



ΜΠ 322: ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΑΖΑΣ

Ασκήσεις # 1

Αφροδίτη Παπαδοπούλου
Δρ. Χημικός Μηχανικός
afpapadopoulou@isc.tuc.gr

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Ασκηση 1.1

Ένα δοχείο όγκου 5 L περιέχει σε θερμοκρασία 25°C ένα δυαδικό μίγμα εξανίου (C_6H_{14}) και τολουολίου (C_7H_8) μάζας 500 g. Η κατά βάρος σύσταση του μίγματος σε εξάνιο είναι 60%. Να υπολογιστούν για το τολουόλιο (α) το κλάσμα μάζας του, (β) το γραμμομοριακό του κλάσμα και (γ) η γραμμομοριακή του συγκέντρωση. (δ) Ποια είναι η πυκνότητα του μίγματος και (ε) ποια η σχετική μάζα (μοριακό βάρος) του μίγματος. Δίνονται τα ατομικά βάρη $AB_H=1$, $AB_C=12$

❖ Δεδομένα

- Μίγμα C_6H_{14} (Α) και C_7H_8 (Β)
- $V_{tot}=5$ L
- $T=25^\circ C$
- $m_{tot}=500$ g
- 60% w/w σε Α
- $AB_H=1$, $AB_C=12$

❖ Ζητούμενα

- $\omega_B=?$ Κλάσμα μάζας $\omega_i=m_i/m_{tot}$
- $x_B=?$ Γραμ. κλάσμα $x_i=n_i/n_{tot}$
- $C_B=?$ Γραμ. Συγκέντρωση $C_i=n_i/V_{tot}$
- $\rho_{tot}=?$ Πυκνότητα $\rho_{tot}=m_{tot}/V_{tot}$
- $MB_{tot}=?$ Μορ. Βάρος $MB_{tot}=n_{tot}/m_{tot}=\sum x_i MB_i$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Ασκηση 1.1

Αρχικά υπολογίζουμε τα Μοριακά βάρη (σχετική μάζα) των δύο συστατικών, με βάση τα ΑΒ που δίνονται

Συστατικό Α (C_6H_{14}): $MB_A=6 \times 12 + 14 \times 1 = 86$ g/mol

Συστατικό Β (C_7H_8): $MB_B=7 \times 12 + 8 \times 1 = 92$ g/mol

❖ Δεδομένα

- $m_{tot}=500$ g
- 60% w/w σε Α

❖ Ζητούμενο

- $\omega_B=?$ Κλάσμα μάζας $\omega_B=m_B/m_{tot}$ $m_B=?$

$$m_A + m_B = m_{tot} \Rightarrow m_B = m_{tot} - m_A \quad m_A=?$$

$$60\% \text{ w/w σε Α} \Rightarrow \omega_A = 0.60 \quad m_{tot}$$

$$m_B = m_{tot} - 0.60m_{tot} = 0.40m_{tot} = 0.40 \times 500\text{g} = 200 \text{ g}$$

$$\omega_B = \frac{m_B}{m_{tot}} = \frac{200\text{g}}{500\text{g}} \Rightarrow \omega_B=0.40$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Ασκηση 1.1

❖ Δεδομένα

- $m_{tot}=500$ g
- 60% w/w σε Α

❖ Ζητούμενο

- $\omega_B=?$ ΠΟΛΥ ΠΙΟ ΑΠΛΑ

Το % κατά βάρος (w/w) είναι στην ουσία και το κλάσμα μάζας του Α

$$60\% \text{ w/w σε Α} \Rightarrow \omega_A = 0.60$$

$$\text{κι επειδή } \omega_A + \omega_B = 1 \quad \omega_B = 1 - 0.60 = 0.40$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.1

❖ Δεδομένα

- $m_{\text{tot}} = 500 \text{ g}$
- 60% w/w σε A
- $MB_A = 86 \text{ g/mol}$
- $MB_B = 92 \text{ g/mol}$

❖ Ζητούμενο

- $x_B = ?$ Γραμμομοριακό κλάσμα $x_B = n_B / n_{\text{tot}}$
 - $n_B = ?$
 - $n_{\text{tot}} = ?$
- $$n_{\text{tot}} = \sum n_i$$
- $$n_i = \frac{m_i}{MB_i}$$

$$60\% \text{ w/w σε A} \Rightarrow m_A = 0.60 m_{\text{tot}} = 0.60 \cdot 500 \text{ g} \Rightarrow m_A = 300 \text{ g}$$

$$m_B = m_{\text{tot}} - 0.60 m_{\text{tot}} = 0.40 m_{\text{tot}} = 0.40 \cdot 500 \text{ g} \Rightarrow m_B = 200 \text{ g}$$

$$n_A = \frac{m_A}{MB_A} = \frac{300 \text{ g}}{86 \text{ g/mol}} \Rightarrow n_A = 3.49 \text{ mol}$$

$$n_B = \frac{m_B}{MB_B} = \frac{200 \text{ g}}{92 \text{ g/mol}} \Rightarrow n_B = 2.17 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tot}} = 5.66 \text{ mol}$$

$$x_B = \frac{2.17 \text{ mol}}{5.66 \text{ mol}} \Rightarrow x_B = 0.38$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.1

❖ Δεδομένα

- $V = 5 \text{ L}$
- $n_B = 2.17 \text{ mol}$

❖ Ζητούμενο

- $C_B = ?$ Γραμμομοριακή συγκέντρωση (Molarity, $M [=] \text{ mol/L}$)
- $C_B = n_B / V$

$$C_B = \frac{n_B}{V} = \frac{2.17 \text{ mol}}{5 \text{ L}} \Rightarrow$$

$$C_B = 0.434 \text{ mol/L} \text{ ή } 0.434 \text{ M}$$

❖ Ζητούμενο

- $\rho_{\text{tot}} = ?$ Πυκνότητα $\rho_{\text{tot}} = m_{\text{tot}} / V$

$$\rho_{\text{tot}} = \frac{m_{\text{tot}}}{V} = \frac{500 \text{ g}}{5 \text{ L}} \Rightarrow$$

$$\rho_{\text{tot}} = 100 \text{ g/L} \text{ ή } 100 \text{ kg/m}^3$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.1

❖ Δεδομένα

- $n_{\text{tot}} = 5.66 \text{ mol}$
- $m_{\text{tot}} = 500 \text{ g}$

❖ Ζητούμενο

- $MB_{\text{tot}} = ?$ Μοριακό βάρος μίγματος (Σχετική μάζα μίγματος)

$$MB_{\text{tot}} = m_{\text{tot}} / n_{\text{tot}} = \sum x_i MB_i$$

$$MB_{\text{tot}} = \frac{m_{\text{tot}}}{n_{\text{tot}}} = \frac{500 \text{ g}}{5.66 \text{ mol}} \Rightarrow$$

$$MB_{\text{tot}} = 88.3 \text{ g/mol}$$

$$MB_A < MB_{\text{tot}} < MB_B$$

Εναλλακτικά:

$$MB_{\text{tot}} = \sum x_i MB_i = x_A MB_A + x_B MB_B = x_A MB_A + x_B MB_B$$

$$x_A + x_B = 1$$

$$MB_{\text{tot}} = (1 - x_B) MB_A + x_B MB_B \quad MB_{\text{tot}} = (1 - 0.38) 86 + 0.38 \cdot 92 \Rightarrow$$

$$MB_{\text{tot}} = 88.3 \text{ g/mol}$$

Όχι κλάσματα μάζας!!!

$$MB_{\text{tot}} = 0.60 \cdot 86 + 0.40 \cdot 92 = 88.4 \text{ g/mol}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.2

Υδατικό διάλυμα νιτρικού οξέος (HNO_3) καταλαμβάνει όγκο 0.050 L. Αν η γραμμομοριακή συγκέντρωση του διαλύματος (Molarity) είναι 0.10 M (α) να υπολογιστεί η μάζα του HNO_3 που είναι διαλυμένη στο νερό και να εκφραστεί η συγκέντρωση του διαλύματος ως (β) molality και (γ) κανονικότητα. (δ) Αν θέλουμε να αραιώσουμε το διάλυμα ώστε να λάβουμε τελικά υδατικό διάλυμα νιτρικού οξέος 4 g/L, πόσα ml H_2O πρέπει να προσθέσουμε; Δίνονται: $AB_H=1$, $AB_N=14$, $AB_O=16$. Η πυκνότητα του διαλύματος να θεωρηθεί ίση με του H_2O , 1000 kg/m³.

❖ Δεδομένα

- Υδατικό Δ. HNO_3
- $V_{\text{tot}} = 0.050 \text{ L}$
- $C_{\text{mol}} = 0.10 \text{ M}$
- $C_{\text{τελ.}} = 4 \text{ g/L}$
- $\rho_{\Delta} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $AB_H=1$, $AB_N=14$, $AB_O=16$

❖ Ζητούμενα

- $m_{\text{HNO}_3} = ?$
- $C = ?$ (molality, m)
- $C = ?$ (normality, N)
- $\Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = ?$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.2

Αρχικά υπολογίζουμε το Μοριακό βάρος (σχετική μάζα) του HNO_3

$$MB_{\text{HNO}_3} = 1 \times 1 + 1 \times 14 + 3 \times 16 = 63 \text{ g/mol}$$

❖ Δεδομένα

- $V_{\text{tot}} = 0.050 \text{ L}$
- $C_{\text{apx}} = 0.10 \text{ M}$

Εφόσον η γραμμομοριακή συγκέντρωση μας δίνεται ως Molarity, M τότε ισχύει

$$C_i = \frac{n_i}{V_{\text{tot}}}$$

Επομένως τα γραμμομόρια του HNO_3 που είναι διαλυμένα στο νερό είναι:

$$C_i = \frac{n_i}{V_{\text{tot}}} \Rightarrow n_i = C_i V_{\text{tot}} \Rightarrow n_i = 0.050 \text{ L} \cdot 0.1 \text{ M} \left| \frac{\text{mol/L}}{\text{M}} \right| \Rightarrow n_{\text{HNO}_3} = 0.005 \text{ mol}$$

$$\text{Άρα } m_{\text{HNO}_3} = n_{\text{HNO}_3} MB_{\text{HNO}_3} \Rightarrow m_{\text{HNO}_3} = 0.005 \text{ mol} \cdot 63 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \Rightarrow m_{\text{HNO}_3} = 0.315 \text{ g}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.2

❖ Δεδομένα

- $V_{\text{tot}} = 0.050 \text{ L}$
- $\rho_{\text{τελ.}} = 4 \text{ g/L}$
- $m_{\text{HNO}_3} = 0.315 \text{ g}$

❖ Ζητούμενο

- molality=?

Θεωρούμε

$$\rho_{\Delta} \cong \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left| \frac{1000 \text{ g}}{\text{kg}} \right| \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \Rightarrow \rho_{\Delta} = 1000 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Επομένως η συνολική μάζα του διαλύματος είναι:

$$m_{\Delta} = \rho_{\Delta} V_{\text{tot}} = 1000 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0.050 \text{ L} \Rightarrow m_{\Delta} = 50 \text{ g}$$

$$\text{Άρα } m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\Delta} - m_{\text{HNO}_3} \Rightarrow m_{\text{H}_2\text{O}} = 50.000 - 0.315 = 49.685 \text{ g}$$

$$\text{molality} = \frac{n_{\text{HNO}_3}}{1 \text{ kg H}_2\text{O}} = \frac{0.005 \text{ mol HNO}_3}{49.685 \text{ g H}_2\text{O}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \Rightarrow \text{C} = 0.1006 \text{ m} \quad m \approx M$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.2

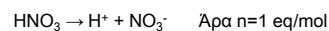
❖ Δεδομένα

- $C_{\text{HNO}_3} = 0.1 \text{ M}$

❖ Ζητούμενο

- Normality=?

Παρατηρούμε την αντίδραση διάσπαση του νιτρικού οξέος



$$N_{\Delta} = n M = 1 \text{ eq/mol} \times 0.1 \text{ mol/L} \Rightarrow N = 0.1 \text{ eq/L}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.2

❖ Δεδομένα

- $m_{\text{HNO}_3} = 0.315 \text{ g}$
- $V_{\text{tot, apx}} = 0.050 \text{ L}$
- $\rho_{\Delta, \text{τελ.}} = 4 \text{ g/L}$

❖ Ζητούμενο

- $\Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = ?$

$$\Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{tot, τελ.}} - V_{\text{tot, apx}}$$

Αρχική κατάσταση

$$\rho_{\Delta, \text{apx}} = \frac{m_{\text{HNO}_3}}{V_{\text{tot, apx}}} = \frac{0.315 \text{ g}}{0.05 \text{ L}} \Rightarrow \rho_{\Delta, \text{apx}} = 6.3 \text{ g/L}$$

Τελική κατάσταση: Νόμος της αραιώσης.....

$$\rho_{\Delta, \text{apx}} V_{\text{tot, apx}} = \rho_{\Delta, \text{τελ.}} V_{\text{tot, τελ.}} \Rightarrow V_{\text{tot, τελ.}} = \frac{\rho_{\Delta, \text{apx}} V_{\text{tot, apx}}}{\rho_{\Delta, \text{τελ.}}} = \frac{6.3 \text{ g/L} \cdot 0.05 \text{ L}}{4 \text{ g/L}} \Rightarrow V_{\text{tot, τελ.}} = 0.079 \text{ L}$$

$$\text{Άρα } \Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{tot, τελ.}} - V_{\text{tot, apx}} = 0.079 \text{ L} - 0.050 \text{ L} = 0.029 \text{ L} \quad \Delta V_{\text{H}_2\text{O}} = 29 \text{ mL}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Αέριο μίγμα σε πίεση 2 bar και θερμοκρασία 30°C περιέχει 50% οξυγόνο και 50% διοξείδιο του άνθρακα κατ' όγκο. Να υπολογιστούν: (α) Η μερική πίεση του οξυγόνου (β) Το κλάσμα μάζας του οξυγόνου (γ) Η ολική γραμμομοριακή συγκέντρωση (δ) Η πυκνότητα του μίγματος

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50-50% v/v O₂ και CO₂
- P_{tot} = 2 bar
- T = 30°C
- AB_C=12, AB_O=16

❖ Ζητούμενα

- P_{O₂}=?
- ω_{O₂}=?
- C_{tot}=?
- ρ_{tot}=?

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Παραδοχή: Μίγμα Ιδανικών Αερίων

Αρχικά υπολογίζουμε το Μοριακό βάρος (σχετική μάζα) του O₂ και του CO₂

$$MB_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ g/mol}$$

$$MB_{CO_2} = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g/mol}$$

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50-50% v/v O₂ και CO₂
- P_{tot} = 2 bar

❖ Ζητούμενο

- P_{O₂}=?

% v/v σε αέρια = % κατά mol

Επομένως είναι: y_{O₂}=0.5 y_{CO₂}=0.5

Με βάση το Ν. του Dalton ισχύει: P_i=y_iP_{tot}

$$\text{Άρα } P_{O_2} = y_{O_2} P_{tot} \Rightarrow P_{O_2} = 0.5 \times 2 \text{ bar} \Rightarrow P_{O_2} = 1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Παραδοχή: Μίγμα Ιδανικών Αερίων

Αρχικά υπολογίζουμε το Μοριακό βάρος (σχετική μάζα) του O₂ και του CO₂

$$MB_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ g/mol}$$

$$MB_{CO_2} = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g/mol}$$

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50-50% v/v O₂ και CO₂
- P_{tot} = 2 bar

❖ Ζητούμενο

- ω_{O₂}=?

Υπενθύμιση:

$$\omega_i = \frac{m_i}{m_{tot}} = \frac{\rho_i}{\rho_{tot}} = \frac{\rho_i}{\sum \rho_i} \quad \text{Και ισχύει: } \sum \omega_i = 1$$

$$c_i = \frac{n_i}{V_{tot}} = \frac{m_i}{MB_i V_{tot}} = \rho_i \frac{1}{MB_i}$$

$$\rho_i = c_i MB_i$$

$$P_i = \frac{n_i RT}{V_{tot}} = c_i RT \Rightarrow c_i = \frac{P_i RT}{RT} \quad \text{Και ισχύει: } \sum P_i = P_{tot} \quad \rho_i = \frac{P_i MB_i}{RT}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Υπενθύμιση:

$$\omega_i = \frac{m_i}{m_{tot}} = \frac{\rho_i}{\rho_{tot}} = \frac{\rho_i}{\sum \rho_i} \quad \text{Και ισχύει: } \sum \omega_i = 1$$

$$c_i = \frac{n_i}{V_{tot}} = \frac{m_i}{MB_i V_{tot}} = \rho_i \frac{1}{MB_i}$$

$$\rho_i = c_i MB_i$$

$$P_i = \frac{n_i RT}{V_{tot}} = c_i RT \Rightarrow c_i = \frac{P_i RT}{RT} \quad \text{Και ισχύει: } \sum P_i = P_{tot} \quad \rho_i = \frac{P_i MB_i}{RT}$$

$$\omega_i = \frac{P_i MB_i / RT}{\sum P_i MB_i / RT} = \frac{P_i MB_i}{\sum P_i MB_i} = \frac{y_i P_{tot} MB_i}{\sum y_i P_{tot} MB_i} = \frac{y_i MB_i}{\sum y_i MB_i}$$

$$\omega_{O_2} = \frac{y_{O_2} MB_{O_2}}{y_{O_2} MB_{O_2} + y_{CO_2} MB_{CO_2}} = \frac{0.5 \times 32}{0.5 \times 32 + 0.5 \times 44} \Rightarrow \omega_{O_2} = 0.421$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Παραδοχή: Μίγμα Ιδανικών Αερίων

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50-50% v/v O₂ και CO₂
- P_{tot} = 2 bar
- T = 30°C

❖ Ζητούμενο

- C_{tot} = ?

Εφόσον έχουμε ιδανικά αέρια

$$C_{tot} = \frac{n_{tot}}{V_{tot}} = \frac{P_{tot}}{RT}$$

$$C_{tot} = \frac{n_{tot}}{V_{tot}} = \frac{P_{tot}}{RT} = 2 \text{ bar} \left| \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} \right| * \frac{1}{8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{K kmol}} (30+273) \text{ K}} \Rightarrow C_{tot} = 0.079 \text{ kmol/m}^3$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.3

Παραδοχή: Μίγμα Ιδανικών Αερίων

$$MB_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ g/mol}$$

$$MB_{CO_2} = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ g/mol}$$

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50-50% v/v O₂ και CO₂
- P_{tot} = 2 bar
- T = 30°C

❖ Ζητούμενο

- ρ_{tot} = ?

$$\rho_{tot} = \sum \rho_i = \sum \frac{P_i MB_i}{RT} = \frac{P_{O_2} MB_{O_2} + P_{CO_2} MB_{CO_2}}{RT} = \frac{P_{O_2} MB_{O_2} + (P_{tot} - P_{O_2}) MB_{CO_2}}{RT}$$

$$\rho_{tot} = \frac{100 \text{ kPa} \cdot 32 \text{ kg/kmol} + 100 \text{ kPa} \cdot 44 \text{ kg/kmol}}{8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{K kmol}} (30+273) \text{ K}} \Rightarrow \rho_{tot} = 3.0 \text{ kg/m}^3$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας

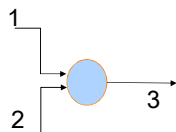


Άσκηση 1.4

Ένα ρεύμα αέρα (79% N₂ και 21% O₂), ρεύμα 1, με παροχή 5 kmol/s σε πίεση 150 kPa και θερμοκρασία 27°C, αναμιγνύεται με ένα ρεύμα O₂, ρεύμα 2, στις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Αν το γραμμομοριακό κλάσμα του N₂ μετά την ανάμιξη, δηλ. στο ρεύμα 3, είναι 0.5 να υπολογιστούν: (α) η γραμμομοριακή παροχή του ρεύματος 2, (β) η γραμμομοριακή παροχή του ρεύματος 3, και (γ) η τελική % κατά βάρος σύσταση του ρεύματος 3, δηλ. μετά την ανάμιξη.

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 21% v/v O₂ και 79% N₂
- ḡ_{tot,1} = 5 kmol/s
- P_{tot} = 150 kPa
- T = 27°C
- y_{N₂,3} = 0.5



❖ Ζητούμενα

- ḡ_{tot,2} = ?
- ḡ_{tot,3} = ?
- % w/w σύσταση στο ρ. 3 = ?

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.4

Παραδοχή: Μίγμα Ιδανικών Αερίων

Αρχικά υπολογίζουμε το Μοριακό βάρος (σχετική μάζα) του O₂ και του N₂

$$MB_{O_2} = 2 \times 16 = 32 \text{ kg/kmol}$$

$$MB_{N_2} = 2 \times 14 = 28 \text{ kg/kmol}$$

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 21% v/v O₂ και 79% N₂
- ḡ_{tot,1} = 5 kmol/s
- y_{N₂,3} = 0.5

❖ Ζητούμενο

- ḡ_{tot,2} = ?

Ρεύμα 1: ḡ_{O₂,1} = y_{O₂} ḡ_{tot,1} = 0.21 x 5 kmol/s = 1.05 kmol/s

ḡ_{N₂,1} = y_{N₂} ḡ_{tot,1} = 0.79 x 5 kmol/s = 3.95 kmol/s

Ρεύμα 2: ḡ_{O₂,2} = y_{O₂} ḡ_{tot,2} = 1 x ḡ_{tot,2} = ḡ_{tot,2}

ḡ_{N₂,2} = y_{N₂} ḡ_{tot,2} = 0 x ḡ_{tot,2} = 0 kmol/s

Ρεύμα 3: ḡ_{tot,3} = ḡ_{tot,1} + ḡ_{tot,2} = 5 + ḡ_{tot,2} kmol/s

ḡ_{O₂,3} = ḡ_{O₂,1} + ḡ_{O₂,2} = 1.05 kmol/s + ḡ_{tot,2}

ḡ_{N₂,3} = ḡ_{N₂,1} + ḡ_{N₂,2} = 3.95 kmol/s + 0 = 3.95 kmol/s

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.4

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 21% v/v O₂ και 79% N₂

$$\dot{n}_{O_2,1} = 5 \text{ kmol/s}$$

$$y_{N_2,3} = 0.5$$

$$\text{Ρεύμα 1: } \dot{n}_{O_2,1} = y_{O_2} \dot{n}_{tot,1} = 0.21 \times 5 \text{ kmol/s} = 1.05 \text{ kmol/s}$$

$$\dot{n}_{N_2,1} = y_{N_2} \dot{n}_{tot,1} = 0.79 \times 5 \text{ kmol/s} = 3.95 \text{ kmol/s}$$

$$\text{Ρεύμα 2: } \dot{n}_{O_2,2} = y_{O_2} \dot{n}_{tot,2} = 1 \times \dot{n}_{tot,2} = \dot{n}_{tot,2}$$

$$\dot{n}_{N_2,2} = y_{N_2} \dot{n}_{tot,2} = 0 \times \dot{n}_{tot,2} = 0 \text{ kmol/s}$$

$$\text{Ρεύμα 3: } \dot{n}_{tot,3} = \dot{n}_{tot,1} + \dot{n}_{tot,2} = 5 + \dot{n}_{tot,2} \text{ kmol/s}$$

$$\dot{n}_{O_2,3} = \dot{n}_{O_2,1} + \dot{n}_{O_2,2} = 1.05 \text{ kmol/s} + \dot{n}_{tot,2}$$

$$\dot{n}_{N_2,3} = \dot{n}_{N_2,1} + \dot{n}_{N_2,2} = 3.95 \text{ kmol/s} + 0 = 3.95 \text{ kmol/s}$$

$$y_{N_2,3} = \frac{\dot{n}_{N_2,3}}{\dot{n}_{tot,3}} = 0.5 \Rightarrow \frac{3.95}{\dot{n}_{tot,2} + 5} = 0.5 \Rightarrow \dot{n}_{tot,2} = \frac{3.95}{0.5} - 5 \Rightarrow$$

$$\dot{n}_{tot,2} = 2.9 \text{ kmol/s}$$

$$\dot{n}_{tot,3} = \dot{n}_{tot,1} + \dot{n}_{tot,2} = 5 + 2.9 \Rightarrow$$

$$\dot{n}_{tot,3} = 7.9 \text{ kmol/s}$$

❖ Ζητούμενο

$$\dot{n}_{tot,2} = ? \quad \dot{n}_{tot,3} = ?$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.4

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 21% v/v O₂ και 79% N₂

$$\dot{n}_{tot,1} = 5 \text{ kmol/s}$$

$$y_{N_2,3} = 0.5$$

$$\text{Ρεύμα 3: } \dot{n}_{tot,3} = \dot{n}_{tot,1} + \dot{n}_{tot,2} = 5 + \dot{n}_{tot,2} \text{ kmol/s} = 7.9 \text{ kmol/s}$$

$$\dot{n}_{O_2,3} = \dot{n}_{O_2,1} + \dot{n}_{O_2,2} = 1.05 \text{ kmol/s} + \dot{n}_{tot,2} = 3.95 \text{ kmol/s}$$

$$\dot{n}_{N_2,3} = \dot{n}_{N_2,1} + \dot{n}_{N_2,2} = 3.95 \text{ kmol/s} + 0 = 3.95 \text{ kmol/s}$$

$$\dot{m}_{N_2,3} = \dot{n}_{N_2,3} \text{MB}_{N_2} = 3.95 \text{ kmol/s} \times 28 \text{ kg/kmol} = 110.6 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{O_2,3} = \dot{n}_{O_2,3} \text{MB}_{O_2} = 3.95 \text{ kmol/s} \times 32 \text{ kg/kmol} = 126.4 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{tot,3} = \dot{m}_{O_2,3} + \dot{m}_{N_2,3} = 126.4 + 110.6 = 237 \text{ kg/s}$$

$$\% \text{ w/w στο ρεύμα 3 } \quad O_2: \frac{126.4 \text{ kg/s}}{237 \text{ kg/s}} \times 100\% = 53.3\%$$

$$N_2: \frac{110.6 \text{ kg/s}}{237 \text{ kg/s}} \times 100\% = 46.7\%$$

❖ Ζητούμενο

$$\% \text{ w/w σύσταση στο ρ. 3 } = ?$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.5

Σε ένα μίγμα αζώτου 50% κατά mol και 50% κατά mol διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας 150°C και πίεσης 1 bar, το διοξείδιο του άνθρακα κινείται με ταχύτητα 4 m/s. Το άζωτο είναι στάσιμο. Να υπολογιστούν: (α) Η μέση μαζική ταχύτητα του μίγματος (β) Η μέση γραμμομοριακή ταχύτητα του μίγματος (γ) Ο ρυθμός ροής μάζας του διοξειδίου του άνθρακα μέσω επιφάνειας η οποία είναι στάσιμη. Δίνονται: AB_N=14, AB_C=12, AB_O=16, παγκόσμια σταθερά R=8.314 kJ/(kmol.K)

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50% v/v CO₂ και 50% N₂

$$P_{tot} = 100 \text{ kPa}$$

$$T = 150^\circ\text{C}$$

$$u_{CO_2} = 4 \text{ m/s}$$

$$u_{N_2} = 0 \text{ (στάσιμο)}$$

❖ Ζητούμενα

$$u^m = ? \quad \text{Μέση μαζική ταχύτητα}$$

$$u^m = \sum \omega_i u_i$$

$$u^M = ? \quad \text{Μέση γραμ. ταχύτητα}$$

$$u^M = \sum x_i u_i$$

$$\dot{m}^n_{CO_2} = ? \quad \text{Ρυθμός ροής μάζας CO}_2$$

$$\dot{m}^n_i = \rho_i u_i$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.5

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50% v/v CO₂ και 50% N₂

$$P_{tot} = 100 \text{ kPa}$$

$$T = 150^\circ\text{C}$$

$$u_{CO_2} = 4 \text{ m/s}$$

$$u_{N_2} = 0 \text{ (στάσιμο)}$$

❖ Ζητούμενο

$$\text{Μέση μαζική ταχύτητα}$$

$$u^m = \sum \omega_i u_i$$

$$u^m = \omega_{CO_2} u_{CO_2} + \omega_{N_2} u_{N_2} \Rightarrow u^m = \omega_{CO_2} u_{CO_2}$$

$$\omega_{CO_2} = ?$$

$$\omega_i = \frac{x_i \text{MB}_i}{\sum x_i \text{MB}_i}$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{x_{CO_2} \text{MB}_{CO_2}}{x_{CO_2} \text{MB}_{CO_2} + x_{N_2} \text{MB}_{N_2}}$$

$$\text{MB}_{CO_2} = 1 \times 12 + 2 \times 16 = 44 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{MB}_{N_2} = 2 \times 14 = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Μίγμα 50\% v/v CO}_2 \text{ και 50\% N}_2 \Rightarrow$$

$$x_{CO_2} = 0.5 \text{ και } x_{N_2} = 0.5$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{0.5 \times 44}{0.5 \times 44 + 0.5 \times 28} = 0.61$$

$$u^m = \omega_{CO_2} u_{CO_2} = 0.61 \times 4 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$u^m = 2.44 \text{ m/s}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.5

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50% v/v CO₂ και 50% N₂
- P_{tot} = 100 kPa
- T = 150°C
- u_{CO2} = 4 m/s
- u_{N2} = 0 (στάσιμο)
- x_{CO2} = 0.5 και x_{N2} = 0.5

❖ Ζητούμενο

Μέση γραμμομοριακή ταχύτητα
 $u^M = \sum x_i u_i$

$$u^M = x_{CO2} u_{CO2} + x_{N2} u_{N2} \Rightarrow u^M = x_{CO2} u_{CO2}$$

$$u^M = x_{CO2} u_{CO2} = 0.5 \times 4 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$u^M = 2.00 \text{ m/s}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.5

❖ Δεδομένα

- Μίγμα 50% v/v CO₂ και 50% N₂
- P_{tot} = 100 kPa
- T = 150°C
- u_{CO2} = 4 m/s
- u_{N2} = 0 (στάσιμο)
- x_{CO2} = 0.5 και x_{N2} = 0.5

❖ Ζητούμενο

Ρυθμός ροής μάζας CO₂
 $\dot{m}^{CO2} = \rho_{CO2} u_{CO2}$ ρ_{CO2} = ?

$$\rho_{CO2} = \frac{m_{CO2}}{V} = \frac{n_{CO2} MB_{CO2}}{V} \Rightarrow$$

$$\rho_{CO2} = \frac{P_{CO2} MB_{CO2}}{RT} = \frac{x_{CO2} P_{tot} MB_{CO2}}{RT}$$

$$\rho_{CO2} = \frac{0.5 \times 100 \text{ kPa}}{8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} (150 + 273) \text{ K}} \cdot 44 \text{ kg/kmol} \Rightarrow \rho_{CO2} = 0.63 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}^{CO2} = \rho_{CO2} u_{CO2} = 0.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow$$

$$\dot{m}^{CO2} = 2.52 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.6

Να βρεθεί το μοριακό βάρος άγνωστης μη πτητικής ουσίας Α. Η τάση ατμών του υδατικού διαλύματος είναι 11 kPa στους 50° C, και η περιεκτικότητα του διαλύματος σε Α, 10% w/w. Θεωρήστε ότι η τάση ατμών του νερού στους 50° C είναι P_{H2O} = 12.349 kPa.

❖ Δεδομένα

- Υδατικό διάλυμα 10% w/w Α
- Α μη πτητική ουσία
- P_Δ = 11 kPa
- T = 50°C
- P_{H2O} = 12.349 kPa

❖ Ζητούμενο

- MB_Α = ?

Εφόσον έχουμε Α μη πτητική ουσία, η τάση ατμών του διαλύματος προέρχεται εξολοκλήρου από το H₂O

$$P_{\Delta} = P_{H2O}^{*} = 11 \text{ kPa}$$

$$\text{Νόμος Raoult: } P_{H2O}^{*} = x_{H2O} P_{H2O}$$

$$P_{\Delta} = x_{H2O} P_{H2O}$$

ΜΠ 322: Μεταφορά Θερμότητας και Μάζας



Άσκηση 1.6

$$P_{\Delta} = x_{H2O} P_{H2O}$$

❖ Δεδομένα

- Υδατικό διάλυμα 10% w/w Α
- Α μη πτητική ουσία
- P_Δ = 11 kPa
- T = 50°C
- P_{H2O} = 12.349 kPa

$$x_{H2O} = ?$$

Έστω m η μάζα του διαλύματος

Υδατικό διάλυμα 10% w/w Α ⇒

$$\omega_A = 0.1 \text{ και } \omega_{H2O} = 1 - \omega_A = 0.9$$

$$\text{Α: } \omega_A = 0.1 \Rightarrow m_A = 0.1m$$

$$\text{H}_2\text{O: } \omega_{H2O} = 0.9 \Rightarrow m_{H2O} = 0.9m$$

$$n_A = \frac{m_A}{MB_A} = \frac{0.1m}{MB_A}$$

$$n_{H2O} = \frac{m_{H2O}}{MB_{H2O}} = \frac{0.9m}{18}$$

$$x_{H2O} = \frac{n_{H2O}}{n_A + n_{H2O}} = \frac{\frac{0.9m}{18}}{\frac{0.1m}{MB_A} + \frac{0.9m}{18}} = \frac{0.05}{\frac{0.1}{MB_A} + 0.05}$$

$$P_{\Delta} = x_{H2O} P_{H2O}^{*} \Rightarrow x_{H2O} = \frac{P_{\Delta}}{P_{H2O}^{*}} = \frac{11 \text{ kPa}}{12.349 \text{ kPa}}$$

$$MB_A = 16.3 \text{ g/mol}$$



Άσκηση 1.7

Να υπολογιστεί η σταθερά Henry στο SI για διαλυμένο Ne σε H₂O, όπου η συγκέντρωση του Ne είναι C_{Ne}=22 mL/L διαλύματος σε Κανονικές Συνθήκες (22400 mL/mole αερίου) και πίεση 1 atm..

❖ Δεδομένα

- C_{Ne}=22 mL/L
- ΚΣ (22400 mL/mol)
- P= 1atm

❖ Ζητούμενο

- H_{Ne} = ?

Νόμος Henry : P_{Ne}^{*} = H_{Ne-H₂O} C_{Ne}

$$C_{Ne} = 22 \frac{\text{mL Ne}}{\text{L Διαλ.}} \left| \frac{\text{mol Ne}}{22400 \text{ mL}} \right| = 9.82 \cdot 10^{-4} \text{ M}$$

$$H_{\text{Ne-H}_2\text{O}} = \frac{P_{Ne}^*}{C_{Ne}} = \frac{1 \text{ atm}}{9.82 \cdot 10^{-4} \text{ M}} \left| \frac{\text{M}}{\text{mol/L}} \right| \left| \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \right| \left| \frac{101325 \text{ Pa}}{\text{atm}} \right| = \mathbf{103.2 \cdot 10^3 \text{ Pa m}^3/\text{mol}}$$