Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. La parete interna di un tubo di diametro interno D e lunghezza L è ricoperta di uno spessore δ di naftalina (densità ρ_A, massa molecolare M_A). Nel tubo viene inviata aria pura, a pressione P e con velocità v_∞. Il sistema è isotermo alla temperatura T. In queste condizioni la tensione di sublimazione della naftalina vale P_A^{sat} e la diffusività della naftalina in aria vale D_{AB}. Calcolare:

1. il coefficiente di scambio di materia, k_C;
2. dopo quanto tempo la naftalina sublima completamente, t_f;
3. lo spessore dello strato di naftalina dopo un tempo $t_f/3$.

Dati. $D = 10$ cm, $L = 1$ m, $\delta = 1$ mm, $\rho_A = 1140$ kg/m^3, $M_A = 0.128$ kg/mole;

$P = 1$ bar, $v_\infty = 2$ m/s, $T = 25$°C, $P_A^{sat} = 0.05$ bar, $D_{AB} = 6\cdot10^{-6}$ m^2/s.

Problema 2. Una sferetta di acciaio (densità ρ_A, conducibilità k_A, calore specifico $\hat{C}_{PA}$, emissività ε_A) ha diametro esterno D, è cava con spessore di parete δ. La sferetta è mantenuta in sospensione da un flusso di aria a temperatura T_a, che si muove verso l'alto a velocità v_a. All'interno della sfera c'è una miscela di gas, le cui caratteristiche sono quelle dell'aria a temperatura T_a, che è sede di una reazione chimica endotermica, con variazione di entalpia ΔH e velocità volumetrica r^{III}. Tutto il sistema è contenuto in un forno con pareti nere a temperatura T_W. Calcolare:

1. La velocità dell'aria (considerando le proprietà dell'aria a T_a);
2. La temperatura superficiale della sfera;
3. I flussi di calore scambiati tra la sferetta e l'aria per convezione e tra la sferetta e le pareti del forno per irraggiamento, chiarendone il verso.

Dati. $D = 4$ mm, $\delta = 0.1$ mm, $\rho_A = 7500$ kg/m^3, $k_A = 45$ W/(m·K), $\hat{C}_{PA} = 0.5$ kJ/(kg·K), $\varepsilon_A = 0.8$,

$T_a = 300$°C, $\Delta H = 7.5$ MJ/kg, $r^{III} = 10$ kg/(m^3·s), $T_W = 900$°C.

Problema 1. La parete interna di un tubo di diametro interno D e lunghezza L è ricoperta di uno spessore δ di naftalina (densità ρ_A, massa molecolare M_A). Nel tubo viene inviata aria pura, a pressione P e con velocità v_∞. Il sistema è isotermo alla temperatura T. In queste condizioni la tensione di sublimazione della naftalina vale P_A^{sat} e la diffusività della naftalina in aria vale D_{AB}. Calcolare:

1. il coefficiente di scambio di materia, k_C;
2. dopo quanto tempo la naftalina sublima completamente, t_f;
3. lo spessore dello strato di naftalina dopo un tempo $t_f/3$.

Dati. $D = 10$ cm, $L = 1$ m, $\delta = 1$ mm, $\rho_A = 1140$ kg/m³, $M_A = 0.128$ kg/mole; $P = 1$ bar, $v_\infty = 2$ m/s, $T = 25$°C, $P_A^{sat} = 0.05$ bar, $D_{AB} = 6\cdot10^{-6}$ m²/s.

$D := 10\cdot cm$ $\quad L := 1\cdot m$ $\quad \delta := 1\cdot mm$ $\quad \rho_{naft} := 1140\cdot\frac{kg}{m^3}$ $\quad M_{naft} := 0.128\cdot\frac{kg}{mol}$ $\quad P := 1\cdot bar$ $\quad v_{inf} := 2\cdot\frac{m}{s}$

$T := 25\,°C$ $\quad P_{A.sat} := 0.05\cdot bar$

$\rho_A(T) = 1.186\frac{kg}{m^3}$ $\quad \mu_A(T) = 1.841\times10^{-5}\frac{kg}{m\cdot s}$ $\quad D_{AB} := 6\cdot10^{-6}\cdot\frac{m^2}{s}$ $\quad R = 8.314\cdot\frac{J}{mol\cdot K}$

$$N_{Re} := \frac{v_{inf}\cdot D\cdot\rho_A(T)}{\mu_A(T)} = 1.288\times10^4 \qquad N_{Sc} := \frac{\nu_A(T)}{D_{AB}} = 2.588 \qquad N_{Sh} := 0.026\cdot N_{Re}^{0.8}\cdot N_{Sc}^{0.33} = 69.069$$

$$k_c := \frac{N_{Sh}\cdot D_{AB}}{D} = 4.144\times10^{-3}\frac{m}{s}$$

$$m_{A0} := \rho_{naft}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot L\cdot\left[D^2-(D-\delta)^2\right] = 0.178\,kg \qquad c := \frac{P}{R\cdot T} = 40.342\frac{mol}{m^3}$$

essendo δ<<D

$$\frac{d}{dt}m_A(t) = -m_{Ap} = -(\pi\cdot D\cdot L)\cdot k_c\cdot M_A\cdot c\cdot\left(\frac{P_{A.sat}}{P}-y_{A.inf}\right) \qquad m_{Ap} := (\pi\cdot D\cdot L)\cdot k_c\cdot M_{naft}\cdot c\cdot\frac{P_{A.sat}}{P}$$

$$m_A(t=0) = m_{A0}$$

$$m_A(t) = m_{A0} - m_{Ap}\cdot t \qquad t_f := \frac{m_{A0}}{m_{Ap}} = 8.834\cdot min$$

$$m_{A3} := m_{A0} - m_{Ap}\cdot\frac{t_f}{3} = 0.119\,kg \qquad \rho_{naft}\cdot\frac{\pi}{4}\cdot L\cdot\left[D^2-\left(D-\delta_3\right)^2\right] = m_{A3}$$

$$\delta_3 := \begin{pmatrix} -\dfrac{\sqrt{\pi}\cdot\sqrt{\pi\cdot D^2\cdot L^2\cdot\rho_{naft}^2-4\cdot L\cdot m_{A3}\cdot\rho_{naft}}-\pi\cdot D\cdot L\cdot\rho_{naft}}{\pi\cdot L\cdot\rho_{naft}} \\ \dfrac{\sqrt{\pi}\cdot\sqrt{\pi\cdot D^2\cdot L^2\cdot\rho_{naft}^2-4\cdot L\cdot m_{A3}\cdot\rho_{naft}}+\pi\cdot D\cdot L\cdot\rho_{naft}}{\pi\cdot L\cdot\rho_{naft}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6.655\times10^{-4} \\ 0.199 \end{pmatrix} m$$

$$\delta_3 := \left(\delta_3\right)_0 = 0.666\cdot mm$$

Problema 2. Una sferetta di acciaio (densità ρ_A, conducibilità k_A, calore specifico $\hat{C}_{PA}$, emissività ε_A) ha diametro esterno D, è cava con spessore di parete δ. La sferetta è mantenuta in sospensione da un flusso di aria a temperatura T_a, che si muove verso l'alto a velocità v_a. All'interno della sfera c'è una miscela di gas, le cui caratteristiche sono quelle dell'aria a temperatura T_a, che è sede di una reazione chimica endotermica, con variazione di entalpia ΔH e velocità volumetrica r^{III}. Tutto il sistema è contenuto in un forno con pareti nere a temperatura T_W. Calcolare:

1. La velocità dell'aria (considerando le proprietà dell'aria a T_a);
2. La temperatura superficiale della sfera;
3. I flussi di calore scambiati tra la sferetta e l'aria per convezione e tra la sferetta e le pareti del forno per irraggiamento, chiarendone il verso.

Dati. $D = 4$ mm, $\delta = 0.1$ mm, $\rho_A = 7500$ kg/m³, $k_A = 45$ W/(m·K), $\hat{C}_{PA} = 0.5$ kJ/(kg·K), $\varepsilon_A = 0.8$, $T_a = 300$°C, $\Delta H = 7.5$ MJ/kg, $r^{III} = 10$ kg/(m³·s), $T_W = 900$°C.

$D := 4\cdot mm$ $\quad \delta := 0.1\cdot mm$ $\quad \rho_{acc} := 7500\cdot\frac{kg}{m^3}$ $\quad k_{acc} := 45\cdot\frac{W}{m\cdot K}$ $\quad C_{P.acc} := 0.5\cdot\frac{kJ}{kg\cdot K}$ $\quad \varepsilon_{acc} := 0.8$ $\quad T_a := 300\,°C$

$\Delta H := 7.5\cdot\frac{MJ}{kg}$ $\quad r_3 := 10\cdot\frac{kg}{m^3\cdot s}$ $\quad T_W := 900\,°C$ $\quad G := -\Delta H\cdot r_3 = -7.5\times10^{7}\cdot\frac{W}{m^3}$

$\rho_A(T_a) = 0.617\frac{kg}{m^3}$ $\quad \mu_A(T_a) = 2.939\times10^{-5}\cdot Pa\cdot s$ $\quad \nu_A(T_a) = 4.774\times10^{-5}\frac{m^2}{s}$

massa dell'acciaio nella sfera $\quad \rho_{acc}\cdot\left[\frac{\pi}{6}\cdot\left[D^3-(D-\delta)^3\right]\right] = 18.382\cdot mg$

massa della miscela reagente nella sfera $\quad \rho_A(T_a)\cdot\frac{\pi}{6}\cdot(D-\delta)^3 = 0.019\cdot mg$ $\quad$ (trascurabile)

volume della sfera $\quad \frac{\pi\cdot D^3}{6} = 0.034\cdot mL$

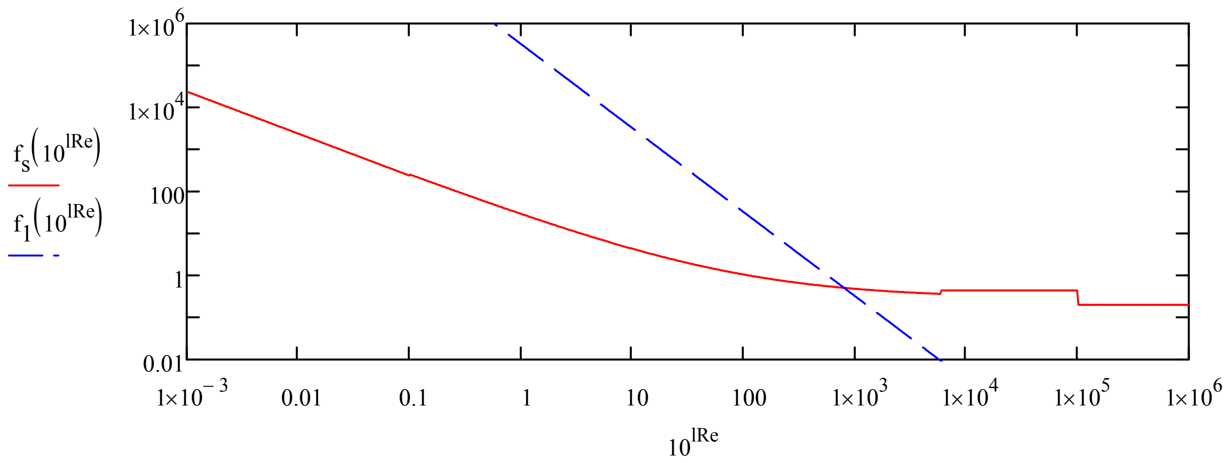
densità apparente della sfera $\quad \rho_S := \frac{\rho_{acc}\cdot\left[\frac{\pi}{6}\cdot\left[D^3-(D-\delta)^3\right]\right]+\rho_A(T_a)\cdot\frac{\pi}{6}\cdot(D-\delta)^3}{\left(\frac{\pi\cdot D^3}{6}\right)} = 549.127\frac{kg}{m^3}$

$f_s(N_{Re}) := \mathrm{if}\left[N_{Re}<0.1,\frac{24}{N_{Re}},\mathrm{if}\left[N_{Re}<6000,\left(\sqrt{\frac{24}{N_{Re}}}+0.5407\right)^2,\mathrm{if}\left(N_{Re}<10^5,0.44,0.2\right)\right]\right]$ $\quad lRe := -3,-2.99..6$

$C := \frac{D\cdot\rho_A(T_a)}{\mu_A(T_a)}\cdot\sqrt{\frac{4}{3}\cdot D\cdot g\cdot\frac{\rho_S-\rho_A(T_a)}{\rho_A(T_a)}} = 572.875$ $\quad f_1(N_{Re}) := C^2\cdot N_{Re}^{-2}$

$N_{Re} := 100$ $\quad$ Given $\quad f_1(N_{Re}) = f_s(N_{Re})$ $\quad N_{Re} := \mathrm{Minerr}(N_{Re}) = 802.803$

$N_{Re} = 802.803$ $\quad f_s(N_{Re}) = 0.509$ $\quad v_a := \frac{N_{Re}\cdot\mu_A(T_a)}{D\cdot\rho_A(T_a)}$ $\quad v_a = 9.552\frac{m}{s}$



bilancio sulla sfera, ACC = IN - OUT + GEN

$$0 = 0 - \pi D^2 \cdot h(T_s)\cdot(T_s - T_a) - \pi\cdot D^2\cdot\sigma\cdot\varepsilon_{acc}\cdot\left(T_s^{\,4} - T_W^{\,4}\right) + \frac{\pi\cdot D^3}{6}\cdot(-\Delta H)\cdot r_3$$

come primo tentativo, assumiamo che $T_s := T_a$

$$T_f := \frac{1}{2}\cdot(T_s + T_a) \qquad T_f = 300\cdot°C \qquad \nu_A(T_f) = 4.774\times 10^{-5}\cdot\frac{m^2}{s}$$

$$N_{Re} := \frac{v_{inf}\cdot D}{\nu_A(T_f)} \qquad N_{Re} = 167.572 \qquad N_{Pr} := N_{Pr.A}(T_f) \qquad N_{Pr} = 0.698$$

Correlazione 13.3-1 p. 417 vecchia edizione $\quad N_{Nu} := 2 + 0.6\cdot N_{Re}^{\,0.5}\cdot N_{Pr}^{\,0.33} = 8.898 \qquad h := \frac{N_{Nu}\cdot k_A(T_f)}{D} = 97.851\cdot\frac{W}{m^2 K}$

$$h(T_s) := \frac{\left[2 + 0.6\cdot\left[\frac{v_{inf}\cdot D}{\nu_A\left[\frac{1}{2}\cdot(T_s + T_a)\right]}\right]^{0.5}\cdot N_{Pr.A}\left[\frac{1}{2}\cdot(T_s + T_a)\right]^{0.33}\right]\cdot k_A\left[\frac{1}{2}\cdot(T_s + T_a)\right]}{D} \qquad h(T_s) = 97.851\cdot\frac{W}{m^2\cdot K}$$

Given $\quad 0 = 0 - \pi D^2\cdot h(T_s)\cdot(T_s - T_a) - \pi\cdot D^2\cdot\sigma\cdot\varepsilon_{acc}\cdot\left(T_s^{\,4} - T_W^{\,4}\right) + \frac{\pi\cdot D^3}{6}\cdot(-\Delta H)\cdot r_3$

$$T_s := \mathrm{Minerr}(T_s) = 771.549\cdot K$$

$$T_s = 498.399\cdot°C$$

$h(T_s) = 100.023\cdot\frac{W}{m^2\cdot K}$ N.B. h è poco dipendente dalla temperatura, si poteva anche ritenere costante e semplificare i conti.

termine convettivo

$\pi D^2\cdot h(T_s)\cdot(T_s - T_a) = 0.997\,W$ scritto come se fosse uscente dalla sfera, risulta positivo, si tratta di un flusso uscente

termine di irraggiamento

$\pi\cdot D^2\cdot\sigma\cdot\varepsilon_{acc}\cdot\left(T_s^{\,4} - T_W^{\,4}\right) = -3.511\,W$ scritto come se fosse uscente dalla sfera, risulta negativo, si tratta di un flusso entrante

termine di generazione

$\frac{\pi\cdot D^3}{6}\cdot(-\Delta H)\cdot r_3 = -2.513\,W$ la reazione è endotermica, è una generazione negativa (scomparsa) di calore