

Universidade Nova de Lisboa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Química  
**Fenómenos de Transferência II**  
Exame de recurso - 2 de Julho de 2016

**I**

Uma proveta com altura  $L$  e diâmetro  $d$  contém até uma altura  $h$ , contada a partir da base, um líquido  $A$  que evapora. Supondo nula pressão parcial de  $A$  no exterior da proveta e que os componentes do ar não são absorvidos no líquido  $A$ :

- Deduza uma expressão para o fluxo de  $A$  em função dos parâmetros do sistema.
- Explique como poderia obter o valor do coeficiente de difusão de  $A$  no ar com esta experiência.

**II**

Estuda-se a difusão de cloreto de cálcio em líquidos:

- Calcule o coeficiente de difusão deste electrólito numa solução aquosa de 0.001 M  $\text{CaCl}_2$  a 25 °C.
- Como será afectado o resultado obtido em (a) se a difusão de 0.001 M  $\text{CaCl}_2$ , em vez de água, ocorresse numa solução aquosa de 1 M de  $\text{NaCl}$ ? Considere que o efeito do ião de sódio pode ser desprezado. Comente o resultado obtido.

Table 6.1-1. Diffusion coefficients of ions in water at 25° C

Cation <sub>i</sub>	$D_i$	Anion <sub>i</sub>	$D_i$
$\text{H}^+$	9.31	$\text{OH}^-$	5.28
$\text{Li}^+$	1.03	$\text{F}^-$	1.47
$\text{Na}^+$	1.33	$\text{Cl}^-$	2.03
$\text{K}^+$	1.96	$\text{Br}^-$	2.08
$\text{Rb}^+$	2.07	$\text{I}^-$	2.05
$\text{Cs}^+$	2.06	$\text{NO}_3^-$	1.90
$\text{Ag}^+$	1.65	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	1.09
$\text{NH}_4^+$	1.96	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$	0.95
$\text{N}(\text{C}_4\text{H}_9)_4^+$	0.52	$\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4^-$	0.53
$\text{Ca}^{2+}$	0.79	$\text{SO}_4^{2-}$	1.06
$\text{Mg}^{2+}$	0.71	$\text{CO}_3^{2-}$	0.92
$\text{La}^{3+}$	0.62	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	0.98

*Note:* Values at infinite dilution in  $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ . Calculated from data of Robinson and Stokes (1960).

$$D = \left( \frac{D_1 D_2 (z_1^2 c_1 + z_2^2 c_2)}{D_1 z_1^2 c_1 + D_2 z_2^2 c_2} \right)$$

**III**

- Pretende-se determinar o coeficiente de difusão do  $\text{O}_2$  através de um solvente não volátil. No início dos ensaios, o sistema encontra-se em estado não estacionário. De forma a determinar o coeficiente de difusão nestas condições, é necessário considerar a segunda lei de Fick. Identifique a condição inicial e as condições fronteira, assumindo que a altura do solvente não volátil é infinita.
- Considere agora que o solvente não volátil tem uma concentração inicial de  $\text{O}_2$  igual a 1.5 mol/L. Esta solução é exposta a uma atmosfera de  $\text{O}_2$  a 25°C, e após 50 minutos, a concentração de  $\text{O}_2$  para a posição  $z = 10 \text{ mm}$  é igual a  $5 \times 10^{-3} \text{ mol/cm}^3$ . Calcule a concentração de  $\text{O}_2$  na superfície assumindo um coeficiente de difusão de  $\text{O}_2$  no solvente não volátil igual a  $8 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$ .

$$\frac{c_{As} - c_A}{c_{As} - c_{A0}} = \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{4Dt}}\right)$$

$$\xi = \frac{z}{\sqrt{4Dt}}$$

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

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

#### IV

Faz-se passar ar a 20°C por um tubo com 2.5 cm de diâmetro (d) e 2 m de comprimento (L), cuja superfície interna está revestida com o componente A. Utilizando a analogia de Chilton - Colburn, determine:

- O coeficiente de transferência de massa e a concentração de A à saída para uma velocidade média do ar igual a 50 cm/s.
- Seria possível usar a analogia de Reynolds neste caso? Justifique a sua resposta.

$$\text{Nu} = 0.023 \operatorname{Re}^{0.8} \operatorname{Pr}^{0.33}, \text{ para } \operatorname{Re} > 10\,000 \quad \text{e} \quad \text{Nu} = 4.1, \text{ para } \operatorname{Re} \operatorname{Pr} \frac{d}{L} < 17$$

Dados: P\* de A a 20°C = 4.0 mm Hg

$$\mu_{\text{ar}} (20^\circ\text{C}) = 1.74 \times 10^{-5} \text{ N s m}^{-2}$$

$$\rho_{\text{ar}} (20^\circ\text{C}) = 1.164 \text{ kg m}^{-3}$$

$$D_{\text{A-ar}} = 6.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$c_p \text{ do ar } (20^\circ\text{C}) = 1012 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$k^T \text{ do ar } (20^\circ\text{C}) = 0.0251 \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{h}{\rho u c_p} \operatorname{Pr}^{2/3} = \frac{k_c}{u} \operatorname{Sc}^{2/3} \quad \operatorname{Re} = \frac{\rho d u}{\mu} \quad \operatorname{Sc} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \quad \operatorname{Pr} = \frac{\mu c_p}{k^T} \quad \operatorname{Nu} = \frac{hd}{k^T}$$

#### V

Pretende-se remover um composto A em solução aquosa fazendo contactar com ar numa coluna. Num determinado ponto da coluna, a corrente gasosa está isenta do composto A e corrente líquida contém  $1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^3$  de A. Obteve-se um coeficiente individual de transferência de massa para a fase líquida  $k_L = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  e para a fase gasosa  $0.01 \text{ kmol/(m}^2 \text{ s atm)}$ . A pressão total é 1 atm e a constante de Henry à temperatura de trabalho é  $10 \text{ atm m}^3/\text{kmol}$ .

- Calcule o valor da percentagem da resistência total respeitante a cada uma das fases.
- Determine o fluxo. Qual o sentido? Justifique.
- Determine as composições interfaciais.