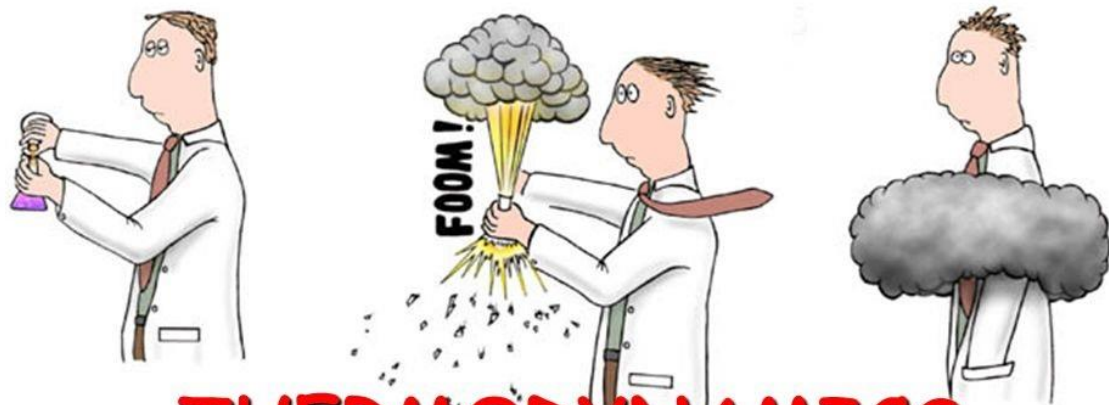


ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ Ι



THERMODYNAMICS

1^ο ΦΡΟΝΤΙΣΤΗΡΙΟ
Τετάρτη 08.11.2023



ΑΣΚΗΣΗ 1

Έργο από το περιβάλλον στο σύστημα: $W = - \int P_{\varepsilon\xi} dV$

$$P_{\varepsilon\xi} = \text{σταθ}$$

$$W_a = - \int P_{\varepsilon\xi} dV \stackrel{\downarrow}{=} -P_{\varepsilon\xi} \int dV = -P_{\varepsilon\xi} (V_{\tau\varepsilon\lambda} - V_{\alpha\rho\chi}) \quad (1)$$

$$n = \frac{m}{Mr} = \frac{5g}{44g \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.114 \text{mol}$$

$$V_{\tau\varepsilon\lambda} = \frac{nRT}{P_{\tau\varepsilon\lambda}} = \frac{0.114 \text{mol} \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 300\text{K}}{101325 \text{Pa}} = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$$

$$V_{\alpha\rho\chi} = 100 \text{cm}^3 = 10^{-4} \text{m}^3$$

$$(1) \Rightarrow W_a = -101325 \text{Pa} * (2.8 * 10^{-3} \text{m}^3 - 10^{-4} \text{m}^3) \Rightarrow W_a = -273.6 \text{J}$$

$W < 0$ άρα
προσφέρεται από το
σύστημα στο
περιβάλλον

ΑΣΚΗΣΗ 1

Β) Ισόθερμα και αντιστρεπτά

Υπόδειξη: Υποθέστε ότι το αέριο είναι ιδανικό

Ισόθερμη Διεργασία \longrightarrow T: σταθερή

Αντιστρεπτή Διεργασία $\longrightarrow P_{εξ} = P = \frac{nRT}{V}$

Έργο από το περιβάλλον στο σύστημα: $W = - \int P_{εξ} dV$

$$W_b = - \int P_{εξ} dV = - \int \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int \frac{1}{V} dV = -nRT (\ln V_{τελ} - \ln V_{αρχ}) = -nRT \ln\left(\frac{V_{τελ}}{V_{αρχ}}\right)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{αρχ} = 10^{-4} m^3 \\ V_{τελ} = 2.8 * 10^{-3} m^3 \end{array} \right\} W_{\beta} = - \frac{5g}{44 \frac{g}{mol}} 8.314 \frac{J}{mol * K} * 300K \ln \frac{2.8 * 10^{-3}}{10^{-4}} \Rightarrow W_{\beta} = -944.4J$$

$W < 0$ άρα προσφέρεται από το σύστημα στο περιβάλλον

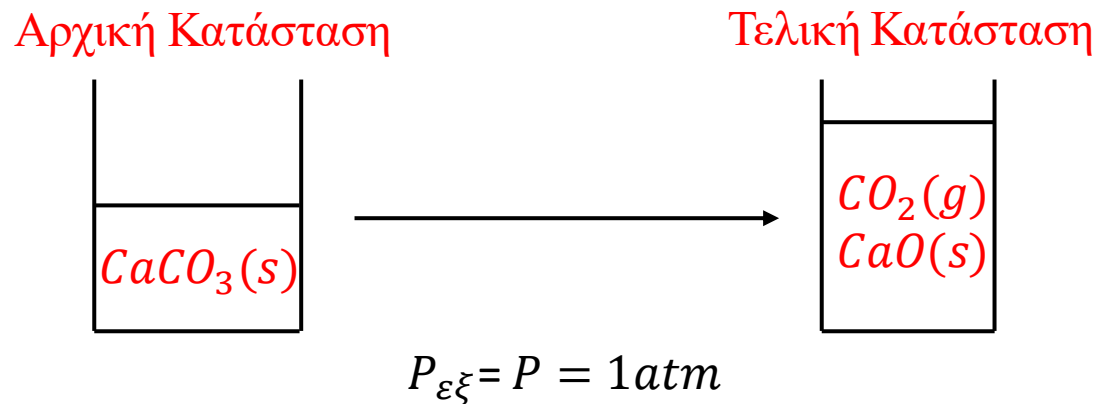
ΑΣΚΗΣΗ 2

1 mol CaCO_3 θερμαίνεται στους 700°C όπου και διασπάται. Να υπολογίσετε το έργο που παράγεται όταν:

A) Η διάσπαση γίνεται μέσα σε δοχείο με (αβαρές) έμβολο, υπό σταθερή εξωτερική πίεση ίση με 1atm

B) Η διάσπαση γίνεται μέσα σε ανοιχτό δοχείο στο εργαστήριο

Υπόδειξη: Υποθέστε ότι το αέριο είναι ιδανικό



ΑΣΚΗΣΗ 2

1 mol CaCO_3 θερμαίνεται στους 700°C όπου και διασπάται. Να υπολογίσετε το έργο που παράγεται όταν:

A) Η διάσπαση γίνεται μέσα σε δοχείο με έμβολο, υπό σταθερή εξωτερική πίεση ίση με 1atm

B) Η διάσπαση γίνεται μέσα σε ανοιχτό δοχείο στο εργαστήριο

Υπόδειξη: Υποθέστε ότι το αέριο είναι ιδανικό

A) Έστω ότι ο όγκος των στερεών είναι αμελητέος σε σχέση με τον όγκο των αερίων

Άρα:

- $V_{\text{αρχ}} = V_{\text{CaCO}_3(s)} = 0$
- $V_{\text{τελ}} = V_{\text{CaO(s)}} + V_{\text{CO}_2(g)} = V_{\text{CO}_2(g)}$

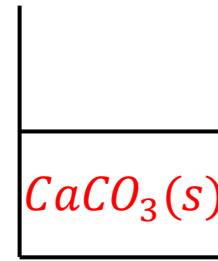
Το έργο θα παράγεται από την εκτόνωση του παραγόμενου CO_2 είναι:

$$W_a = - \int P_{\text{εξ}} dV = -P_{\text{εξ}} \int dV = -P_{\text{εξ}} (V_{\text{τελ}} - \overset{0}{V_{\text{αρχ}}}) \quad (1)$$

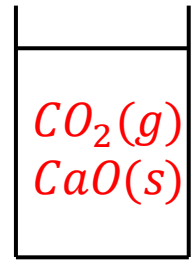
$$V_{\text{τελ}} = V_{\text{CO}_2(g)} = \frac{nRT}{P} = \frac{1\text{mol} \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 973\text{K}}{101325\text{Pa}} = 0.08\text{m}^3$$

$$(1) \Rightarrow W_a = -101325\text{Pa} \cdot (0.08\text{m}^3) \Rightarrow W_a = -8106\text{J} = -8\text{kJ}$$

Αρχική Κατάσταση



Τελική Κατάσταση



$$P_{\text{εξ}} = P = 1\text{atm}$$

B)

- Δεν υπάρχει έμβολο
- Το CO_2 'σπρώχνει' την επιφάνεια προς τα πάνω

Το έργο είναι ίδιο με το (α) ερώτημα $W_\beta = W_a = -8\text{kJ}$

ΑΣΚΗΣΗ 3

1 kg νερού θερμαίνεται και εξατμίζεται υπό τις ακόλουθες συνθήκες:

A) Με βρασμό στους 100 °C υπό ατμοσφαιρική πίεση

B) Με βρασμό στους 46 °C υπό πίεση 0.1 atm

Να υπολογιστούν για τις δύο περιπτώσεις οι συναρτήσεις Q, W, ΔU

Στην περίπτωση που η θέρμανση γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα, ποια είναι η θερμότητα που πρέπει να δοθεί στο σύστημα και ποια η ισχύς (Watt) που χρειάζεται να έχει ο θερμαντήρας για να γίνει η εξατμηση σε 10min;

Από τι ύψος πρέπει να πέσουν 10 kg νερού για να παράγουν ισοδύναμη ενέργεια;

Δεδομένα: ΔH(εξατμ. 100 °C)=40.6 kJ/mol, ΔH(εξατμ. 46 °C)=44.0 kJ/mol

A) Ο βρασμός γίνεται υπό σταθερή εξωτερική πίεση (1atm και 0.1atm) $\longrightarrow W = -P_{εξ}\Delta V$

Ισοβαρής μεταβολή $\longrightarrow \Delta H = Q$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{Mr_{H_2O}} = \frac{1kg \cdot 1000 \frac{g}{kg}}{18 \frac{g}{mol}} = 55.5 \text{ mol}$$

$$Q = n_{H_2O} \Delta H = 55.5 \text{ mol} \cdot 40.6 \text{ kJ/mole} = 2253 \text{ kJ} \Rightarrow Q = 2.25 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$W_a = - \int P_{εξ} dV = -P_{εξ} \int dV = -P_{εξ} (V_{τελ} - V_{αρχ}) \quad \begin{matrix} V_{τελ} \gg V_{αρχ} \\ \Longrightarrow \end{matrix}$$

ΑΣΚΗΣΗ 3

$$W_a = -P_{εξ} V_{τελ} = -P \frac{nRT}{P} = -101325Pa \frac{55.5mol \cdot 8.314 \frac{Pa \cdot m^3}{mol \cdot K} \cdot 373K}{101325Pa} \Rightarrow -172112J$$
$$\Rightarrow W_a = -172kJ$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος: $\Delta U = Q + W = 2.25 \cdot 10^3 kJ - 172kJ = 2078kJ \Rightarrow \Delta U = 2.08 \cdot 10^3 kJ$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ισχύς: } P = \frac{Q}{t} \\ t = 10min = 600s \end{array} \right\} P = \frac{2.25 \cdot 10^3 kJ}{600s} = 3.75kW$$

Το ύψος από το οποίο πρέπει να πέσουν 10kg είναι:

$$\left. \begin{array}{l} Q = mgh \\ m = 10kg \\ g = 9.8 \frac{m}{s^2} \end{array} \right\} h = \frac{Q}{mg} = 23m$$

ΑΣΚΗΣΗ 3

B)

$$Q = n_{H_2O} \Delta H = 55.5 \text{ mol} * 44 \text{ kJ/mol} \Rightarrow Q = 2.44 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$W = -P_{εξ} V_{τελ} = -nRT \Rightarrow W = -147 \text{ kJ}$$

$$\text{Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος: } \Delta U = Q + W = 2.44 \cdot 10^3 \text{ kJ} - 147 \text{ kJ} \Rightarrow \Delta U = 2.29 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ισχύς: } P = \frac{Q}{t} \\ t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s} \end{array} \right\} P = \frac{2.44 \cdot 10^3 \text{ kJ}}{600 \text{ s}} = 4.07 \text{ kW}$$

Το ύψος από το οποίο πρέπει να πέσουν 10kg είναι:

$$\left. \begin{array}{l} Q = mgh \\ m = 10 \text{ kg} \\ g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{array} \right\} h = \frac{Q}{mg} = 24.9 \text{ m}$$

ΑΣΚΗΣΗ 4

Να αποδειχθεί η σχέση:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial(U + PV)}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P + V \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

ΑΣΚΗΣΗ 5

Ένα κομμάτι χαλκού μάζας 0.5kg και θερμοκρασίας 20°C θερμαίνεται με ηλεκτρική αντίσταση 1kΩ (αμελητέας μάζας). Ρεύμα έντασης 1A διέρχεται από την αντίσταση για 15s. Ποια είναι η μεταβολή της εντροπίας του μετάλλου? Στην περιοχή θερμοκρασιών του ενδιαφέροντός μας η θερμοχωρητικότητα του χαλκού είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας: $c_p = 24.4 \frac{J}{mol \cdot K}$

Υπόδειξη: Παρατηρείστε ότι η πίεση παραμένει σταθερή.

Επίσης θυμηθείτε ότι η θερμότητα ισούται με $q = I^2 R t$, όπου I η ένταση του ρεύματος και R η ηλεκτρική αντίσταση

ΑΣΚΗΣΗ 5

Ένα κομμάτι χαλκού μάζας 0.5kg και θερμοκρασίας 20°C θερμαίνεται με ηλεκτρική αντίσταση 1kΩ (αμελητέας μάζας). Ρεύμα έντασης 1A διέρχεται από την αντίσταση για 15s. Ποια είναι η μεταβολή της εντροπίας του μετάλλου? Στην περιοχή θερμοκρασιών του ενδιαφέροντός μας η θερμοχωρητικότητα του χαλκού είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας: $c_p = 24.4 \frac{J}{mol \cdot K}$

Υπόδειξη: Παρατηρείστε ότι η πίεση παραμένει σταθερή.

Επίσης θυμηθείτε ότι η θερμότητα ισούται με $q = I^2 R t$, όπου I η ένταση του ρεύματος και R η ηλεκτρική αντίσταση

Δεδομένα:

$$m = 0.5 \text{ kg}$$

$$T = 20^\circ \text{C}$$

$$R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$I = 1 \text{ A}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Αφού P = σταθ: $q = \Delta H$ (1)

$$q = I^2 R t = (1 \text{ A})^2 * 1000 \Omega * 15 \text{ s} \Rightarrow q = 15000 \text{ J} = 15 \text{ kJ}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta H = q = n c_p \Delta T \\ n = \frac{m_{Cu}}{M r_{Cu}} \end{array} \right\} \Delta H = \frac{m_{Cu}}{M r_{Cu}} c_p \Delta T = \left(\frac{500 \text{ g}}{63.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \right) \left(24.4 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} \right) (T_{\tau\epsilon\lambda} - 293 \text{ K}) = 15000 \text{ J} \Rightarrow$$

$$15000 \text{ J} = 192.1 \frac{\text{J}}{\text{K}} (T_{\tau\epsilon\lambda} - 293 \text{ K}) \Rightarrow T_{\tau\epsilon\lambda} = 371 \text{ K}$$

$$\Delta S = n c_p \ln \left(\frac{T_{\tau\epsilon\lambda}}{T_{\alpha\rho\chi}} \right) = \left(\frac{500 \text{ g}}{63.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \right) \left(24.4 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} \right) \ln \left(\frac{371}{293} \right) \Rightarrow \Delta S = 45.3 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$