

Universidade Nova de Lisboa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Química  
**Fenómenos de Transferência II**  
1º teste A - 3 de Maio de 2019

**I**

Um tubo de ensaio com 5cm de altura contém etanol. O nível inicial situa-se a 2cm do topo do tubo. Faz-se circular uma corrente de ar a 25°C e 1 atm em cima do tubo.

Sabendo que o coeficiente de difusão do etanol no ar é a pressão de vapor a essa temperatura é  $0.102 \text{ cm}^2/\text{s}$  e 59 mm Hg, respectivamente:

- Calcule o nível do etanol no tubo ao fim de 24h.
- Explique o que acontecerá se a temperatura aumentar para o dobro. Não é necessário fazer cálculos.

$$R = 8.314 \text{ J/molK} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$
$$M_{\text{etanol}} = 46 \text{ g/mol} \quad \rho_{\text{etanol}} = 0.789 \text{ g/cm}^3$$

**II**

Um gás A a 300 K e com uma pressão parcial de 101 kPa difunde-se desde um ponto a uma distância de 2 mm de uma superfície de um catalisador onde sofre uma reacção química  $A \rightarrow B$ . O componente B produzido difunde-se na direcção oposta. O coeficiente de difusão de A é  $0.15 \text{ cm}^2/\text{s}$ .

- Qual a fracção molar de A na superfície do catalisador e o fluxo de A se a reacção for instantânea?
- O que acontecerá à fracção molar de A na superfície do catalisador e ao fluxo de A se a reacção for lenta? Não é necessário fazer cálculos.

### III

A água de um lago profundo tem CO<sub>2</sub> dissolvido com uma concentração uniforme 1 g/l. Se a concentração de CO<sub>2</sub> for subitamente elevada à superfície para 10 g/l calcule:

- a) Qual a concentração de CO<sub>2</sub> a 1 mm de profundidade ao fim de 2 horas?
- b) Qual o fluxo de CO<sub>2</sub> na superfície do lago para esse tempo?

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

$$\frac{c_{As} - c_A}{c_{As} - c_{A0}} = \operatorname{erf} \xi \quad \xi = \frac{z}{\sqrt{4Dt}}$$

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

em que C<sub>A</sub> é a concentração de CO<sub>2</sub> a uma distância (z) da superfície num determinado instante (t), C<sub>A0</sub> é a concentração inicial, C<sub>AS</sub> 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	3.2	0.99999

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

# I

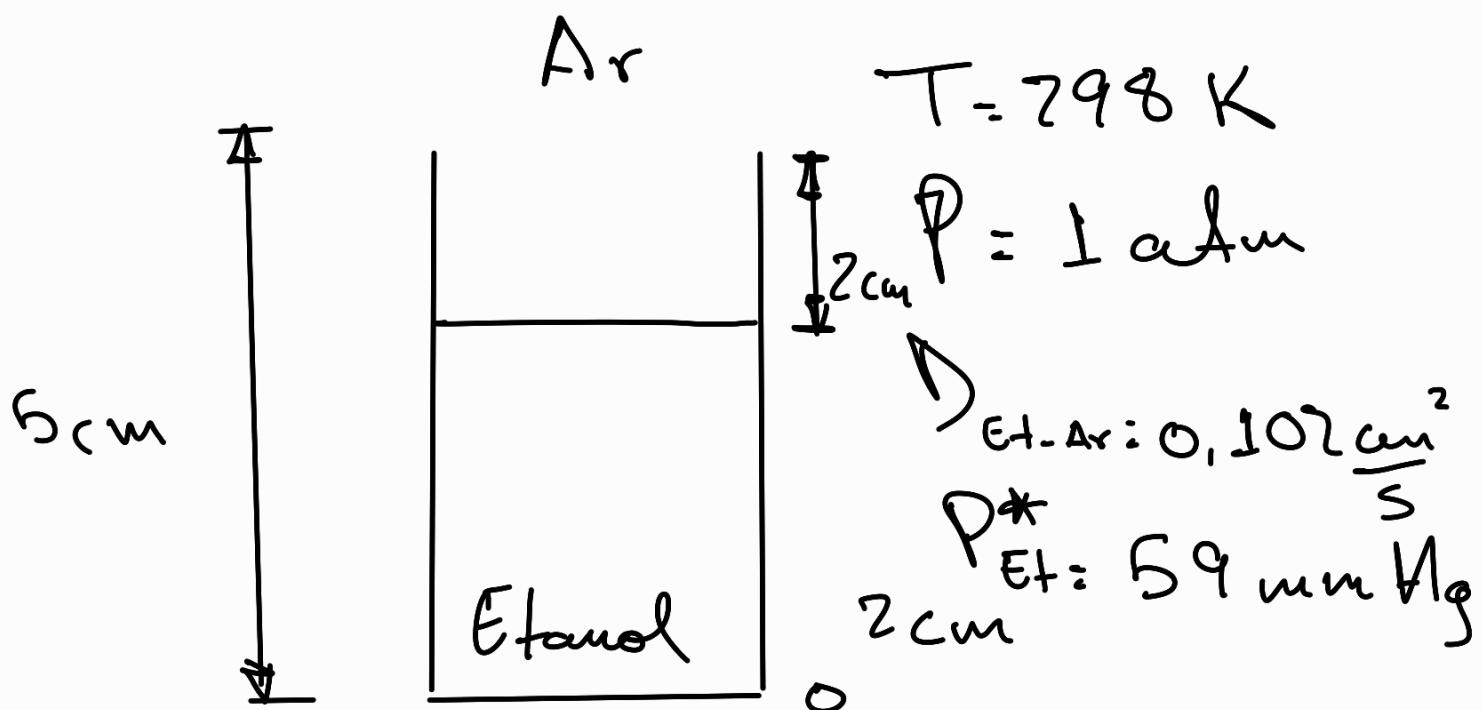
Um tubo de ensaio com 5cm de altura contém etanol. O nível inicial situa-se a 2cm do topo do tubo. Faz-se circular uma corrente de ar a 25°C e 1 atm em cima do tubo.

Sabendo que o coeficiente de difusão do etanol no ar é 0.102 cm<sup>2</sup>/s e 59 mm Hg, respectivamente:

- Calcule o nível do etanol no tubo ao fim de 24h.
- Explique o que acontecerá se a temperatura aumentar para o dobro. Não é necessário fazer cálculos.

$$R = 8.314 \text{ J/molK} \quad 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$M_{\text{etanol}} = 46 \text{ g/mol} \quad \rho_{\text{etanol}} = 0.789 \text{ g/cm}^3$$



$$N_A = c + t \epsilon$$

$$N_A = g_D (N_{A_z} + \cancel{N_{B_z}}) - C D_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

$$C_f \left\{ \begin{array}{l} z_0 = z_1 \rightarrow y_0 = \frac{59}{760} = 0,077 \\ z_f = z_2 \rightarrow y_f = 0 \end{array} \right.$$

$$N_{Az} (1 - y_A) = - \frac{PD_{AB}}{RT} \frac{dy_A}{dz}$$

$$N_{Az} \int_{z_1}^{z_2} dz = - \frac{PD_{AB}}{RT} \int_0^0 \frac{\frac{1}{1-y_A}}{0,077} dy_A$$

$$N_{Az} (z_2 - z_1) = \frac{PD_{AB}}{RT} \ln \left( \frac{1}{1-y_A^*} \right)$$

$$N_{Az} = C_{ar} \frac{dS}{dt}$$

$$C_f \left\{ \begin{array}{l} t=0 \rightarrow S_0 = 0,03 \\ t=t \rightarrow S_f = \end{array} \right.$$

$$C_{AL} \int_{y_0}^{y_f} \delta dy = \frac{PD_{AB} \ln \left( \frac{1}{1-y_A^*} \right)}{RT} \int_0^t dt$$

$$\frac{C_{AL}}{2} \left( (0,03)^2 - (y)^2 \right) = \frac{PD_{AB} \ln \left( \frac{1}{1-y_A^*} \right)}{RT} t$$

$$D_{AB} = 0,102 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \cdot \frac{(1 \text{ m})^2}{(100 \text{ cm})^2} = 0,102 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$P_A = 0,789 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{(100 \text{ cm})^3}{(1 \text{ m})^3} \cdot 789 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\delta = \sqrt{(0,03)^2 - \frac{2PD_{AB} \ln \left( \frac{1}{1-y_A^*} \right)(t)}{RT C_{AL}}} \quad \boxed{}$$

$$\delta = \sqrt{(0,03)^2 - \frac{(2)(1 \times 10^5)(0,102 \times 10^{-4}) \ln \left( \frac{1}{1-0,077} \right)(24)(300)}{(8,314)(298) \left( \frac{789}{46 \times 10^{-3}} \right)}} \quad \boxed{}$$

$$\delta = 2,383 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$z \cdot 0,03 - 8 = 6,17 \text{ mm} \quad \checkmark$$

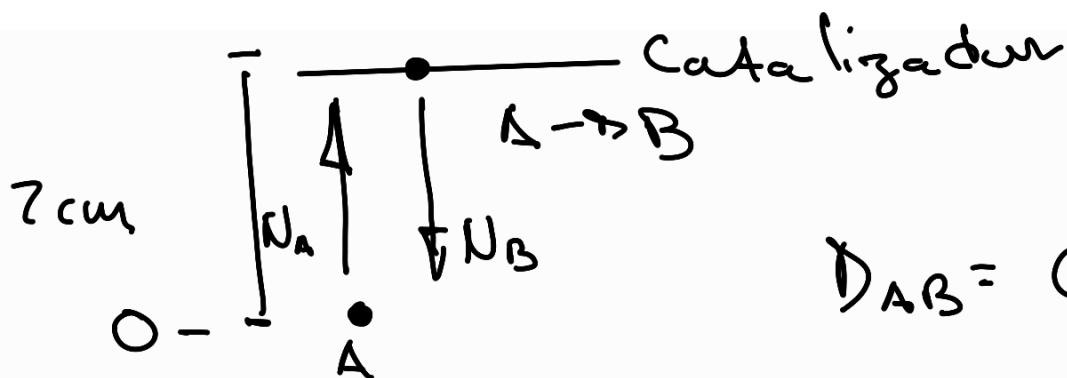
b) O que é de esperar é que com o aumento da temperatura o nível de etanol descer ainda mais, já que é um solvente volátil.

## II

Um gás A a 300 K e com uma pressão parcial de 101 kPa difunde-se desde um ponto a uma distância de 2 mm de uma superfície de um catalisador onde sofre uma reacção química  $A \rightarrow B$ . O componente B produzido difunde-se na direcção oposta. O coeficiente de difusão de A é  $0.15 \text{ cm}^2/\text{s}$ .

- Qual a fracção molar de A na superfície do catalisador e o fluxo de A se a reacção for instantânea?
- O que acontecerá à fracção molar de A na superfície do catalisador e ao fluxo de A se a reacção for lenta? Não é necessário fazer cálculos.

$$T = 300 \text{ K} \quad P_A = 101 \text{ kPa}$$



$$D_{AB} = 0,15 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

$$cf \left\{ \begin{array}{l} z_1 = 0 \rightarrow y_{A_1} = \frac{101 \times 10^3}{1,01 \times 105} = 1 \\ z_2 = z_{cm} \rightarrow y_{A_2} = 0 \end{array} \right.$$

A é zero na superf. do cat. por que  
é a reação instantânea e irreversível

$$-N_A = N_B$$

$$N_A = y_A (N_A + N_B)^0 - CD_{AB} \frac{dy_A}{dz}$$

$$N_A \int_0^{z_2} dz = - \frac{P D_{AB}}{R T} \int_{y_{A1}}^0 dy_A$$

$$N_A = \frac{- P D_{AB} y_{A1}}{R T z_2}$$

$$N_A = \frac{(1,01 \times 10^5)(0,15 \times 10^{-4})(1)}{(8,314)(300)(0,002)}$$

$$N_A = 3,037 \times 10^{-2} \text{ mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

b) O  $y_A$  na superfície não seria nulo  
e o fluxo de de A diminui-  
ria conseguindo ao aumento  
da compressão de A na  
superfície do catalisador

## III

A água de um lago profundo tem CO<sub>2</sub> dissolvido com uma concentração uniforme 1 g/l. Se a concentração de CO<sub>2</sub> for subitamente elevada à superfície para 10 g/l calcule:

- a) Qual a concentração de CO<sub>2</sub> a 1 mm de profundidade ao fim de 2 horas?
- b) Qual o fluxo de CO<sub>2</sub> na superfície do lago para esse tempo?

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

$$\frac{c_{As} - c_A}{c_{As} - c_{A0}} = \operatorname{erf} \xi \quad \xi = \frac{z}{\sqrt{4Dt}}$$

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

em que C<sub>A</sub> é a concentração de CO<sub>2</sub> a uma distância (z) da superfície num determinado instante (t), C<sub>A0</sub> é a concentração inicial, C<sub>AS</sub> 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	3.2	0.99999

$$C_{AS} = 10 \frac{g}{\ell} \quad C_{AO} = 1 g/\ell$$

$$D_{CO_2 \cdot H_2O} = 10^{-5} \frac{cm^2}{s}$$

a)  $Z = 1 \text{ mm} \quad t = 2 \text{ h} = (2)(3600) \text{ s}$

$$\operatorname{erf}\left(\frac{1 \times 10^{-3}}{\sqrt{4(10^9)72 \times 10^3}}\right) = \operatorname{erf}(0, 18)$$

$$= 0,2009$$

$$C_{AS} = 10 \frac{g}{dm^3} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000g} \cdot \frac{(10 dm)^3}{(1 m)^3}$$

$$= 10 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{AO} = 1 \frac{kg}{m^3}$$

$$\frac{J_0 - C_A}{J_0 - 1} = 0,2009$$

$$C_A = J_0 - (9)(0,2009)$$

$$\approx 8,192 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

b)  $J_A = \sqrt{\frac{D}{\pi t}} (C_{AS} - C_{A0})$

$$\approx \sqrt{\frac{10^{-9}}{(\pi)(7200)}} (J_0 - 1)$$

$$\approx 1,892 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

