

Chapter 2 - problem 1: In an Oxygen-nitrogen gas mixture at

1 standard atm, 25°C , the Concentrations of oxygen at two planes 2mm-apart are 10 and 20 vol%, respectively. Calculate

the flux of diffusion of the oxygen for the case where:

(a) The nitrogen is non diffusing. Ans: $4.97 \times 10^{-5} \text{ kmol/m}^2\cdot\text{s}$

* باید توجه داشت که در کتاب، پس از هر محاسبه تقریب خاصی صورت میگیرد و ممکن است جواب نهایی که

ما بدست می آوریم با جواب کتاب متفاوت باشد.

$\text{O}_2: A$ $\text{N}_2: B$

از اینجا به بعد در پرانتز

ابتدا D_{AB} را در رابطه مساوی محاسبه می کنیم: $M_A = 31.9988 \frac{\text{gr}}{\text{mole}}$, $M_B = 28.01348 \frac{\text{gr}}{\text{mole}}$

$$T = 273.15 + 25 = 298.15 \text{ K}, \quad P_t = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ pa}$$

page 33 ← Table 2.2 از ←

$$r_A = 0.3467 \text{ nm}, \quad r_B = 0.3798 \text{ nm} \Rightarrow r_{AB} = \frac{r_A + r_B}{2} = 0.36325 \text{ nm}$$

← Table 2.2 از ←

$$\frac{\epsilon_A}{K} = 106.7, \quad \frac{\epsilon_B}{K} = 21.4 \Rightarrow \epsilon_{AB} = \sqrt{\epsilon_A \cdot \epsilon_B} = \sqrt{106.7 \text{ K} \times 21.4 \text{ K}} = \sqrt{2283.38 \text{ K}}$$

ناب
بولتون

$$f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 298.15}{\sqrt{2283.38} \text{ K}}\right) = f(3.416) = 0.46$$

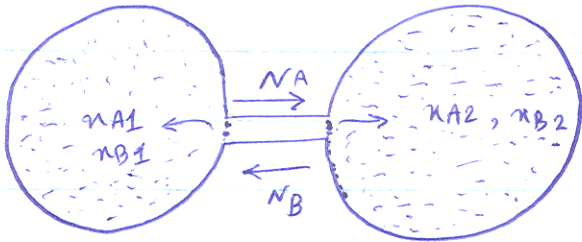
Figure 2.5 از
Page 32

$$\text{با توجه به } D_{AB} \text{ در فرمول } \rightarrow D_{AB} = 2.20828 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

(b)

* برای به وجود آمدن شرایط مسأله یعنی ثابت بودن n_{A1} ، n_{A2} و n_{B1} و n_{B2} در طول زمان، می توان

اتصال دو مخزن بزرگ به وسیله یک لوله با قطر کم (برای کاهش تغییرات کسرهای مولی) را در نظر گرفت:



کسرهای مولی در ابتدا و انتهای لوله به طور تقریبی، کسرهای

مولی گره های باشند

این شکل برای قسمت (b) سؤال مورد استفاده قرار می گیرد

* اگر $N_A = -N_B$ نباشد، مول های داخل یکی از مخازن کاهش یافته و در اثر فشار (تسفر، میخام می شود چون

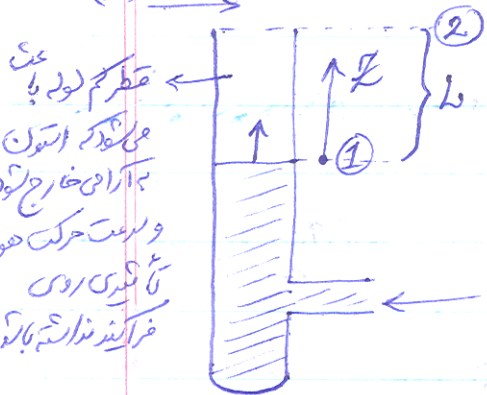
در دمای ثابت محلی، $p = (n_i) \frac{RT}{V}$ و تعداد مول (n) کاهش می یابد. ($p_{in} < p_o$ می شود)

* برای به وجود آمدن شرایط مسأله در قسمت (a) می توان یک Test Tube حاوی استون (acetone)

در نظر گرفت که از پایین آن acetone وارد می شود تا که هشی ارتفاع را حیران کند. در این حالت هوا دارد

هوا به استون نمی شود. (مقدار نفوذ آن خیلی کم است). پس $N_B = 0$:

هوا (B)



در این شکل، گاز هوا نمی تواند در گاز (بهر) استون جاری برای

$$N_B = 0$$

خود تولید کند.

* ولی در این مسأله N_2 و O_2 داریم. (در شرایط خاص به حالت (a) می بینم)

* می توان فرض کرد O_2 داخل یک محلول قرار دارد و در بالای آن تنها N_2 قرار دارد؛ O_2 از محلول خارج شده

و دارد توده N_2 می تواند در صد های حجمی در صورت مسئله را بگیرد کند.

تغییر در غلظت می کند \rightarrow

$$N_A = x_A (N_A + N_B) - C_{DAB} \frac{dn_A}{dz} \Rightarrow (x_A - 1) N_A = + C_{DAB} \frac{dn_A}{dz}$$

$$\Rightarrow N_A \int_0^L dz = C_{DAB} \int_{x_{A1}}^{x_{A2}} \frac{dn_A}{x_A - 1} \Rightarrow N_A = \frac{C_{DAB}}{L} \ln \left| \frac{x_{A2} - 1}{x_{A1} - 1} \right|$$

$$C = C_t = \frac{P_t}{RT} \Rightarrow N_A = \frac{P_t \cdot D_{AB}}{RT L} \ln \left| \frac{x_{A2} - 1}{x_{A1} - 1} \right|$$

* در صد های حجمی داده شده، در صد های حجمی مربوط به قانون آمگاگات می باشد. در واقع بعد از مخلوط

شد گازها دیگر در صد حجمی معین نخواهد داشت چون هر گاز (A و B) در کل حجم پخش شده است. اما

گاز قانون آمگاگات برای گاز های با دما و فشار ثابت داریم: \leftarrow قبل از اختلاط

$$\frac{n_A}{n_t} = \frac{V_A}{V_t}$$

$$x_{A1} = \frac{n_{A1}}{n_t} = \frac{V_{A1}}{V_t} = \frac{20}{100} = 0.20$$

$$, \quad x_{A2} = \frac{n_{A2}}{n_t} = \frac{V_{A2}}{V_t} = \frac{10}{100} = 0.10$$

① \leftarrow

$$\Rightarrow N_A = \frac{101325 \times 2.20828 \times 10^{-5}}{8.3145 \times 298.15 \times 0.002} \ln \left| \frac{0.10 - 1}{0.20 - 1} \right| = 0.853156 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 5.3156 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

خطای قابل قبولی است. \rightarrow خطای نسبی نسبت به جواب مسئله = $\frac{5.3156 \times 10^{-5} - 4.97 \times 10^{-5}}{4.97 \times 10^{-5}} \times 100 \approx 7\%$

* البته اگر در فرمول های $T = 298 \text{ K}$ ، $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ ، $P_t = 101300 \text{ Pa}$ قرار داده شود و همچنین

$$\frac{D_{AB}^{(2)}}{D_{AB}^{(1)}} = \frac{T_2^{\frac{3}{2}}}{T_1^{\frac{3}{2}}}$$

در فرمول D_{AB} از رابطه تابع بخورد $f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right)$ صرف نظر کنیم:

$$\Rightarrow D_{AB}^{(2)} = D_{AB}^{(1)} \times \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1.5} = 1.81 \times 10^{-5} \times \left(\frac{298}{273}\right)^{1.5} = 2.064 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

← از جدول 2.1 ص 31

با این تقریب ها، به طور دقیق به جواب مسئله خواهیم رسید.

* در صورتی که $\Delta T < 50^\circ$ باشد، می توان به طور تقریبی از اثر تابع بر خود صرف نظر کرد.

(b) There is equimolar Counterdiffusion of the two gases.

* تنها نفوذ مولکولی در خلاف جهت هم وجود دارد یعنی $N_A + N_B = 0 \Rightarrow N_A = J_A$

$$N_A = N_A (N_A + N_B) + J_A = -CD_{AB} \frac{dN_A}{dz} \Rightarrow N_A \int_0^L dz = -CD_{AB} \int_{N_{A1}}^{N_{A2}} dN_A$$

$$\Rightarrow N_A = CD_{AB} (N_{A1} - N_{A2}) / L = \frac{P_t D_{AB} (N_{A1} - N_{A2})}{RT L}$$

* می توان کتل مربوط برای دو محزون را برای این مسئله در نظر گرفت.

$$N_A = \frac{101325 \times 2.20828 \times 10^{-5} (0.2 - 0.1)}{8.3145 \times 298.15 \times 0.002} = 0.04513046461 \frac{mol}{m^2.s}$$

Chapter 2 - Problem 2: Repeat the calculations of problem 1

for a total pressure of 1000 kN/m^2 .

(a) $P_t = 1,000,000 \text{ Pa} = 1 \text{ MPa}$, $\Rightarrow D_{AB} = 2.237541423 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ (با در نظر گرفتن دمای متوسط)

$$N_A = \frac{P_t \cdot D_{AB}}{RT L} \ln \left| \frac{N_{A2} - 1}{N_{A1} - 1} \right| = \frac{1000000 \times 2.237541423 \times 10^{-6}}{8.3145 \times 298.15 \times 0.002} \ln \left| \frac{0.1 - 1}{0.2 - 1} \right|$$

$$\Rightarrow N_A = 0.053156 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 5.3156 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$(b) N_A = \frac{P_t \cdot D_{AB}}{RT L} (\chi_{A1} - \chi_{A2}) = \frac{1000000 \times 2.237541423 \times 10^{-6}}{8.3145 \times 298.15 \times 0.002} (0.20 - 0.10)$$

لکه فرض اول به دست آمده در قسمت (b)

$$\Rightarrow N_A = 0.04513049916 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s}$$

* همان طور که می بینیم جواب های به دست آمده در این سؤال، برابر با جواب های به دست آمده در سؤال

قبل هستند؛ (البته به دلیل تقریب زدن در محاسبه D_{AB} ، جواب ها کمی با هم فرق دارند) دلیل آن را

می توان به صورت مقابل توضیح داد:

$$D_{AB} \propto \frac{1}{P_t} \rightarrow \text{از فرض اول 2.37 به اشتباه می شود}$$

$$\Rightarrow D_{AB} \times P_t = \text{Constant} \rightarrow \text{در دمای ثابت}$$

در فرض اول های N_A ، می بینیم که $(P_t \cdot D_{AB})$ وجود دارد؛ در نتیجه این مقدار به فشار مسئله بستگی ندارد

و تنها به دمای مسئله بستگی دارد که در هر دو مسئله دما برابر 25°C است. پس N_A ها یکسان خواهند بود.

■ باز یاد کردن P_t ، D_{AB} کم می شود. حاصل ضرب این دو مقداری ثابت است که در N_A استفاده می شود.

Chapter 2 problem 3: Estimate the diffusivities of the following

gas mixtures: (a) Acetone-air, STP. Ans: $9.25 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

(b) Nitrogen - Carbon dioxide, 1 std atm, 25°C .

(c) Hydrogen chloride - air, 200 kN/m^2 , 25°C , Ans: $9.57 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

(d) Toluene - air, 1 std atm, 30°C . Reported value = $0.088 \text{ cm}^2/\text{s}$

(e) Aniline - air, STP. Observed value = $0.0610 \text{ cm}^2/\text{s}$

استون

standard Temp and pressure

حل: (a) A: acetone (CH_3COCH_3), B: Air STP $\rightarrow \begin{cases} T = 0^\circ\text{C} \\ P = 1 \text{ atm} \end{cases}$

$$M_A = 3(12.011) + 6(1.00794) + 1(15.9994) = 58.08004 \frac{\text{gr}}{\text{mole}}$$

$$M_B = \sum y_i M_i = y_{\text{O}_2} M_{\text{O}_2} + y_{\text{N}_2} M_{\text{N}_2} = 0.21(31.9988) + 0.79(28.01348) = 28.8504 \frac{\text{gr}}{\text{mole}}$$

* با هوا ما شش گاز با هم همگونی متوسط می توانیم بخور کرد. در غایب صورت از جدول $D_{A,m}$ به دست می آید.

استفاده شود چون هوا ترکیبی از O_2 و N_2 (از گازهای دیگر می توان صرف نظر کرد) می باشد.

$$T = 273.15 + 0 = 273.15 \text{ K}, \quad P = 101325 \text{ pa} \approx 1 \text{ atm}$$

$$r_B = 0.3711 \text{ nm}, \quad \frac{\epsilon_B}{K} = 78.6 \Rightarrow \epsilon_B = 78.6 \text{ K}$$

$$r_A = ? \quad \epsilon_A = ? \rightarrow \text{در جدول موجود نیست} \rightarrow \text{از روابط موجود استفاده می شود} \rightarrow \begin{cases} \frac{\epsilon_A}{K} = 1.21 T_b \\ r_A = 1.18 r_b^{\frac{1}{3}} \end{cases}$$

$T_{nb} \leftarrow (T_b)_A = 329.4 \text{ K} \rightarrow$ Van Ness در کتاب ترمودینامیک APPENDIX B در B.1 از جدول \rightarrow normal Boiling Temperature

$$V_A = 3(0.0148) + 6(0.0037) + 1(0.0074) = 0.074 \text{ m}^3/\text{Kmol}$$

اطلاعات از جدول 2.3 من 33 خارج شده اند.

استون جزء اسیدها، الکلها و اترها نبوده و جزو خانواده های کتون ها است.

$$\Rightarrow \epsilon_A = 1.21(329.4)K = 398.574K \quad , \quad r_A = 1.18(0.074)^{\frac{1}{3}} = 0.4954 \text{ nm}$$

$$r_{AB} = (r_A + r_B)/2 = \frac{1}{2}(0.4954 + 0.3711) = 0.43325 \text{ nm}$$

$$\epsilon_{AB} = \sqrt{\epsilon_A \cdot \epsilon_B} = \sqrt{398.574K \times 78.6K} = \sqrt{31327.9164} K$$

$$\Rightarrow f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 273.15}{\sqrt{31327.9164} K}\right) = f(1.5432) \approx 0.6$$

2.37 جابجاءى مەنەرىزىچىسى $\rightarrow D_{AB} = 9.25645 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

(b) A: N_2 , B: CO_2 $P_t = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$, $T = 273.15 + 25 = 298.15 K$

$$M_{N_2} = 28.01348 \frac{gr}{mol} \quad , \quad M_{CO_2} = 12.011 + 2(15.9994) = 44.0098 \frac{gr}{mol}$$

$$r_A = 0.3798 \text{ nm} \quad , \quad r_B = 0.3941 \Rightarrow r_{AB} = \frac{1}{2}(r_A + r_B) = 0.38695 \text{ nm}$$

$$\epsilon_A = 71.4K \quad , \quad \epsilon_B = 195.2K \Rightarrow \epsilon_{AB} = \sqrt{71.4K \times 195.2K} = \sqrt{13937.28} K$$

$$\Rightarrow f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 298.15}{\sqrt{13937.28} K}\right) = f(2.5255) = 0.50$$

2.37 جابجاءى مەنەرىزىچىسى $\rightarrow D_{AB} = 1.67941 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

(c) A: Hydrogen chloride (HCl) \rightarrow B : Air

$$M_A = 1.00794 + 35.4527 = 36.46064 \frac{gr}{mol}$$

$$M_B = 28.8504 \frac{gr}{mol}$$

← درسىتە (a) مەنەرىزىچىسى.

$$P_t = 200,000 \frac{N}{m^2} = 2 \text{ atm}$$

$$T = 273.15 + 25 = 298.15 \text{ K}$$

$$r_A = 0.3339 \text{ nm}, \quad r_B = 0.3711 \text{ nm} \Rightarrow r_{AB} = \frac{1}{2}(r_A + r_B) = 0.3525 \text{ nm}$$

← ثابت بولتزمن →

$$\epsilon_A = 344.7 \text{ K}, \quad \epsilon_B = 78.6 \text{ K} \Rightarrow \epsilon_{AB} = \sqrt{344.7 \text{ K} \times 78.6 \text{ K}} = \sqrt{27093.42 \text{ K}}$$

$$f\left(\frac{KT}{E_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 298.15}{\sqrt{27093.42} \text{ K}}\right) = f(1.811) \approx 0.55$$

2.37 جلیغاری مایه در فلول $\rightarrow D_{AB} = 9.59132 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

(d) A: Toluene ($C_6H_5CH_3$) B: Air $m_A = 7 \times (12.011) + 8 \times (1.00794) = 92.14052 \frac{gr}{mol}$

$$M_B = 28.8504 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}, \quad p = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ pa}, \quad T = 273.15 + 30 = 303.15 \text{ K}$$

← زمان (a) مطابق

$r_B = 0.37 \text{ nm}$, $E_B = 78.6 \text{ K}$ $E_A = ?$, $r_A = ?$
 VAN NESS - APPENDIX B در آنجا به کمک $r_A = 1.18 \sqrt[3]{V_A}$ و $\frac{E_A}{K} = 1.21 T_{bA}$

$$v_A = 7(0.0148) + 8(0.0037) - 0.015 = 0.1182 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}, \quad T_b = 383.8 \text{ K}$$

* در ترکیبات بتنی برای هر حلقه ، 0.015 کم می شود.

$$\Rightarrow r_A = 1.18 (0.1182)^{\frac{1}{3}} = 0.5791 \text{ nm} \quad , \quad E_A = 1.21 (383.8) \text{ K} = 464.398 \text{ K}$$

$$r_{AB} = \frac{1}{2}(r_A + r_B) = 0.4751 \text{ nm} \quad , \quad E_{AB} = \sqrt{464.398 \text{ K} \times 78.6 \text{ K}} = \sqrt{36501.6828} \text{ K}$$

$$f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 303.15}{\sqrt{36501.6828} \text{ K}}\right) = f(1.5867) \approx 0.59$$

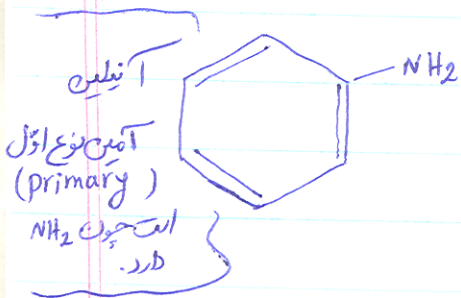
جایگزینی مقادیر در معادله 2.37 $\rightarrow D_{AB} = 8.602607 \times 10^{-6} = 0.8602607 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$

* می توانستیم از فرمول $\frac{D_{AB}^{(2)}}{D_{AB}^{(1)}} = \frac{P_t^{(1)}}{P_t^{(2)}} \times \left[\frac{T^{(2)}}{T^{(1)}} \right]^{\frac{3}{2}} \times \frac{f(\frac{KT_1}{\epsilon_{AB}})}{f(\frac{KT_2}{\epsilon_{AB}})}$ استفاده کنیم؛ البته با توجه به این که در جدول 2.1 در صفحه 31 مقدار D_{AB} در دمای 25.9°C گزارش شده است. به دلیل این که

تفاوتی کوچک است؛ می توان آنها را برابر در نظر گرفت و با تقریب $\Delta T = 30^\circ\text{C} - 25.9^\circ\text{C} = 4.1^\circ\text{C}$

حשוב نوشت: $D_{AB}^{(2)} = D_{AB}^{(1)} \times \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{1.5} = 0.86 \times 10^{-5} \times \left(\frac{273.15 + 30}{273.15 + 25.9} \right)^{1.5} = 0.8797 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

(e) A: aniline ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) B: Air



STP: Standard Temperature and Pressure $\rightarrow \begin{cases} T = 0^\circ\text{C} \\ P = 1\text{atm} \end{cases}$

$T = 273.15 + 0 = 273.15 \text{ K}$, $P_t = 1\text{atm} = 101325 \text{ pa}$

$M_A = 6 \times (12.011) + 7 \times (1.00794) + 1 \times (14.00674) = 93.12832 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$

$M_B = 28.8504 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \rightarrow$ در صورت (a) محاسبه کرد.

$r_B = 0.3711 \text{ nm}$, $\epsilon_B = 78.6 \text{ K}$ $\epsilon_A = ?$, $r_A = ?$ $\rightarrow \begin{cases} r_A = 1.18 r_B^{\frac{1}{3}} \\ \epsilon_A = 1.21 T_B \end{cases}$

$T_B = 457 \text{ K}$ $v_A = 6(0.0148) + 7(0.0037) + 1(0.0105) - 0.015 = 0.1102 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$

از این است

* برای ترکیبات بترسی به ازای هر حلقه، 0.015 کم می شود.

$$\Rightarrow r_A = 1.18 (0.1102)^{1/3} = 0.56573 \text{ nm}, \quad \epsilon_A = 1.21(457) \text{ K} = 552.97 \text{ K}$$

$$r_{AB} = \frac{1}{2}(r_A + r_B) = 0.468415 \text{ nm} \quad \epsilon_{AB} = \sqrt{552.97 \text{ K} \times 78.6 \text{ K}} = \sqrt{43463.442} \text{ K}$$

$$\Rightarrow f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 273.15}{\sqrt{43463.442} \text{ K}}\right) = f(1.310) = 0.63$$

$$2.37 \text{ جابجایی مقدار در میان (دری) 2.37} \rightarrow D_{AB} = 7.08 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 0.0708 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

مقدار تجربی در صورت لزوم \rightarrow ضریب D_{AB} خطی قبل ملاحظه کرد
در این مثال (دری) دارد!

$$\text{خطی نسبی} = \frac{0.0708 - 0.0610}{0.0610} \times 100 = 16\%$$

* می توانستیم از فرمول $D_{AB}^{(2)} = D_{AB}^{(1)} \times \frac{P_1}{P_2} \times \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{3/2}$ استفاده کنیم. چون تغییرات (دری) نسبت به

حالت گزارش شده در جدول 2.1 در ص 31 کم است ($\Delta T < 50^\circ\text{C}$) پس از این تابع برخوردار (f)

2.1 در جدول \leftarrow

صرف نظر می کنیم: $T_1 = 273.15 + 25.9 \text{ K}$, $T_2 = 273.15 \text{ K}$, $P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$

2.1 از جدول \leftarrow

$$\Rightarrow D_{AB}^{(2)} = 0.74 \times 10^{-5} \times \left(\frac{273.15}{273.15 + 25.9}\right)^{1.5} = 0.646 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 0.0646 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

خطی قبل قبول می باشد. \rightarrow خطی نسبی = $\frac{0.0646 - 0.0610}{0.0610} \times 100 = 6\%$

Chapter 2 - problem 4: The diffusivity of carbon dioxide in

helium is reported to be $5.31 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ at 1 std atm, 3.2°C .

Estimate the diffusivity at 1 std atm, 225°C . Reported value = $14.14 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

* حاله مقدار $D_{AB}^{(1)}$ در دمای T_1 و فشار P_1 موجود است چه بهتر است که لازم قبول زیر دمای

معماری 2.37 است (البته این منقول از مثال 2.37 است) :

$$\frac{D_{AB}^{(2)}}{D_{AB}^{(1)}} = \frac{P_{t1}}{P_{t2}} \times \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{f\left(\frac{KT_1}{\epsilon_{AB}}\right)}{f\left(\frac{KT_2}{\epsilon_{AB}}\right)}, \quad A: \text{CO}_2, \quad B: \text{He}$$

$$\begin{cases} P_1 = 1 \text{ atm} \\ T_1 = 273.15 + 3.2 = 276.35 \text{ K} \\ D_1 = 5.31 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} P_2 = 1 \text{ atm} \\ T_2 = 273.15 + 225 = 498.15 \text{ K} \\ D_2 = ? \end{cases}$$

$$\epsilon_A = 195.2 \text{ K}, \quad \epsilon_B = 10.22 \text{ K} \Rightarrow \epsilon_{AB} = \sqrt{195.2 \text{ K} \times 10.22 \text{ K}} = \sqrt{1994.944} \text{ K}$$

$$f\left(\frac{KT_1}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 276.35}{\sqrt{1994.944} \text{ K}}\right) = f(6.1872) = 0.407 \longrightarrow \text{Fig 2.5, از نمودار است راست، که دقت کم را بالاتر می برد}$$

$$f\left(\frac{KT_2}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 498.15}{\sqrt{1994.944} \text{ K}}\right) = f(11.1531) = 0.37$$

$$\Rightarrow D_{AB}^{(2)} = 5.31 \times 10^{-5} \times \left(\frac{1 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \right) \times \left(\frac{498.15}{276.35} \right)^{\frac{3}{2}} \times \frac{0.407}{0.37} = 14.13638 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Chapter 2 - problem 5: Ammonia is diffusing through a stagnant

gas mixture consisting of one-third nitrogen and two-thirds

hydrogen by volume. The total pressure is 30 lbf/in² abs

(206.8 kN/m²) and the temperature 130°F (54°C). Calculate

the rate of diffusion of the ammonia through a film of gas 0.5 mm thick when the concentration change across the film is 10 to 5% ammonia by volume. Ans: $2.05 \times 10^{-4} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$

* وقتی که مخلوطی از H_2 , N_2 stagnant (ایستاده) باشد، N_B و N_C صفر خواهند بود. البته

این به معنای صفر بودن J_B و J_C نیست. هرگاه J_A موجود باشد، J_B و J_C حتماً وجود دارند.

A: NH_3 B: N_2 C: H_2

$M_A = 17.03056 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$ $M_B = 28.01348 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$ $M_C = 2.01588 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}$

$E_A = 558.3 \text{ K}$ $E_B = 71.4 \text{ K}$ $E_C = 59.7 \text{ K}$

$r_A = 0.29 \text{ nm}$ $r_B = 0.3798$ $r_C = 0.2827 \text{ nm}$

$T = 273.15 + 54 = 327.15 \text{ K}$, $P_t = 206.8 \times 1000 \text{ Pa}$

$E_{AB} = \sqrt{39862.62} \text{ K}$, $E_{AC} = \sqrt{33330.51} \text{ K}$

$$\Rightarrow f\left(\frac{KT}{E_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 327.15}{\sqrt{39862.62} \text{ K}}\right) = f(1.638) = 0.59$$

$$\Rightarrow f\left(\frac{KT}{E_{AC}}\right) = f\left(\frac{K \times 327.15}{\sqrt{33330.51} \text{ K}}\right) = f(1.792) = 0.55$$

$$r_{AB} = \frac{1}{2}(r_A + r_B) = 0.3349 \text{ nm}, \quad r_{AC} = \frac{1}{2}(r_A + r_C) = 0.28635 \text{ nm}$$

$$2.37 \text{ جایگزینی مقادیر محاسبه شده در معادله 2.37} \rightarrow \begin{cases} D_{AB} = 1.338593846 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ D_{AC} = 4.246277861 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{cases}$$

$$N_B = N_C = 0 \Rightarrow D_{A,m} = \frac{1}{\sum_{i=B}^C \frac{y'_i}{D_{A,i}}} \quad \begin{cases} y'_B = \frac{1}{3} \leftarrow \text{one-third } N_2 \\ y'_C = \frac{2}{3} \leftarrow \text{two-thirds } H_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow D_{A,m} = \frac{1}{\frac{(1/3)}{D_{AB}} + \frac{(2/3)}{D_{AC}}} \quad (\text{به کمک قانون ترکیبات})$$

$$\Rightarrow D_{A,m} = 2.462946354 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$N_B = N_C = 0$$

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} F \ln \frac{\frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} - y_{A2}}{\frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} - y_{A1}} = F \ln \frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}}$$

$$F = \frac{C D_{A,m}}{z} = \frac{P t D_{A,m}}{R T z}, \quad y_{A1} = \frac{10}{100}, \quad y_{A2} = \frac{5}{100}$$

$$\Rightarrow N_A = \frac{206.8 \times 10^3 \times 2.462946354 \times 10^{-5}}{8.3145 \times 327.15 \times 0.5 \times 10^{-3}} \times \ln \frac{1 - 0.05}{1 - 0.10} = 0.202482 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

* در مورد $D_{A,m}$ در مورد سیستم‌های سه جزئی می‌توان نوشت:

$$y'_1 = y_1, \quad y'_2 = y_2, \quad D_{AB} = D_1, \quad D_{AC} = D_2$$

$$N_B = N_C = 0 \Rightarrow D_{A,m} = \frac{1}{\frac{y_1}{D_1} + \frac{y_2}{D_2}} = \frac{D_1 D_2}{y_1 D_2 + y_2 D_1}$$

می‌خواهیم نشان دهیم که $(D_2 > D_1 \text{ با فرض اینکه}) \quad D_1 \leq D_{A,m} \leq D_2$

← فرضی کاملاً درست است

$$\Rightarrow D_1 \leq \frac{D_1 D_2}{y_1 D_2 + y_2 D_1} \leq D_2 \Rightarrow \begin{cases} D_1 \leq \frac{D_1 D_2}{y_1 D_2 + y_2 D_1} \rightarrow \text{به طور جداگانه} \\ \frac{D_1 D_2}{y_1 D_2 + y_2 D_1} \leq D_2 \rightarrow \text{اثبات می شوند} \end{cases}$$

$$\frac{D_1 D_2}{y_1 D_2 + y_2 D_1} \leq D_2 \Leftrightarrow D_1 D_2 \leq D_2 (y_1 D_2 + y_2 D_1) = y_1 D_2^2 + y_2 D_1 D_2$$

$$\Leftrightarrow D_1 \leq y_1 D_2 + y_2 D_1 \Leftrightarrow (y_2 - 1) D_1 + y_1 D_2 \geq 0 \Leftrightarrow (-y_1) D_1 + y_1 D_2 \geq 0$$

$$\Leftrightarrow y_1 (D_2 - D_1) \geq 0 \Leftrightarrow D_2 - D_1 \geq 0 \Leftrightarrow D_2 \geq D_1$$

بنگ اثبات بازگشتی نتیجه می شود که هر دو عبارت بالا درست بوده و قابل اثبات هستند. برای حالتی

که A نفوذ می کند و $N_B = N_C = N_D = \dots = 0$ ، داریم صورت می توان نشان داد که $D_{A,m}$ از میانگین D

کوچک تر نبوده و از میانگین D ها بزرگ تر نیست.

■. $D_{A,m} = D_{AB}$ اگر مخلوط ما از یک ماده باشد یعنی $y_2 = 0, y_1 = 1$ داریم صورت (B)

Chapter 2 problem 6: Estimate the following liquid diffusivities:

(a) Ethanol in dilute water solution, 10°C .

(b) Carbon tetrachloride in dilute solution in methanol, 15°C .

(observed value = $1.69 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$) . Ans: $1.49 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$

(a) ضربیت بجمع مولکول حلال (association factor) در این مسئله برابر با
for solvent

$$M_B = M_{H_2O} = 18.01528 \frac{gr}{mol} \quad (\varphi = 2.26) \text{ می باشد.}$$

$$T = 273.15 + 10 = 283.15 \text{ K}, \quad \mu = \mu_{\text{آب}} = 1.31 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

از کتاب انتقال حرارت 10 J.P. Holman در بخش Appendix A (برای دمای 10°C)

A: ethanol (C_2H_5OH)

$$v_A = 2 \times (0.0148) + 6 \times (0.0037) + 1 \times (0.0074) = 0.0592 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18}) (2.26 \times 18.01528)^{0.5} \times 283.15}{1.31 \times 10^{-3} \times (0.0592)^{0.6}} = 8.82 \times 10^{-10} \frac{m^2}{s} = 0.882 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

* مقدار درست آمده، برای حالتی هست که غلظت جزء A بسیار کم باشد یعنی $CA \rightarrow 0$ در این

صورت $\mu_{\text{آب}} \rightarrow \mu_{\text{محلول}}$ میل می کند. این مقدار با مقدار گزارش شده در Table 2.4

$$\text{غلظت آب} = \frac{n_t}{V} = \frac{m/M}{V} = \frac{1}{M} \rho = \frac{1000}{18} = 0.055 \text{ (kmol/m}^3\text{)} \text{ در دمای } 10^\circ\text{C} \text{ مطابقت می کند.}$$

$$(b) \quad A: CCl_4 \quad B: CH_4OH \quad T = 273.15 + 15^\circ\text{C} = 288.15\text{K}$$

$$\varphi = 1.9 \rightarrow \text{طبق توضیحات ص 35} \quad M_B = 33.0501 \frac{gr}{mol}$$

$$\mu = 0.6415 \text{ m Pa.s at } 15^\circ\text{C}, \quad r_A = 0.5947 \text{ nm}$$

$$r_A = 1.18 v^{\frac{1}{3}} \Rightarrow v = \left(\frac{r_A}{1.18} \right)^3 = 0.128 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

از طرفی طبق Table 2.3 داریم: $v_A = 0.0148 + 4(0.0246) = 0.1132 \text{ m}^3/\text{kmol}$

به محال هر دو مقدار تقریبی بوده و تخمین هستند و ممکن است در واقعیت این مقدار را نتوانست بمانند و ولی

ما مانند مسأله‌ی قبل روشی دوگانه را انتخاب می‌کنیم: (بدون دلیل خاصی - شاید چون جدول جامع‌تری دارد)

$$D_{AB}^{\circ} = \frac{117.3 \times 10^{-18} \times (1.9 \times 33.0501)^{0.5} \times 288.15}{0.6415 \times 10^{-3} \times (0.1132)^{0.6}} = 1.543 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

* سؤال: می‌دانیم که $D_{AB} = D_{BA}$ ؛ $D_{AB}^{\circ} = D_{BA}^{\circ}$ ؟

نفوذپذیری B در محلول رقیق از B در محلول A ← نفوذپذیری A در محلول رقیق از A در محلول B

فرض کنیم که این تساوی برقرار باشد و بررسی می‌کنیم که آیا به تناقضی می‌رسیم یا نه:

$$\Rightarrow \frac{117.3 \times 10^{-18} (\varphi_B \cdot M_B)^{0.5} T}{\mu_B \cdot v_A^{0.6}} = \frac{117.3 \times 10^{-18} (\varphi_A \cdot M_A)^{0.5} T}{\mu_A \cdot v_B^{0.6}}$$

* در محلول خیلی رقیق $\mu_{\text{solution}} \rightarrow \mu_{\text{solvent}}$

$$\Rightarrow \left(\frac{\varphi_B \cdot M_B}{\varphi_A \cdot M_A} \right)^{0.5} = \frac{\mu_B}{\mu_A} \left(\frac{v_A}{v_B} \right)^{0.6}$$

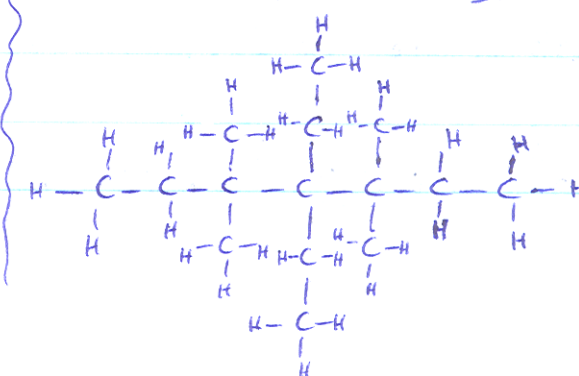
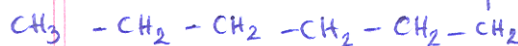
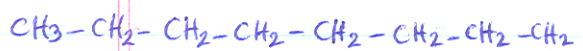
برای نمونه دو ترکیب ایزومر به شکل‌های زیر در نظر می‌گیریم:

فرمول مولکولی $C_{15}H_{32}$

$C_{15}H_{32}$

اسکان ۱۵ اتمی و زنجیری: B

A: ۱۵ اتمی و شاخه زنجیر



جرم مولکول هر دو یکسان است ($M_A = M_B$) از طرفی چون پیوند هیدروژنی ندارند در دمای

unassociated Solvents قرار گرفته داریم \leftarrow
 $\varphi_A = \varphi_B = 1$

$$\Rightarrow \frac{\mu_B}{\mu_A} \left(\frac{v_A}{v_B} \right)^{0.6} = 1$$

طبق جدول 2.3 برای هر دو یک مقدار v به دست می آید و اگر مقدار تجربی آن ها در نظر گرفته شود

تفاوت بسیار کم است در نتیجه $v_A = v_B$ پس داریم :
 $\frac{\mu_B}{\mu_A} = 1$ %

و این تساوی نادری است چون آنگاه های راست زنجیر و زنجیر دار تفاوت و یکسانیتی

ندارند و تساوی اخیر نادری است ; پس فرض اولیّه $D_{BA}^\circ = D_{AB}^\circ$ استباه است .

* دما به حدی است که هر دو به حالت مایع باشند.
 در یکی غلظت A کم در دیگری غلظت B کم

* در تساوی $D_{AB} = D_{BA}$ حالت معلول به یک شکل بود ولی در اینجا دو معلول خاص داریم

و در هر کدام از آن ها تساوی $D_{AB} = D_{BA}$ برقرار است . یعنی $D_{BA}^\circ = D_{AB}^\circ$ مغضوبی کاملاً

مناسب است با $D_{AB} = D_{BA}$ دارند

* مثال بالا ، مثال نقضی برای تساوی $D_{AB}^\circ = D_{BA}^\circ$ بود . ممکن است در موارد خاص این تساوی

برقرار نشود . (مثلاً A و B هر دو یک ماده باشند مثلاً آب)

Chapter 2 - Problem 7: The diffusivity of bromoform in dilute

solution in acetone at 25°C is $2.90 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$. Estimate the diffusivity of benzoic acid in dilute solution in acetone at 25°C .

Reported value = $2.62 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$. Ans: $2.269 \times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$

$$D_{AB}^\circ \cdot \mu \cdot v_A^{0.6} = 117.3 \times 10^{-18} \times (\varphi \cdot m_B)^{0.5} \cdot T = \text{Constant}$$

چون دما و نوع حلال ثابت است (در هر دو حالت $T = 298.15 \text{ K}$ و حلال استون است) پس سمت راست

$\left\{ \begin{array}{l} A: \text{Bromoform (CHBr}_3) \\ B: \text{acetone (CH}_3\text{COCH}_3) \\ T = 273.15 + 25 = 298.15 \text{ K} \\ D_{AB}^\circ = 2.90 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} C: \text{benzoic acid (C}_6\text{H}_5\text{COOH)} \\ B: \text{acetone} \\ T = 298.15 \text{ K} \\ D_{CB}^\circ = ? \end{array} \right.$	تساوی سمت راست است.
--	---	---------------------

$$\Rightarrow D_{AB}^\circ \cdot \mu \cdot v_A^{0.6} = D_{CB}^\circ \cdot \mu \cdot v_C^{0.6} \Rightarrow D_{AB}^\circ \cdot v_A^{0.6} = D_{CB}^\circ \cdot v_C^{0.6}$$

$$\xleftarrow{\text{لزجیت محلول AB}} \quad \quad \quad \xrightarrow{\text{لزجیت محلول CB}}$$

چون محلول ها بسیار رقیق هستند به طور تقریبی می توان گفت $\mu_{\text{solution}} = \mu_{\text{solvent}}$

$$\Rightarrow D_{CB}^\circ = D_{AB}^\circ \left(\frac{v_A}{v_C} \right)^{0.6}, \quad v_A = 0.0148 + 0.0037 + 3 \times 0.027 = 0.0995 \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \right)$$

$$v_C = 7 \times (0.0148) + 6 \times (0.0037) + 2 \times (0.012) - 0.015 = 0.1348 \text{ m}^3/\text{kmol}$$

* برای حلقة بترنی به میزان 0.015 کم می کنیم. ترکیب استون داریم پس از 0.012 باقی استون است که می ماند

الکترون H باعث افزایش حجم هردو می شود

$$D_{CB}^{\circ} = 2.90 \times 10^{-5} \times \left(\frac{0.0995}{0.1348} \right)^{0.6} = 2.417 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$$

* در صورتی که 0.015 را کم نمی کردیم به جواب مسئله می رسیدیم: (!!!)

$$D_{AB}^{\circ} = 2.90 \times 10^{-5} \left(\frac{0.0995}{0.1498} \right)^{0.6} = 2.26874 \times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \text{Ans}$$

Chapter 2 - problem 8: Calculate the rate of diffusion of

NaCl at 18°C through a stagnant film of water 1mm

thick when the concentrations are 20 and 10%, respectively,

on either side of the film. Ans: $3.059 \times 10^{-6} \text{ kmol/m}^2\text{s}$

% T	10°C	18°C	20°C
10%	1.07419	?	1.07068
20%	1.15254	?	1.14779

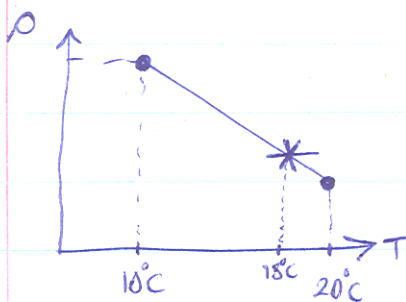
اعداد موجود چگالی محلول آب نمک بر

حسب $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ است.

$$C_{av} = \left(\frac{\rho}{m} \right)_{av} = \frac{\left(\frac{\rho}{m} \right)_1 + \left(\frac{\rho}{m} \right)_2}{2} = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

* اعداد از اینترنل خارج شده اند.

ابتدا مقدار چگالی در دمای 18°C (دمای مسئله) را محاسبه کنیم: (به کمک تئوری خطی)



تئوری خطی همی خطوط برابر است پس:

$$\frac{1.07068 - 1.07419}{20 - 10} = \frac{\rho - 1.07419}{18 - 10}$$

← برای 10%

$$\Rightarrow \rho_{10\%} = 1.071382 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1071.382 \text{ Kg/m}^3 = \rho_2$$

$$20\% \text{ تركيز} \rightarrow \frac{1.14779 - 1.15254}{20 - 10} = \frac{\rho - 1.15254}{18 - 10}$$

$$\Rightarrow \rho_{20\%} = \rho_1 = 1.14874 \text{ gr/cm}^3 = 1148.74 \text{ Kg/m}^3$$

NaCl: A H₂O: B

* در محلول، در هر دو طرف

$$\begin{cases} m_A = 58.442468 \text{ g/mol} \\ m_B = 18.01528 \text{ g/mol} \end{cases}$$

* در تقطیر 1 غلظت یک یونیتر و در تقطیر 2 غلظت یک یونیتر

$$\textcircled{1} \text{ تقطیر 1} \rightarrow \bar{m}_1 = x_{A1} m_A + x_{B1} m_B, \quad x_A = \frac{n_A}{n_t}$$

$$\frac{m_{A1}}{m_t} = \frac{20}{100} \Rightarrow m_{A1} = \frac{20}{100} (m_{A1} + m_{B1}) \Rightarrow 4m_{A1} = m_{B1} \Rightarrow 4n_{A1} \cdot m_A = n_{B1} \cdot m_B$$

$$\Rightarrow x_{A1} = \frac{n_{A1}}{n_t} = \frac{n_{A1}}{n_{A1} + n_{B1}} = \frac{n_{A1}}{n_{A1} + 4 \frac{m_A}{m_B} n_{A1}} = \frac{m_B}{m_B + 4m_A} = \frac{18.01528}{251.785152}$$

$$\Rightarrow \bar{m}_1 = x_{A1} m_A + (1 - x_{A1}) m_B = 20.90785 \text{ g/mol} = 0.02090785 \frac{\text{Kg}}{\text{mol}}$$

$$\textcircled{2} \text{ تقطیر 2} \rightarrow \bar{m}_2 = x_{A2} m_A + x_{B2} m_B, \quad x_A = \frac{n_A}{n_t}$$

$$\frac{m_{A2}}{m_t} = \frac{10}{100} \Rightarrow m_{A2} = \frac{10}{100} (m_{A2} + m_{B2}) \Rightarrow 9m_{A2} = m_{B2} \Rightarrow 9n_{A2} \cdot m_A = n_{B2} \cdot m_B$$

$$\Rightarrow x_{A2} = \frac{n_{A2}}{n_t} = \frac{n_{A2}}{n_{A2} + n_{B2}} = \frac{n_{A2}}{n_{A2} + 9 \frac{m_A}{m_B} n_{A2}} = \frac{m_B}{m_B + 9m_A} = \frac{18.01528}{543.997492}$$

$$\bar{m}_2 = x_{A2} \cdot m_A + (1 - x_{A2}) m_B = 19.3541 \text{ gr/mol} = 0.0193541 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_{av} = \frac{\left(\frac{1148.74}{0.02090785} \right) + \left(\frac{1071.382}{0.0193541} \right)}{2} = 55149.92467 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \approx 5.5 \frac{\text{Kmol}}{\text{m}^3}$$

* برای جنبه غلظتی در جدول 2.4 در صفحه 36 داریم:

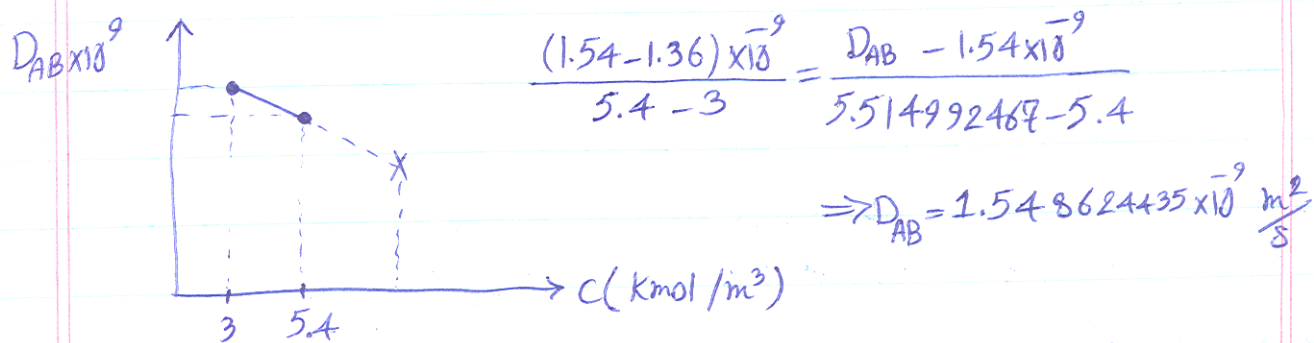
$$D_{AB} = 1.54 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

* D_{AB} در مایعات تابع غلظت است؛ در اینجا جابجایی غلظت متوسط (C_{av}) و بهترین متوسط
 باز نظر گرفته

برای D_{AB} مسئله را به شکلی تبدیل می‌کنیم که به نظر برسد D_{AB} و C تابع مکان (x) نبوده و قواعد

انتگرال گیری از معادله 2.3 به هم نخورده و معادله 2.22 برقرار می‌شود.

* می‌توان به کمک extrapolate مقدار D_{AB} را محاسبه کرد: (به کمک Table 2.4)



$$N_B = 0 \leftarrow \text{stagnant film} \Rightarrow N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{\frac{N_A}{N_A + N_B} - x_{A2}}{\frac{N_A}{N_A + N_B} - x_{A1}}$$

$$\Rightarrow N_A = F \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}} = \frac{C D_{AB}}{z} \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}}$$

← در قیاس مناسب شده است

$$= \frac{55149.92467 \times 1.548624435 \times 10^{-9}}{0.001} \times \ln \frac{1 - x_{A2}}{1 - x_{A1}} = 3.464 \times 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Chapter 2- problem 9: At 1 std atm, 100°C , the density

of air = 0.9482 kg/m^3 , the viscosity = $2.18 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$, thermal

conductivity = $0.0317 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$, and specific heat at constant

pressure = 1.047 kJ/kg.K . At 25°C , the viscosity = $1.79 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$.

(a) Calculate the kinematic viscosity at 100°C , m^2/s .

(b) Calculate the thermal diffusivity at 100°C , m^2/s .

(c) Calculate the Prandtl number at 100°C .

(d) Assuming that for air at 1 std atm, $\text{Pr} = \text{Sc}$ and that $\text{Sc} = \text{const}$ with changing temperature, calculate D for air at 25°C . Compare with the value of D for the system

$\text{O}_2 - \text{N}_2$ at 1 std atm, 25°C , Table 2.1.

$$(a) \nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{2.18 \times 10^{-5}}{0.9482} = 2.2991 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$(b) \alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} = \frac{0.0317}{0.9482 \times 1.047 \times 1000} = 3.193100807 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}.$$

← با حركه بايستى هائى 0.81

$$(c) \quad pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{2.2991 \times 10^{-5}}{3.193100807 \times 10^{-5}} = 0.72$$

$$(d) \quad pr = \delta C = \text{Constant} \rightarrow \text{دو عدد به تابع دما نیستند}$$

$$\text{at } T = 25^\circ\text{C} \rightarrow pr = \delta C = \text{Constant}$$

* از عبارت Constant نتیجه می گیریم که $\delta C_{(25^\circ\text{C})} = \delta C_{(100^\circ\text{C})}$ (چون در مسائل درستی)

ما تابع دما (T) تغییر می کند و فشار ثابت است.

$$\delta C_{100^\circ\text{C}} = pr_{100^\circ\text{C}} = 0.72$$

* از عبارت $pr = \delta C$ داریم:

$$\Rightarrow \delta C_{25^\circ\text{C}} = 0.72 \Rightarrow \left(\frac{v}{D}\right)_{(25^\circ\text{C})} = 0.72 \Rightarrow D_{25^\circ\text{C}} = \frac{v_{25^\circ\text{C}}}{0.72}$$

$$v_{(25^\circ\text{C})} = \frac{\mu_{25^\circ\text{C}}}{\rho_{25^\circ\text{C}}} \rightarrow \text{در مسئله داده شده است} \rightarrow \text{با اینتی محاسبه شود}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{101325 \times 0.0289504}{8.3145 \times 298.15}$$

* P فشار مسئله و M جرم مولکولی هوا بر حسب $\frac{\text{Kg}}{\text{mol}}$ و T دمای 25°C بر حسب K است.

$$\Rightarrow \rho = 1.179227232 \text{ Kg/m}^3 \Rightarrow D_{25^\circ\text{C}} = \frac{1.79 \times 10^{-5}}{0.72 \times 1.179227232} = 2.10825 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

* D به دیتا آمده مربوط به حالت نفوذ در حفر برای هواست. در واقع این D برای حفر مولکولی است

هواست نه یک جزء خارجی!

در جدول 2.1 در صفحه 31 مقدار D در حالتی که O_2 و N_2 در هم نفوذ کنند (گسولی های

مقاومت یا برابر با هوا) برابر با $\frac{1.81 \times 10^{-5}}{5}$ گزارش شده است. خطای به دست آمده را می توان به

تبعیت نکردن هوا از قانون گازهای ایده آل و محاسبی در به صورت تقریبی و همچنین فرغ



$Sc = Pr = \text{Const}$ نسبت دارد. ولی این فرغ تقریب خوبی به ما می دهد.

Chapter 2 - problem 10: Ammonia is being cracked on a

solid catalyst according to the reaction



At one place in the apparatus, where the pressure is

1 std atm abs and the temperature 200°C , the analysis

of the bulk gas is 33.33% NH_3 (A), 16.67% N_2 (B), and

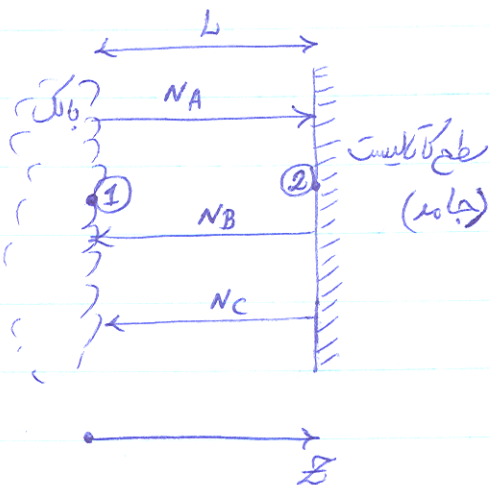
50.00% H_2 (C) by Volume. The circumstances are such

that NH_3 diffuses from the bulk-gas stream to the

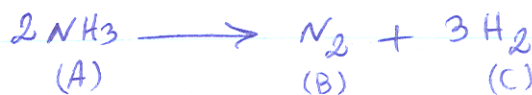
Catalyst surface, and the products of the reaction

diffuse back, as if by molecular diffusion through

a gas film in laminar flow 1mm thick. Estimate the local rate of cracking, $\text{Kg NH}_3 / (\text{m}^2 \text{ catalyst surface}) \cdot \text{s}$, which might be considered to occur if the reaction is diffusion-controlled (chemical reaction rate Very rapid) with the concentration of NH_3 at the Catalyst surface equal to Zero. Ans: 0.0138 $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}$



$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} F \ln \frac{\frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} - y_{A2}}{\frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} - y_{A1}}$$



$$\Rightarrow N_B = -\frac{1}{2} N_A, \quad N_C = -\frac{3}{2} N_A$$

$$\Rightarrow N_A = -F \ln \frac{-1 - y_{A2}}{-1 - y_{A1}}$$

* چون واکنش سریع اتفاق می افتد در نتیجه اتمهای A در نزدیکی سطح کاتالیست وجود ندارد یا به طور تقریبی

می توان گفت که غلظت بسیار ناچیز است. (مولکولهای A در نزدیکی سطح منتظر می مانند تا واکنش دهند)

$$\Rightarrow y_{A2}=0 \Rightarrow N_A = F \ln(1+y_{A1}) , \quad F = C \frac{D_{A,m}}{L}$$

$$D_{A,m} = \frac{N_A - y_A \sum N_i}{\sum_{i=A} \frac{1}{D_{Ai}} (y_i N_A - y_A N_i)} \quad \text{با بیتی } D_{A,m} \text{ محاسب شود:}$$

$$N_B = -\frac{1}{2} N_A , \quad N_C = -\frac{3}{2} N_A$$

$$\sum N_i = N_A + N_B + N_C \Rightarrow D_{A,m} = \frac{N_A(1+y_A)}{(y_B N_A + 0.5 y_A N_A)/D_{AB} + (y_C N_A + 1.5 y_A N_A)/D_{AC}}$$

$$= \frac{1+y_A}{(y_B + 0.5 y_A)/D_{AB} + (y_C + 1.5 y_A)/D_{AC}}$$

* معلوم است که $D_{A,m}$ تابع مسیر است یعنی در طول آن تغییر می کند چون کسرها ی مولی متغیر

هستند. مقادیر داده شده در صورت سؤال را در نظر می گیریم تا ببینیم که چه اتفاقی می افتد:

$$y_A = 0.3333 , \quad y_B = 0.1667 , \quad y_C = 0.50$$

حالا با بیتی D_{AB} و D_{AC} محاسب کنیم:

$$M_A = 17.03056 \text{ g/mol} \quad M_B = 28.01348 \text{ g/mol} \quad M_C = 2.01588$$

$$T = 200 + 273.15 = 473.15 \text{ K} , \quad P_t = 101325 \text{ Pa}$$

$$\epsilon_A = 558.3 \text{ K} , \quad \epsilon_B = 71.4 \text{ K} , \quad \epsilon_C = 59.7 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \epsilon_{AB} = \sqrt{39862.62} \text{ K} , \quad \epsilon_{AC} = \sqrt{33330.51} \text{ K}$$

$$r_A = 0.29 \text{ nm} , \quad r_B = 0.3798 \text{ nm} , \quad r_C = 0.2827 \text{ nm}$$

$$\Rightarrow r_{AB} = 0.3349 \text{ nm} , \quad r_{AC} = 0.28635 \text{ nm}$$

$$f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AB}}\right) = f\left(\frac{K \times 473.15}{\sqrt{39862.62} \text{ K}}\right) = f(2.37) \approx 0.51$$

$$f\left(\frac{KT}{\epsilon_{AC}}\right) = f\left(\frac{K \times 473.15}{\sqrt{33330.51} \text{ K}}\right) = f(2.59) = 0.50$$

$$\Rightarrow D_{AB} = 5.497211688 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} , \quad D_{AC} = 1.658108311 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow D_{A,m} = \frac{1 + 0.3333}{(0.1667 + 0.5 \times 0.3333)/D_{AB} + (0.50 + 1.5 \times 0.3333)/D_{AC}} = 1.102388166 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

* در نزدیکی سطح کاتالیز که به ازای هر دو مول NH_3 یک مول N_2 و سه مول H_2 تولید می شود داریم:

$$n_C = 3n_B \Rightarrow y_B = 0.25 , \quad y_C = 0.75 , \quad y_A = 0$$

$$\Rightarrow D_{A,m} = 1.102415875 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

چون به طور تقریبی می توان گفت که $D_{A,m} = \text{Const}$ ، به $\frac{D_{A,m}}{L}$ بستگی ندارد

$$\Rightarrow N_A = F \ln(1 + y_{A1}) = \frac{C D_{A,m}}{L} \ln(1 + y_{A1}) = \frac{P_t \cdot D_{A,m}}{RT L} \ln(1 + y_{A1})$$

$$= \frac{101325 \times 1.102388166 \times 10^{-4}}{8.3145 \times 473.15 \times 1 \times 10^{-3}} \ln(1 + 0.3333) = 0.816753922 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$\Rightarrow N_A^* = N_A \cdot M_A = 0.01391 \text{ Kg} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$$

* جواب به دست آمده با جواب سؤال مقدار کمی تفاوت دارد، که می توان آن را به تقریب های صورت

گرفته به وسیله کتاب نسبت دار در صورتی که بخواهیم مطمئن شویم که NA درجه بازهای قرار می گیرد

می توان می بینیم و ما که $D_{A,m}$ را به دست آورد که می بینیم و ما که NA را به دست آورد و بازهای

آن را مشخص کرد

Chapter 2 - Problem 11: A crystal of copper sulfate

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ falls through a large tank of pure water at $20^\circ C$. Estimate the rate at which the crystal dissolves by calculating the flux of $CuSO_4$ from the crystal surface to the bulk solution. Repeat by calculating the flux of water. Data and assumptions:

Molecular diffusion occurs through a film of water uniformly 0.0305 mm thick, surrounding the crystal.

At the inner side of the film, adjacent to the crystal

surface, the concentration of copper sulfate is its solubility value, 0.0229 mole fraction CuSO_4 (solution density = 1193 Kg/m^3). The outer surface of the film is pure water. The diffusivity of CuSO_4 is $7.29 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

* فرض می‌کنیم که در اتصال مابین لایه‌های پودری با لایه‌های پودری جمع و پخش شده از $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

* به دلیل بزرگ بودن گلوپه‌های کریستال، جاذبه‌ی کمتری آن را به پایین می‌کشد و به آرامی سقوط کند و در سطح.

حالت جریان متلاطم (Turbulent) ایجاد نخواهد شد و نیازی به Analogy و اعداد گرو و ...

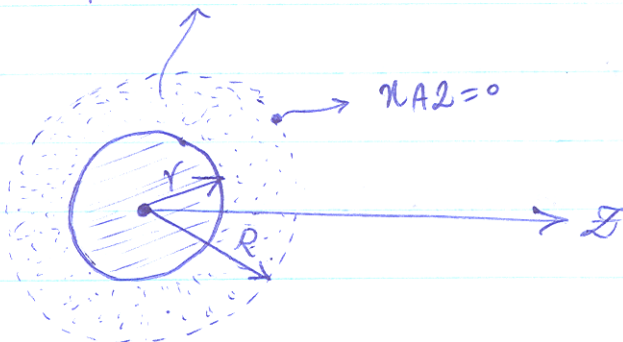
نظریه و تکنیک نفوذ مولکولی رخ می‌دهد.

* بزرگ بودن ناگنج آب باعث می‌شود که عملاً بعد از 0.0305 mm از سطح کرده غلظت ترکیب به

صفر بسیار نزدیک شود؛ در صورتی که اگر ناگنج کوچکی موجود باشد، بعد از این مرحله ممکن است که غلظت صفر

لایه‌ای که اتصال هم‌درای رخ می‌دهد.

نیازد و بتوان آن را نادیده گرفت.



$$N_A = x_A (N_A + N_B) - C_{DAB} \frac{dn_A}{dz}, \quad \text{CuSO}_4: A \quad \text{H}_2\text{O}: B$$

$$N_B = +5 N_A, \quad N_A = - \frac{\dot{n}_A}{\text{area}} \rightarrow \begin{array}{l} \text{نرخ کاهش مول (mol/s) A} \\ \text{سطح مقطع در راستای عمود بر NA که} \\ \text{دایره مثال به شکل سطح کروی می باشد.} \end{array}$$

$$\text{area} = 4\pi z^2 \rightarrow \text{z متغیر است.}$$

$$\dot{n}_A = \frac{dn_A}{dt} = \frac{dm_A}{M_A} = \frac{1}{M_A} \frac{dm_A}{dt} = \frac{1}{M_A} \frac{\rho_A dV_A}{dt} = \frac{\rho_A}{M_A} \frac{dV_A}{dt} = \frac{\rho_A}{M_A} \times 4\pi r^2 \frac{dr}{dt}$$

$$\Rightarrow (1 - 6x_A) N_A = -C_{DAB} \frac{dn_A}{dz} \Rightarrow N_A dz = C_{DAB} \frac{dn_A}{6x_A - 1}$$

$$\Rightarrow -\dot{n}_A \int_r^R \frac{dz}{4\pi z^2} = C_{DAB} \int_{x_{A1}}^{x_{A2}} \frac{dn_A}{6x_A - 1}$$

* توجه می کنیم که r و R هر دو تابعی از زمان می باشند یعنی $r = f(t)$ و $R = g(t)$ و ρ هم تابعی از زمان است.

گفته شده که غلظت آب دارای منافذ یکسان است 0.0305 mm در طول زمان می باشد و این یعنی این که

$$x_{A2} = 0, \quad x_{A1} = x_A^*; \quad R = r + L = r + 0.0305 \text{ (mm)}$$

$$\Rightarrow -\frac{\dot{n}_A}{4\pi} \left(\frac{R-r}{rR} \right) = \frac{C_{DAB}}{6} \ln|6x_A - 1| \Big|_{x_A^*}^0 = -\frac{C_{DAB}}{6} \ln|6x_A^* - 1|$$

$$\Rightarrow \dot{n}_A = + \frac{C_{DAB}}{6} \ln|6x_A^* - 1| \times 4\pi \frac{rR}{R-r} \quad \text{I}, \quad \dot{n}_A = \frac{\rho_A}{M_A} 4\pi r^2 \frac{dr}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{\rho_A}{M_A} \cdot 4\pi r^2 \frac{dr}{dt} = + \frac{C_{DAB}}{6} \ln|6x_A^* - 1| \times 4\pi \frac{rR}{R-r}$$

* در معادله قبل داریم $R = r + L$; در صورتی که نسبت به t آنرا الگوریتمی کنیم معادله

$r = f(t)$ به دست می آید. شرط اولی ($r=r_0$ و $t=0$) را اعمال می کنیم و به این

صورت معادله $r = f(t)$ به دست می آید پس به راحتی می توان $\dot{n}_A = \frac{n_A}{n_A} 4\pi r^2 \frac{dr}{dt}$

را بداشت $r = f(t)$ محاسبه کرد. این کار به درک مسئله کمک می کند. می توان این کار را انجام نداد و از تساوی

$\dot{n}_A = \frac{-CD_{AB}}{\delta} \ln \left(\frac{n_A^*}{n_A} \right) = 4\pi r R \frac{dr}{dt}$ نیز \dot{n}_A را محاسبه کرد. r را حذف می کنیم. بدیهی است که

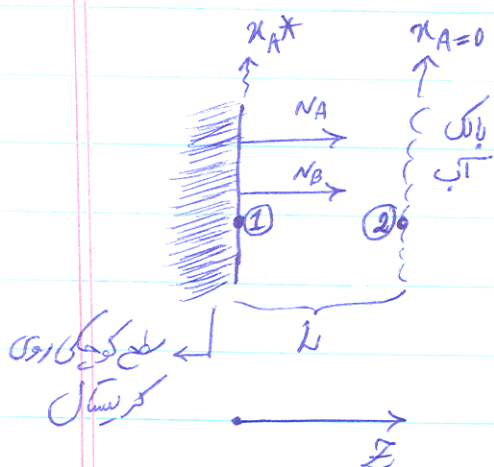
هر چه r کم تر باشد، \dot{n}_A (CuSO_4 کفنه شده از سطح) کم تر خواهد بود. البته داریم مسئله هیچ

اشاره ای به r نشود و این یک ایراد است. حتی اگر شکل ماکروی هم نباشد، کوچک شدن دانه روی

\dot{n}_A و سطح خارجی کریستال تأثیر خواهد گذاشت. بنابراین باید فرقی steady بودن به

تاریخ مسئله اضافه شود. حال مسئله را برای یک بلور مکعبی که نیازی به شمع اولیه (r) ندارد در

حالت steady (بدون کاهش تعداد مول) حل می کنیم:



$$N_A (1 - \phi_A) = -CD_{AB} \frac{dn_A}{dz}$$

$$\Rightarrow N_A \int_0^L dz = CD_{AB} \int_{x_A^*}^0 \frac{dn_A}{\phi_A - 1}$$

$$\Rightarrow N_A = -\frac{CD_{AB}}{\delta L} \ln |6x_A^* - 1|$$

$$C = \left(\frac{\rho}{M}\right)_{av} = \frac{\left(\frac{\rho}{M}\right)_1 + \left(\frac{\rho}{M}\right)_2}{2}$$

$$\rho_1 = 1193 \text{ kg/m}^3, \quad \bar{M}_1 = x_A M_A + x_B M_B = 0.0229 \times 0.1594096 + (1 - 0.0229) \times 0.01801528$$

$$= 0.02125729 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}, \quad \rho_2 = 998.234 \text{ kg/m}^3 \rightarrow \text{در نقطه 2) تنوع آب خالص در دمای } 20^\circ\text{C} \text{ دریم.}$$

$$\bar{M}_2 = 0.01801528 \text{ kg/mol} \rightarrow \text{در نقطه 2) تنوع آب خالص دریم.}$$

$$C = \frac{\frac{\rho_1}{\bar{M}_1} + \frac{\rho_2}{\bar{M}_2}}{2} = 55765.50524 \text{ mol/m}^3$$

$$\Rightarrow N_A = -\frac{55765.50524 \times 7.29 \times 10^{-10}}{6 \times 0.0305 \times 10^{-3}} \times \ln |6 \times 0.0229 - 1| = 0.0328344 \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}\right)$$

By Mohammad Taghian (1392/5/1)

mohammad484848@gmail.com

هرگونه کپی و چاپ جهت فروش غیرمجاز می باشد. (All rights reserved ©) ***