



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

Αθήνα 4 Φεβρουαρίου 2004

Διάρκεια : 2ώρες 30λ.

Διδάσκων : Ε. Λιαροκάπης

**Τα θέματα θεωρούνται βαθμολογικά ισοδύναμα.**

**Δεν επιτρέπονται σημειώσεις, βιβλία και κινητά τηλέφωνα.**

**Θέμα 1º :** Θερμικά μονωμένος και κλειστός κύλινδρος, χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη από κινούμενο χωρίς τριβές πιστόνι. Στη μία πλευρά υπάρχει 1 lt αέρα σε θερμοκρασία 200 K και πίεση 2 atm, ενώ στο άλλο μέρος 1 lt αέρα σε 300 K και πίεση 1 atm. Ο αέρας θεωρείται ιδανικό αέριο με  $c_v=3R/2$ . Το πιστόνι αφήνεται να κινηθεί σε μια νέα θέση μέχρι αποκατάστασης ισορροπίας σε πίεση και θερμοκρασία.

A) Υπολογίστε την τελική θερμοκρασία και πίεση.

B) Βρείτε την συνολική αύξηση της εντροπίας του συστήματος.

**Θέμα 2º :** Στους 25°C ο όγκος του νερού  $V$ , για πίεση μέχρι 1000 atm, δίνεται από την σχέση  $V=18,066 - 715 \times 10^{-6}p + 46 \times 10^{-9} p^2 \text{ cm}^3/\text{mol}$ , δύον  $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = 4,5 \times 10^{-3} + 1,4 \times 10^{-6} p$

A) Βρείτε το έργο που απαιτείται για να συμπιεστεί 1 mol νερού από 1 atm σε 1000 atm.

B) Υπολογίστε την ανταλλαγή θερμότητας και την μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας.

**Θέμα 3º :** Ένας ιδεατός κύκλος για ένα mol αποτελείται από τις εξής διαδρομές: το αέριο βρίσκεται αρχικά σε θερμοκρασία  $T_A=600K$  και διαστέλλεται ισόθερμα μέχρι μια κατάσταση B ( $T_B=600K$ ). Τότε ψύχεται ισόχωρα ( $V_B=V_C$ ) μέχρι τους  $T_C=300K$ . Διαστέλλεται ισόθερμα μέχρι μια κατάσταση D ( $T_D=300K$ ), ώστε με μια αδιαβατική συμπίεση να καταλήξει στο αρχικό σημείο A. Η ισόχωρη επιλέγεται ώστε το συνολικό έργο του κύκλου να είναι μηδέν. Παραδεχθείτε ότι το αέριο είναι ιδανικό με  $\gamma=5/3$ .

A) Σχεδιάστε το διάγραμμα  $p$ ,  $V$  και υπολογίστε τα  $W_{DA}$ ,  $Q_{BC}$

B) Αποδείξτε ότι  $\frac{Q_{AB}}{600K} + \frac{Q_{CD}}{300K} = 8,64 \text{ J/mol.K}$

Γ) Υπολογίστε τα  $W_{AB}$ ,  $W_{CD}$ .

**Θέμα 4º :** Ας θεωρήσουμε ότι συνυπάρχουν και οι τρεις φάσεις, στερεά, υγρή και αέρια του αρσενικού ( $1\text{mol}=74,9\text{g}$ ). Επίσης ότι η πίεση του ατμού εκφρασμένη σε mm υδραργύρου δίνεται από τις σχέσεις  $\log p = 6,7 - 2460/T$  (ισορροπία με το υγρό) και  $\log p = 10,8 - 6940/T$  (ισορροπία με στερεό), όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία σε K.

A) Υπολογίστε την θερμοκρασία και την πίεση του τριπλού σημείου.

B) Με την παραδοχή ότι ο ατμός του αρσενικού συμπεριφέρεται ως ένα ιδανικό αέριο και αγνοώντας τον όγκο του υγρού, από την εξίσωση Clausius-Clapeyron αποδείξτε ότι η ειδική θερμότητα εξάτμισης είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας.

## ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

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

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

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

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

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

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:  $H = U + pV$

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

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

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

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

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

Εντροπία:  $S = k_B \ln \Omega(E)$

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

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