

Meccanica dei Fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Prova in Itinere – Tema A

28 Gennaio 2013

Esercizio 1. Perdita Elio

Un gas è stoccato a $20\text{ }^\circ\text{C}$ in un serbatoio sferico di silice di diametro $D=1\text{ cm}$ e spessore $s=2\text{ mm}$. Se il serbatoio è inizialmente caricato a una pressione di 4 bar , qual è la pressione a cui si trova dopo una giornata, sapendo che il coefficiente di diffusione (D_{AB}) del gas nella silice è $4\cdot 10^{-11}\text{ m}^2/\text{s}$ e che la sua solubilità (S) sempre nella silice è pari a $10^{-4}\text{ kmol}/\text{m}^3/\text{bar}$?

Dato che $D \gg s$ si assuma che la diffusione possa essere approssimata a quella attraverso una lastra piana e che possa essere considerata in condizioni pseudo-stazionarie (ovvero la variazione di pressione è così lenta che consente di considerare la diffusione in condizioni stazionarie a ogni istante).

Si assuma anche trascurabile la pressione dell'elio all'esterno del serbatoio.

Esercizio 2. Oggetto metallico immerso in un bagno d'acqua

Si immagini di avere una massa di acqua pari a $m_{H_2O}=5\text{ kg}$ alla temperatura di $90\text{ }^\circ\text{C}$ all'interno in un contenitore perfettamente adiabatico. All'interno di tale contenitore viene immerso un corpo metallico di massa $m_{met}=1\text{ kg}$ e superficie $A=50\text{ cm}^2$ alla temperatura iniziale $T_0=10\text{ }^\circ\text{C}$.

Si chiede di effettuare dei calcoli in corrispondenza di due diverse situazioni.

a) Immaginando che il sistema oggetto + acqua sia complessivamente adiabatico, si determini la temperatura di regime T_∞ a cui si portano i due corpi (in corrispondenza cioè di un tempo infinitamente lungo).

b) Si immagini invece che al momento dell'immersione del corpo metallico entrino in azione un sistema di agitazione meccanica in grado di mantenere una perfetta miscelazione dell'acqua e una resistenza elettrica avente lo scopo di mantenere la temperatura dell'acqua sempre alla temperatura di $90\text{ }^\circ\text{C}$. Si chiede di determinare la potenza termica Q (in funzione del tempo) che la resistenza dovrà fornire per mantenere costante la temperatura dell'acqua. In particolare si determinino i valori di Q in corrispondenza dei tempi seguenti: $t=0, 10, 100$ e 1000 s . A tale scopo si utilizzi un coefficiente di scambio termico $U=10\text{ W}/\text{m}^2/\text{K}$.

Proprietà dell'acqua		Proprietà dell'acciaio	
Conducibilità termica	0.2 W/m/K	Conducibilità termica	26 W/m/K
Calore specifico	4186 J/kg/K	Calore specifico	500 J/kg/K
Densità	1 g/cm ³	Densità	7500 kg/m ³
Viscosità cinematica	1 cP		

Esercizio 3. Refrattario

La parete di un forno largo $L=3\text{ m}$ e alto $H=10\text{ m}$ deve essere rivestita con mattoni isolanti di conducibilità termica $k = 0.50\text{ W}/\text{m}/\text{K}$. Sapendo che la temperatura massima della parete di mattoni dal lato del forno è di $T_1=400\text{ }^\circ\text{C}$, calcolare lo spessore di mattoni per garantire una temperatura della superficie esterna pari a $100\text{ }^\circ\text{C}$. Considerare l'aria esterna a una temperatura di $30\text{ }^\circ\text{C}$ e due diverse condizioni di vento: nullo e pari a $10\text{ m}/\text{s}$.

Per questioni di costi non si vuole superare uno spessore di mattoni $s=80\text{ cm}$. Si chiede di valutare quante intercapedini d'aria dello spessore di 1 cm si debbano introdurre nella parete per consentire di non superare lo spessore limite.

Proprietà aria: viscosità $1.8\cdot 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$; conducibilità $0.025\text{ W}/\text{m}/\text{K}$; calore specifico $1.010\text{ kJ}/\text{kg}/\text{K}$.

Correlazioni:

$$Nu = 0.037 Re^{0.80} Pr^{1/3} \qquad Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Meccanica dei Fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Prova in Itinere – Tema B

28 Gennaio 2013

Esercizio 1. Diffusione di He attraverso un serbatoio cilindrico

Si consideri un serbatoio cilindrico di acciaio di altezza $H=3\text{ m}$ e diametro interno pari a $D=1\text{ m}$, le cui pareti abbiano uno spessore $s_{ac}=5\text{ mm}$. All'interno del serbatoio è contenuto un gas con peso molecolare pari a $M_{gas}=44\text{ kg/kmol}$ alla pressione $P=15\text{ atm}$, contenente una frazione molare di He ($M_{He}=2\text{ kg/kmol}$) pari a 3 ppm (parti per milione). Le pareti del serbatoio sono di fatto perfettamente impermeabili al gas contenuto nel recipiente, ma non nei confronti dell'elio, che può quindi diffondere (sebbene molto lentamente verso l'esterno).

a) Si chiede di determinare il tempo necessario perché il 99% dell'He contenuto nel serbatoio fuoriesca verso l'esterno.

b) Se il serbatoio venisse rivestito esternamente con un sottile strato di un secondo materiale isolante ($s_{iso}=1\text{ mm}$), come si modificherebbe il tempo calcolato al punto precedente?

Si assuma che le diffusività dell'elio nell'acciaio e nell'isolante siano rispettivamente pari a: $\Gamma_{He/ac}=8\cdot 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$ e $\Gamma_{He/iso}=5\cdot 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}$.

Esercizio 2. Sublimazione naftalina

Una sfera solida di diametro $D=5\text{ cm}$ è rivestita da un sottile strato di naftalina (peso molecolare $W=128\text{ g/mol}$, densità allo stato solido $\rho=1.15\text{ g/cm}^3$) di spessore $\delta=1\text{ mm}$. Alla temperatura di 80°C la naftalina ha una tensione di sublimazione pari a $p_s=10\text{ mm Hg}$. Una corrente di aria pura ($\mu=1.8\cdot 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$) a 80°C investe la sfera alla velocità $v=2\text{ cm/s}$ rimuovendo lo strato di naftalina per trasporto convettivo di materia. In virtù del piccolo spessore di naftalina rispetto al diametro della sfera, la geometria del sistema si può ritenere costante nel tempo, così come le condizioni di trasporto di materia. Il coefficiente binario di diffusione della naftalina in aria in fase gas $D_{NA}=2\cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$. Si calcoli, in condizioni stazionarie, il tempo necessario a consumare tutto lo strato di naftalina.

Si ricorda che la relazione di convezione attorno a una sfera vale:

$$Sh = 2 + (0.4Re^{1/2} + 0.06Re^{2/3})Sc^{0.4}$$

Esercizio 3. Evaporazione di acqua da una piscina riscaldata

Si consideri una piscina di forma rettangolare con lati di lunghezze pari a $L_1=5\text{ m}$ e $L_2=3\text{ m}$. La piscina è a contatto con l'aria dell'ambiente esterno che si trova alla temperatura di $T_{aria}=25^\circ\text{C}$ e che presenta un tasso di umidità relativa φ pari al 52%. Si vuol mantenere la temperatura dell'acqua della piscina al valore costante e uniforme di $T_{H_2O}=50^\circ\text{C}$ e a tale scopo si utilizza una resistenza elettrica in grado di fornire la potenza termica necessaria in modo tale da evitare il raffreddamento dell'acqua. Grazie ad un opportuno sistema di agitazione la temperatura dell'acqua può sempre essere considerata perfettamente uniforme. La superficie superiore della piscina è poi soggetta all'irraggiamento solare che fornisce un flusso termico costante e pari a $Q_{rad}=300\text{ W/m}^2$.

Si chiede di determinare quale deve essere la potenza fornita dalla resistenza elettrica per mantenere la temperatura dell'acqua al valore costante richiesto. Si tenga conto dei contributi termici dovuti alla radiazione, alla convezione naturale e all'evaporazione.

Proprietà dell'aria			
Conducibilità termica	0.026 W/m/K	Calore di evaporazione di H ₂ O	2380 kJ/kg
Numero di Pr	0.72	Tensione di vapore a 25°C	3.17 kPa
Diffusività termica	2.5·10 ⁻⁵ m ² /s	Tensione di vapore a 50°C	12.35 kPa
Viscosità cinematica	1.67·10 ⁻⁵ m ² /s	Diffusività H ₂ O in aria	3·10 ⁻⁵ m ² /s

Per la stima dei coefficienti di scambio termico e materiale si utilizzino le seguenti correlazioni:

$$Nu = 0.15(Gr_{Lc} Pr)^{1/3} \quad Sh = 0.15(Gr_{Lc} Sc)^{1/3}$$

dove il numero di Gr è definito sulla differenza di densità parziale del vapor d'acqua (ovviamente tra la superficie della piscina e l'aria dell'ambiente):

$$Gr_{Lc} = \frac{gL_c^3 \cdot \Delta\rho_{vap}}{\rho_{aria} \nu_{aria}^2}$$

In particolare la lunghezza caratteristica L_c da utilizzare per la costruzione del numero di Gr sia definita come il rapporto tra la superficie della piscina e il perimetro della stessa.

Meccanica dei Fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Prova in Itinere – Tema C

28 Gennaio 2013

Esercizio 1. Diffusione

Un recipiente di volume $V=10$ l contiene una miscela di due gas A e B perfettamente miscelati. La parete superiore del recipiente è costituita da una membrana porosa di forma rettangolare di 10×50 cm e spessore $s=0.1$ mm. La membrana è investita esternamente in modo parallelo al lato più lungo da una corrente gassosa di B puro ad una velocità di 1 m/s. La diffusività effettiva di A nella membrana è $D_{eff}=10^{-2}$ cm²/s. Sapendo che la concentrazione iniziale di A nel recipiente è $c_0 = 0.5$ mol/l, calcolare il tempo necessario affinché la concentrazione di A scenda al valore di 0.05 mol/l.

La specie B è un gas con densità $\rho_B=1.5$ kg/m³ e viscosità $\mu_B=5 \cdot 10^{-5}$ Pa·s. Il coefficiente di diffusione binaria $D_{AB}=5 \cdot 10^{-5}$ m²/s.

Esercizio 2. Raffreddamento di un serbatoio cilindrico

Un serbatoio cilindrico di acciaio ($k_{ac}=26$ W/m/K) di diametro interno $D=1$ m e altezza $H=3$ è disposto verticalmente, con una delle due basi direttamente a contatto con il terreno. Al suo interno è contenuto un olio alla temperatura iniziale $T_0=70^\circ\text{C}$. Il serbatoio è esposto all'azione di un vento alla temperatura $T_{aria}=25^\circ\text{C}$ che si muove perpendicolarmente al suo asse con velocità pari a 5 m/s. Si chiede di determinare qual è la potenza che l'olio all'interno del serbatoio cede verso l'esterno nelle condizioni iniziali assegnate. Si assuma la base inferiore perfettamente adiabatica e si consideri uno spessore delle pareti del serbatoio pari a $s=3$ mm.

Dal lato esterno si utilizzino le seguenti correlazioni per la stima del numero di Reynolds (superfici laterale e di base):

$$Nu_{lat} = 0.50 Re_D^{0.5} Pr^{1/3} \quad Nu_{bas} = 0.30 Re_D^{0.5} Pr^{1/3}$$

Dal lato interno si assuma invece che il numero di Nu sia dato dalla seguente correlazione:

$$Nu = 0.15 (Gr Pr)^{1/3}$$

Proprietà dell'aria		Proprietà dell'olio	
Conducibilità termica	0.026 W/m/K	Conducibilità termica	0.12 W/m/K
Numero di Pr	0.72	Densità	800 kg/m ³
Diffusività termica	$2.5 \cdot 10^{-5}$ m ² /s	Diffusività termica	2000 J/kg/K
Viscosità cinematica	$1.67 \cdot 10^{-5}$ m ² /s	Viscosità cinematica	5 cP

Esercizio 3. Bagno di riscaldamento

Un bagno d'acqua calda deve essere mantenuto alla temperatura costante e uniforme $T_{H2O}=60^\circ\text{C}$. La superficie superiore, di forma rettangolare (con lati di lunghezze pari a $L_1=6$ m e $L_2=2$ m) è a contatto con l'aria dell'ambiente esterno, che si trova alla temperatura di $T_{aria}=20^\circ\text{C}$ e che presenta un tasso di umidità relativa φ pari al 40% (le altre superfici possono essere assunte perfettamente adiabatiche). Per evitare il raffreddamento dell'acqua si utilizza una resistenza elettrica in grado di fornire la potenza termica necessaria in modo tale da evitare il raffreddamento dell'acqua. Grazie ad un opportuno sistema di agitazione la temperatura dell'acqua può sempre essere considerata perfettamente uniforme. La superficie superiore della piscina è poi soggetta all'irraggiamento solare che fornisce un flusso termico costante e pari a $Q_{rad}=500$ W/m².

I numeri di Nu e Sh sono dati dalle seguenti correlazioni: $Nu = 0.15 (Gr_{L_c} Pr)^{1/3}$ e $Sh = 0.15 (Gr_{L_c} Sc)^{1/3}$ dove il numero di Gr è definito sulla differenza di densità parziale del vapor d'acqua (ovviamente tra la superficie della piscina e l'aria dell'ambiente):

$$Gr_{L_c} = \frac{g L_c^3 \cdot \Delta \rho_{vap}}{\rho_{aria} \nu_{aria}^2}$$

In particolare la lunghezza caratteristica L_c da utilizzare per la costruzione del numero di Gr sia definita come il rapporto tra la superficie della piscina e il perimetro della stessa.

Si chiede di determinare quale deve essere la potenza fornita dalla resistenza elettrica per mantenere la temperatura dell'acqua al valore costante richiesto. Si tenga conto dei contributi termici dovuti alla radiazione, alla convezione naturale e all'evaporazione.

Proprietà dell'aria			
Conducibilità termica	0.026 W/m/K	Calore di evaporazione di H ₂ O	2380 kJ/kg
Numero di Pr	0.72	Tensione di vapore a 20°C	2.7 kPa
Diffusività termica	$2.5 \cdot 10^{-5}$ m ² /s	Tensione di vapore a 60°C	15 kPa
Viscosità cinematica	$1.67 \cdot 10^{-5}$ m ² /s	Diffusività H ₂ O in aria	$3 \cdot 10^{-5}$ m ² /s

Meccanica dei Fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Prova in Itinere – Tema D

28 Gennaio 2013

Esercizio 1. Diffusione di He attraverso un serbatoio cilindrico

Si consideri un serbatoio cilindrico di acciaio di altezza $H=3\text{ m}$ e diametro interno pari a $D=1\text{ m}$, le cui pareti abbiano uno spessore $s_{ac}=5\text{ mm}$. All'interno del serbatoio è contenuto un gas con peso molecolare pari a $M_{gas}=44\text{ kg/kmol}$ alla pressione $P=15\text{ atm}$, contenente una frazione molare di He ($M_{He}=2\text{ kg/kmol}$) pari a 3 ppm (parti per milione). Le pareti del serbatoio sono di fatto perfettamente impermeabili al gas contenuto nel recipiente, ma non nei confronti dell'elio, che può quindi diffondere (sebbene molto lentamente verso l'esterno).

- a) Si chiede di determinare il tempo necessario perché il 99% dell'He contenuto nel serbatoio fuoriesca verso l'esterno.
 b) Se il serbatoio venisse rivestito esternamente con un sottile strato di un secondo materiale isolante ($s_{iso}=1\text{ mm}$), come si modificherebbe il tempo calcolato al punto precedente?

Si assuma che le diffusività dell'elio nell'acciaio e nell'isolante siano rispettivamente pari a: $\Gamma_{He/ac}=8\cdot 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$ e $\Gamma_{He/iso}=5\cdot 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}$.

Esercizio 2. Sublimazione naftalina

Una sfera solida di diametro $D=5\text{ cm}$ è rivestita da un sottile strato di naftalina (peso molecolare $W=128\text{ g/mol}$, densità allo stato solido $\rho=1.15\text{ g/cm}^3$) di spessore $\delta=1\text{ mm}$. Alla temperatura di 80°C la naftalina ha una tensione di sublimazione pari a $p_s=10\text{ mm Hg}$. Una corrente di aria pura ($\mu=1.8\cdot 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$) a 80°C investe la sfera alla velocità $v=2\text{ cm/s}$ rimuovendo lo strato di naftalina per trasporto convettivo di materia. In virtù del piccolo spessore di naftalina rispetto al diametro della sfera, la geometria del sistema si può ritenere costante nel tempo, così come le condizioni di trasporto di materia. Il coefficiente binario di diffusione della naftalina in aria in fase gas $D_{NA}=2\cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$. Si calcoli, in condizioni stazionarie, il tempo necessario a consumare tutto lo strato di naftalina.

Si ricorda che la relazione di convezione attorno a una sfera vale:

$$Sh = 2 + (0.4Re^{1/2} + 0.06Re^{2/3})Sc^{0.4}$$

Esercizio 3. Evaporazione di acqua da una maglia stesa ad asciugare

Si consideri una maglia bagnata stesa ad asciugare in aria alla temperatura di $T_{aria}=25^\circ\text{C}$ e un tasso di umidità relativa φ pari al 52%. Si immagini che l'aria sia in movimento alla velocità $v=5\text{ m/s}$ a causa dell'azione del vento.

Si chiede di determinare: a) la temperatura a cui si porta la maglia immaginando che il calore necessario per l'evaporazione sia tutto e solo quello fornito dalla convezione forzata; b) il flusso di acqua evaporante nelle condizioni assegnate.

Si stimi il numero di Nu (da utilizzare per il coefficiente di scambio termico h) con la seguente correlazione:

$$Nu = 0.15 Re_L^{0.5} Pr^{1/3}$$

dove la lunghezza caratteristica da utilizzare per la costruzione del numero di Reynolds è pari a $L=40\text{ cm}$. Per il calcolo del coefficiente di scambio di materia h_m si tenga conto della seguente analogia (di Colburn):

$$h_m = \frac{h}{\rho C_p \left(\frac{\alpha}{\Gamma_{H_2O/air}} \right)^{2/3}}$$

Proprietà dell'aria			
Conducibilità termica	0.026 W/m/K	Calore di evaporazione di H ₂ O	2380 kJ/kg
Numero di Pr	0.72	Tensione di vapore dell'acqua	3.17 kPa
Diffusività termica	$2.5\cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$	Diffusività H ₂ O in aria	$3\cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$
Viscosità cinematica	$1.67\cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$		
Calore specifico	1000 J/kg/K		