

פתרון תרגיל כיתה 11

שאלה 1:

a. נתון:

$$P_{benzene}^* = 400\text{torr}$$

$$T = 60.6^\circ\text{C}$$

$$n_{benzene} = 1.8\text{mole}$$

$$n_B = 0.2\text{mole}$$

התערובת הינה אידיאלית ועל כן חוק ראול תקף:

$$x_{benzene} = \frac{n_{benzene}}{n_{benzene} + n_B} = \frac{1.8\text{mole}}{1.8\text{mole} + 0.2\text{mole}} = 0.9$$

מכיוון ש-B אינו נדיף לחץ האדים שווה ללחץ האדים של הבנזן:

$$P_{benzene} = x_{benzene} P_{benzene}^* = 0.9 \cdot 400\text{torr} = 360\text{torr}$$

b. נתון:

$$P_{benzene}^* = 400\text{torr}$$

$$T = 60.6^\circ\text{C}$$

$$n_{benzene} = 1.8\text{mole}$$

$$n_B = 0.2\text{mole}$$

$$P_C^* = 200\text{torr}$$

$$n_C = 0.25\text{mole}$$

$$P_{total} = 340\text{torr}$$

עבור הבנזן מתקיים חוק ראול:

$$P_{benzene} = x_{benzene} P_{benzene}^*$$

עבור חומר C מתקיים חוק הנרי:

$$P_C = x_C K_C$$

נחשב את השברים המוליים:

$$x_{benzene} = \frac{n_{benzene}}{n_{benzene} + n_B + n_C} = \frac{1.8\text{mole}}{1.8\text{mole} + 0.2\text{mole} + 0.25\text{mole}} = 0.8$$

$$x_C = \frac{n_C}{n_{benzene} + n_B + n_C} = \frac{0.25\text{mole}}{1.8\text{mole} + 0.2\text{mole} + 0.25\text{mole}} = 0.1$$

כעת מכיוון שחומר B אינו נדיף מתקיים:

$$P_{total} = P_{benzene} + P_C = x_{benzene} P_{benzene}^* + x_C K_C$$

$$K_C = \frac{P_{total} - x_{benzene} P_{benzene}^*}{x_C} = \frac{340\text{torr} - 0.8 \cdot 400\text{torr}}{0.1} = 180\text{torr}$$

$$a_C = \frac{P_C}{P_C^*} = \frac{x_C K_C}{P_C^*} = \frac{0.1 \cdot 180 \text{ torr}}{200 \text{ torr}} = 0.09 \quad \text{c.}$$

d. נתון:

$$n_{\text{benzene}} = 0.9 \text{ mole}$$

$$n_{\text{inert}} = 1 \text{ mole}$$

$$n_C = 0.1 \text{ mole}$$

הלחץ הכללי בו יתחיל להתעבות הנוזל הוא הלחץ בנקודת הטל. כפי שציינתי בסעיף ב הבנזן מקיים את חוק ראול ואילו C מקיים את חוק הנרי. נחשב קודם רק את לחץ הבנזן ומרכיב C בלי השפעת הגז האינרטי מתוך הנוסחא לקו הטל, כאשר אנו משתמשים בתיקון עבור תמיסה לא אידאלית והמשמעות היא שבמקום לרשום

P_C^* אנו נשתמש בקבוע הנרי עבורו K_C :

$$P_{\text{benzene}+C} = \frac{P_{\text{benzene}}^* K_C}{P_{\text{benzene}}^* + (K_C - P_{\text{benzene}}^*) y_{\text{benzene}}}$$

את y_{benzene} אנו מחשבים ללא הגז האינרטי:

$$y_{\text{benzene}} = \frac{0.9}{1} = 0.9$$

$$P_{\text{benzene}+C} = \frac{400 \text{ torr} \cdot 180 \text{ torr}}{400 \text{ torr} + (180 - 400) \text{ torr} \cdot 0.9} = 356 \text{ torr}$$

זהו הלחץ על קו הטל של תמיסת בנזן ומרכיב C.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{benzene}+C} + P_{\text{inert}}$$

$$P_{\text{benzene}+C} = y_{\text{benzene}+C} P_{\text{total}} \quad \text{אך יש לנו גם גז אינרטי ולכן :}$$

$$P_{\text{total}} = \frac{P_{\text{benzene}+C}}{y_{\text{benzene}+C}} = \frac{356 \text{ torr}}{\frac{1}{2}} = 713 \text{ torr}$$

ולכן הנוזל יתחיל להתעבות בלחץ כללי של 713 torr.

שאלה 2:

a. ניתן לראות כי הלחץ הכללי גבוה 10bar משמעותית מהלחצים של החומרים הנקיים ועל כן נוכל להעריך את נפח הכלי מתוך מתוך הגז האינרטי בלבד כאשר נלקחים נתוניו עם הנפח הכללי הנתון:

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{4mole \cdot 0.08314 \frac{Lbar}{K mole} \cdot 300.15K}{10bar} \approx 10L = 10^{-2} m^3$$

b. בהנחה שמתקיים חוק הנרי עבור רכיב B נוכל לכתוב:

$$P_B = 400Pa = 4 \cdot 10^{-3} bar = x_B K_B$$

מכאן בכדי לחשב את קבוע הנרי יש לחשב את השבר המולי של B בנוזל x_B . לכן נחשב כמה מולים של A ו-B עברו לפאזה הגזית ומתוכם נוכל לחשב כמה מולים נותרו בפאזה הנוזלית:

$$n_B^g = \frac{P_B V}{RT} = \frac{4 \cdot 10^{-3} bar \cdot 10L}{0.08314 \frac{Lbar}{K mole} \cdot 300K} = 1.6 \cdot 10^{-3} mole$$

$$n_A^g = \frac{P_A V}{RT} = \frac{x_A P_A^* V}{RT} = \frac{x_A \cdot 0.4bar \cdot 10L}{0.08314 \frac{Lbar}{K mole} \cdot 300K} = 0.16x_A$$

$$x_A = \frac{1.9 - n_A^g}{(1.9 + 0.1) - n_A^g - n_B^g} = \frac{1.9 - n_A^g}{2 - 1.6 \cdot 10^{-3} - n_A^g}$$

$$n_A^g = 0.16 \frac{1.9 - n_A^g}{2 - 1.6 \cdot 10^{-3} - n_A^g}$$

$$n_A^g (2 - 1.6 \cdot 10^{-3} - n_A^g) = 0.16(1.9 - n_A^g)$$

$$2n_A^g - 1.6 \cdot 10^{-3} n_A^g - (n_A^g)^2 = 0.304 - 0.16n_A^g$$

$$(n_A^g)^2 - 2.1584n_A^g + 0.304 = 0$$

$$n_A^g = 0.152mole$$

$$x_B = \frac{0.1 - n_B^g}{(1.9 + 0.1) - n_A^g - n_B^g} = \frac{0.1 - 1.6 \cdot 10^{-3}}{(1.9 + 0.1) - 0.152 - 1.6 \cdot 10^{-3}} = 0.0533$$

$$K_B = \frac{P_B}{x_B} = \frac{4 \cdot 10^{-3} bar}{0.0533} = 0.07505bar$$

c. תפקידו של הגז האינרטי הינו ליצור נפח שמאפשר לאדי הנוזלים בתערובת

להתפשט לתוכו. בהעדר הגז האינרטי אם נפעיל לחץ על המערכת בגודל העולה על

לחץ האדים של החומרים בתערובת פאזה האדים תעלים:

כאשר אין פאזה גזית כל החומר נמצא בפאזה הנוזלית ולכן השברים המוליים הינם:

$$x_A = \frac{1.9}{2} = 0.95$$

$$x_B = \frac{0.1}{2} = 0.05$$

$$P = x_A P_A^0 + x_B P_B^0 = 0.95 \cdot 0.4 \text{ bar} + 0.05 \cdot 0.07505 \text{ bar} = 0.3838 \text{ bar}$$

שאלה 3:

$$\Pi = \frac{n_p RT}{V} = \frac{m_p RT}{M_p V} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ Kg} \cdot 8.314 \frac{\text{J}}{\text{K mole}} \cdot 298 \text{ K}}{69 \frac{\text{Kg}}{\text{mole}} \cdot 100 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3}} = 718.5 \text{ Pa}$$

שאלה 4:

a. נתון:

$$n_1 = x_1$$

$$n_2 = x_2$$

$$x_1 + x_2 = 1$$

מכאן שבמקרה זה השבר המולי שווה למספר המולים.

נתון:

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln(x_1) + w x_2^2$$

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln(x_2) + w x_1^2$$

מכאן:

$$G = \sum_i n_i \mu_i = x_1 \mu_1^0 + x_1 RT \ln(x_1) + x_1 w x_2^2 + x_2 \mu_2^0 + x_2 RT \ln(x_2) + x_2 w x_1^2$$

$$= x_1 \mu_1^0 + x_2 \mu_2^0 + RT [x_1 \ln(x_1) + x_2 \ln(x_2)] + w x_1 x_2 (x_1 + x_2) =$$

$$x_1 \mu_1^0 + x_2 \mu_2^0 + RT [x_1 \ln(x_1) + x_2 \ln(x_2)] + w x_1 x_2$$

$$G^\circ = x_1 \mu_1^0 + x_2 \mu_2^0$$

אנו יודעים ש- G° הינה האנרגיה החופשית של המרכיבים לפני העירבוב ועל כן

האנרגיה החופשית של העירבוב הינה:

$$\Delta G_{mix} = RT [x_1 \ln(x_1) + x_2 \ln(x_2)] + w x_1 x_2$$

מתוך הגדרת האנרגיה החופשית:

$$dG = -SdT + VdP$$

$$\Delta S_{mix} = -\left(\frac{\partial \Delta G_{mix}}{\partial T}\right)_P = -R[x_1 \ln(x_1) + x_2 \ln(x_2)]$$

$$\Delta H_{mix} = \Delta G_{mix} + T \Delta S_{mix} = w x_1 x_2$$

$$\Delta V_{mix} = \left(\frac{\partial \Delta G_{mix}}{\partial P}\right)_T = 0$$

b. נתון:

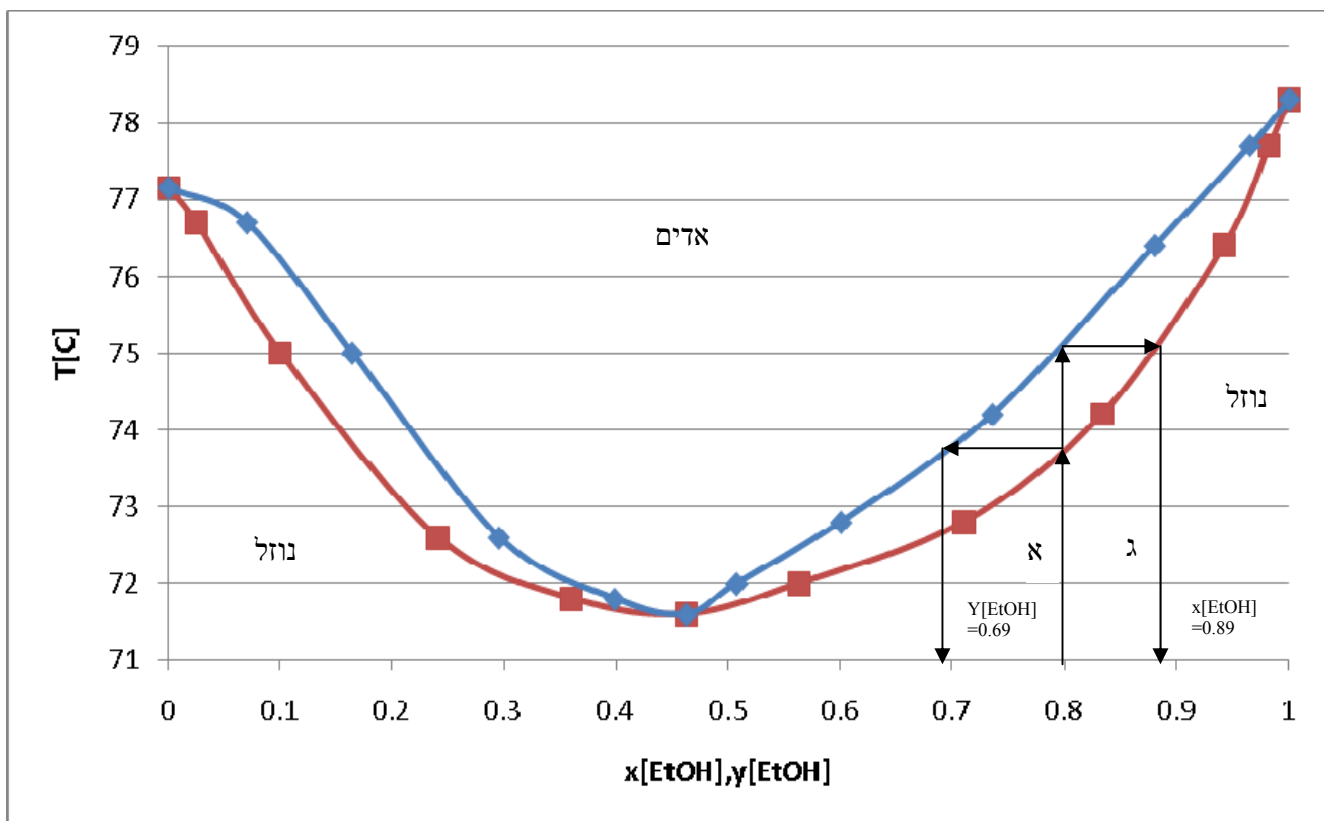
$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln(\gamma_1 x_1)$$

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln(x_1) + w x_2^2 = \mu_1^0 + RT \ln(x_1) + RT \ln(e^{\frac{w x_2^2}{RT}}) = \mu_1^0 + RT \ln(e^{\frac{w x_2^2}{RT}} x_1)$$

$$\gamma_1 = e^{\frac{w x_2^2}{RT}}$$

$$\gamma_2 = e^{\frac{w x_1^2}{RT}}$$

שאלה 5:



א. הנוזל בעל הרכב השבר המולי של אתנול $x(\text{EtOH})=0.8$ יתחיל לרתוח, זאת אומרת יגיע לקו הבועות בטמפרטורה של 73.7°C . הרכב האדים הנמצא בש"מ עם הנוזל בעל ההרכב הזה הוא $y(\text{EtOH})=0.69$. זאת אומרת שהרכב הפראקציה האדית הראשונה שמתקבלת הוא 69% אתנול ו-31% אתיל אצטט.

ב. ניתן לראות שטמפרטורת הרתיחה של אתיל אצטט הינה 77°C ושל אתנול היא 78.3°C . מכיוון שטמפרטורת הרתיחה של אתיל אצטט נמוכה מזו של האתנול ככל שאנו ממשיכים לזקק, לחמם עוד ועוד מהאתיל אצטט מתנדף. ככל שאחוז האתנול בנוזל גדל עולה טמפרטורת הרתיחה. כך שהטיפה האחרונה תכיל אתנול טהור.

ג. סעיף א' לא ישתנה כי אין שוני במצב ההגעה לקו הבועות ולכן אין שוני בהרכב הבועה הראשונה שנוצרת. במצב זה עדיין לא הגענו לש"מ.

סעיף ב' ישתנה משום שאנו ממשיכים לחמם עד להגעה לש"מ המשך החימום יגרום בסופו של דבר למעבר כל התערובת הנוזלית לפאזה הגזית. כך שהשבר המולי של האתנול יהיה כעת $y(\text{EtOH})=0.8$ שכן ההרכב הכולל לא משתנה בפאזה הגזית. ועל כן על מנת למצוא את הרכב הטיפה האחרונה שתתנדף (שהוא גם הרכב הטיפה הראשונה שתיווצר) עלינו לראות מהו הרכב הנוזל הנמצא בש"מ עם אדים בעלי ההרכב האמור. והתשובה הינה $x(\text{EtOH})=0.89$.

שאלה 6:

א. נתונים:

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 273.15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{\text{fus}} = 6009 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$\rho_{\text{ice}} = 0.92 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{water}} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

נשתמש במשוואת קלפרון בכדי למצוא את טמפרטורת ההתכה בלחץ של 50 אטמוספרות:

$$P_2 = 50 \text{ atm}$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta \bar{H}_{fus}}{T \Delta \bar{V}}$$

$$dP = \frac{\Delta \bar{H}_{fus}}{\Delta \bar{V}} \frac{dT}{T}$$

$$P_2 - P_1 = \frac{\Delta \bar{H}_{fus}}{\Delta \bar{V}} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_2 = T_1 \exp \left[\frac{\Delta \bar{V}}{\Delta \bar{H}_{fus}} (P_2 - P_1) \right]$$

$$\Delta \bar{V} = V_{water} - V_{ice} = \frac{M_{H_2O}}{\rho_{water}} - \frac{M_{H_2O}}{\rho_{ice}} =$$

$$18 \frac{gr}{mol} \left(\frac{1}{1 \frac{gr}{cm^3}} - \frac{1}{0.92 \frac{gr}{cm^3}} \right) = -1.565 \frac{cm^3}{mol}$$

$$T_2 = 273.15 K \exp \left[\frac{-1.565 \frac{cm^3}{mol} \frac{m^3}{(100cm)^3} (50-1) atm \cdot 1.013 \cdot 10^5 \frac{J}{atm \cdot m^3}}{6009 \frac{J}{mol}} \right] = 272.7 K$$

ב. נתון:

$$M = 70 kg$$

$$l = 7.6 cm = 0.076 m$$

$$w = 0.25 mm = 2.5 \cdot 10^{-4} m$$

נשתמש כעת במשוואת ניוטון:

$$F = ma$$

$$F = P \cdot A$$

$$a = g$$

$$mg = P \cdot A$$

$$P_{man} = \frac{mg}{A} = \frac{70 kg \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}}{0.076 m \cdot 2.5 \cdot 10^{-4} m} = 36105263 \frac{N}{m^2} \approx 356 atm$$

$$\Delta P = P_{man} - \text{atmospheric pressure} \approx P_{man} : \Delta P \text{ זהו בעצם ה-}$$

ולכן אם נשתמש במשוואת קלפרון:

$$\begin{aligned}
 T_2 &= T_1 \exp \left[\frac{\Delta \bar{V} \Delta P}{\Delta \bar{H}_{fus}} \right] \\
 &= 273.15 K \exp \left[\frac{-1.565 \frac{cm^3}{mol} \frac{m^3}{(100cm)^3} 36105263 \frac{J}{m^3}}{6009 \frac{J}{mol}} \right] = 270.6 K
 \end{aligned}$$