

Esercitazione di Meccanica dei fluidi con Fondamenti di Ingegneria Chimica

Esercitazione 7 (FIC) – 28 Gennaio 2016

Scambio di materia (III)

Esercizio 1. 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 la 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	$2.5 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$	Tensione di vapore a 50°C	12.35 kPa
Viscosità cinematica	$1.67 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$	Diffusività H ₂ O in aria	$3 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$

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

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

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

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

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.

Esercizio 2. 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		

Esercizio 3 – Bolla di cloro in acqua (Teoria della penetrazione)

Una bolla di cloro del diametro di 0.02 m risale in una colonna contenente acqua in condizioni di equilibrio termico con la bolla stessa e ad una temperatura di $15\text{ }^\circ\text{C}$. Si valuti la variazione del quantitativo di cloro dopo una risalita della bolla pari ad 1 m di colonna: ipotizzando velocità di risalita costante. Si ipotizzi una pressione pari a quella atmosferica.

D_{Cl_2/H_2O}	$1.26 \times 10^{-9}\text{ m}^2/\text{s}$
Solubilità Cl_2 in Acqua	$0.823\text{ g di } Cl_2 \text{ per } 100\text{ g di } H_2O$
PM cloro (Cl_2)	71 Kg/Kmole
Velocità di risalita	0.33 m/s

Esercizio 4 – Bolla di anidride carbonica (Teoria della penetrazione)

Una bolla di anidride carbonica del diametro iniziale di 0.5 cm risale attraverso acqua distillata alla temperatura di 18°C e pressione di 1 atm . Il coefficiente di diffusione relativo CO_2-H_2O è pari a $1.46 \times 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{s}$ mentre la solubilità del gas in esame in acqua 0.041 mol/l .

- Si chiede di calcolare il coefficiente di scambio materiale gas liquido assumendo una velocità stazionaria di risalita pari a 22 cm/sec .
- Si calcoli quindi il flusso molare specifico per unità di superficie della CO_2 .
- Si scriva infine il bilancio di massa per la CO_2 contenuta nella bolla, tenendo conto della variazione del diametro con il tempo.

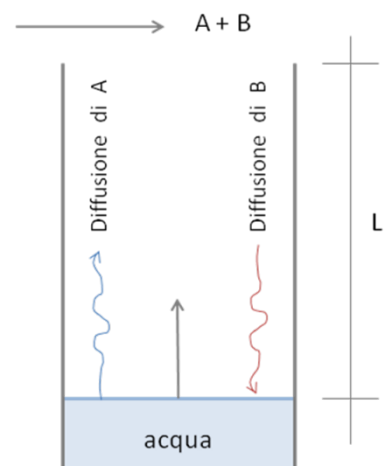
Temperatura	18°C
Diametro Iniziale bolla	0.5 cm
Pressione Bolla	1 atm
Diffusività materiale relativa	$1.46 \times 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{s}$

Esercizio 5 – Misura della diffusività attraverso il tubo di Stefan

Si vuole stimare la diffusività del vapor d'acqua (A) in aria (B) utilizzando il tubo di Stefan (si veda la figura a lato). Si consideri dunque un contenitore tubolare (base circolare di diametro D) di altezza pari a L al cui interno si trovi una certa quantità di acqua, mantenuta ad un livello costante nel tempo. Nella parte superiore del contenitore si assuma una corrente di aria con una umidità relativa di vapore d'acqua pari a Φ . In questo modo il vapore d'acqua che risale dal fondo del contenitore viene portato via dalla corrente e di conseguenza è lecito assumere un valore della frazione molare di vapor d'acqua sulla sommità del contenitore coerente con il valore di umidità relativa della corrente stessa.

In 15 giorni di funzionamento dell'apparecchiatura (a temperatura e pressione costanti) la quantità di acqua evaporata è risultata pari a 1.23 g . Si determini il coefficiente di diffusione del vapor d'acqua in aria.

diametro interno:	3 cm
altezza (L):	40 cm
pressione:	83.5 kPa
temperatura:	20°C
umidità corrente (Φ):	5%



Esercizio 6 – Dimensionamento di una parete refrattaria

La parete di un forno largo $L=3\text{ m}$ e alto $H=10\text{ m}$ deve essere rivestita con mattoni isolanti di conduttività termica $k = 0.50\text{ W/m/K}$. Sapendo che la temperatura massima della parete di mattoni dal lato del forno è di $T_1=400\text{ °C}$, calcolare lo spessore di mattoni per garantire una temperatura della superficie esterna pari a 100 °C . Considerare l'aria esterna a una temperatura di 30 °C e due diverse condizioni di vento: nullo e pari a 10 m/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 W/m/K ; calore specifico 1.010 kJ/kg/K .

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

Esercizio 7 – Riscaldamento/raffreddamento acqua

Un recipiente metallico, chiuso e sferico del diametro $D=8\text{ cm}$ e perfettamente miscelato contiene acqua alla temperatura di 25 °C . A partire dal tempo $t=0$ il recipiente viene coibentato in modo da renderlo completamente adiabatico e viene attivata una resistenza elettrica che genera una potenza termica $Q=1000\text{ W}$.

a) Dopo quanto tempo la temperatura dell'acqua raggiunge i 50 °C ?

b) Una volta raggiunta la temperatura di 50 °C , viene rimossa la coibentatura e la resistenza elettrica viene spenta. La superficie esterna del recipiente è esposta all'aria a $T=25\text{ °C}$ e il calore è rimosso con l'ausilio di un ventilatore che imprime all'aria una velocità di 10 m/s . In quanto tempo la temperatura dell'acqua scende a 30 °C ?

Proprietà

Acqua: densità 1 g/cm^3 ; calore specifico 4.186 kJ/kg/K .

Aria: viscosità $1.8 \cdot 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$; conducibilità 0.025 W/m/K ; calore specifico 1010 J/kg/K