

FT II – Exame 2022.3 Resolução

Felipe B. Pinto 61387 – MIEQB

25 de julho de 2024

Conteúdo

Questão 1	. . . . .	2	Questão 4	. . . . .	11
Questão 2	. . . . .	5	Questão 5	. . . . .	14
Questão 3	. . . . .	8			

Questão 1

Um tanque com o topo aberto para a atmosfera contém metanol líquido (CH_3OH , peso molecular 32 g/mol) no fundo do tanque. O tanque é mantido a 30°C . O diâmetro do tanque cilíndrico é de 1.0 m , a altura total do tanque é de 3.0 m e o nível do líquido no fundo do tanque é mantido em 0.5 m . O espaço de gás dentro do tanque está estagnado e os vapores de CH_3OH são imediatamente dispersos assim que saem do tanque.

A 30°C , a pressão de vapor exercida pelo CH_3OH líquido é de 163 mmHg e a 40°C a pressão de vapor do CH_3OH é de 265 mmHg . O coeficiente de difusão do metanol no ar é $1.66 \text{ cm}^2/\text{s}$ e varia com a temperatura $T^{3/2}$.

Q1 a.

Qual é a taxa de emissão de vapor de CH_3OH do tanque em kg/d quando o tanque está a uma temperatura de 30°C ? Deduza a equação necessária e as condições fronteira para este problema.

Resposta

$$\begin{aligned} T_{axa} &= M_A W = M_A S N_A = M_A \left(\pi d^2/4 \right) \left(\frac{c \mathcal{D}_{A,B}}{\Theta \eta_d l} \ln \frac{1 - \Theta y_{A,2}}{1 - \Theta y_{A,1}} \right) = \\ &= \frac{M_A \pi d^2 \frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B}}{4 * 1 * 1 * (3.0 - 0.5)} \ln \frac{1 - 1 * 0}{1 - 1 y_{A,1}} \cong \\ &\cong \frac{32 \pi 1.0^2 \frac{1}{8.206 \text{ E}^{-5} * (30 + 273.15)} * 1.66 \text{ E}^{-4}}{4 * (3.0 - 0.5)} \ln \frac{1}{1 - 0.214} \cong \\ &\cong 161.946 \text{ E}^{-4} \text{ g/s} \cong 1.399 \text{ kg/d}; \end{aligned}$$

Condições de fronteira fluxo:

$$\begin{cases} z_0 = 0.5; & y_{A,0} = P_A^*/P \cong \frac{163}{760.002} \cong 0.214; \\ z_1 = 3.0; & y_{A,1} = 0 \end{cases};$$

$$\eta_{d,\text{plano}} = 1;$$

$$\Theta = 1 + N_B/N_A = 1 + 0/N_A = 1$$

Q1 b.

Se a temperatura do tanque for aumentada para 40 °C, qual é a % de aumento na taxa de emissão para um aumento de 10 °C na temperatura?

Resposta

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{Taxa}_{40^\circ\text{C}}}{\text{Taxa}_{30^\circ\text{C}}} - 1 &= \frac{\frac{M_A \pi d^2 \frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B,40^\circ\text{C}}}{4(3.0-0.5)} \ln \frac{1}{1-y_{A,0,40^\circ\text{C}}}}{\frac{M_A \pi d^2 \frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B,30^\circ\text{C}}}{4(3.0-0.5)} \ln \frac{1}{1-y_{A,0,30^\circ\text{C}}}} - 1 = \\
 &= \frac{\frac{\mathcal{D}_{A,B,40^\circ\text{C}}}{40+273.15} \ln \frac{1}{1-y_{A,0,40^\circ\text{C}}}}{\frac{\mathcal{D}_{A,B,30^\circ\text{C}}}{30+273.15} \ln \frac{1}{1-y_{A,0,30^\circ\text{C}}}} - 1 \cong \\
 &\cong \frac{\frac{\mathcal{D}_{A,B,30^\circ\text{C}} \left(\frac{40+273.15}{30+273.15}\right)^{3/2}}{40+273.15} \ln \frac{1}{1-0.349}}{\frac{\mathcal{D}_{A,B,30^\circ\text{C}}}{30+273.15} \ln \frac{1}{1-0.214}} - 1 \cong \\
 &\cong \frac{\left(\frac{40+273.15}{30+273.15}\right)^{1/2} \ln \frac{1}{1-0.349}}{\ln \frac{1}{1-0.214}} - 1 \cong \\
 &\cong 80.519\%;
 \end{aligned}$$

$$\mathcal{D}_{A,B,40^\circ\text{C}} = \mathcal{D}_{A,B,30^\circ\text{C}} \left(\frac{40 + 273.15}{30 + 273.15} \right)^{3/2};$$

$$y_{A,0,40^\circ\text{C}} = P_{A,40^\circ\text{C}}^*/P \cong \frac{265}{760.002} \cong 0.349$$

Questão 2

Um reator de leito fluidizado de carvão foi proposto para uma nova fábrica. Se operado a 1145 K, o processo de combustão em ar (21 % O_2 e 79 % N_2) será limitado pela difusão do O_2 em contracorrente ao CO_2 , formado na superfície da partícula. Suponha que o carvão seja carbono sólido puro com densidade de $1.28 \text{ E}^3 \text{ kg/m}^3$ e que a partícula seja esférica com um diâmetro inicial de $1.5 \text{ E}^{-4} \text{ m}$ (150 μm). Sob as condições do processo de combustão, a difusividade do O_2 na mistura gasosa a 1145 K é $1.3 \text{ E}^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$. A reação na superfície é: $\text{C}_{(\text{s})} + \text{O}_{2(\text{g})} \longrightarrow \text{CO}_{2(\text{g})}$ Na superfície da partícula de carvão, a reação é muito rápida.

Se for assumido um processo de estado quase estacionário, calcule:

Q2 a.

O tempo necessário para reduzir o diâmetro da partícula de carbono para $5 \text{ E}^{-5} \text{ m}$ ($50 \text{ }\mu\text{m}$). Deduza as equações necessárias e as condições fronteira para este problema.

Resposta

$$\begin{aligned}
 C_{A,S} \frac{d \text{Vol}}{dt} &= \left(\frac{\rho_A}{M_A} \right) \frac{d\pi r^3 4/3}{dt} = \frac{\rho_A}{M_A} 4\pi r^2 \frac{dr}{dt} = \\
 &= -Q_{A,r} = -\frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B} 4\pi r y_{A,0} \implies \\
 &\implies \int_{R_0}^{R_1} r \, dr = (R_1^2 - R_0^2)/2 = \\
 &= \int_0^t \left(-\frac{P}{RT} \frac{M_A}{\rho_A} \mathcal{D}_{A,B} y_{A,0} \right) dt = \left(-\frac{P}{RT} \frac{M_A}{\rho_A} \mathcal{D}_{A,B} y_{A,0} \right) \int_0^t dt = \\
 &= \left(-\frac{P}{RT} \frac{M_A}{\rho_A} \mathcal{D}_{A,B} y_{A,0} \right) t \implies \\
 &\implies t = -\frac{RT}{P} \frac{\rho_A}{M_A} \frac{(R_1^2 - R_0^2)/2}{\mathcal{D}_{A,B} y_{A,0}} \cong \\
 &\cong -\frac{8.206 \text{ E}^{-5} * 1145}{1} \frac{1.28 \text{ E}^6}{12} \frac{((0.5 \text{ E}^{-4}/2)^2 - (1.5 \text{ E}^{-4}/2)^2)/2}{1.3 \text{ E}^{-8} * 0.21} \cong \\
 &\cong 9177.600 \text{ s} \cong 2 \text{ h } 32.960 \text{ min};
 \end{aligned}$$

Velocidade do fluxo

$$\begin{aligned}
 Q_{A,r} &= S N_{A,z} = -S \frac{c \mathcal{D}_{A,B}}{1 - \Theta y_A} \frac{dy_A}{dz} = -\frac{S \frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B}}{1 - 0 * y_A} \frac{dy_A}{dz} \implies \\
 &\implies \int_{\infty}^r \frac{Q_{A,r}}{S} \, dr = Q_{A,r} \int_{\infty}^r \frac{dr}{4\pi r^2} = -\frac{Q_{A,r}}{4\pi} (r^{-1} - 0) = \\
 &= \int_{y_{A,0}}^0 -\frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B} \, dy_A = -\frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B} \int_{y_{A,0}}^0 dy_A = -\frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B} y_{A,0} \implies \\
 &\implies Q_{A,r} = \frac{P}{RT} \mathcal{D}_{A,B} 4\pi r y_{A,0};
 \end{aligned}$$

$$\Theta = 1 + N_{\text{CO}_2}/N_{\text{O}_2} = 1 + (-N_{\text{O}_2})/N_{\text{O}_2} = 0;$$

Condições de fronteira fluxo:

$$\begin{cases} r_0 \rightarrow \infty; & y_{A,0} = 0.21 \\ r_1 = r; & y_{A,1} \cong 0 \quad (\text{Reação instantanea}) \end{cases};$$

Condições de fronteira combustão:

$$\begin{cases} t_0 = 0; & r_0 = R_0 = 1.5 \text{ E}^{-4} \\ t_1 = t; & r_1 = R_1 = 0.5 \text{ E}^{-4} \end{cases}$$

Q2 b.

Explique por que razão temos neste caso difusão com reacção química heterogénea.

Resposta

Temos uma reacção heterogenia pois ela se da apenas na interface entre o carvão e o gás ao seu redor, a existencia de multiplas fases e localização da reacção caracteriza como reacção heterogenia.

Questão 3

Um tanque de água profundo tem O₂ dissolvido com uma concentração uniforme 1 g/L. Se a concentração de O₂ for subitamente elevada à superfície para 10 g/L, calcule:

Dados:

$$\frac{C_{A,s} - C_A}{C_{A,s} - C_{A,0}} = \operatorname{erf} \xi; \quad \xi = \frac{z}{\sqrt{4Dt}}; \quad J_A^* = -\mathcal{D} \frac{\partial C_A}{\partial z} = \sqrt{\mathcal{D}/\pi t} \exp(-z^2/4\mathcal{D}t) (C_{A,s} - C_{A,0})$$

Em que

- C_A é a concentração de O₂ a uma distância (z) da superfície num determinado instante (t)
- $C_{A,0}$ é a concentração inicial
- $C_{A,s}$ é a concentração na superfície
- \mathcal{D} o coeficiente de difusão.

a	$\operatorname{erf}(a)$	a	$\operatorname{erf}(a)$	a	$\operatorname{erf}(a)$
0.0	0.0	0.48	0.50275	0.96	0.82542
0.04	0.04511	0.52	0.53790	1.00	0.84270
0.08	0.09008	0.56	0.57162	1.10	0.88021
0.12	0.13476	0.60	0.60386	1.20	0.91031
0.16	0.17901	0.64	0.63459	1.30	0.93401
0.20	0.22270	0.68	0.66378	1.40	0.95229
0.24	0.26570	0.72	0.69143	1.50	0.96611
0.28	0.30788	0.76	0.71754	1.60	0.97635
0.32	0.34913	0.80	0.7421	1.70	0.98379
0.36	0.38933	0.84	0.76514	1.80	0.98909
0.40	0.42839	0.88	0.78669	2.00	0.99532
0.44	0.46622	0.92	0.80677	3.24	0.99999

Tabela 1: Error function values. For negative a , $\operatorname{erf}(a)$ is negative

$$\operatorname{erf}(|a|) = 1 - \left(1 + 0.2784 |a| + 0.2314 |a|^2 + 0.0781 |a|^4\right)^{-4}$$

Q3 a.

A concentração de O_2 a 1 mm de profundidade ao fim de 2 horas?

Resposta

$$\frac{C_{A,s} - C_A}{C_{A,s} - C_{A,0}} = \text{erf } \xi \implies$$

$$\implies C_A = C_{A,s} - (C_{A,s} - C_{A,0}) \text{erf } \xi \cong 10 - (10 - 1) 0.208 \cong \\ \cong 8.129 \text{ mol/m}^3;$$

$$\text{erf } \xi = \text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{4 \mathcal{D} t}} \right) = \text{erf} \left(\frac{1 \text{ E}^{-3}}{\sqrt{4 * 1 \text{ E}^{-9} * (2 * 3600)}} \right) \cong$$

$$\cong \text{erf}(0.186) \cong 1 - (1 + 0.2784 * (0.186) + 0.2314 * (0.186)^2 + 0.0781 * (0.186)^4)^{-4} \cong 0.208$$

Q3 b.

O fluxo de O₂ na superfície do tanque para esse tempo?

Resposta

$$J_A = \sqrt{\frac{\mathcal{D}}{\pi t}} (C_{A,s} - C_{A,0}) = \sqrt{\frac{1 \text{ E}^{-9}}{\pi (2 * 3600)}} (10 - 1) \cong 1.892 \text{ E}^{-6}$$

Questão 4

Ar seco (300 K e $1.013 \text{ E}^5 \text{ Pa}$) circula a uma velocidade de 1.5 m/s , num tubo com 6 m de comprimento e 0.15 m de diâmetro. A superfície interior do tubo está revestida com um material absorvente (com razão diâmetro/rugosidade, d/ε , de 10.000) que está saturado com água.

Dados:

- Difusividade da água em ar (300 K): $2.6 \text{ E}^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- Viscosidade cinemática do ar (300 K): $1.569 \text{ E}^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$
- Pressão de vapor da água a (300 K) = 17.5 mmHg
- Constante do gases: $R = 8.206 \text{ E}^{-2} \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{mol} \cdot \text{K}$
- Factor de atrito $f = 7.91 \text{ E}^{-3} Re^{0.12}$

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu}; \quad Sc = \frac{\mu}{\rho \mathcal{D}_{A,B}}; \quad Sh = \frac{k_c d}{\mathcal{D}_{A,B}}; \quad \ln \frac{C_{A,s} - C_{A,0}}{C_{A,s} - C_{A,L}} = \frac{4 L}{d} \frac{k_C}{v}$$

Analogia de Chilton-Colburn:

$$\frac{k_c}{v} Sc^{2/3} = \frac{f}{2}; \quad C_{A,s} = C^* \wedge v: \text{ Velocidade}$$

Determine:

Q4 a.

A concentração de água à saída do tubo

Resposta

$$\begin{aligned}\ln \frac{C_{A,s} - C_{A,0}}{C_{A,s} - C_{A,L}} &= \frac{4 k_C L}{d v} \implies \\ \implies C_{A,L} &= C_{A,s} \left(1 - \frac{1 - \frac{C_{A,0}}{C_{A,s}}}{\exp\left(\frac{4 k_C L}{d v}\right)} \right) = \frac{P_A^*}{R T} \left(1 - \frac{1 - \frac{0}{C_{A,s}}}{\exp\left(\frac{4 k_C L}{d v}\right)} \right) = \\ &= \frac{P_A^*}{R T} \left(1 - \exp\left(\frac{-4 k_C L}{d v}\right) \right) \cong \\ &\cong \frac{(17.5/760.002)}{8.206 \text{ E}^{-5} * 300} \left(1 - \exp\left(\frac{-4 * 26.197 \text{ E}^{-3} * 6}{0.15 * 1.5}\right) \right) \cong \\ &\cong 0.878 \text{ mol/m}^3;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_C &= \frac{f v}{2 S c^{2/3}} = \frac{(7.91 \text{ E}^{-3} Re^{0.12}) v}{2 \left(\frac{\mu}{\rho \mathcal{D}_{A,B}} \right)^{2/3}} = \frac{7.91 \text{ E}^{-3} \left(\frac{\rho d v}{\mu} \right)^{0.12} v}{2 \left(\frac{\mu}{\rho \mathcal{D}_{A,B}} \right)^{2/3}} = \\ &= \frac{7.91 \text{ E}^{-3} \left(\frac{1 * 0.15 * 1.5}{1.569 \text{ E}^{-5}} \right)^{0.12} 1.5}{2 \left(\frac{1.569 \text{ E}^{-5}}{1 * 2.6 \text{ E}^{-5}} \right)^{2/3}} \cong \\ &\cong 26.197 \text{ E}^{-3}\end{aligned}$$

Q4 b.

A velocidade de transferencia de agua em kg/h

Resposta

$$W = C_{A,L} v S \cong 0.878 * 1.5 * \pi (0.15)^2 / 4 \cong 2.328 \text{ E}^{-2} \text{ mol/s} \cong 1.508 \text{ kg/h}$$

Questão 5

Pretende-se remover SO_2 de uma mistura gasosa constituída por SO_2 e ar por absorção utilizando água. A constante de Henry é 1.5 atm. A coluna usada opera a 15 °C e 3 atm. Num dado ponto da coluna a % molar de SO_2 na fase gasosa é 20% e na fase líquida é 1%. Sabendo que os coeficiente individuais de transferência de massa são $k_y = 5.6 \text{ E}^{-4} \text{ mol/s m}^2$ e $k_x = 5.6 \text{ E}^{-3} \text{ mol/s m}^2$.

Determine

Q5 a.

As composições interfaciais

Q5 b.

A % da resistencia total respeitante a cada uma das fases

Q5 c.

O coeficiente global de transferencia de massa K_x

Q5 d.

O fluxo de SO_2

Q5 e.

O valor do fluxo quando usar soluções de NaOH com a concentração crítica de NaOH.
Comente