

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

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

**Problema 1.** Per una autovettura di sezione frontale  $A$  e lunghezza caratteristica  $\sqrt{A}$  che viaggia in piano, il fattore di attrito è ben descritto dalla relazione  $f = a \cdot N_{Re}^{-b}$ , con  $N_{Re} = v\sqrt{A}/v_{air}$ . Per le due velocità  $v_1$  e  $v_2$  l'autovettura richiede come potenza necessaria a vincere l'attrito con l'aria rispettivamente  $P_1$  e  $P_2$ . Gli esperimenti sono condotti in aria alla temperatura  $T_A$ .

1. Calcolare i coefficienti  $a$  e  $b$  dell'equazione;
2. Calcolare la potenza necessaria a vincere l'attrito con l'aria quando l'autovettura viaggia alla velocità  $v_3$ ;
3. Ammettendo valida la correlazione di Colburn, calcolare il flusso termico per convezione dall'autovettura all'aria. La temperatura superficiale dell'autovettura sia  $T_s$ .

**Dati.**  $A = 4 \text{ m}^2$ ;  $v_1 = 100 \text{ km/h}$ ;  $P_1 = 17 \text{ kW}$ ;  $v_2 = 200 \text{ km/h}$ ;  $P_2 = 130 \text{ kW}$ ;  $v_3 = 150 \text{ km/h}$ ;

$T_A = 20^\circ\text{C}$ ;  $T_s = 30^\circ\text{C}$ .

**Problema 2.** Un termometro ha per elemento sensibile un bulbo sferico di diametro  $D$ . Esposto ad una corrente di aria di umidità relativa  $UR$  che lo investe con velocità  $v$ , misura una temperatura di bulbo secco (cioè mantenendo il bulbo asciutto) pari a  $T_0$ . La pressione è quella atmosferica.

1. Calcolare la temperatura di bulbo umido (cioè la temperatura che si misura quando il bulbo viene mantenuto bagnato);
2. Se il flusso di calore scambiato tra termometro e aria durante la misura a bulbo umido è  $q$ , calcolare i coefficienti di scambio di calore e materia interfase (rispettivamente,  $h$  e  $k_x$ ), e il flusso di acqua che evapora dalla superficie del bulbo;
3. Calcolare la velocità dell'aria (nella correlazione, per alti valori della velocità, si può trascurare il termine costante additivo).

**Dati.**  $D = 2 \text{ cm}$ ;  $UR = 25\%$ ;  $T_0 = 45^\circ\text{C}$ ;  $q = 2 \text{ kW/m}^2$ .

---

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

**Prova scritta - 21 luglio 2015**



**Problema 1.** Per una autovettura di sezione frontale  $A$  e lunghezza caratteristica  $\sqrt{A}$  che viaggia in piano, il fattore di attrito è ben descritto dalla relazione  $f = a \cdot N_{Re}^{-b}$ , con  $N_{Re} = v\sqrt{A}/\nu_{air}$ . Per le due velocità  $v_1$  e  $v_2$  l'autovettura richiede come potenza necessaria a vincere l'attrito con l'aria rispettivamente  $P_1$  e  $P_2$ . Gli esperimenti sono condotti in aria alla temperatura  $T_A$ .

1. Calcolare i coefficienti  $a$  e  $b$  dell'equazione;
2. Calcolare la potenza necessaria a vincere l'attrito con l'aria quando l'autovettura viaggia alla velocità  $v_3$ ;
3. Ammettendo valida la correlazione di Colburn, calcolare il flusso termico per convezione dall'autovettura all'aria. La temperatura superficiale dell'autovettura sia  $T_s$ .

**Dati.**  $A = 4 \text{ m}^2$ ;  $v_1 = 100 \text{ km/h}$ ;  $P_1 = 17 \text{ kW}$ ;  $v_2 = 200 \text{ km/h}$ ;  $P_2 = 130 \text{ kW}$ ;  $v_3 = 150 \text{ km/h}$ ;  
 $T_A = 20^\circ\text{C}$ ;  $T_s = 30^\circ\text{C}$ .

$$\begin{aligned} v_1 &:= 100 \frac{\text{km}}{\text{hr}} & P_1 &:= 17 \text{ kW} & v_2 &:= 200 \frac{\text{km}}{\text{hr}} & P_2 &:= 130 \text{ kW} & A &:= 4 \cdot \text{m}^2 & v_3 &:= 150 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \\ & & & & & & & & T_A &:= 20^\circ\text{C} & T_s &:= 30^\circ\text{C} \\ f_1 &:= \frac{P_1}{\left(\frac{\rho_A(T_A) \cdot v_1^2}{2} \cdot A \cdot v_1\right)} = 0.328 & f_2 &:= \frac{P_2}{\left(\frac{\rho_A(T_A) \cdot v_2^2}{2} \cdot A \cdot v_2\right)} = 0.313 & \rho_A(T_A) &= 1.209 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ & & & & \nu_A(T_A) &= 1.502 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$N_{Re.1} := \frac{v_1 \cdot \sqrt{A}}{\nu_A(T_A)} = 3.698 \times 10^6 \quad N_{Re.2} := \frac{v_2 \cdot \sqrt{A}}{\nu_A(T_A)} = 7.395 \times 10^6 \quad T_f := \frac{T_A + T_s}{2} = 25^\circ\text{C}$$

$$f_1 = a \cdot (N_{Re.1})^{-n} \quad f_2 = a \cdot (N_{Re.2})^{-n} \quad \frac{f_1}{f_2} = \left(\frac{N_{Re.1}}{N_{Re.2}}\right)^{-n}$$

$$b := -\frac{\ln\left(\frac{f_1}{f_2}\right)}{\ln\left(\frac{N_{Re.1}}{N_{Re.2}}\right)} = 0.065$$

$$a := \frac{f_1}{\left(\frac{v_1 \cdot \sqrt{A}}{\nu_A(T_A)}\right)^{-b}} = 0.878$$

$$N_{Re.3} := \frac{v_3 \cdot \sqrt{A}}{\nu_A(T_A)} = 5.546 \times 10^6 \quad f_3 := a \cdot (N_{Re.3})^{-b} = 0.319$$

$$P_3 := f_3 \cdot \frac{\rho_A(T_A) \cdot v_3^2}{2} \cdot A \cdot v_3 = 55.88 \text{ kW} \quad N_{Pr.A}(T_f) = 0.713$$

$$j_H := \frac{f_3}{2} = 0.16 \quad N_{Nu} := j_H \cdot N_{Re.3} \cdot N_{Pr.A}(T_f)^{0.33} = 7.922 \times 10^5 \quad h := N_{Nu} \cdot \frac{k_A(T_f)}{\sqrt{A}} = 1.028 \times 10^4 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$q := h \cdot (T_s - T_A) = 102.797 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

**Problema 2.** Un termometro ha per elemento sensibile un bulbo sferico di diametro  $D$ . Esposto ad una corrente di aria di umidità relativa  $UR$  che lo investe con velocità  $v$ , misura una temperatura di bulbo secco (cioè mantenendo il bulbo asciutto) pari a  $T_0$ . La pressione è quella atmosferica.

1. Calcolare la temperatura di bulbo umido (cioè la temperatura che si misura quando il bulbo viene mantenuto bagnato);
2. Se il flusso di calore scambiato tra termometro e aria durante la misura a bulbo umido è  $q$ , calcolare i coefficienti di scambio di calore e materia interfase (rispettivamente,  $h$  e  $k_x$ ), e il flusso di acqua che evapora dalla superficie del bulbo;
3. Calcolare la velocità dell'aria (nella correlazione, per alti valori della velocità, si può trascurare il termine costante additivo).

**Dati.**  $D = 2 \text{ cm}$ ;  $UR = 25\%$ ;  $T_0 = 45^\circ\text{C}$ ;  $q = 2 \text{ kW/m}^2$ .

$$D_{AB}(T) := 1.87 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{2.072}$$

$$\Delta H(T) := 2257 \cdot \frac{\text{J}}{\text{gm}} \cdot 18 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mol}} \cdot \left(\frac{647.1 \cdot \text{K} - T}{374 \cdot \text{K}}\right)^{3.8}$$

$$T_0 := 45^\circ\text{C}$$

$$P := 1 \cdot \text{atm}$$

$$UR := 25\% \quad x_{A0} := \frac{UR \cdot P_{\text{sat.w}}(T_0)}{P} = 0.024$$

$$q_w := 2 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

$$D := 2 \cdot \text{cm}$$

Bilancio di energia sul bulbo:  
convezione + evaporazione = 0

$$h \cdot (T_0 - T_w) - k_x \cdot \frac{x_{Aw} - x_{A0}}{1 - x_{Aw}} \cdot \Delta H = 0$$

$$\frac{h}{k_x} = \kappa = \frac{k_A(T_f)}{c \cdot D_{AB}(T_f)} \cdot \left(\frac{D_{AB}(T_f)}{\alpha_A(T_f)}\right)^{0.33}$$

$$\frac{h}{k_x} \cdot (T_0 - T_w) = \frac{x_{Aw} - x_{A0}}{1 - x_{Aw}} \cdot \Delta H$$

$$T_w := 20^\circ\text{C}$$

$$T_f = \frac{T_0 + T_w}{2}$$

$$c = \frac{P}{R \cdot T_f}$$

$$x_{Aw} = \frac{P_{\text{sat.w}}(T_w)}{P}$$

Given

$$\frac{\frac{k_A\left(\frac{T_0 + T_w}{2}\right)}{\frac{P}{R \cdot \frac{T_0 + T_w}{2}} \cdot D_{AB}\left(\frac{T_0 + T_w}{2}\right)} \cdot \left(\frac{D_{AB}\left(\frac{T_0 + T_w}{2}\right)}{\alpha_A\left(\frac{T_0 + T_w}{2}\right)}\right)^{0.33} \cdot (T_0 - T_w) = \frac{\frac{P_{\text{sat.w}}(T_w)}{P} - x_{A0}}{1 - \frac{P_{\text{sat.w}}(T_w)}{P}} \cdot \Delta H(T_w)$$

$$T_{ww} := \text{Minerr}(T_w) = 26.995^\circ\text{C}$$

$$T_f := \frac{T_0 + T_w}{2} = 35.997^\circ\text{C}$$

$$\Delta T := T_0 - T_w = 18.005 \text{ K}$$

$$\kappa := \frac{k_A(T_f)}{\frac{P}{R \cdot T_f} \cdot D_{AB}(T_f)} \cdot \left(\frac{D_{AB}(T_f)}{\alpha_A(T_f)}\right)^{0.33} = 26.407 \cdot \frac{\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}{\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}$$

$$\Delta x := \frac{\frac{P_{\text{sat.w}}(T_w)}{P} - x_{A0}}{1 - \frac{P_{\text{sat.w}}(T_w)}{P}} = 0.012$$

$$h_w := \frac{q}{\Delta T} = 111.079 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$k_x := \frac{h}{\kappa} = 4.206 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$N_w := \frac{q}{\Delta H(T_w)} = 0.051 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$k_x \cdot \Delta x = 0.051 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$N_{Nu} := \frac{h \cdot D}{k_A(T_f)} = 83.08$$

$$N_{Re} := \left(\frac{N_{Nu}}{0.6 \cdot N_{Pr,A}(T_f)^{0.33}}\right)^2 = 2.397 \times 10^4$$

$$v := N_{Re} \cdot \frac{\nu_A(T_f)}{D} = 19.827 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Senza trascurare il termine costante

$$N_{Re} := \left(\frac{N_{Nu} - 2}{0.6 \cdot N_{Pr,A}(T_f)^{0.33}}\right)^2 = 2.283 \times 10^4$$

$$v := N_{Re} \cdot \frac{\nu_A(T_f)}{D} = 18.884 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$