

Principi di Ingegneria Chimica
Anno Accademico 2016-2017

Cognome	Nome	Matricola	Firma
E-mail:			

Problema 1. Due serbatoi contenenti acqua sono collegati tra loro con una tubazione di diametro interno d , liscia, di lunghezza totale L . Lungo la tubazione c'è una curva di coefficiente di perdita $e_{v,curva}$, oltre all'imbocco e allo sbocco. I peli liberi dei due serbatoi sono ad una differenza di quota H . Il secondo serbatoio è aperto all'atmosfera e posto alla quota più elevata. Lungo il tubo c'è una macchina reversibile che può funzionare da turbina o da pompa, con la curva caratteristica:

$$\hat{W} = \begin{cases} a_p \dot{V} + b_p & \text{funzionamento da pompa} \\ a_t \dot{V} + b_t & \text{funzionamento da turbina} \end{cases}$$

1. Se il primo serbatoio è a pressione $P_{1,0}$, determinare in quale verso scorre l'acqua e in quale regime funziona la macchina (da pompa o da turbina);
2. Determinare, nelle condizioni del precedente punto 1, la portata volumetrica d'acqua e l'energia per unità di massa scambiata nella macchina reversibile (discutendone il segno);
3. Se il primo serbatoio viene aperto all'atmosfera e la macchina reversibile viene impostata a funzionare come una pompa, determinare la portata volumetrica d'acqua e l'energia per unità di massa scambiata nella macchina reversibile.

Nota. I coefficienti della curva caratteristica della macchina reversibile obbediscono al criterio misto.

Dati. $d = 10 \text{ cm}$, $L = 60 \text{ m}$, $e_{v,curva} = 0.6$, $H = 25 \text{ m}$, $a_p = -9000 \frac{1}{m \cdot s}$, $b_p = -50 \frac{m^2}{s^2}$, $a_t = 2000 \frac{1}{m \cdot s}$,
 $b_t = 100 \frac{m^2}{s^2}$, $P_{1,0} = 5 \text{ bar}$.

Problema 2. Una goccia di piombo fuso, assimilabile ad una sfera di diametro D e densità ρ_{piombo} , viene lasciata cadere da ferma, in un recipiente di altezza H , in un olio (di densità ρ_f , viscosità μ_f , conducibilità k_f , calore specifico $\hat{C}_{p,f}$) alla temperatura T_A . Il punto di fusione normale del piombo è a temperatura T_F e il calore latente di fusione è ΔH_F . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera e il tempo di caduta (trascurando il transitorio);
2. Il coefficiente di scambio di calore interfase;
3. La percentuale di piombo che è passata allo stato solido durante la caduta.

Dati. $D = 1 \text{ cm}$, $\rho_{piombo} = 11300 \frac{kg}{m^3}$, $H = 1 \text{ m}$, $\rho_f = 760 \frac{kg}{m^3}$, $\mu_f = 0.001414 \frac{kg}{m \cdot s}$, $k_f = 0.119 \frac{W}{m \cdot K}$,
 $\hat{C}_{p,f} = 2.53 \frac{kJ}{kg \cdot K}$, $T_A = 300 \text{ K}$, $T_F = 600 \text{ K}$, $\Delta H_F = 23.2 \frac{kJ}{kg}$.

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

Prova scritta - 9 aprile 2018



Problema 1. Due serbatoi contenenti acqua sono collegati tra loro con una tubazione di diametro interno d , liscia, di lunghezza totale L . Lungo la tubazione c'è una curva di coefficiente di perdita $e_{v,curva}$, oltre all'imbocco e allo sbocco. I peli liberi dei due serbatoi sono ad una differenza di quota H . Il secondo serbatoio è aperto all'atmosfera e posto alla quota più elevata. Lungo il tubo c'è una macchina reversibile che può funzionare da turbina o da pompa, con la curva caratteristica:

$$\hat{W} = \begin{cases} a_p \dot{V} + b_p & \text{funzionamento da pompa} \\ a_t \dot{V} + b_t & \text{funzionamento da turbina} \end{cases}$$

1. Se il primo serbatoio è a pressione $P_{1,0}$, determinare in quale verso scorre l'acqua e in quale regime funziona la macchina (da pompa o da turbina);
2. Determinare, nelle condizioni del precedente punto 1, la portata volumetrica d'acqua e l'energia per unità di massa scambiata nella macchina reversibile (discutendone il segno);
3. Se il primo serbatoio viene aperto all'atmosfera e la macchina reversibile viene impostata a funzionare come una pompa, determinare la portata volumetrica d'acqua e l'energia per unità di massa scambiata nella macchina reversibile.

Nota. I coefficienti della curva caratteristica della macchina reversibile obbediscono al criterio misto.

Dati. $d = 10 \text{ cm}$, $L = 60 \text{ m}$, $e_{v,curva} = 0.6$, $H = 25 \text{ m}$, $a_p = -9000 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$, $b_p = -50 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$, $a_t = 2000 \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$,
 $b_t = 100 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$, $P_{1,0} = 5 \text{ bar}$.

$\Sigma L := 60 \cdot \text{m}$ $\Sigma e_v := 0.45 + 0.6 + 1$ $H := 25 \cdot \text{m}$ $P_2 := 1 \cdot \text{bar}$ $d := 0.1 \cdot \text{m}$ $P_{1,0} := 5 \cdot \text{bar}$ $P_{1,1} := 1 \cdot \text{bar}$

$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $\mu := 0.001 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$ $a_p := -9000 \cdot \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ $b_p := -50 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ $a_t := 2000 \cdot \frac{1}{\text{m}\cdot\text{s}}$ $b_t := 100 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Energia meccanica nella sezione 1 (primo caso) $E_{1,0} := \frac{P_{1,0}}{\rho} = 500 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ Energia meccanica nella sezione 2 (primo caso) $E_2 := g \cdot H + \frac{P_2}{\rho} = 345.166 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Dato che $E_{1,0} > E_2$ l'acqua andrà da "1" a "2"

Il surplus energetico $E_{1,0} - E_2 = 154.834 \cdot \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ sarà usato in parte per vincere le perdite per attrito e in parte sarà ceduto dal fluido all'ambiente esterno

La macchina reversibile funziona da turbina (estrae lavoro dal fluido, $W_s > 0$)

$v_t := 1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Given $\frac{P_{1,0}}{\rho} = g \cdot H + \frac{P_2}{\rho} + \left[a_t \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_t \right) + b_t \right] + \frac{v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right)}{d} \cdot \Sigma L + \Sigma e_v \right)$

$v_t := \text{Minerr}(v_t) = 2.02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$N_{Re} := \frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu} = 2.02 \times 10^5$ $f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) = 3.868 \times 10^{-3}$

$E_{v,s} := \frac{v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right)}{d} \cdot \Sigma L + \Sigma e_v \right) = 23.111 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

$V_p := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_t = 0.016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$W_s := a_t \cdot V_p + b_t = 131.723 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

$v_t := 1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Given $0 = g \cdot H + \left[a_p \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_t \right) + b_p \right] + \frac{v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right)}{d} \cdot \Sigma L + \Sigma e_v \right)$

$v_t := \text{Minerr}(v_t) = 3.825 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$N_{Re} := \frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu} = 3.825 \times 10^5$ $f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right) = 3.429 \times 10^{-3}$

$E_{v,s} := \frac{v_t^2}{2} \cdot \left(\frac{4 \cdot f \left(\frac{v_t \cdot d \cdot \rho}{\mu}, 0 \right)}{d} \cdot \Sigma L + \Sigma e_v \right) = 75.183 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

$V_p := \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_t = 0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$W_s := a_p \cdot V_p + b_p = -320.349 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$

Problema 2. Una goccia di piombo fuso, assimilabile ad una sfera di diametro D e densità ρ_{piombo} , viene lasciata cadere da ferma, in un recipiente di altezza H , in un olio (di densità ρ_f , viscosità μ_f , conducibilità k_f , calore specifico $\hat{C}_{p,f}$) alla temperatura T_A . Il punto di fusione normale del piombo è a temperatura T_F e il calore latente di fusione è ΔH_F . Calcolare:

1. La velocità terminale di caduta della sfera e il tempo di caduta (trascurando il transitorio);
2. Il coefficiente di scambio di calore interfase;
3. La percentuale di piombo che è passata allo stato solido durante la caduta.

Dati $D = 1 \text{ cm}$, $\rho_{\text{piombo}} = 11300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $H = 1 \text{ m}$, $\rho_f = 760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, $\mu_f = 0.001414 \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$, $k_f = 0.119 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$,
 $\hat{C}_{p,f} = 2.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, $T_A = 300 \text{ K}$, $T_F = 600 \text{ K}$, $\Delta H_F = 23.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$.

$T_A := 300 \cdot \text{K}$ $T_F := 600 \cdot \text{K}$ $T_{\text{film}} := \frac{T_A + T_F}{2} = 176.85 \cdot \text{C}$ $\rho_s := 1.13 \cdot 10^4 \cdot \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ $H := 1 \cdot \text{m}$

$D := 1 \cdot \text{cm}$ $\rho_f := 760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $\nu_f := 1.86 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$ $\mu_f := \rho_f \cdot \nu_f = 1.414 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}\cdot\text{m}}$ $\Delta H_F := 23.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$k_f := 0.119 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ $C_{p,f} := 2.53 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ $N_{\text{Pr},f} := \frac{\mu_f \cdot C_{p,f}}{k_f} = 30.054$

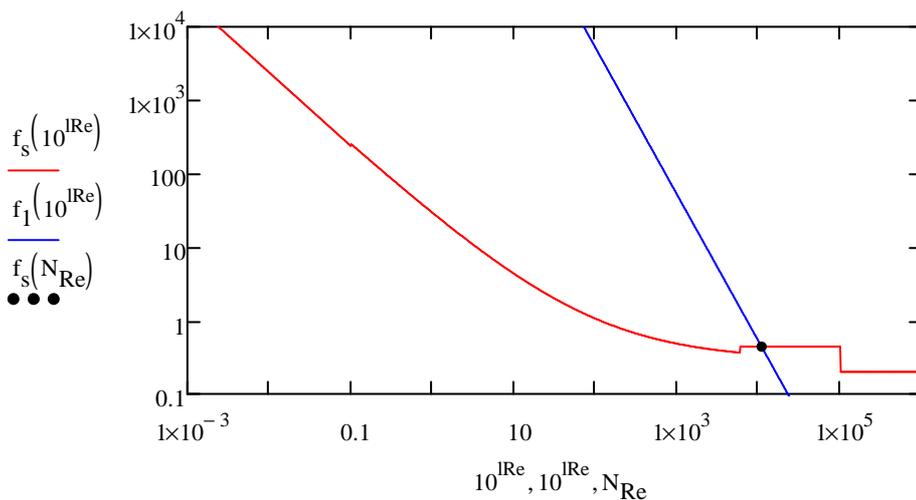
$C_1 := \frac{D \cdot \rho_f}{\mu_f} \cdot \sqrt{\frac{4}{3} \cdot D \cdot g \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}}$ $C_1 = 7.24 \times 10^3$

$f_1(N_{\text{Re}}) := C_1^2 \cdot N_{\text{Re}}^{-2}$ $f_1(100) = 5.242 \times 10^3$ $f_1(1000) = 52.416$

$N_{\text{Re}} := 100$ Given $f_1(N_{\text{Re}}) = f_s(N_{\text{Re}})$ $N_{\text{Re}} := \text{Minerr}(N_{\text{Re}})$

$N_{\text{Re}} = 1.091 \times 10^4$ $f_s(N_{\text{Re}}) = 0.44$ $v_{\text{inf}} := \frac{N_{\text{Re}} \cdot \mu_f}{D \cdot \rho_f}$ $v_{\text{inf}} = 2.03 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $t_{\text{drop}} := \frac{H}{v_{\text{inf}}} = 0.493 \text{ s}$

$\text{lRe} := -3, -2.99..7$



$N_{\text{Nu}} := 2 + 0.6 \cdot N_{\text{Re}}^{0.5} \cdot N_{\text{Pr},f}^{0.33}$

$N_{\text{Nu}} = 194.69$

$h := \frac{N_{\text{Nu}} \cdot k_f}{D} = 2.317 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

Portata di calore perduta dalla goccia

$Q := \pi D^2 \cdot h \cdot (T_F - T_A) = 218.355 \text{ W}$

Quantità di calore perduta durante la caduta

$Q \cdot t_{\text{drop}} = 107.559 \text{ J}$

$\text{massa} := \rho_s \cdot \frac{\pi \cdot D^3}{6} = 5.917 \times 10^{-3} \text{ kg}$ $\text{massa} \cdot \Delta H_F = 137.267 \text{ J}$

$\frac{Q \cdot t_{\text{drop}}}{\text{massa} \cdot \Delta H_F} = 78.358 \cdot \%$