

Principi di Ingegneria Chimica  
Anno Accademico 2010-2011

Cognome	Nome	Matricola	Firma

**Problema 1.** Un serbatoio cilindrico di diametro  $D_1$  è pieno fino ad un livello  $H_1$  di acqua. Al tempo 0 sul fondo viene prodotto un foro di diametro  $d$ , attraverso il quale il serbatoio si svuota. L'acqua viene raccolta in una pozza, cilindrica anch'essa, di diametro  $D_2$  nella quale si stabilisce un battente  $H_2$ . Se la pozza è esposta all'aria, a pressione  $P$ , temperatura  $T$  e umidità relativa  $U$ , calcolare:

1. Il tempo di svuotamento del serbatoio,
2. La portata di evaporazione dell'acqua dalla pozza (il coefficiente di scambio di materia sia  $k$ ),
3. Il tempo necessario affinché la pozza si prosciughi.

Dati:  $D_1 = 1$  m,  $H_1 = 2$  m,  $d = 5$  cm,  $D_2 = 10$  m,  $P = 1$  bar,  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $U = 40\%$ ,  $k = 10^{-2}$  m/s.

**Problema 2.** Una sferetta di materiale poroso, di diametro  $d$  e densità  $\rho_S$ , è carica di un reagente chimico A con una concentrazione iniziale  $C_{A0}^{(S)}$ . La sferetta è mantenuta in sospensione mediante un getto d'aria pura, a temperatura  $T$  e pressione  $P$ , diretto verso l'alto (l'aria è alla velocità terminale di caduta della sferetta, il sistema è noto come *letto fluido*). Il composto A diffonde dall'interno della sferetta verso l'aria esterna. I coefficienti di diffusione sono  $D_{AS}$  nel solido e  $D_{AG}$  nel gas. Tra la concentrazione in fase solida e la concentrazione in fase gas sussiste la relazione di equilibrio  $C_A^{(S)} = K C_A^{(G)}$ . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sferetta,
2. La portata iniziale di composto A che lascia la sferetta,

Determinare poi se il trasporto del composto A si può descrivere a parametri distribuiti o concentrati, e calcolare

3. dopo quanto tempo la concentrazione nella sfera (se è applicabile l'analisi a parametri concentrati) ovvero al centro della sfera (se è applicabile l'analisi a parametri distribuiti) si dimezza rispetto al valore iniziale.

Dati.  $d = 500$   $\mu\text{m}$ ,  $\rho_S = 1200$  kg/m<sup>3</sup>,  $C_{A0}^{(S)} = 25$  mol/m<sup>3</sup>,  $T = 30^\circ\text{C}$ ,  $P = 1$  bar,  $D_{AS} = 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s,  $D_{AG} = 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s,  $K = 10^5$ .

---

**Istruzioni:** compilare con i propri dati la parte alta di questo foglio; per le risposte ai problemi utilizzare tutte e sole le facciate di questo foglio.

Compito scritto – 19 luglio 2010



**Problema 1.** Un serbatoio cilindrico di diametro  $D_1$  è pieno fino ad un livello  $H_1$  di acqua. Al tempo 0 sul fondo viene prodotto un foro di diametro  $d$ , attraverso il quale il serbatoio si svuota. L'acqua viene raccolta in una pozza, cilindrica anch'essa, di diametro  $D_2$  nella quale si stabilisce un battente  $H_2$ . Se la pozza è esposta all'aria, a pressione  $P$ , temperatura  $T$  e umidità relativa  $U$ , calcolare:

1. Il tempo di svuotamento del serbatoio,
2. La portata di evaporazione dell'acqua dalla pozza (il coefficiente di scambio di materia sia  $k$ ),
3. Il tempo necessario affinché la pozza si prosciughi.

Dati:  $D_1 = 1$  m,  $H_1 = 2$  m,  $d = 5$  cm,  $D_2 = 10$  m,  $P = 1$  bar,  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $U = 40\%$ ,  $k = 10^{-2}$  m/s.

$$D_1 := 1 \cdot \text{m} \quad H_1 := 2 \cdot \text{m} \quad d := 5 \cdot \text{cm} \quad D_2 := 10 \cdot \text{m} \quad P := 1 \cdot \text{bar} \quad T_{\text{ww}} := 25^\circ\text{C} \quad U := 40\%$$

$$R_{\text{ww}} := 8.314 \cdot \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \quad k := 10^{-2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \sqrt{2 \cdot g \cdot H_1} = 6.263 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{KPa} := 10^3 \cdot \text{Pa}$$

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \left( \frac{dh}{dt} \right) = -\rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \frac{1}{2}$$

$$t^\circ := \left[ -\left( \frac{D_1}{d} \right)^2 \cdot \frac{2}{\sqrt{2 \cdot g}} \cdot \left( -H_1^{0.5} \right) \right] = 4.258 \text{ min} \quad t^\circ = 255.464 \text{ s}$$

$$h(0) = H_1$$

$$H_2 := H_1 \cdot \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 = 2 \cdot \text{cm}$$

$$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad A_{\text{ww}} := \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = 78.54 \text{ m}^2$$

$$M := 18 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{mol}} \quad C_{\text{ww}} := \frac{P}{R \cdot T} = 40.342 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{sat}}(T) := \exp\left(16.3872 - \frac{3885.70 \cdot \text{K}}{T - 42.98 \cdot \text{K}}\right) \cdot \text{KPa}; P_{\text{sat}}(T) = 3.188 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$y_A := \frac{P_{\text{sat}}(T)}{P} = 0.032 \quad y_{A,\text{inf}} := y_A \cdot U = 0.013$$

$$W_A := M \cdot A \cdot k \cdot C \cdot (y_A - y_{A,\text{inf}}) = 0.011 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$C \cdot y_A = 1.286 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad C \cdot y_{A,\text{inf}} = 0.514 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{W_A}{M} = 0.606 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot \left( \frac{dh}{dt} \right) = -W_A$$

$$h(t) - H_2 = -W_A \cdot \frac{4}{\rho \cdot \pi \cdot D_2^2} \cdot t$$

$$t_{\text{ww}}^\circ := \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot \frac{H_2}{W_A} = 40.001 \cdot \text{hr} \quad t^\circ = 1.667 \cdot \text{day}$$

$$t^\circ = 2.4 \times 10^3 \text{ min}$$

$$t^\circ = 1.44 \times 10^5 \text{ s}$$

**Problema 2.** Una sferetta di materiale poroso, di diametro  $d$  e densità  $\rho_s$ , è carica di un reagente chimico A con una concentrazione iniziale  $C_{A0}^{(S)}$ . La sferetta è mantenuta in sospensione mediante un getto d'aria pura, a temperatura  $T$  e pressione  $P$ , diretto verso l'alto (l'aria è alla velocità terminale di caduta della sferetta, il sistema è noto come letto fluido). Il composto A diffonde dall'interno della sferetta verso l'aria esterna. I coefficienti di diffusione sono  $D_{AS}$  nel solido e  $D_{AG}$  nel gas. Tra la concentrazione in fase solida e la concentrazione in fase gas sussiste la relazione di equilibrio  $C_A^{(S)} = K C_A^{(G)}$ . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sferetta,
2. La portata iniziale di composto A che lascia la sferetta,

Determinare poi se il trasporto del composto A si può descrivere a parametri distribuiti o concentrati, e calcolare

3. dopo quanto tempo la concentrazione nella sfera (se è applicabile l'analisi a parametri concentrati) ovvero al centro della sfera (se è applicabile l'analisi a parametri distribuiti) si dimezza rispetto al valore iniziale.

Dati.  $d = 500 \mu\text{m}$ ,  $\rho_s = 1200 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_{A0}^{(S)} = 25 \text{ mol/m}^3$ ,  $T = 30^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 \text{ bar}$ ,  $D_{AS} = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $D_{AG} = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K = 10^5$ .



$$d := 500 \cdot \text{micron} \quad \rho_s := 1200 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad T := 30^\circ\text{C} = 303.15 \text{ K} \quad P := 1 \cdot \text{bar}$$

$$\rho_A := \rho_A(T) = 1.166 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu := \mu_A(T) = 1.866 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

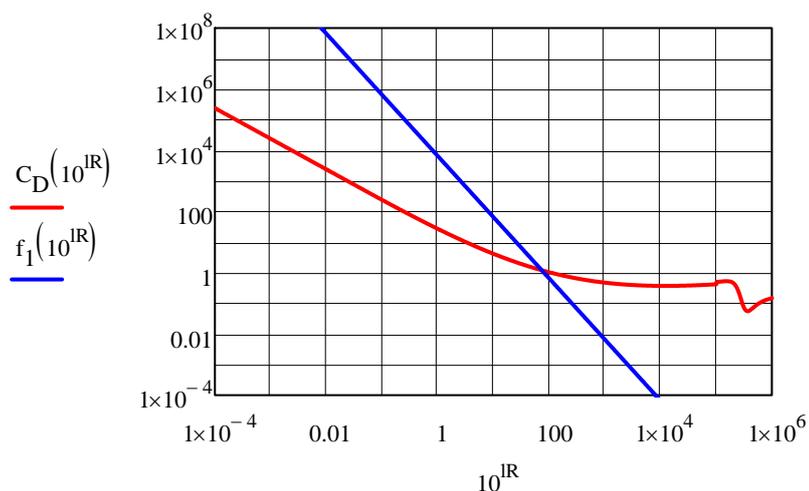
$$C := \frac{d \cdot \rho}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot d \cdot g \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} = 81.024 \quad v_{\text{Newton}} := \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d}{0.44} \cdot \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)} = 3.908 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f_1(\text{NRe}) := C^2 \cdot \text{NRe}^{-2} \quad \text{NRe} := v_{\text{Newton}} \cdot \frac{d \cdot \rho}{\mu} = 122.148 \quad f_1(\text{NRe}) = 0.44 \quad C_D(\text{NRe}) = 0.949$$

Given  $f_1(\text{NRe}) = C_D(\text{NRe})$   $\text{NRe}_{\text{Minerr}} := \text{Minerr}(\text{NRe}) = 73.65$

$$f_1(\text{NRe}) = 1.21 \quad C_D(\text{NRe}) = 1.21 \quad v := \frac{\text{NRe} \cdot \mu}{d \cdot \rho} = 2.356 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

IR := -4, -3.99 .. 6



$$D_{AS} := 10^{-10} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_{AG} := 10^{-7} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$K := 10^5 \quad A := 4 \cdot \pi \cdot \left( \frac{d}{2} \right)^2$$

$$C_{A0S} := 25 \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \quad V := \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left( \frac{d}{2} \right)^3$$

$$N_{Sc} := \frac{\nu_A(T)}{D_{AG}} = 160.03 \quad N_{Sh} := 2 + 0.6 \cdot N_{Re}^{0.5} \cdot N_{Sc}^{0.33} \quad N_{Sh} = 29.487 \quad k_c := \frac{D_{AG}}{d} \cdot N_{Sh} \quad k_c = 5.897 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$W_{A0} := A \cdot k_c \cdot \frac{C_{A0S}}{K} = 1.158 \times 10^{-12} \frac{mol}{s}$$

$$k_c \cdot \frac{C_{A0S}}{K} = 1.474 \times 10^{-6} \frac{mol}{m^2 \cdot s}$$

$$N_{Bi.mat} := \frac{k_c}{\frac{K \cdot D_{AS}}{d}} = 0.295$$

Parametri concentrati

$$V \cdot \left( \frac{d}{dt} C_{AS} \right) = -W_A = -A \cdot k_c \cdot (C_{AG} - C_{AGinf}) = -A \cdot k_c \cdot \frac{C_{AS}}{K}$$

$$\tau := \left( \frac{A \cdot k_c}{V \cdot K} \right)^{-1} = 1.413 \times 10^3 \text{ s}$$

$$C_{AS}(0) = C_{A0S}$$

$$\ln \left( \frac{C_{AS}}{C_{A0S}} \right) = -\frac{t}{\tau}$$

$$t_{\frac{1}{2}}^o := -\tau \cdot \ln \left( \frac{1}{2} \right) = 979.46 \text{ s}$$