Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2010-2011

Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. Un oggetto di ferro, di volume V ed area superficiale A, è inizialmente alla temperatura T_0. Dopo un tempo t_1 esposto ad una corrente di aria pura (composto A), alla pressione atmosferica, alla temperatura T_a e alla velocità v, raggiunge la temperatura T_1.

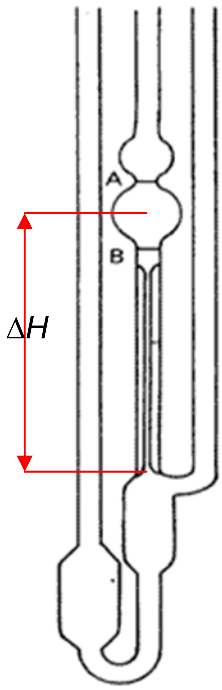
1. Applicando l'analisi a parametri concentrati, calcolare il coefficiente di scambio termico per convezione esterna, h.

Successivamente, l'oggetto viene verniciato utilizzando una miscela di solvente (B, di massa molecolare MM_B) e pigmento (C), a concentrazione iniziale x_{B0}. Su tutta la superficie viene applicato uno strato di spessore δ. In condizioni isoterme (oggetto, vernice e aria sono alla temperatura T_a), il solvente diffonde nella vernice ed evapora in aria. Il coefficiente di diffusione del solvente nella vernice è D_{BC} e del solvente in aria è D_{BA}.

1. Considerando valida l'analogia di Chilton-Colburn, calcolare il coefficiente di scambio di materia per convezione esterna, k_x (o k_C).
2. Determinare se i fenomeni di trasporto del solvente si devono trattare a parametri concentrati o distribuiti (considerare lo strato di vernice come una lastra piana di spessore 2δ).
3. Calcolare dopo quanto tempo la concentrazione di solvente nella vernice dimezza.

Dati. V = 10 cm^3, A = 100 cm^2, T_0 = 300°C, t_1 = 15 min, T_a = 20°C, T_1 = 100°C, δ = 20 μm, MM_B = 0.18 kg/mol, D_{BA} = 10^{-6} cm^2/s, D_{BC} = $5 \cdot 10^{-7}$ cm^2/s.

Problema 2. In figura è rappresentato un viscosimetro di *Ubbelohde*. In questo dispositivo un liquido viene caricato nel serbatoio del ramo di sinistra, poi viene risucchiato nei serbatoi del ramo centrale passando attraverso un capillare di diametro d e di lunghezza L (sotto il punto B nel ramo centrale). Infine si fa defluire un volume noto, V, di liquido dalla tacca A alla tacca B, attraverso il capillare, misurando il tempo di efflusso, t_{eff}. L'intera operazione si svolge in condizioni isoterme. Il terzo ramo (a destra nella figura) del viscosimetro serve a mantenere la sezione di uscita dal capillare alla pressione atmosferica. Assumendo che la quota del punto medio del serbatoio tra A e B, misurata rispetto alla sezione di uscita dal capillare, sia ΔH, calcolare



1. La viscosità cinematica del fluido (verificando che si tratti di moto laminare),
2. Il valore medio del gradiente di velocità (dv_z/dr) nel capillare,
3. Il tempo di efflusso ripetendo l'esperimento ad una temperatura maggiore, tale che la viscosità cinematica del fluido sia dimezzata.

Dati. d = 0.4 mm, L = 2 cm, V = 2 cm^3, t_{eff} = 300 s, ΔH = 3 cm.

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 – 10 settembre 2010

Problema 1. Un oggetto di ferro, di volume V ed area superficiale A, è inizialmente
temperatura T_0. Dopo un tempo t_1 esposto ad una corrente di aria pura (composto A)
temperatura T_a e alla velocità v, raggiunge la temperatura T_1.

1. Applicando l'analisi a parametri concentrati, calcolare il coefficiente di sca termico per convezione esterna, h.

Successivamente, l'oggetto viene verniciato utilizzando una miscela di solvente (pigmento (C), a concentrazione iniziale x_{B0}. Su tutta la superficie viene applicato strato di spessore δ. In condizioni isoterme (oggetto, vernice e aria sono alla temper T_a), il solvente diffonde nella vernice ed evapora in aria. Il coefficiente di diffusion solvente nella vernice è D_{BC} e del solvente in aria è D_{BA}.

1. Calcolare il coefficiente di scambio di materia per convezione esterna, k_x (o k_C).
2. Determinare se i fenomeni di trasporto del solvente si devono trattare a para concentrati o distribuiti (considerare lo strato di vernice come una lastra piai spessore 2δ).
3. Calcolare dopo quanto tempo la concentrazione di solvente nella vernice dimez

Dati. V = cm^3, A = cm^2, T_0 = °C, t_1 = min, T_a = °C, v = m/s, T_1 = °C, x_{B0} = , δ = μm, L

$T_0 := 300\,°C \qquad T_a := 20\,°C \qquad T_1 := 100\,°C \qquad V := 10\cdot cm^3 \qquad A := 100\cdot cm^2 \qquad t_1 := 15\cdot min$

$\rho := 7874\cdot\frac{kg}{m^3} \qquad C_p := 0.45\cdot\frac{kJ}{kg\cdot K} \qquad P := 1\cdot atm \qquad R := 8.314\cdot\frac{J}{mol\cdot K} \qquad D_{BA} := 10^{-6}\cdot\frac{cm^2}{s} \qquad D_{BC} := 5\cdot 10^{-7}\cdot\frac{cm^2}{s}$

$$\tau := \frac{-t_1}{\ln\left(\frac{T_1 - T_a}{T_0 - T_a}\right)} = 718.412\,s \qquad h := \frac{\rho\cdot V\cdot C_p}{A\cdot\tau} = 4.932\frac{W}{m^2\cdot K} \qquad \delta := 20\cdot\mu m \qquad MM_B := 180\cdot\frac{gm}{mol}$$

$$c := \frac{P}{R\cdot T_a} = 41.574\frac{mol}{m^3}$$

proprietà dell'aria alla temperatura Ta

$$\rho_A(T_a) = 1.209\frac{kg}{m^3} \qquad C_{P.A}(T_a) = 1.005\cdot\frac{kJ}{kg\cdot K} \qquad \mu_A(T_a) = 1.816\times 10^{-5}\frac{kg}{m\cdot s} \qquad N_{Pr.A}(T_a) = 0.714$$

$$j_H = \mathrm{Nu}\,\mathrm{Re}^{-1}\mathrm{Pr}^{-1/3} = \frac{h}{\rho\hat{C}_p v_0}\left(\frac{\hat{C}_p\mu}{k}\right)^{2/3} \qquad j_D = \mathrm{Sh}\,\mathrm{Re}^{-1}\mathrm{Sc}^{-1/3} = \frac{k_x}{c v_0}\left(\frac{\mu}{\rho\mathcal{D}_{AB}}\right)^{2/3}$$

$$\frac{h}{\rho_A(T_a)\cdot C_{P.A}(T_a)}\cdot N_{Pr.A}(T_a)^{\frac{2}{3}} = \frac{k_x}{c}\cdot\left(\frac{\mu_A(T_a)}{\rho_A(T_a)\cdot D_{BA}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$k_x := \frac{c\cdot h\cdot N_{Pr.A}(T_a)^{\frac{2}{3}}}{C_{P.A}(T_a)\cdot\rho_A(T_a)\cdot\left(\frac{\mu_A(T_a)}{D_{BA}\cdot\rho_A(T_a)}\right)^{\frac{2}{3}}} = 4.772\times 10^{-5}\frac{mol}{m^2\cdot s}$$

$$L_c := \delta \qquad Biot_{mat} := \frac{k_x}{c\cdot\frac{D_{BC}}{L_c}} = 0.459$$

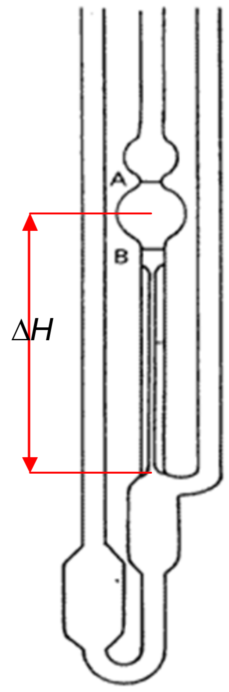
parametri concentrati

bilancio del componente B (attenzione! solo sullo strato di vernice)

$$\frac{\rho}{MM_B}\cdot\delta\cdot A\cdot\left(\frac{d}{dt}X_B\right) = -k_x\cdot A\cdot\left(X_B - X_{B.inf}\right) \qquad \tau_{mat} := \left(\frac{k_x\cdot MM_B}{\rho\cdot\delta}\right)^{-1} = 1.833\times 10^4\,s$$

$$t° := -\tau_{mat}\cdot\ln\left(\frac{1}{2}\right) = 3.53\cdot hr$$

Problema 2. In figura è rappresentato un viscosimetro di *Ubbelohde*. In questo dispositivo un liquido viene caricato nel serbatoio del ramo di sinistra, poi viene risucchiato nei serbatoi del ramo centrale passando attraverso un capillare di diametro d e di lunghezza L (sotto il punto B nel ramo centrale). Infine si fa defluire un volume noto, V, di liquido dalla tacca A alla tacca B, attraverso il capillare, misurando il tempo di efflusso, t_{eff}. L'intera operazione si svolge in condizioni isoterme. Il terzo ramo (a destra nella figura) del viscosimetro serve a mantenere la sezione di uscita dal capillare alla pressione atmosferica. Assumendo che la quota del punto medio del serbatoio tra A e B, misurata rispetto alla sezione di uscita dal capillare, sia ΔH, calcolare



1. La viscosità cinematica del fluido (verificando che si tratti di moto laminare),
2. Il valore medio del gradiente di velocità (dv_z/dr) nel capillare,
3. Il tempo di efflusso ripetendo l'esperimento ad una temperatura maggiore, tale che la viscosità cinematica del fluido sia dimezzata.

Dati. $d = 0.4$ mm, $L = 2$ cm, $V = 2$ cm^3, $t_{eff} = 300$ s, $\Delta H = 3$ cm.

$V := 2\cdot cm^3$ $\quad d := 0.4mm$ $\quad L := 2cm$ $\quad t_{eff} := 300\cdot s$ $\quad \Delta H := 3\cdot cm$

$Vp := \dfrac{V}{t_{eff}}$ $\quad R := \dfrac{d}{2} = 200\cdot\mu m$ $\quad Vp = \dfrac{\pi\cdot R^4}{8\cdot\eta}\cdot\dfrac{\rho\cdot g\cdot\Delta H}{L} = \dfrac{\pi\cdot R^4}{8\cdot\nu}\cdot\dfrac{g\cdot\Delta H}{L}$

$\nu := \dfrac{\pi\cdot R^4\cdot g\cdot\Delta H}{8\cdot L\cdot Vp} = 1.386\times 10^{-6}\dfrac{m^2}{s}$ $\quad v_{av} := \dfrac{Vp}{\pi\cdot R^2} = 0.053\dfrac{m}{s}$ $\quad N_{Re} := \dfrac{v_{av}\cdot d}{\nu} = 15.306$

$\tau_w = \dfrac{\rho\cdot g\cdot\Delta H}{2\cdot L}\cdot R$ $\quad \tau_{av} = \dfrac{\tau_w}{2} = \dfrac{\rho\cdot g\cdot\Delta H}{4\cdot L}\cdot R$ $\quad \gamma_{av} = \dfrac{\tau_{av}}{\eta} = \dfrac{\rho\cdot g\cdot\Delta H}{4\cdot\eta\cdot L}\cdot R$ $\quad \gamma_{av} := \dfrac{g\cdot\Delta H}{4\cdot\nu\cdot L}\cdot R = 530.516\dfrac{1}{s}$

$\nu_2 := \dfrac{\nu}{2} = 6.932\times 10^{-7}\dfrac{m^2}{s}$ $\quad t_{eff} := \dfrac{V}{\left(\dfrac{\pi\cdot R^4}{8\cdot\nu_2}\cdot\dfrac{g\cdot\Delta H}{L}\right)} = 150\,s$