

Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2013-2014

Cognome	Nome	Matricola	Firma
E-mail:			

Problema 1. Dall'alto delle mura di una città assediata viene lanciato olio bollente contro gli assediati. Una goccia di olio sferica, di diametro D e temperatura T_0 , cade dunque in aria a pressione atmosferica e alla temperatura T_a , da una altezza H . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera;
2. Il coefficiente di scambio termico tra superficie della sfera e aria, e il relativo flusso termico, in condizioni iniziali (trascurando il transitorio di trasporto di quantità di moto);
3. La temperatura della goccia quando raggiunge il suolo (assumendo per i parametri fisici i loro valori iniziali).

Dati. $D = 0.5$ cm, $T_0 = 200^\circ\text{C}$, $T_a = 15^\circ\text{C}$, $H = 30$ m, $\rho_{olio} = 800$ kg/m³, $\hat{C}_{P_{olio}} = 2.2$ KJ/(kg·K).

Problema 2. Una sottile lastra quadrata di materiale plastico (di spessore $2x_1$ e di lato L), inizialmente imbevuta di un solvente A a concentrazione C_{A0}^{SOL} , è esposta ad una corrente di aria pura a temperatura T_{air} , che scorre tangenzialmente alla superficie della lastra, ad una velocità v_{air} . La diffusione del solvente nella lastra è descritta dal coefficiente di diffusione $D_{A,P}$, mentre la diffusione del solvente in aria è descritta dal coefficiente di diffusione $D_{A,air}$. Tra la concentrazione del solvente nella lastra e la concentrazione del solvente in aria sussiste la relazione di equilibrio $C_A^{SOL} = m_{eq} C_A^{air}$. Calcolare:

1. Il numero di Sherwood per il sistema e il coefficiente di scambio di materia, k_C ;
2. Il numero di Biot di materia per il sistema, e chiarire se il processo di evaporazione del solvente va descritto a parametri concentrati o a parametri distribuiti;
3. La concentrazione di solvente sul piano mediano della lastra dopo un tempo t_E .

Dati. $x_1 = 1$ cm, $L = 1$ m, $C_{A0}^{SOL} = 1$ mol/m³, $T_{air} = 20^\circ\text{C}$, $v_{air} = 10$ m/s, $D_{A,P} = 1.0 \cdot 10^{-7}$ m²/s,

$D_{A,air} = 2.1 \cdot 10^{-5}$ m²/s, $m_{eq} = 10^{-4}$, $t_E = 33$ minuti.

Istruzioni: compilare innanzitutto con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte utilizzare solo questo foglio.

Prova scritta - 17 febbraio 2015



Problema 1. Dall'alto delle mura di una città assediata viene lanciato olio bollente contro gli assediati. Una goccia di olio sferica, di diametro D e temperatura T_0 , cade dunque in aria a pressione atmosferica e alla temperatura T_a , da una altezza H . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera;
2. Il coefficiente di scambio termico tra superficie della sfera e aria, e il relativo flusso termico, in condizioni iniziali (trascurando il transitorio di trasporto di quantità di moto);
3. La temperatura della goccia quando raggiunge il suolo (assumendo per i parametri fisici i loro valori iniziali).

Dati. $D = 0.5 \text{ cm}$, $T_0 = 200^\circ\text{C}$, $T_a = 15^\circ\text{C}$, $H = 30 \text{ m}$, $\rho_{olio} = 800 \text{ kg/m}^3$, $\hat{C}_{p,olio} = 2.2 \text{ KJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

$$D := 0.5 \cdot \text{cm} \quad T_a := 15^\circ\text{C} \quad T_0 := 200^\circ\text{C} \quad \hat{C}_{p,olio} := 2.2 \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad \rho_{olio} := 800 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T_f := \frac{T_a + T_0}{2} = 107.5^\circ\text{C}$$

$$H := 30 \cdot \text{m}$$

$$C := \frac{D}{\nu_A(T_f)} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot D \cdot g \cdot \frac{\rho_O - \rho_A(T_f)}{\rho_A(T_f)}} = 1.568 \times 10^3$$

$$P := 1 \cdot \text{bar} \quad P_O := 0.001 \cdot \text{bar}$$

$$f_1(N_{Re}) := C^2 \cdot N_{Re}^{-2} \quad x := -2, -1.99..6$$

$$N_{Re} := 1000$$

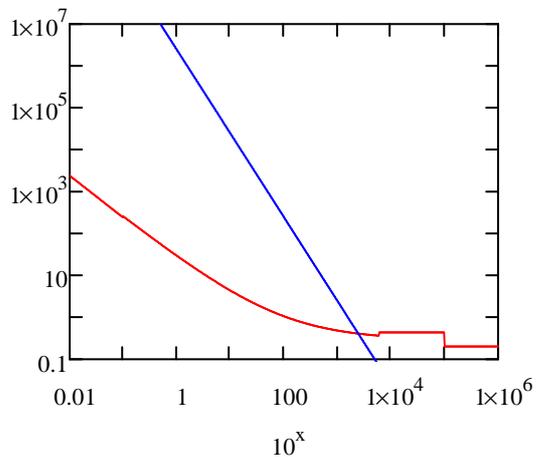
Given

$$f_1(N_{Re}) = f_s(N_{Re})$$

$$N_{Re} := \text{Minerr}(N_{Re}) = 2.452 \times 10^3$$

$$f_s(N_{Re}) = 0.409$$

$$v_{inf} := \frac{N_{Re} \cdot \mu_A(T_f)}{D \cdot \rho_A(T_f)} = 11.623 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$N_{Nu} := 2 + 0.6 \cdot N_{Re}^{0.5} \cdot N_{Pr,A}(T_f)^{0.33} = 28.444$$

$$h := \frac{N_{Nu} \cdot k_A(T_f)}{D} = 180.813 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q := h \cdot (T_0 - T_a) = 33.45 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

calore che va dall'olio all'aria $q \cdot \pi \cdot D^2 = 2.627 \text{ W}$

Bilancio di energia sulla goccia

$$\frac{\pi \cdot D^3}{6} \cdot \rho_O \cdot C_{p,O} \cdot \frac{dT(t)}{dt} = -h \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (T(t) - T_a) \quad T(0) = T_0$$

ovvero

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\frac{1}{\tau} \cdot (T(t) - T_a)$$

$$\tau := \frac{\rho_O \cdot C_{p,O} \cdot D}{6 \cdot h} = 8.112 \text{ s}$$

$$\ln\left(\frac{T(t)}{T_0}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad \text{o}$$

$$T(t) := T_0 \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Il tempo della caduta (trascurando il transitorio di trasporto di quantità di moto)

$$t_{cad} := \frac{H}{v_{inf}} = 2.581 \text{ s}$$

$$T(t_{cad}) = 71.042^\circ\text{C}$$

Problema 2. Una sottile lastra quadrata di materiale plastico (di spessore $2x_1$ e di lato L), inizialmente imbevuta di un solvente A a concentrazione C_{A0}^{SOL} , è esposta ad una corrente di aria pura a temperatura T_{air} , che scorre tangenzialmente alla superficie della lastra, ad una velocità v_{air} . La diffusione del solvente nella lastra è descritta dal coefficiente di diffusione $D_{A,P}$, mentre la diffusione del solvente in aria è descritta dal coefficiente di diffusione $D_{A,air}$. Tra la concentrazione del solvente nella lastra e la concentrazione del solvente in aria sussiste la relazione di equilibrio $C_A^{SOL} = m_{eq} C_A^{air}$. Calcolare:

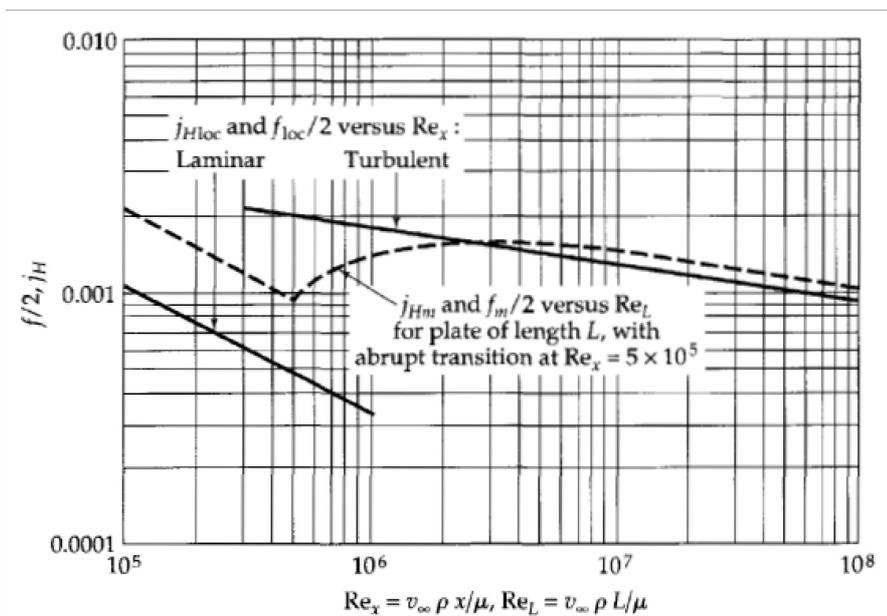
1. Il numero di Sherwood per il sistema e il coefficiente di scambio di materia, k_c ;
2. Il numero di Biot di materia per il sistema, e chiarire se il processo di evaporazione del solvente va descritto a parametri concentrati o a parametri distribuiti;
3. La concentrazione di solvente sul piano mediano della lastra dopo un tempo t_E .

Dati. $x_1 = 1 \text{ cm}$, $L = 1 \text{ m}$, $C_{A0}^{SOL} = 1 \text{ mol/m}^3$, $T_{air} = 20^\circ\text{C}$, $v_{air} = 10 \text{ m/s}$, $D_{A,P} = 1.0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $D_{A,air} = 2.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $m_{eq} = 10^{-4}$, $t_E = 33 \text{ minuti}$.

$$x_1 := 1 \cdot \text{cm} \quad t_E := 33 \cdot \text{min} \quad L := 1 \cdot \text{m} \quad T_{air} := 20^\circ\text{C}$$

$$m_{eq} := 10^{-4} \quad D_{A,P} := 1.0 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad D_{A,air} := 2.1 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad v_{air} := 10 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad C_{A0.SOL} := 1 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$j_D(N_{Re}, N_{Sc}) := 0.664 \cdot N_{Re}^{-0.5} + \text{if} \left[5 \cdot 10^5 < N_{Re} < 1 \cdot 10^8, \left[1 - \left(\frac{5 \cdot 10^5}{N_{Re}} \right)^{0.8} \right] \cdot 0.036 \cdot \left(\frac{1}{N_{Re}^{0.2}} \right) \cdot N_{Sc}^{0.1}, 0 \right]$$



$$N_{Re} := \frac{v_{air} \cdot L}{\nu_A(T_{air})} = 6.656 \times 10^5$$

$$N_{Sc} := \frac{\nu_A(T_{air})}{D_{A,air}} = 0.715$$

$$j_D(N_{Re}, N_{Sc}) = 1.301 \times 10^{-3}$$

$$N_{Sh} := j_D(N_{Re}, N_{Sc}) \cdot N_{Re} \cdot N_{Sc}^{\frac{1}{3}}$$

$$N_{Sh} = 774.647$$

$$k_c := \frac{N_{Sh} \cdot D_{A,air}}{L} = 0.016 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

flusso interno $D_{A,P} \frac{\Delta C_{A.SOL}}{x_1} = D_{A,P} \frac{m \cdot \Delta C_{A,air}}{x_1} = k_c \cdot \Delta C_{A,air}$

flusso esterno

$$N_{Bi.m} := \frac{k_c \cdot x_1}{D_{A,P} \cdot m_{eq}} = 1.627 \times 10^7$$

Analisi a parametri distribuiti

$$X_E := \frac{D_{A,P} \cdot t_E}{x_1^2} = 1.98$$

$$m := \frac{D_{A,P} \cdot m_{eq}}{k_c \cdot x_1} = 6.147 \times 10^{-8}$$

piano mediano $n := 0$

Dal nomogramma per la lastra

$$Y := 0.01$$

$$C_{A^{\circ}} := C_{A0.SOL} \cdot Y = 0.01 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$