

Universidade Nova de Lisboa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Química  
**Fenómenos de Transferência II**  
Exame - 4 de Julho de 2022

1. Um tanque com o topo aberto para a atmosfera contém metanol líquido ( $\text{CH}_3\text{OH}$ , peso molecular 32g/mol) no fundo do tanque. O tanque é mantido a  $30^\circ\text{C}$ . 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  $\text{CH}_3\text{OH}$  são imediatamente dispersos assim que saem do tanque.

A  $30^\circ\text{C}$ , a pressão de vapor exercida pelo  $\text{CH}_3\text{OH}$  líquido é de 163 mmHg e a  $40^\circ\text{C}$  a pressão de vapor do  $\text{CH}_3\text{OH}$  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  $T^{3/2}$ .

- a) (3v) Qual é a taxa de emissão de vapor de  $\text{CH}_3\text{OH}$  do tanque em kg /dia quando o tanque está a uma temperatura de  $30^\circ\text{C}$ ? Deduza a equação necessária e as condições fronteira para este problema.
- b) (1v) Se a temperatura do tanque for aumentada para  $40^\circ\text{C}$ , qual é a % de aumento na taxa de emissão para um aumento de  $10^\circ\text{C}$  na temperatura?

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%  $\text{O}_2$  e 79%  $\text{N}_2$ ) será limitado pela difusão do  $\text{O}_2$  em contracorrente ao  $\text{CO}_2$ , formado na superfície da partícula.

Suponha que o carvão seja carbono sólido puro com densidade de  $1,28 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$  e que a partícula seja esférica com um diâmetro inicial de  $1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$  ( $150 \mu\text{m}$ ).

Sob as condições do processo de combustão, a difusividade do  $\text{O}_2$  na mistura gasosa a 1145 K é  $1,3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ . A reação na superfície é:  $\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$

Na superfície da partícula de carvão, a reação é muito rápida.

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

- a. (3v) O tempo necessário para reduzir o diâmetro da partícula de carbono para  $5 \times 10^{-5} \text{ m}$  ( $50 \mu\text{m}$ ). Deduza as equações necessárias e as condições fronteira para este problema.
- b. (1v) Explique por que razão temos neste caso difusão com reacção química heterogénea.

3. Um tanque de água profundo tem  $\text{O}_2$  dissolvido com uma concentração uniforme 1 g/L. Se a concentração de  $\text{O}_2$  for subitamente elevada à superfície para 10 g/L, calcule:

- a) (1v) A concentração de  $\text{O}_2$  a 1 mm de profundidade ao fim de 2 horas?
- b) (1v) O fluxo de  $\text{O}_2$  na superfície do tanque para esse tempo?

$$D_{\text{CO}_2\text{-água}} = 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}.$$

$$\frac{c_{As} - c_A}{c_{As} - c_{A0}} = \text{erf } \xi \quad \xi = \frac{z}{\sqrt{4Dt}} \quad J_A^* = -D \frac{\partial c_A}{\partial z} = \sqrt{D/\pi t} e^{-z^2/4Dt} (c_{As} - c_{A0})$$

em que  $C_A$  é a concentração de  $O_2$  a uma distância (z) da superfície num determinado instante (t),  $C_{A0}$  é a concentração inicial,  $C_{AS}$  é a concentração na superfície e D o coeficiente de difusão.

Table 7-1. Error function values. For negative a, erf(a) is negative

a	erf(a)	a	erf(a)	a	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	3.20	0.99999

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

4. Ar seco (300 K e  $1.013 \times 10^5$  Pa) circula a uma velocidade de 1.5 m/s, num tubo com 6 m de comprimento e 0.15m de diâmetro. A superfície interior do tubo está revestida com um material absorvente (com razão diâmetro/rugosidade,  $d/\varepsilon$ , de 10,000) que está saturado com água.

Dados: Difusividade da água em ar 300 K =  $2.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$

Viscosidade cinemática do ar a 300 K =  $1.569 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$

Pressão de vapor da água a 300 K = 17.5 mm Hg

$R = 0.08206 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$

Factor de atrito  $f = 0.00791 \text{ Re}^{0.12}$

Determine:

- (2v) A concentração de água à saída do tubo.
- (2v) A velocidade de transferência de água em kg/h.

$$Re = \frac{\rho d V}{\mu} \quad Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \quad Sh = \frac{k_c d}{D_{AB}} \quad \ln \left( \frac{C_{As} - C_{Ao}}{C_{As} - C_{AL}} \right) = \frac{4 k_c}{d V} L$$

Analogia de Chilton-Coulburn:  $\frac{k_c}{V} Sc^{\frac{2}{3}} = \frac{f}{2}$   $C_{As}=C^*$  e V - velocidade

5. Pretende-se remover SO<sub>2</sub> de uma mistura gasosa constituída por SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> na fase gasosa é 20 % e na fase líquida é 1 %. Sabendo que os coeficiente individuais de transferência de massa são  $k_y = 5.6 \times 10^{-4} \text{ mol/s m}^2$  e  $k_x = 5.6 \times 10^{-3} \text{ mol/s m}^2$ .

Determine:

- (1v) As composições interfaciais.
- (1v) A % da resistência total respeitante a cada uma das fases.
- (1v) O coeficiente global de transferência de massa  $K_x$ .
- (1v) O fluxo de SO<sub>2</sub>.
- (2v) O valor do fluxo quando usar soluções de NaOH com a concentração crítica de NaOH. Comente.