Cognome	Nome	Matricola	Firma

Problema 1. Un corpo di volume V, superficie laterale S e capacità termica ρC_P, viene ricoperto con uno strato di spessore δ_0 di acqua liquida. Il corpo, esposto ad una corrente d'aria secca con velocità v_∞, viene asciugato in un tempo t_1 per evaporazione dell'acqua liquida. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il coefficiente di scambio di materia, k_c, per il sistema corpo/acqua/aria.

In un successivo esperimento, il corpo è riscaldato fino alla temperatura T_2 e successivamente esposto ad una corrente di aria secca con le stesse velocità e temperatura del primo esperimento (v_∞ e T_1). Nell'ipotesi che sia applicabile una analisi a parametri concentrati,

2. Calcolare il coefficiente di scambio termico tra il corpo e l'aria, valutato nelle condizioni iniziali;
3. Determinare dopo quanto tempo la differenza di temperatura tra il corpo e l'aria si riduce ad un decimo di quella iniziale.

Dati. $V = 100$ cm^3, $S = 345$ cm^2, $\rho C_P = 10^4$ kJ/(m^3·kg), $\delta_0 = 120$ μm, $t_1 = 10$ min, $T_1 = 25$°C, $T_2 = 225$°C.

Problema 2. Una sferetta di solido, di densità ρ_S, calore specifico C_P e di diametro D, viene mantenuta in sospensione da un getto di aria che la investe dal basso verso l'alto, con velocità v_∞. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il diametro della sferetta.

La sferetta è sede di una generazione di energia volumetrica G. Il sistema si può analizzare a parametri concentrati, e il coefficiente di scambio di calore per convezione si può ritenere costante sul suo valore iniziale.

2. Calcolare la temperatura della sferetta in condizioni stazionarie.
3. Proporre il modello che descrive l'evoluzione nel tempo della temperatura.

Dati. $\rho_S = 2500$ kg/m^3, $C_P = 3$ kJ/(kg·K), $v_\infty = 10$ m/s, $G = 4 \cdot 10^7$ W/m^3, $T_1 = 300$ K.

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

Problema 1. Un corpo di volume V, superficie laterale S e capacità termica ρC_P, viene ricoperto con uno strato di spessore δ_0 di acqua liquida. Il corpo, esposto ad una corrente d'aria secca con velocità v_∞, viene asciugato in un tempo t_1 per evaporazione dell'acqua liquida. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il coefficiente di scambio di materia, k_c, per il sistema corpo/acqua/aria.

In un successivo esperimento, il corpo è riscaldato fino alla temperatura T_2 e successivamente esposto ad una corrente di aria secca con le stesse velocità e temperatura del primo esperimento (v_∞ e T_1). Nell'ipotesi che sia applicabile una analisi a parametri concentrati,

2. Calcolare il coefficiente di scambio termico tra il corpo e l'aria, valutato nelle condizioni iniziali;
3. Determinare dopo quanto tempo la differenza di temperatura tra il corpo e l'aria si riduce ad un decimo di quella iniziale.

Dati. $V = 100$ cm³, $S = 345$ cm², $\rho C_P = 10^4$ kJ/(m³·kg), $\delta_0 = 120$ μm, $t_1 = 10$ min, $T_1 = 25$°C, $T_2 = 225$°C.

$V := 100\cdot cm^3 \quad S := 345\cdot cm^2 \quad \delta_0 := 120\cdot \mu m \quad \rho C_P := 5000\cdot\frac{kg}{m^3}\cdot 2\cdot\frac{kJ}{kg\cdot K} = 1\times 10^4\,\frac{kJ}{m^3\cdot K}$

$t_1 := 10\cdot min \quad T_1 := 25\,°C \quad T_2 := 225\,°C$

$P_{sat.w}(T_1) = 3.188\,kPa$

Bilancio di materia sullo strato di liquido

$$\frac{\rho_w(T_1)}{M_w}\cdot S\cdot\left(\frac{d}{dt}\delta(t)\right) = -W_w = -S\cdot k_C\cdot(C_{wS} - C_{winf}) \qquad \delta(t=0) = \delta_0 \qquad \rho_w(T_1) = 997.278\,\frac{kg}{m^3}$$

$C_{winf} = 0$ aria secca

$$C_{wS} = C_{tot}\cdot\frac{P_{sat.w}(T_1)}{P_{tot}} = \frac{P_{sat.w}(T_1)}{R\cdot T_1}$$

$$\frac{d}{dt}\delta(t) = -\frac{k_C\cdot P_{sat.w}(T_1)\cdot M_w}{R\cdot T_1\cdot\rho_w(T_1)} \qquad \delta(t) = \delta_0 - \frac{k_C\cdot P_{sat.w}(T_1)\cdot M_w}{R\cdot T_1\cdot\rho_w(T_1)}\cdot t$$

lo strato di liquido si asciuga quando $\delta = 0 \qquad t = t_1$

$$\delta_0 = \frac{k_C\cdot P_{sat.w}(T_1)\cdot M_w}{R\cdot T_1\cdot\rho_w(T_1)}\cdot t_1 \quad \text{da cui} \quad k_C := \frac{\delta_0\cdot R\cdot T_1\cdot\rho_w(T_1)}{P_{sat.w}(T_1)\cdot t_1\cdot M_w} = 8.617\times 10^{-3}\,\frac{m}{s}$$

$$D_{AB}(T) := 1.87\cdot 10^{-10}\,\frac{m^2}{s}\cdot\left(\frac{T}{K}\right)^{2.072} \qquad \text{A = acqua, B = aria} \qquad T_f := \frac{T_1 + T_2}{2} = 125\,°C$$

analogia di Chilton-Colburn

$$j_D = \frac{N_{Sh}}{N_{Re}\cdot N_{Sc}^{0.33}} = \frac{k_c}{v}\cdot\left(\frac{\nu}{D}\right)^{\frac{2}{3}} = j_H = \frac{N_{Nu}}{N_{Re}\cdot N_{Pr}^{0.33}} = \frac{h}{\rho\cdot C_P\cdot v}\cdot\left(\frac{\nu}{\alpha}\right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{da cui} \quad h = k_c\cdot\rho\cdot C_P\cdot\left(\frac{\alpha}{D}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$\rho_A(T_f) = 0.888\,\frac{kg}{m^3} \quad \alpha_A(T_f) = 3.672\times 10^{-5}\,\frac{m^2}{s} \quad C_{P.A}(T_f) = 1.013\,\frac{kJ}{kg\cdot K} \quad D_{AB}(T_f) = 4.562\times 10^{-5}\,\frac{m^2}{s}$

$$h := k_C\cdot\rho_A(T_f)\cdot C_{P.A}(T_f)\cdot\left(\frac{\alpha_A(T_f)}{D_{AB}(T_f)}\right)^{\frac{2}{3}} = 6.703\,\frac{W}{m^2\cdot K}$$

Bilancio di energia sul corpo

$$\rho\cdot C_P\cdot V\cdot\frac{d}{dt}T(t) = -h\cdot S\cdot(T(t) - T_1) \qquad T(t=0) = T_2 \qquad \ln\left(\frac{T(t) - T_1}{T_2 - T_1}\right) = -\frac{t}{\tau} \qquad \tau := \frac{\rho C_P\cdot V}{h\cdot S} = 1.201\,hr$$

$$t_2 := -\tau\cdot\ln(0.1) = 2.766\,hr$$

$$f_s(N_{Re}) := \text{if}\left[N_{Re} < 0.1, \frac{24}{N_{Re}}, \text{if}\left[N_{Re} < 6000, \left(\sqrt{\frac{24}{N_{Re}}} + 0.5407\right)^2, \text{if}\left(N_{Re} < 10^5, 0.44, 0.2\right)\right]\right] \qquad lRe := -3, -2.99 .. 7$$

Problema 2. Una sferetta di solido, di densità ρ_s, calore specifico C_P e di diametro D, viene mantenuta in sospensione da un getto di aria che la investe dal basso verso l'alto, con velocità v_∞. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il diametro della sferetta.

La sferetta è sede di una generazione di energia volumetrica G. Il sistema si può analizzare a parametri concentrati, e il coefficiente di scambio di calore per convezione si può ritenere costante sul suo valore iniziale.

2. Calcolare la temperatura della sferetta in condizioni stazionarie.
3. Proporre il modello che descrive l'evoluzione nel tempo della temperatura.

Dati. ρ_s = 2500 kg/m³, C_P = 3 kJ/(kg·K), v_∞ = 10 m/s, $G = 4{\cdot}10^7$ W/m³, T_1 = 300 K.

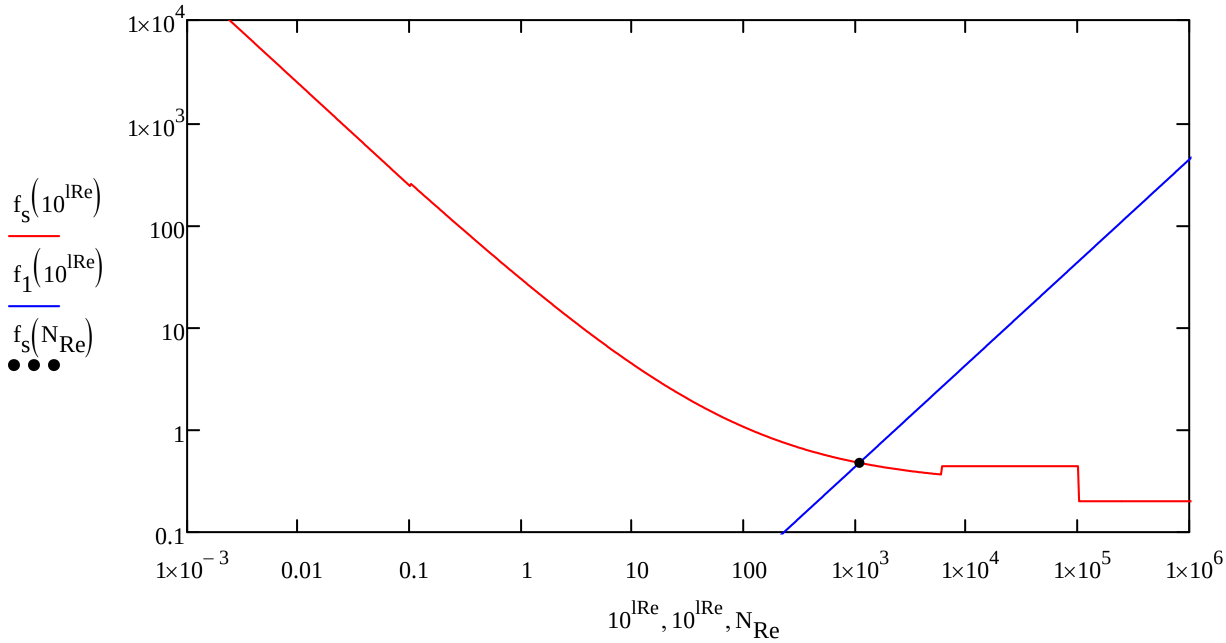
$T_1 := 300 \cdot K \qquad T_1 = 26.85\,°C \qquad \rho_s := 2500 \cdot kg \cdot m^{-3} \qquad v_{inf} := 10 \cdot \frac{m}{s} \qquad G := 4 \cdot 10^7 \cdot \frac{W}{m^3} \qquad C_P := 3 \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$C_2 := \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot \mu_A(T_1)}{v_{inf}^3} \cdot \frac{\rho_s - \rho_A(T_1)}{\rho_A(T_1)^2} = 4.363 \times 10^{-4} \qquad \rho_A(T_1) = 1.177\,\frac{kg}{m^3} \qquad \mu_A(T_1) = 1.85 \times 10^{-5}\,\frac{kg}{m \cdot s}$$

$f_1(N_{Re}) := C_2 \cdot N_{Re} \qquad f_1(10^5) = 43.633 \qquad f_1(10^6) = 436.329$

$N_{Re} := 10^5 \qquad$ Given $\qquad f_1(N_{Re}) = f_s(N_{Re}) \qquad N_{Re} := \text{Minerr}(N_{Re})$

$$N_{Re} = 1.089 \times 10^3 \qquad f_s(N_{Re}) = 0.475 \qquad D := \frac{N_{Re} \cdot \mu_A(T_1)}{v_{inf} \cdot \rho_A(T_1)} \qquad D = 1.711\,mm$$



$$N_{Re} := \frac{v_{inf} \cdot D}{\nu_A(T_1)} \qquad N_{Re} = 1.089 \times 10^3 \qquad N_{Pr} := N_{Pr.A}(T_1) \qquad N_{Pr} = 0.712$$

Correlazione 13.3-1 p. 417 vecchia edizione

$$N_{Nu} := 2 + 0.6 \cdot N_{Re}^{0.5} \cdot N_{Pr}^{0.33} \qquad N_{Nu} = 19.7 \qquad N_{Re} \cdot N_{Pr}^{\frac{2}{3}} = 868.268$$

$$h := \frac{N_{Nu} \cdot k_A(T_1)}{D} \qquad h = 300.505 \frac{W}{m^2 K}$$

allo stato stazionario

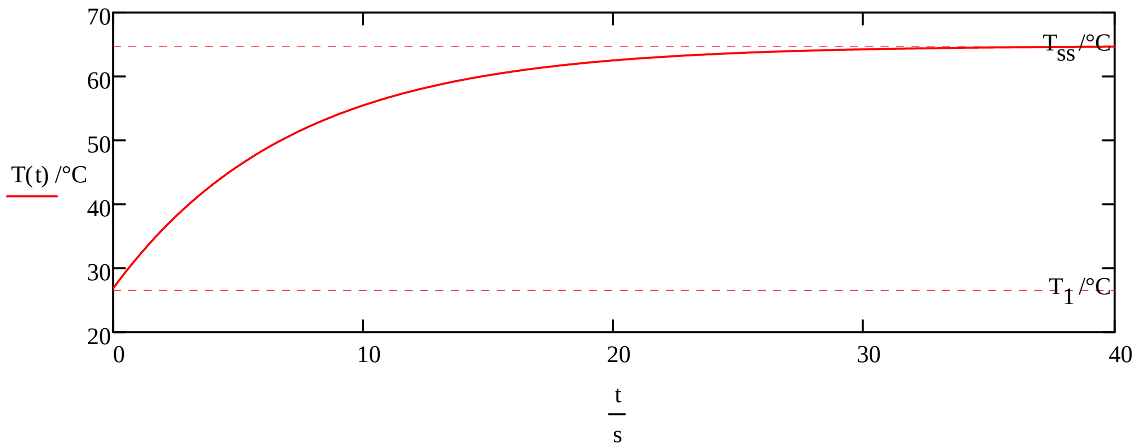
$$h \cdot S \cdot (T_{ss} - T_1) = G \cdot V \qquad T_{ss} := \frac{G \cdot D}{h \cdot 6} + T_1 = 64.808\,°C$$

$$\rho_s \cdot C_P \cdot V \cdot \frac{d}{dt} T(t) = -h \cdot S \cdot (T(t) - T_1) + G \cdot V \qquad T(t = 0) = T_1$$

$$\frac{\rho_s \cdot C_P \cdot D}{h \cdot 6} \cdot \frac{d}{dt} T(t) = T_1 - T(t) + \frac{G \cdot D}{h \cdot 6} \qquad \tau := \frac{\rho_s \cdot C_P \cdot D}{h \cdot 6} = 7.117\,s \qquad T_{ss} := \frac{G \cdot D}{6 \cdot h} + T_1 = 64.808\,°C$$

$$\tau \cdot \frac{d}{dt} T(t) = T_{ss} - T(t) \qquad \ln\left(\frac{T(t) - T_{ss}}{T_1 - T_{ss}}\right) = -\frac{t}{\tau} \qquad T(t) := T_{ss} + (T_1 - T_{ss}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

$$t := 0s, 0.1 \cdot s .. 40 \cdot s$$



Problema 1. Un corpo di volume V, superficie laterale S e capacità termica ρC_P, viene ricoperto con uno strato di spessore δ_0 di acqua liquida. Il corpo, esposto ad una corrente d'aria secca con velocità v_∞, viene asciugato in un tempo t_1 per evaporazione dell'acqua liquida. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il coefficiente di scambio di materia, k_c, per il sistema corpo/acqua/aria.

In un successivo esperimento, il corpo è riscaldato fino alla temperatura T_2 e successivamente esposto ad una corrente di aria secca con le stesse velocità e temperatura del primo esperimento (v_∞ e T_1). Nell'ipotesi che sia applicabile una analisi a parametri concentrati,

2. Calcolare il coefficiente di scambio termico tra il corpo e l'aria, valutato nelle condizioni iniziali;
3. Determinare dopo quanto tempo la differenza di temperatura tra il corpo e l'aria si riduce ad un decimo di quella iniziale.

Dati. $V = 100$ cm³, $S = 345$ cm², $\rho C_P = 10^4$ kJ/(m³·kg), $\delta_0 = 120$ μm, $t_1 = 10$ min, $T_1 = 25$°C, $T_2 = 225$°C.

$V := 100 \cdot cm^3$ $\quad S := 345 \cdot cm^2$ $\quad \delta_0 := 120 \cdot \mu m$ $\quad \rho C_P := 5000 \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot 2 \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K} = 1 \times 10^4 \cdot \frac{kJ}{m^3 \cdot K}$

$t_1 := 10 \cdot min$ $\quad T_1 := 25\,°C$ $\quad T_2 := 225\,°C$

$P_{sat.w}(T_1) = 3.188 \cdot kPa$

Bilancio di materia sullo strato di liquido

$$\frac{\rho_w(T_1)}{M_w} \cdot S \cdot \left(\frac{d}{dt}\delta(t)\right) = -W_w = -S \cdot k_C \cdot (C_{wS} - C_{winf}) \qquad \delta(t=0) = \delta_0$$

$\rho_w(T_1) = 997.278 \frac{kg}{m^3}$

$C_{winf} = 0$ aria secca

$$C_{wS} = C_{tot} \cdot \frac{P_{sat.w}(T_1)}{P_{tot}} = \frac{P_{sat.w}(T_1)}{R \cdot T_1}$$

$$\frac{d}{dt}\delta(t) = -\frac{k_C \cdot P_{sat.w}(T_1) \cdot M_w}{R \cdot T_1 \cdot \rho_w(T_1)} \qquad \delta(t) = \delta_0 - \frac{k_C \cdot P_{sat.w}(T_1) \cdot M_w}{R \cdot T_1 \cdot \rho_w(T_1)} \cdot t$$

lo strato di liquido si asciuga quando $\quad \delta = 0 \quad t = t_1$

$$\delta_0 = \frac{k_C \cdot P_{sat.w}(T_1) \cdot M_w}{R \cdot T_1 \cdot \rho_w(T_1)} \cdot t_1$$

da cui

$$k_C := \frac{\delta_0 \cdot R \cdot T_1 \cdot \rho_w(T_1)}{P_{sat.w}(T_1) \cdot t_1 \cdot M_w} = 8.617 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$D_{AB}(T) := 1.87 \cdot 10^{-10} \frac{m^2}{s} \cdot \left(\frac{T}{K}\right)^{2.072}$$

A = acqua, B = aria $\qquad T_f := \frac{T_1 + T_2}{2} = 125 \cdot °C$

analogia di Chilton-Colburn

$$j_D = \frac{N_{Sh}}{N_{Re} \cdot N_{Sc}^{0.33}} = \frac{k_c}{v} \cdot \left(\frac{\nu}{D}\right)^{\frac{2}{3}} = j_H = \frac{N_{Nu}}{N_{Re} \cdot N_{Pr}^{0.33}} = \frac{h}{\rho \cdot C_P \cdot v} \cdot \left(\frac{\nu}{\alpha}\right)^{\frac{2}{3}}$$

da cui

$$h = k_c \cdot \rho \cdot C_P \cdot \left(\frac{\alpha}{D}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$\rho_A(T_f) = 0.888 \frac{kg}{m^3}$ $\quad \alpha_A(T_f) = 3.672 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$ $\quad C_{P.A}(T_f) = 1.013 \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K}$ $\quad D_{AB}(T_f) = 4.562 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

$$h := k_C \cdot \rho_A(T_f) \cdot C_{P.A}(T_f) \cdot \left(\frac{\alpha_A(T_f)}{D_{AB}(T_f)}\right)^{\frac{2}{3}} = 6.703 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Bilancio di energia sul corpo

$$\rho \cdot C_P \cdot V \cdot \frac{d}{dt}T(t) = -h \cdot S \cdot (T(t) - T_1) \qquad T(t=0) = T_2 \qquad \ln\left(\frac{T(t) - T_1}{T_2 - T_1}\right) = -\frac{t}{\tau} \qquad \tau := \frac{\rho C_P \cdot V}{h \cdot S} = 1.201 \cdot hr$$

$$t_2 := -\tau \cdot \ln(0.1) = 2.766 \cdot hr$$

$$f_s(N_{Re}) := \text{if}\left[N_{Re} < 0.1, \frac{24}{N_{Re}}, \text{if}\left[N_{Re} < 6000, \left(\sqrt{\frac{24}{N_{Re}}} + 0.5407\right)^2, \text{if}\left(N_{Re} < 10^5, 0.44, 0.2\right)\right]\right] \qquad lRe := -3, -2.99..7$$

Problema 2. Una sferetta di solido, di densità ρ_s, calore specifico C_P e di diametro D, viene mantenuta in sospensione da un getto di aria che la investe dal basso verso l'alto, con velocità v_∞. Il sistema è isotermo alla temperatura T_1.

1. Determinare il diametro della sferetta.

La sferetta è sede di una generazione di energia volumetrica G. Il sistema si può analizzare a parametri concentrati, e il coefficiente di scambio di calore per convezione si può ritenere costante sul suo valore iniziale.

2. Calcolare la temperatura della sferetta in condizioni stazionarie.
3. Proporre il modello che descrive l'evoluzione nel tempo della temperatura.

Dati. ρ_s = 2500 kg/m³, C_P = 3 kJ/(kg·K), v_∞ = 10 m/s, G = 4·10⁷ W/m³, T_1 = 300 K.

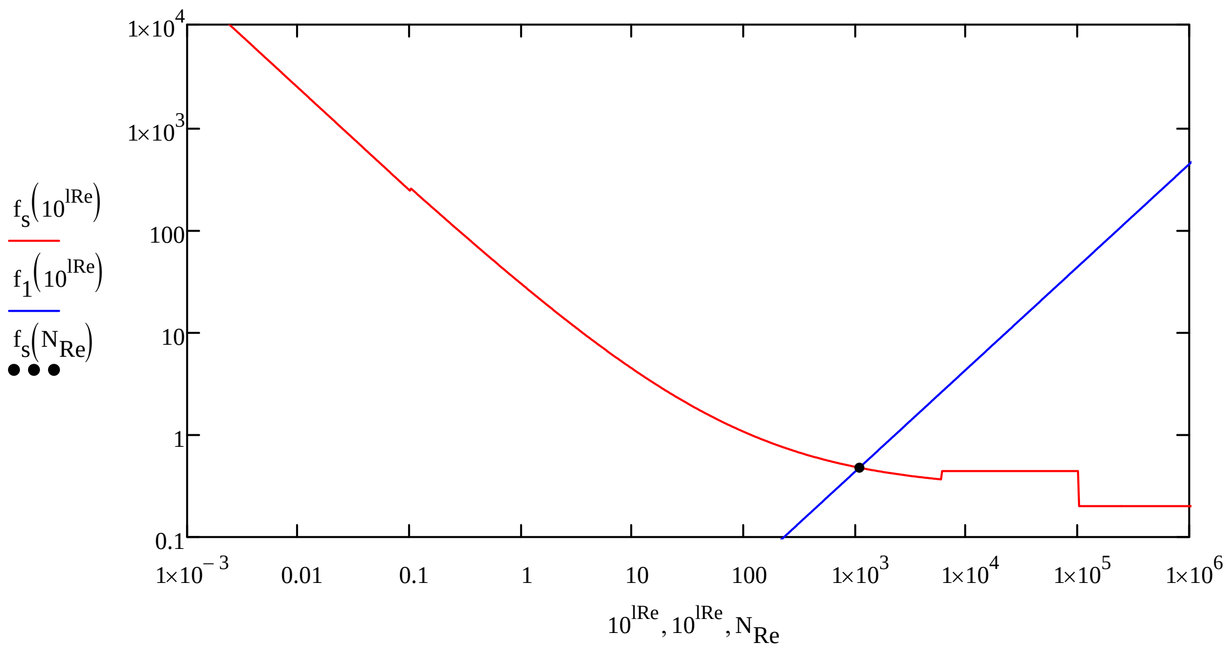
$T_1 := 300 \cdot K \qquad T_1 = 26.85 \cdot °C \qquad \rho_s := 2500 \cdot kg \cdot m^{-3} \qquad v_{inf} := 10 \cdot \frac{m}{s} \qquad G := 4 \cdot 10^7 \cdot \frac{W}{m^3} \qquad C_P := 3 \cdot \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$C_2 := \frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot \mu_A(T_1)}{v_{inf}^3} \cdot \frac{\rho_s - \rho_A(T_1)}{\rho_A(T_1)^2} = 4.363 \times 10^{-4} \qquad \rho_A(T_1) = 1.177 \frac{kg}{m^3} \qquad \mu_A(T_1) = 1.85 \times 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$f_1(N_{Re}) := C_2 \cdot N_{Re} \qquad f_1(10^5) = 43.633 \qquad f_1(10^6) = 436.329$

$N_{Re} := 10^5 \qquad$ Given $\qquad f_1(N_{Re}) = f_s(N_{Re}) \qquad N_{Re} := \text{Minerr}(N_{Re})$

$$N_{Re} = 1.089 \times 10^3 \qquad f_s(N_{Re}) = 0.475 \qquad D := \frac{N_{Re} \cdot \mu_A(T_1)}{v_{inf} \cdot \rho_A(T_1)} \qquad D = 1.711 \cdot mm$$



$N_{Re} := \dfrac{v_{inf} \cdot D}{\nu_A(T_1)}$ $\quad N_{Re} = 1.089 \times 10^3$ $\quad N_{Pr} := N_{Pr.A}(T_1)$ $\quad N_{Pr} = 0.712$

Correlazione 13.3-1 p. 417 vecchia edizione

$N_{Nu} := 2 + 0.6 \cdot N_{Re}^{0.5} \cdot N_{Pr}^{0.33}$ $\quad N_{Nu} = 19.7$ $\quad N_{Re} \cdot N_{Pr}^{\frac{2}{3}} = 868.268$

$h := \dfrac{N_{Nu} \cdot k_A(T_1)}{D}$ $\quad h = 300.505 \cdot \dfrac{W}{m^2 K}$

allo stato stazionario $\quad h \cdot S \cdot (T_{ss} - T_1) = G \cdot V$ $\quad T_{ss} := \dfrac{G \cdot D}{h \cdot 6} + T_1 = 64.808 \cdot °C$ $\quad T_{ss} = 337.958\ K$

$\rho_s \cdot C_P \cdot V \cdot \dfrac{d}{dt} T(t) = -h \cdot S \cdot (T(t) - T_1) + G \cdot V$ $\quad T(t = 0) = T_1$

$\dfrac{\rho_s \cdot C_P \cdot D}{h \cdot 6} \cdot \dfrac{d}{dt} T(t) = T_1 - T(t) + \dfrac{G \cdot D}{h \cdot 6}$ $\quad \tau := \dfrac{\rho_s \cdot C_P \cdot D}{h \cdot 6} = 7.117\ s$ $\quad T_{ss} := \dfrac{G \cdot D}{6 \cdot h} + T_1 = 64.808 \cdot °C$

$\tau \cdot \dfrac{d}{dt} T(t) = T_{ss} - T(t)$ $\quad \ln\left(\dfrac{T(t) - T_{ss}}{T_1 - T_{ss}}\right) = -\dfrac{t}{\tau}$ $\quad T(t) := T_{ss} + (T_1 - T_{ss}) \cdot \exp\left(-\dfrac{t}{\tau}\right)$

$t := 0s, 0.1 \cdot s .. 40 \cdot s$