{\partial y} \right)_f \left( \frac{\partial y}{\partial z} \right)_f \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)_f = 1$ ,  $\left( \frac{\partial x}{\partial y} \right)_z = 1 / \left( \frac{\partial y}{\partial x} \right)_z$ ,

$\left( \frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \left( \frac{\partial y}{\partial z} \right)_x \left( \frac{\partial z}{\partial x} \right)_y = -1$

Εντροπία:  $S = k_B \ln \Omega(E)$

Στατιστικός παράγοντας Boltzmann:  $\rho = C \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)$

Συνάρτηση επιμερισμού:  $Z = \sum_i \exp(-\beta E_i)$ ,  $Z = \frac{1}{h^{3N}} \iiint \dots \int \exp(-\beta E) d^{3N}q d^{3N}p$ , όπου

$\beta = 1/k_B T$



διέσις  
clapeyron:  $\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{L}{T \Delta V}$