Cognome	Nome	Matricola	Firma

E-mail:

Problema 1. Uno scambiatore di calore è costituito da due tubi coassiali a parete metallica molto sottile. La temperatura del fluido caldo va da T_H^{IN} a T_H^{OUT}, la temperatura del fluido freddo va da T_C^{IN} a T_C^{OUT}. Considerando costante il coefficiente globale di scambio, calcolare come cambiano T_H^{OUT} e T_C^{OUT} se (rispetto al caso iniziale):

1. la portata di acqua fredda dimezza;
2. la lunghezza dello scambiatore raddoppia;
3. la portata di acqua calda raddoppia.

Dati. $T_H^{IN} = 90°\text{C}, T_H^{OUT} = 60°\text{C}, T_C^{IN} = 20°\text{C}, T_C^{OUT} = 70°\text{C}$.

Problema 2. Peter Parker sta sperimentando un nuovo tipo di ragnatele: si tratta di una soluzione polimero (P)/solvente (S). Il lancia-ragnatele produce un getto assimilabile ad un cilindro molto lungo e di raggio R, con concentrazione iniziale di solvente C_{s0}. La ragnatela si può considerare solida, e sostenere i volteggi di *Spider-Man*, quando, a causa della diffusione verso l'esterno del solvente, la concentrazione di solvente diventa non maggiore di $C_{s.crit}$ in tutti i punti. Sia D_{SP} la diffusività del solvente nel polimero, e D_{SA} la diffusività del solvente in aria (che si può considerare priva di solvente), la relazione di equilibrio tra la concentrazione in fase solida e quella in fase aeriforme sia $C_s^{SOL} = KC_s^{AER}$. In una giornata ventosa (velocità del vento v_A) e fredda (temperatura T_A):

1. calcolare il coefficiente di scambio di materia per il trasporto del solvente in aria, k_C;
2. verificare se il transitorio di solidificazione per allontanamento del solvente va descritto a parametri distribuiti o a parametri concentrati;
3. calcolare dopo quanto tempo la ragnatela si può considerare solida.

Dati. $R = 1$ cm, $C_{s0} = 15$ mol/m^3, $C_{s.crit} = 3$ mol/m^3, $D_{SP} = 6.1\cdot10^{-7}$ m^2/s; $D_{SA} = 3.1\cdot10^{-10}$ m^2/s;
$v_A = 15$ m/s, $T_a = 5°$C.

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

Problema 1. Uno scambiatore di calore è costituito da due tubi coassiali a parete metallica molto sottile. La temperatura del fluido caldo va da T_H^{IN} a T_H^{OUT}, la temperatura del fluido freddo va da T_C^{IN} a T_C^{OUT}. Considerando costante il coefficiente globale di scambio, calcolare come cambiano T_H^{OUT} e T_C^{OUT} se (rispetto al caso iniziale):

1. la portata di acqua fredda dimezza;
2. la lunghezza dello scambiatore raddoppia;
3. la portata di acqua calda raddoppia.

Dati. $T_H^{IN} = 90°C$, $T_H^{OUT} = 60°C$, $T_C^{IN} = 20°C$, $T_C^{OUT} = 70°C$.

$T_{H.in} := 90°C \qquad T_{H.out} := 60°C \qquad T_{C.in} := 20°C \qquad T_{C.out} := 70°C$

$$Q = m_H C_{P.H}\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right) = m_C C_{P.C}\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right) = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$$

$$\Delta T_{ml} := \frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]} = 28.854\,K$$

$$\alpha_1 = \frac{\left(m_H C_{P.H}\right)}{U \cdot A} = \frac{\Delta T_{ml}}{\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right)} \qquad \alpha_1 := \frac{\Delta T_{ml}}{\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right)} = 0.962$$

$$\alpha_2 = \frac{\left(m_C C_{P.C}\right)}{U \cdot A} = \frac{\Delta T_{ml}}{\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right)} \qquad \alpha_2 := \frac{\Delta T_{ml}}{\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right)} = 0.577$$

Caso 1. α.2 dimezza $\qquad \alpha_{2.1} := \frac{\alpha_2}{2}$

Given

$$\alpha_1 = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right)} \qquad \alpha_{2.1} = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} T_{H.out} \\ T_{C.out} \end{pmatrix} := \mathrm{Minerr}\left(T_{H.out}, T_{C.out}\right) = \begin{pmatrix} 70.335 \\ 85.551 \end{pmatrix} \cdot °C$$

Caso 2. dimezzano sia α.1 che α.2 $\qquad \alpha_{1.2} := \frac{\alpha_1}{2} \qquad \alpha_{2.2} := \frac{\alpha_2}{2}$

Given

$$\alpha_{1.2} = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right)} \qquad \alpha_{2.2} = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} T_{H.out} \\ T_{C.out} \end{pmatrix} := \mathrm{Minerr}\left(T_{H.out}, T_{C.out}\right) = \begin{pmatrix} 52.941 \\ 81.765 \end{pmatrix} \cdot °C$$

Caso 3. α.1 raddoppia $\qquad \alpha_{1.3} := 2 \cdot \alpha_1$

Given

$$\alpha_{1.3} = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{H.in} - T_{H.out}\right)} \qquad \alpha_2 = \frac{\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right) - \left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}{\ln\left[\frac{\left(T_{H.in} - T_{C.out}\right)}{\left(T_{H.out} - T_{C.in}\right)}\right]}}{\left(T_{C.out} - T_{C.in}\right)}$$

$$\begin{pmatrix} T_{H.out} \\ T_{C.out} \end{pmatrix} := \mathrm{Minerr}\left(T_{H.out}, T_{C.out}\right) = \begin{pmatrix} 73.798 \\ 74.006 \end{pmatrix} \cdot °C$$

Problema 2. Peter Parker sta sperimentando un nuovo tipo di ragnatele: si tratta di una soluzione polimero (P)/solvente (S). Il lancia ragnatele produce un getto assimilabile ad un cilindro molto lungo e di raggio R, con concentrazione iniziale di solvente C_{s0}. La ragnatela si può considerare solida, e sostenere i volteggi di *Spider-Man*, quando, a causa della diffusione verso l'esterno del solvente, la concentrazione di solvente diventa non maggiore di $C_{s,crit}$ in tutti i punti del cilindro. Sia D_{PS} la diffusività del solvente nel polimero, e D_{SA} la diffusività del solvente in aria (che si può considerare priva di solvente), la relazione di equilibrio tra la concentrazione in fase solida e quella in fase aeriforme sia $C_s^{SOL} = KC_s^{AER}$. In una giornata ventosa (velocità del vento v_A) e fredda (temperatura T_A):

1. calcolare il coefficiente di scambio di materia per il trasporto del solvente in aria, k_C;
2. verificare se il transitorio di solidificazione per allontanamento del solvente va descritto a parametri distribuiti o a parametri concentrati;
3. calcolare dopo quanto tempo la ragnatela si può considerare solida.

Dati. $R = 1$ cm, $C_{s0} = 15$ mol/m³, $C_{s,crit} = 3$ mol/m³, $D_{PS} = 6.1\cdot10^{-7}$ m²/s; $D_{SA} = 1\cdot10^{-10}$ m²/s; $v_A = 15$ m/s, $T_a = 5$°C.

$R := 1\cdot cm$ $\quad C_{s0} := 15\cdot\frac{mol}{m^3}$ $\quad C_{s.crit} := 3\cdot\frac{mol}{m^3}$ $\quad D_{PS} := 6.1\cdot10^{-7}\cdot\frac{m^2}{s}$ $\quad D_{SA} := 3.1\cdot10^{-10}\cdot\frac{m^2}{s}$ $\quad v_A := 15\cdot\frac{m}{s}$ $\quad T_A := 5\,°C$

$$N_{Re} := \frac{v_A\cdot(2\cdot R)}{\nu_A(T_A)} = 2.202\times10^4 \qquad \nu_A(T_A) = 1.362\times10^{-5}\,\frac{m^2}{s}$$

$$N_{Sc} := \frac{\nu_A(T_A)}{D_{SA}} = 4.394\times10^4 \qquad N_{Sh} := \left(0.4\cdot N_{Re}^{0.5} + 0.06\cdot N_{Re}^{0.67}\right)\cdot N_{Sc}^{0.4} = 7.78\times10^3$$

$$k_C := \frac{N_{Sh}\cdot D_{SA}}{2\cdot R} = 1.206\times10^{-4}\,\frac{m}{s}$$

$$N_{Bi.materia} := \frac{k_C}{\frac{D_{PS}}{2\cdot R}} = 3.954$$

L'analisi va condotta a parametri DISTRIBUITI

L'aria è priva di solvente $\quad C_{s1} := 0\cdot\frac{mol}{m^3}\quad$ la relazione di equilibrio non serve essendo l'aria priva di solvente

La concentrazione critica adimensionalizzata vale $\quad Y_{crit} := \frac{C_{s.crit} - C_{s1}}{C_{s0} - C_{s1}} = 0.2$

Il parametro delle curve è $\quad m_0 := \frac{D_{PS}}{k_C\cdot R} = 0.506$

La concentrazione di solvente durante l'evaporazione ha il suo valore massimo al centro $\quad n := 0$

Dal grafico per il cilindro $\quad X := 0.75 \quad t := X\cdot\frac{R^2}{D_{PS}} = 122.951\,s \quad t = 2.049\cdot min$

Dovendo aspettare circa $t = 2.049\cdot min$ perché la ragnatela solidifichi, il nostro povero Spidey non riuscirà a tenersi in volo ... :'(

Soluzione analitica (equivalente all'uso del grafico)

$$x := 1 \quad \lambda_1 := root\left(x\cdot J1(x) - N_{Bi.materia}\cdot J0(x), x\right) = 1.904$$

$$A_1 := \frac{2}{\lambda_1}\cdot\frac{J1(\lambda_1)}{J0(\lambda_1)^2 + J1(\lambda_1)^2} = 1.468$$

$$\theta(\tau,\xi) = A_1\cdot J0(\lambda_1\cdot\xi)\cdot e^{-\lambda_1^2\cdot\tau} \qquad \tau := -\frac{1}{\lambda_1^2}\cdot\ln\left(\frac{Y_{crit}}{A_1}\right) = 0.55$$