

**Principi di Ingegneria Chimica**  
**Anno Accademico 2014-2015**

Cognome	Nome	Matricola	Firma
<b>E-mail:</b>			

**Problema 1.** Una sferetta di diametro  $D$ , densità  $\rho$ , calore specifico  $\hat{C}_p$ , conducibilità termica  $k$  e temperatura iniziale  $T_0$ , cade in aria a temperatura  $T_a$ . Determinare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera,
2. Il coefficiente di scambio termico per convezione,
3. La temperatura al centro della sfera dopo un tempo  $t_1$ .

Considerare la temperatura di film costante sul suo valore iniziale.

**Dati.**  $D = 0.2$  cm,  $\rho = 1200$  kg/m<sup>3</sup>,  $\hat{C}_p = 2.5$  kJ/(kg·K),  $k = 0.1$  W/(mK),  $T_0 = 200^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_1 = 5$  s.

**Problema 2.** Un fluido di densità  $\rho$  e viscosità  $\mu$  viene spinto in un tubo liscio orizzontale di diametro interno  $d$  e lunghezza  $L$ , mediante una pompa di efficienza  $\eta$ . In queste condizioni, la pompa fornisce una potenza specifica  $\hat{W}$ , ai capi del tubo si osserva una differenza di pressione  $\Delta P$ , e nel tubo si realizza una portata volumetrica  $\dot{V}$ .

1. Calcolare la viscosità del fluido.

Successivamente, lo stesso fluido viene trasferito, con la stessa pompa e lo stesso tubo però disposto in verticale, tra due ambienti entrambi alla stessa pressione. In questa nuova configurazione, calcolare:

2. la portata del fluido nel tubo,
3. la potenza specifica fornita dalla pompa al fluido.

**Dati.**  $\rho = 1000$  kg/m<sup>3</sup>,  $d = 5$  cm,  $L = 20$  m,  $\eta = 75\%$ ,  $\hat{W} = -530$  J/kg,  $\Delta P = 5$  bar,  $\dot{V} = 3$  litri/s.

---

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

**Prova scritta - 21 aprile 2015**



**Problema 1.** Una sferetta di diametro  $D$ , densità  $\rho$ , calore specifico  $\hat{C}_P$ , conducibilità termica  $k$  e temperatura iniziale  $T_0$ , cade in aria a temperatura  $T_a$ . Determinare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera,
2. Il coefficiente di scambio termico per convezione,
3. La temperatura al centro della sfera dopo un tempo  $t_1$ .

Considerare la temperatura di film costante sul suo valore iniziale.

**Dati.**  $D = 0.2 \text{ cm}$ ,  $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$ ,  $\hat{C}_P = 2.5 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,  $k = 0.1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,  $T_0 = 200^\circ\text{C}$ ,  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ,  $t_1 = 5 \text{ s}$ .

$$D := 0.2\text{cm} \quad \rho := 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad C_P := 2.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad k := 0.1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \quad T_0 := 200^\circ\text{C} \quad T_a := 20^\circ\text{C} \quad t_1 := 10\text{s}$$

$$T_{\text{film}} := \frac{T_a + T_0}{2} = 110^\circ\text{C} \quad \rho_{\text{aria}} := \rho_A(T_{\text{film}}) = 0.925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_{\text{aria}} := \mu_A(T_{\text{film}}) = 2.219 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$$

$$C_{P,\text{aria}} := C_{P,A}(T_{\text{film}}) = 1.011 \frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}} \quad k_A(T_{\text{film}}) = 0.032 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$C := \frac{D \cdot \rho_{\text{aria}}}{\mu_{\text{aria}}} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot D \cdot g \cdot \frac{\rho - \rho_{\text{aria}}}{\rho_{\text{aria}}}} = 485.484$$

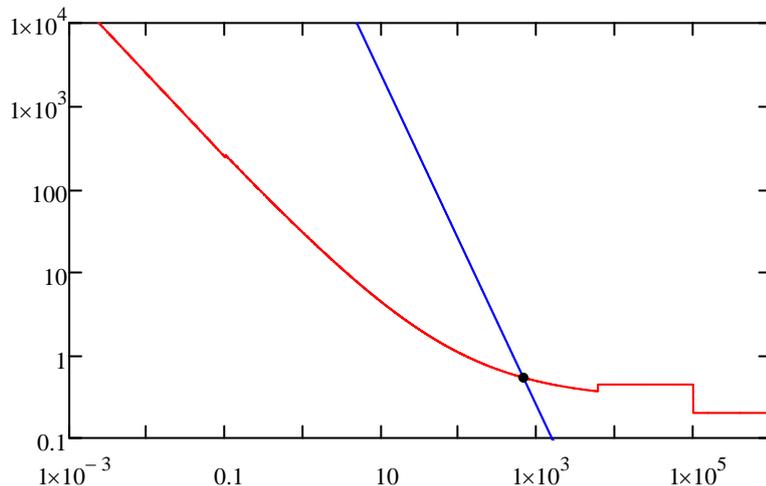
$$f_1(N_{\text{Re}}) := C^2 \cdot N_{\text{Re}}^{-2} \quad f_1(100) = 23.569 \quad f_1(1000) = 0.236$$

$$N_{\text{Re}} := 100 \quad \text{Given} \quad f_1(N_{\text{Re}}) = f_s(N_{\text{Re}}) \quad N_{\text{Re}} := \text{Minerr}(N_{\text{Re}})$$

$$N_{\text{Re}} = 664.348 \quad f_s(N_{\text{Re}}) = 0.534 \quad v_{\text{inf}} := \frac{N_{\text{Re}} \cdot \mu_{\text{aria}}}{D \cdot \rho_{\text{aria}}}$$

$$v_{\text{inf}} = 7.965 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$|N_{\text{Re}}| := -3, -2.999..6$$



$$N_{\text{Pr}} := N_{\text{Pr},A}(T_{\text{film}}) = 0.703$$

$$N_{\text{Nu}} := 2 + 0.6 \cdot N_{\text{Re}}^{0.5} \cdot N_{\text{Pr}}^{0.33} = 15.764$$

$$h := \frac{N_{\text{Nu}} \cdot k_A(T_{\text{film}})}{D} = 251.868 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$N_{\text{Bi}} := \frac{h \cdot D}{k} = 5.037$$

Parametri concentrati

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot D^3}{6} \cdot C_P \cdot \frac{dT(t)}{dt} = -h \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (T(t) - T_a)$$

$$T(0) = T_0 \quad \tau := \left( \frac{6 \cdot h}{\rho \cdot C_P \cdot D} \right)^{-1} = 3.97 \text{ s}$$

$$\frac{dT(t)}{T(t) - T_a} = -\frac{6 \cdot h}{\rho \cdot C_P \cdot D} \cdot dt = -\frac{dt}{\tau} \quad \ln\left(\frac{T(t) - T_a}{T_0 - T_a}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad T(t) := T_a + (T_0 - T_a) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad T(t_1) = 34.502^\circ\text{C}$$

**Problema 2.** Un fluido di densità  $\rho$  e viscosità  $\mu$  viene spinto in un tubo liscio orizzontale di diametro interno  $d$  e lunghezza  $L$ , mediante una pompa di efficienza  $\eta$ . In queste condizioni, la pompa fornisce una potenza specifica  $\widehat{W}$ , ai capi del tubo si osserva una differenza di pressione  $\Delta P$ , e nel tubo si realizza una portata volumetrica  $\dot{V}$ .

1. Calcolare la viscosità del fluido.

Successivamente, lo stesso fluido viene trasferito, con la stessa pompa e lo stesso tubo però disposto in verticale, tra due ambienti entrambi alla stessa pressione. In questa nuova configurazione, calcolare:

2. la portata del fluido nel tubo,

3. la potenza specifica fornita dalla pompa al fluido.

**Dati.**  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $d = 5 \text{ cm}$ ,  $L = 20 \text{ m}$ ,  $\eta = 75\%$ ,  $\widehat{W} = -530 \text{ J/kg}$ ,  $\Delta P = 5 \text{ bar}$ ,  $\dot{V} = 3 \text{ litri/s}$ .

$$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad d := 5 \cdot \text{cm} \quad L := 20 \cdot \text{m} \quad \eta := 75\% \quad W_s := -530 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad \Delta P := 5 \cdot \text{bar} \quad V_p := 3 \cdot \frac{\text{liter}}{\text{s}}$$

$$\frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{P_2}{\rho} + W_s + E_v \implies \frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + W_s + E_v \quad E_v := \frac{-\Delta P}{\rho} - W_s = 30 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$E_v = 4 \cdot f \cdot \frac{L}{d} \cdot v^2 \quad v := \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot d^2} = 1.528 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad f_{\text{tubo}} := \frac{E_v \cdot d}{4 \cdot L \cdot v^2} = 8.032 \times 10^{-3}$$

$$N_{Re} := 10^5 \quad \text{Given} \quad f_{\text{tubo}} = f(N_{Re}, 0) \quad N_{Re} := \text{Minerr}(N_{Re}) = 8.676 \times 10^3 \quad \mu := \frac{v \cdot d \cdot \rho}{N_{Re}} = 8.805 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

la potenza della pompa è (dal quesito 1)  $W_{\text{pompa}} := \frac{W_s \cdot \rho \cdot V_p}{\eta} = -2.12 \times 10^3 \text{ W}$  (negativa perché fornita AL fluido)

$$\Delta h := L \quad \Delta P := 0 \quad -g \cdot \Delta h = \frac{\eta \cdot W_{\text{pompa}}}{\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v} + 4 \cdot f \left( \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) \cdot \frac{L}{d} \cdot v^2$$

$$\Delta h = h_2 - h_1$$

$$v := 1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Given} \quad -g \cdot \Delta h = \frac{\eta \cdot W_{\text{pompa}}}{\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v} + 4 \cdot f \left( \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) \cdot \frac{L}{d} \cdot v^2 \quad v := \text{Minerr}(v) = 2.848 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_p := \frac{\pi d^2}{4} \cdot v = 5.592 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$-g \cdot \Delta h = -196.133 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad 4 \cdot f \left( \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) \cdot \frac{L}{d} \cdot v^2 = 88.185 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = 1.617 \times 10^4 \quad f \left( \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) = 6.794 \times 10^{-3}$$

$$W_s := \frac{\eta \cdot W_{\text{pompa}}}{\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v} = -284.318 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$