Cognome	Nome	Matricola	Firma

E-mail:

Problema 1. Uno scambiatore di materia è costituito da un tubo poroso, di diametro interno D e lunghezza L, immerso in acqua. Per effetto della porosità, la superficie interna del tubo è costantemente ricoperta da un velo di acqua liquida. Nel tubo fluisce aria alla portata $\dot{m}_A$, che trascina via l'acqua evaporata. Il sistema è isotermo alla temperatura T e alla pressione p.

1. Calcolare il coefficiente di trasporto per convezione del vapore d'acqua in aria, k_x;
2. In un primo esperimento, l'aria viene alimentata secca allo scambiatore, e in queste condizioni viene evaporata una portata d'acqua $\dot{m}_v$. Calcolare quindi la lunghezza del tubo;
3. In un secondo esperimento, l'aria viene alimentata allo scambiatore con una umidità relativa iniziale UR_0. Calcolare la portata di acqua che viene evaporata in queste condizioni.

Dati. $D = 0.1$ m, $\dot{m}_A = 10$ kg/s, $\dot{m}_v = 0.1$ kg/s, $UR_0 = 90\%$, $T = 20°\text{C}$, $p = 1$ bar.

Problema 2. Al di là della barriera, Jon Snow e la sua squadra hanno trovato riparo su un isolotto, accerchiati da un folto gruppo di non-morti, i quali non sono capaci di superare l'ostacolo costituito dalle acque di un lago. Il lago è costituito da acqua completamente liquida alla temperatura di solidificazione, T_0, mentre l'aria è a temperatura T_a. Il calore latente di solidificazione dell'acqua è ΔH_{sol}.

1. Considerando che il calore viene scambiato principalmente per convezione e che per una lastra piana orizzontale vale la relazione $N_{Nu} = a(N_{Gr}N_{Pr})^{1/3}$, calcolare il coefficiente di scambio termico interfase;
2. Trascurando la conduzione del calore nel ghiaccio, e sapendo che per sopportare il peso dei non-morti il ghiaccio deve avere uno spessore pari almeno a s_g, calcolare dopo quanto tempo il lago sarà ghiacciato abbastanza da consentire il transito dei non-morti;
3. L'intervento di Drogon e Viserion salva Jon Snow e i suoi. Infatti i due draghi soffiano fuoco, alla temperatura T_f, che scambia calore principalmente per irraggiamento – con un fattore di vista unitario – con le superfici ghiacciate del lago, e ne provoca lo scioglimento. Se lo spessore del ghiaccio è s_g, e il ghiaccio ha una emissività ε_I, quanto tempo ci vuole affinché il ghiaccio si sciolga?

Dati. $T_0 = 0°\text{C}$, $T_a =$ -10°C, $\Delta H_{sol} =$ -333 kJ/kg, $a = 3$, $s_g = 10$ cm, $T_f = 1400°\text{C}$, $\varepsilon_I = 0.96$.

Problema 1. Uno scambiatore di materia è costituito da un tubo poroso, di diametro interno D e lunghezza L, immerso in acqua. Per effetto della porosità, la superficie interna del tubo è costantemente ricoperta da un velo di acqua liquida. Nel tubo fluisce aria alla portata $\dot{m}_A$, che trascina via l'acqua evaporata. Il sistema è isotermo alla temperatura T e alla pressione p.

1. Calcolare il coefficiente di trasporto per convezione del vapore d'acqua in aria, k_x;
2. In un primo esperimento, l'aria viene alimentata secca allo scambiatore, e in queste condizioni viene evaporata una portata d'acqua $\dot{m}_v$. Calcolare quindi la lunghezza del tubo;
3. In un secondo esperimento, l'aria viene alimentata allo scambiatore con una umidità relativa iniziale UR_0. Calcolare la portata di acqua che viene evaporata in queste condizioni.

Dati. $D = 0.1$ m, $\dot{m}_A = 10$ kg/s, $\dot{m}_v = 0.1$ kg/s, $UR_0 = 90\%$, $T = 20°C$, $p = 1$ bar.

$D := 0.1 \cdot m \qquad m_{pA} := 10 \cdot \frac{kg}{s} \qquad m_{pv} := 0.1 \cdot \frac{kg}{s} \qquad UR_0 := 90\% \qquad T := 20°C \qquad p := 1 \cdot bar$

$D_{AB}(T) := 1.87 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s} \cdot \left(\frac{T}{K}\right)^{2.072} \qquad D_{AB}(T) = 2.419 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \qquad P_{sat.w}(T) = 2.351 \times 10^3 \, Pa$

$c := \frac{p}{R \cdot T} = 41.03 \frac{mol}{m^3}$

$v_{av} := \frac{m_{pA}}{\rho_A(T)} \cdot \frac{4}{\pi \cdot D^2} = 1.053 \times 10^3 \frac{m}{s} \qquad N_{Re} := \frac{v_{av} \cdot D}{\nu_A(T)} = 7.008 \times 10^6 \qquad N_{Sc} := \frac{\nu_A(T)}{D_{AB}(T)} = 0.621$

$N_{Sh} := 0.026 N_{Re}^{0.8} \cdot N_{Sc}^{0.33} \qquad N_{Sh} = 6.656 \times 10^3 \qquad k_x := N_{Sh} \cdot \frac{c \cdot D_{AB}(T)}{D} = 66.062 \frac{mol}{m^2 \cdot s}$

Bilancio di materia (A) $\frac{m_{pv}}{M_v} = \frac{m_{pA}}{M_A} \cdot \left(y_{v.OUT} - y_{v.IN}\right) \qquad y_{v.IN} := 0 \qquad y_{v.OUT}$ incognita

$M_A := 29 \cdot \frac{gm}{mol}$ massa molecolare aria

$M_v := 18 \cdot \frac{gm}{mol}$ massa molecolare acqua

Equazione di trasporto (B) $\frac{m_{pv}}{M_v} = k_x \cdot S_{lat} \cdot \Delta y_{ml} \qquad S_{lat} = \pi \cdot D \cdot L$

$$\Delta y_{ml} = \frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right) - \left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}{\ln\left[\frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right)}{\left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}\right]} \qquad y_{v.sup} := \frac{P_{sat.w}(T)}{p} = 0.024$$

essendo $y_{v.IN} := 0$

Dalla (A) $y_{v.OUT} := \frac{M_A \cdot m_{pv}}{M_v \cdot m_{pA}} = 0.016 \qquad \Delta y_{ml} := \frac{-y_{v.OUT}}{\ln\left[\frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right)}{y_{v.sup}}\right]} = 0.014$

Dalla (B) $L := \frac{m_{pv}}{M_v \cdot k_x \cdot \pi \cdot D \cdot \Delta y_{ml}} = 19.204 m$

Nel secondo esperimento $y_{v.IN} := UR_0 \cdot \frac{P_{sat.w}(T)}{p} = 0.021$

quindi e, applicando nuovamente la (B) Given

$$\left[\left[\frac{m_{pA}}{M_A} \cdot \left(y_{v.OUT} - y_{v.IN}\right)\right] - k_x \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \left[\frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right) - \left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}{\ln\left[\frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right)}{\left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}\right]}\right]\right] = 0$$

$y_{v.OUT} := \mathrm{Minerr}\left(y_{v.OUT}\right) = 0.023 \qquad \Delta y_{ml} := \frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right) - \left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}{\ln\left[\frac{\left(y_{v.sup} - y_{v.OUT}\right)}{\left(y_{v.sup} - y_{v.IN}\right)}\right]} = 0.00139$

$m_{pv} := M_v \cdot k_x \cdot (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \Delta y_{ml} = 0.01 \frac{kg}{s}$

Problema 2. Al di là del muro, Jon Snow e la sua squadra hanno trovato riparo su un isolotto, inseguiti da un folto gruppo di non-morti, i quali non sono capaci di superare l'ostacolo costituito dalle acque di un lago. Il lago è costituito da acqua completamente liquida alla temperatura di solidificazione, T_0, mentre l'aria è a temperatura T_a. Il calore latente di solidificazione dell'acqua è ΔH_{sol}.

1. Considerando che il calore viene scambiato principalmente per convezione e che per una lastra piana orizzontale vale la relazione $N_{Nu} = a(N_{Gr} N_{Pr})^{1/3}$, calcolare il coefficiente di scambio termico interfase (per convezione);
2. Trascurando la conduzione del calore nel ghiaccio, e sapendo che per sopportare il peso dei non-morti il ghiaccio deve avere uno spessore pari almeno a s_g, calcolare dopo quanto tempo il lago sarà ghiacciato abbastanza da consentire il transito dei non-morti;
3. L'intervento di Drogon e Viserion salva Jon Snow e i suoi. Infatti i due draghi soffiano fuoco, alla temperatura T_f, che scambia calore principalmente per irraggiamento – con un fattore di vista unitario – con le superfici ghiacciate del lago, e ne provoca lo scioglimento. Se lo spessore del ghiaccio è s_g, e il ghiaccio ha una emissività ε_I, quanto tempo ci vuole affinché il ghiaccio si sciolga?

Dati. $T_0 = 0°C$, $T_a = -10°C$, $\Delta H_{sol} = -333$ kJ/kg, $a = 3$, $s_g = 10$ cm, $T_f = 1400°C$, $\varepsilon_I = 0.96$.

$$T_0 := 0\,°C \quad T_a := (-10)\,°C \quad \Delta H_{sol} := -333\cdot\frac{kJ}{kg} \quad a := 3 \quad s_g := 10\cdot cm \quad T_{fire} := 1400\,°C \quad \varepsilon_I := 0.96$$

$$T_f := \frac{T_0 + T_a}{2} = -5\cdot°C \qquad N_{Gr} = \frac{L_{ch}^{\,3}\cdot\rho_A(T_f)^2\cdot g\cdot\frac{1}{T_f}\cdot|T_a - T_0|}{\mu_A(T_f)^2} \qquad N_{Pr.A}(T_f) = 0.718$$

$$N_{Nu} = \frac{h\cdot L_{ch}}{k_A(T_f)} = a\cdot\left(\frac{L_{ch}^{\,3}\cdot\rho_A(T_f)^2\cdot g\cdot\frac{1}{T_f}\cdot|T_a - T_0|}{\mu_A(T_f)^2}\cdot N_{Pr.A}(T_f)\right)^{\frac{1}{3}} = L_{ch}\cdot a\cdot\left(\frac{\rho_A(T_f)^2\cdot g\cdot\frac{1}{T_f}\cdot|T_a - T_0|}{\mu_A(T_f)^2}\cdot N_{Pr.A}(T_f)\right)^{\frac{1}{3}}$$

ovvero

$$h := k_A(T_f)\cdot a\cdot\left(\frac{\rho_A(T_f)^2\cdot g\cdot\frac{1}{T_f}\cdot|T_a - T_0|}{\mu_A(T_f)^2}\cdot N_{Pr.A}(T_f)\right)^{\frac{1}{3}} = 83.311\cdot\frac{W}{m^2\cdot K}$$

Bilancio di energia in transitorio sullo strato di ghiaccio

$$\frac{d}{dt}H_{tot}(t) = \rho_w(T_0)\cdot S\cdot\Delta H_{sol}\cdot\frac{d}{dt}s(t) = -S\cdot h\cdot(T_0 - T_a)$$

$$\frac{d}{dt}s(t) = \frac{-h\cdot(T_0 - T_a)}{\rho_w(T_0)\cdot\Delta H_{sol}} = s_p \qquad s_p := \frac{-h\cdot(T_0 - T_a)}{\rho_w(T_0)\cdot\Delta H_{sol}} = 2.502\times10^{-6}\,\frac{m}{s}$$

$$s(t) := s_p\cdot t \qquad t_g := \frac{s_g}{s_p} = 3.997\times10^4\,s \qquad t_g = 666.177\cdot min \qquad t_g = 11.103\cdot hr$$

Durante l'irraggiamento

$$h_{irr} := \frac{\sigma\cdot\varepsilon_I\cdot\left(T_{fire}^{\,4} - T_0^{\,4}\right)}{T_{fire} - T_0} = 304.479\cdot\frac{W}{m^2\cdot K}$$

$$\rho_w(T_0)\cdot S\cdot\Delta H_{sol}\cdot\left(\frac{d}{dt}s(t)\right) = 2S\cdot h_{irr}\cdot(T_{fire} - T_0)$$

$$\frac{d}{dt}s(t) = \frac{h_{irr}\cdot(T_{fire} - T_0)}{\rho_w(T_0)\cdot\Delta H_{sol}} = s_p \qquad s_p := \frac{2h_{irr}\cdot(T_{fire} - T_0)}{\rho_w(T_0)\cdot\Delta H_{sol}} = -2.56\times10^{-3}\,\frac{m}{s}$$

$$s(t) := s_g + s_p\cdot t \qquad t_f := \frac{-s_g}{s_p} = 39.06\,s \qquad t_f = 0.651\cdot min$$