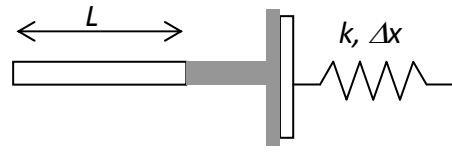


Principi di Ingegneria Chimica  
Anno Accademico 2009-2010

Cognome	Nome	Matricola	Firma

**Problema 1.** Un fluido, di densità  $\rho$  e viscosità  $\mu$ , viene fatto inviato attraverso una tubazione liscia a sezione quadrata di lato interno  $W$ , disposta orizzontalmente e lunga  $L$ . La perdita di carico osservata ai capi della tubazione sia  $\Delta P$ . Il getto di fluido uscente dalla tubazione impatta su una lastra metallica quadrata di lato  $W_2$ , connessa ad una molla di costante elastica  $k$ .



1. Calcolare la portata volumetrica di fluido che circola nella tubazione,
2. Calcolare la forza che il fluido esercita sulla lastra (trascurando gli effetti della gravità),
3. Calcolare la compressione  $\Delta x$  subita dalla molla.

Dati.  $W = 3$  cm,  $L = 10$  m,  $\Delta P = 10$  kPa,  $\mu = 0.002$  Pa·s,  $\rho = 1300$  kg/m<sup>3</sup>,  $W_2 = 3$  m,  $k = 30$  N/m.

**Problema 2.** Una lastra di una sostanza sublimante A (massa molecolare  $M_A$ , diffusività in aria  $D_{AB}$ , densità  $\rho_A$ ), quadrata di lato  $L$  e spessore iniziale  $s_0$ , è investita da aria pura a velocità  $v$ . Il sistema è isoterma alla temperatura  $T_0$ , e dopo un tempo  $\Delta t$  la lastra viene completamente consumata dall'aria.

1. Calcolare la tensione di sublimazione della sostanza A.

Un tubo cilindrico di diametro  $D$  e lunghezza  $L_2$  è ricoperto da uno strato sottile dello stesso materiale ed è alla temperatura  $T_0$ , mentre è investito da aria pura alla velocità  $v$ . Lo strato sottile, di spessore  $\delta$ , sublima completamente nel tempo  $\Delta t_2$ .

2. Calcolare il tempo necessario alla sublimazione della sostanza A dal tubo.

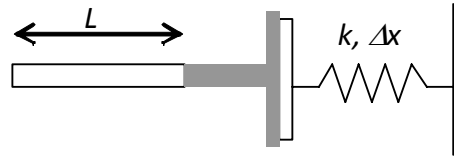
Dati.  $M_A = 0.9$  kg/mol,  $D_{AB} = 6 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $\rho_A = 2000$  kg/m<sup>3</sup>,  $L = 1$  m,  $s_0 = 1$  cm,  $v = 0.5$  m/s,  $T_0 = 280$  K,  $\Delta t = 48$  h,  $D = 10$  cm,  $L_2 = 2$  m,  $\delta = 100$   $\mu$ m.

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 – 1 aprile 2011



**Problema 1.** Un fluido, di densità  $\rho$  e viscosità  $\mu$ , viene fatto inviato attraverso una tubazione liscia a sezione quadrata di lato interno  $W$ , disposta orizzontalmente e lunga  $L$ . La perdita di carico osservata ai capi della tubazione sia  $\Delta P$ . Il



getto di fluido uscente dalla tubazione impatta su una lastra metallica quadrata di lato  $W_2$ , connessa ad una molla di costante elastica  $k$ .

1. Calcolare la portata volumetrica di fluido che circola nella tubazione,
2. Calcolare la forza che il fluido esercita sulla lastra,
3. Calcolare la compressione  $\Delta x$  subita dalla molla.

Dati.  $W = 3 \text{ cm}$ ,  $L = 10 \text{ m}$ ,  $\Delta P = 10 \text{ kPa}$ ,  $\mu = 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$ ,  $W_2 = 3 \text{ m}$ ,  $k = 30 \text{ N/m}$ .

$$\begin{aligned} L &:= 10\text{-m} & \Delta P &:= 10\text{-kPa} & \rho &:= 1300\cdot\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \mu &:= 0.002\cdot\text{Pa}\cdot\text{s} & W &:= 3\text{-cm} & R_h &:= \frac{W^2}{4\cdot W} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ m} \\ & & & & & & & & k &:= 30\cdot\frac{\text{N}}{\text{m}} \end{aligned}$$

$$v := 1\cdot\frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Given} \quad \frac{v^2}{2} \cdot \left( 1 + \frac{f\left(\frac{v\cdot 4\cdot R_h\cdot \rho}{\mu}, 0\right) \cdot L}{R_h} \right) = \frac{\Delta P}{\rho} \quad \underline{v} := \text{Minerr}(v) = 1.301 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

B di EM

$$V_p := W^2 \cdot v = 1.171 \cdot \frac{\text{liter}}{\text{s}}$$

$$N_{Re} := \frac{v\cdot 4\cdot R_h\cdot \rho}{\mu} = 2.536 \times 10^4 \quad f\left(\frac{v\cdot 4\cdot R_h\cdot \rho}{\mu}, 0\right) = 6.07 \times 10^{-3}$$

$$F_{f,s} := \rho \cdot v^2 \cdot W^2 = 1.979 \text{ N}$$

B di QdiM

$$\Delta x := \frac{F_{f,s}}{k} = 6.598 \cdot \text{cm}$$

**Problema 2.** Una lastra di una sostanza sublimante A (massa molecolare  $M_A$ , diffusività in aria  $D_{AB}$ , densità  $\rho_A$ ), quadrata di lato  $L$  e spessore iniziale  $s_0$ , è investita da aria pura a velocità  $v$ . Il sistema è isoterma alla temperatura  $T_0$ , e dopo un tempo  $\Delta t$  la lastra viene completamente consumata dall'aria.

1. Calcolare la tensione di sublimazione della sostanza A.

Un tubo cilindrico di diametro  $D$  e lunghezza  $L_2$  è ricoperto da uno strato sottile dello stesso materiale ed è alla temperatura  $T_0$ , mentre è investito da aria pura alla velocità  $v$ .

Lo strato sottile, di spessore  $\delta$ , sublima completamente nel tempo  $\Delta t_2$ .

2. Calcolare il tempo necessario alla sublimazione della sostanza A dal tubo.

Dati.  $M_A = 0.9 \text{ kg/mol}$ ,  $D_{AB} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\rho_A = 2000 \text{ kg/m}^3$ ,  $L = 1 \text{ m}$ ,  $s_0 = 1 \text{ cm}$ ,  $v = 0.5 \text{ m/s}$ ,

$T_0 = 280 \text{ K}$ ,  $\Delta t = 48 \text{ h}$ ,  $D = 10 \text{ cm}$ ,  $L_2 = 2 \text{ m}$ ,  $\delta = 100 \text{ }\mu\text{m}$ .

$$\begin{aligned} \underline{v} &:= 0.5 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} & \underline{s}_0 &:= 1 \cdot \text{cm} & \Delta t &:= 48 \cdot \text{hr} \\ \underline{L} &:= 1 \cdot \text{m} & T_0 &:= 280 \cdot \text{K} & D_{AB} &:= 6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \\ M_A &:= 0.900 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}} & \underline{\rho}_A &:= 2000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{N}_{Re} &:= \frac{v \cdot L}{\nu_A(T_0)} = 3.631 \times 10^4 & \underline{N}_{Sc} &:= \frac{\nu_A(T_0)}{D_{AB}} = 2.295 & \underline{N}_{Sh} &:= 2 \cdot 0.332 \cdot (\underline{N}_{Re})^{0.5} \cdot \underline{N}_{Sc}^{0.33} = 166.438 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} m_A(t) &= \rho \cdot L^2 \cdot \left( \frac{d}{dt} s(t) \right) = -w_A = -n_A \cdot A = -k_C \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} \cdot 2 \cdot L^2 & k_C &= \frac{D_{AB}}{L} \cdot \underline{N}_{Sh} \\ & \implies \frac{d}{dt} s(t) = \frac{-D_{AB} \cdot \underline{N}_{Sh}}{\rho \cdot L} \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} \cdot 2 = -B \end{aligned}$$

$$s(0) = s_0$$

$$s(t) = s_0 - B \cdot t \quad B = \frac{s_0}{\Delta t} \quad B := \frac{s_0}{\Delta t} = 5.787 \times 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{sat} := \frac{B \cdot L \cdot R \cdot T_0 \cdot \rho}{2 \cdot D_{AB} \cdot \underline{N}_{Sh} \cdot M_A} = 149.892 \cdot \text{Pa}$$

$$D := 10 \cdot \text{cm} \quad L_2 := 2 \cdot \text{m} \quad \delta_0 := 100 \mu\text{m}$$

$$N_{Sh} := \left[ 0.4 \cdot \left( \frac{v \cdot L}{\nu_A(T_0)} \right)^{0.5} + 0.06 \cdot \left( \frac{v \cdot L}{\nu_A(T_0)} \right)^{0.67} \right] \cdot \left( \frac{\nu_A(T_0)}{D_{AB}} \right)^{0.4} = 201.261$$

Derivata della  
massa del  
ricoprimento

$$\frac{d}{dt} \left[ \rho \cdot \frac{\pi \cdot [(D + \delta)^2 - D^2]}{4} \cdot L_2 \right] = \rho \cdot \frac{\pi \cdot L_2}{4} \cdot \left[ \frac{d}{dt} (D^2 + 2 \cdot \delta \cdot D + \delta^2 - D \cdot 2) \right] = \rho \cdot \frac{\pi \cdot L_2}{4} \cdot 2(D + \delta) \cdot \left( \frac{d}{dt} \delta \right)$$

Portata sublimante

$$w_A = n_A \cdot [\pi \cdot L_2 \cdot (D + \delta)] = k_C \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} \cdot [\pi \cdot L_2 \cdot (D + \delta)] = \frac{D_{AB} \cdot N_{Sh}}{L_2} \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} \cdot [\pi \cdot L_2 \cdot (D + \delta)]$$

Bilancio di materia

$$\rho \cdot \frac{\pi \cdot L_2}{4} \cdot 2(D + \delta) \cdot \left( \frac{d}{dt} \delta \right) = - \frac{D_{AB} \cdot N_{Sh}}{L_2} \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} \cdot [\pi \cdot L_2 \cdot (D + \delta)]$$

$$\frac{d}{dt} \delta = - \frac{2}{\rho} \cdot \frac{D_{AB} \cdot N_{Sh}}{L_2} \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0}$$

$$B_2 := \frac{2}{\rho} \cdot \frac{D_{AB} \cdot N_{Sh}}{L_2} \cdot \frac{M_A \cdot P_{sat}}{R \cdot T_0} = 3.499 \times 10^{-8} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\delta(0) = \delta_0$$

$$\delta(t) = \delta_0 - B \cdot \Delta t_2$$

$$\Delta t_2 := \frac{\delta_0}{B}$$

$$\Delta t_2 = 1.728 \times 10^3 \text{ s}$$

$$\Delta t_2 = 28.8 \cdot \text{min}$$