

# Esercitazione di Meccanica dei fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Esercitazione 5 (FIC) - 14 Gennaio 2016

## Scambio di materia (I)

### Esercizio 1 – Sublimazione di una sfera di naftalina

Si consideri una sferetta di naftalina avente diametro iniziale pari a  $8\text{ mm}$  immersa in una atmosfera d'aria stagnante alla pressione atmosferica, alla temperatura di  $300\text{K}$ .

- Si determinino le leggi che regolano l'andamento del diametro e della massa della sfera nel tempo, adottando le opportune ipotesi semplificative.
- Qual è il tempo necessario perché la sferetta si consumi completamente?
- Quale sarebbe invece il tempo richiesto se il diametro iniziale della sfera fosse pari a  $16\text{ mm}$ ?
- Se anziché avere una forma sferica, la stessa massa di naftalina (punti 1 e 2) avesse la forma di un parallelepipedo di lati  $L \times L \times 2L$ , come si modificherebbero i tempi sopra calcolati?

### Esercizio 2 – Stima della diffusività materiale della naftalina

Sapendo che un cubetto di naftalina di lato pari a  $1\text{ cm}$  ha un tempo di dimezzamento massivo (cioè il tempo necessario perché la sua massa diventi pari alla metà della massa iniziale) pari a  $t_{1/2}\text{ s}$  in una atmosfera di aria in quiete alla temperatura di  $300\text{K}$ , si stimi il coefficiente di diffusione materiale della naftalina in tali condizioni.

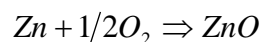
### Esercizio 3 – Scioglimento di un cristallo di zucchero

Un cristallo di zucchero di canna, di forma sferica e avente diametro pari a  $0.5\text{ cm}$ , viene posto in acqua pura alla temperatura di  $20^\circ\text{C}$ . L'acqua è ferma. Si vuole sapere in quanto tempo il cristallo si consuma completamente. Si tenga conto che la concentrazione dello zucchero nel bulk dell'acqua può ritenersi nulla essendo infinitamente esteso l'ambiente in cui si trova. Il cristallo si mantiene sferico durante il processo.

<i>solubilità in acqua a <math>20^\circ\text{C}</math></i>	<i>203.9 g/100g acqua</i>
<i>densità dello zucchero</i>	<i>1.588 g/cm<sup>3</sup></i>
<i>densità dell'acqua</i>	<i>998 Kg/m<sup>3</sup></i>
<i>diffusività dello zucchero in acqua</i>	<i><math>0.5 \cdot 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{s}</math></i>

### Esercizio 4 – Consumo di una particella di zinco

Lo zinco in ambiente ad elevata temperatura ed elevato tenore di ossigeno, reagisce secondo la reazione:



Considerando una temperatura media di  $1200^\circ\text{C}$ , una particella sferica di zinco avente un diametro iniziale  $D_p = 600\text{ }\mu\text{m}$  ed una densità pari a  $7133\text{ Kg/m}^3$  ed un coefficiente di diffusione dell'ossigeno nella miscela pari a  $2.065 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2/\text{s}$ , si calcoli il tempo necessario per consumare completamente la particella sapendo inoltre che l'ambiente circostante è in quiete a pressione atmosferica con una pressione parziale di ossigeno  $P_{\text{O}_2}$  pari a  $0.2\text{ atm}$  ( $PM_{\text{Zn}} = 65,38\text{ Kg/Kmole}$ ).

### Esercizio 5 – Combustione di una gocciolina di olio

Valutare il tempo necessario alla completa combustione completa di una goccia (sferica) di olio combustibile delle dimensioni di  $50 \mu\text{m}$ . La goccia è ferma e non c'è movimento relativo fra essa e l'aria circostante. Si ritenga che la reazione avvenga istantaneamente sulla superficie della goccia. La concentrazione media dell'ossigeno nella fase gassosa può essere considerata costante e pari ad una frazione molare di  $0.15$ . Il numero medio di atomi di carbonio dell'olio combustibile è pari a  $50$  mentre il rapporto idrogeno su carbonio vale  $1.64$ . La temperatura del gas è pari a  $750^\circ\text{C}$  mentre la pressione è pari a  $1 \text{ atm}$ .

$\rho_{\text{olio}}$	980	$\text{Kg/m}^3$	$D_{\text{gas}}$	$0.5 \text{ cm}^2/\text{s}$
$D_{\text{O}_2/\text{gas}}$	0.2	$\text{cm}^2/\text{s}$		

### Esercizio 6 – Separazione dell'elio attraverso un vetro poroso

Un metodo di separazione dell'elio da una miscela di altri gas, sfrutta la proprietà di un particolare vetro poroso permeabile all'elio ma approssimativamente impermeabile agli altri gas. L'apparecchio adibito a tale operazione è costituito da un tubo attraverso il quale viene fatta passare la miscela da trattare. Immaginando di poter ritenere costante la portata molare complessiva, trascurabili le perdite di carico e costante la velocità dei gas all'interno del tubo, si valuti la lunghezza necessaria per avere una frazione molare di elio nella corrente pari al  $50\%$  di quella all'ingresso. Si ipotizzi che la concentrazione di elio all'esterno del tubo sia nulla. Da ultimo si assuma un sistema di coordinate rettangolari e si confrontino i risultati ottenuti utilizzando un sistema di coordinate cilindriche.

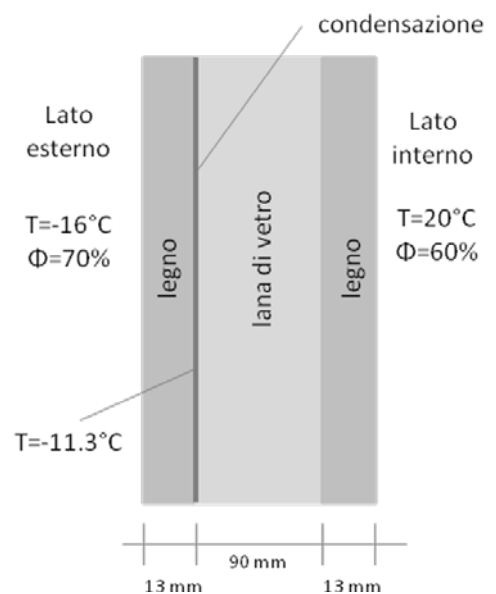
raggio interno del tubo	$1.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	velocità del gas	$3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$
raggio esterno del tubo	$1.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	diffusività materiale di He nel solido	$1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

### Esercizio 7 – Condensazione e congelamento dell'umidità nei muri

La condensazione e il conseguente congelamento dell'umidità nelle pareti esterne delle costruzioni rappresenta un serio problema nei paesi dal clima rigido, in quanto compromette l'efficacia dell'isolamento termico e la durata dei materiali stessi.

Si consideri una parete costituita da uno strato di legname di spessore pari a  $13 \text{ mm}$  che affaccia sul lato esterno, uno strato di isolante centrale di spessore pari a  $90 \text{ mm}$  costituito da lana di vetro e un secondo strato di legname di spessore ancora pari a  $13 \text{ mm}$  che affaccia sul lato interno. All'interno della costruzione la temperatura sia pari a  $20^\circ\text{C}$  con una umidità relativa pari al  $60\%$ . All'esterno si assuma invece una temperatura di  $-16^\circ\text{C}$  e umidità relativa del  $70\%$ .

Si determini la velocità (in termini massivi) secondo cui avviene il congelamento dell'umidità nello strato di isolante, sapendo che la temperatura di questo sul lato verso l'esterno è pari a  $-11.3^\circ\text{C}$ .



#### Dati

resistenza dell'isolante:	$0.0100 \text{ s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa}/\text{ng}$
resistenza del legno esterno:	$0.0020 \text{ s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa}/\text{ng}$
resistenza del legno interno:	$0.0020 \text{ s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{Pa}/\text{ng}$

Correlazione di Antoine per la tensione di vapore dell'acqua:

$$\ln[P_{V_{H_2O}}(T)] = A - \frac{B}{(T + C)} \quad [mmHg] \quad T[K]$$

$$A = 18.3036$$

$$B = 3816.44$$

$$C = -46.13$$

### Esercizio 8 – Scioglimento di una sostanza organica

Un filo di sostanza organica solida, sospeso in olio minerale, viene sciolto progressivamente. Si chiede di determinare, attraverso le opportune semplificazioni, il tempo necessario al suo completo consumo, supponendo che il filo mantenga la sua forma cilindrica fino al termine. Nel bulk dell'olio la concentrazione di soluto è trascurabile.

Si richiede di commentare adeguatamente le equazioni che verranno utilizzate, le eventuali semplificazioni adottate e i calcoli eseguiti. Si presti particolare attenzione alla corretta conversione delle diverse unità di misura.

#### Dati

diametro iniziale del filo:	0.052 cm
diffusività olio-soluto:	$9.9 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$
viscosità dell'olio:	3 Poises
densità dell'olio:	$1200 \text{ kg/m}^3$
peso molecolare soluto:	178 kg/kmol
solubilità solido:	$10^{-3} \text{ mol/cm}^3$
densità solido:	$1.5 \text{ g/cm}^3$

### Esercizio 9 – Crescita di un cristallo di sale

Si valutino le dimensioni che raggiunge in 2 giorni un cristallo di sale, di forma cubica e dimensione iniziale pari a 10 micron, in una soluzione sovrasatura in quiete.

#### Dati

concentrazione di sovrasaturazione:	10 g/l
densità del cristallo solido:	$2000 \text{ kg/m}^3$
diffusività del sale nella soluzione:	$10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

### Esercizio 10 – Barra di naftalina (Tema d'esame 12 Febbraio 2009)

Una barra cilindrica di naftalina è investita perpendicolarmente da una corrente di aria con velocità pari a  $3.5 + 0.1x \text{ m/s}$ . L'aria e la barra di naftalina si trovano ad una temperatura di  $40^\circ\text{C}$ . Si determini la velocità iniziale di consumo della barra di naftalina (in  $\text{mol/s}$ ), assumendo nulla la concentrazione della naftalina nel bulk.

Dati		
Diametro della barra	$25 + 0.2x$	mm
Lunghezza della barra	50	cm
Viscosità dell'aria	$2.75 \cdot 10^{-5}$	kg/m/s
Diffusività della naftalina in aria	$6.20 \cdot 10^{-2}$	$\text{cm}^2/\text{s}$
Tensione di vapore della naftalina	15	mm Hg

Numero di Sherwood (cilindro)
$Sh_D = 2 + (1.6Re_D^{1/3} + 0.5Re_D^{1/2} + 0.02Re_D^{0.8}) \cdot Sc^{1/3}$

**Esercizio 11 – Sfera di naftalina (Tema d'esame 7 Luglio 2009)**

Una sfera di naftalina di diametro iniziale pari a  $25+0.2x$  mm è in una atmosfera di aria in quiete completa. L'aria e la sfera di naftalina si trovano ad una temperatura di  $40^{\circ}\text{C}$ . Si determini il tempo necessario perchè il diametro della sfera diventi la metà di quello iniziale.

<b>Dati</b>		
<i>Diffusività della naftalina in aria</i>	$6.20 \cdot 10^{-2}$	$\text{cm}^2/\text{s}$
<i>Tensione di vapore della naftalina</i>	15	mm Hg
<i>Densità della naftalina</i>	1150	$\text{kg}/\text{m}^3$
<i>Peso molecolare della naftalina</i>	128.16	kg/kmol

**Proprietà dell'aria**

T(K)	Calore specifico (kJ/kgK)	Viscosità dinamica (Pa.s) $\cdot 10^7$	Viscosità cinematica (m <sup>2</sup> /s) $\cdot 10^6$	Conducibilità termica (W/mK) $\cdot 10^3$	Diffusività termica (m <sup>2</sup> /s) $\cdot 10^6$	Numero di Prandtl
300	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707

**Proprietà della naftalina**

<i>PM (kg/kmol)</i>	<i><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Pv (bar)</i>	<i>D (m<sup>2</sup>/s)</i>
128.16	800	0.000131	$7 \cdot 10^{-6}$