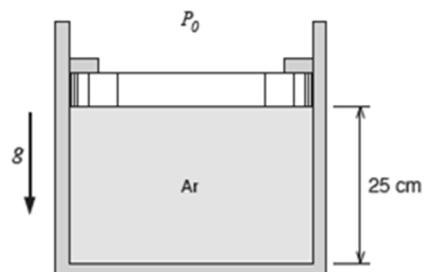


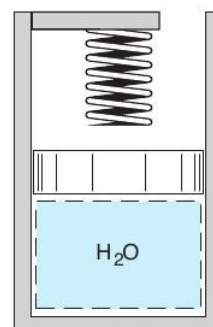
Lista de exercícios resolvidos 01 - Propriedades

- 1- O conjunto cilindro-pistão mostrado na figura ao lado contém ar a 250 kPa e 300 °C. O pistão de 50 kg apresenta diâmetro igual a 0,1 m e inicialmente pressiona os esbarros. A pressão e a temperatura atmosféricas são iguais a 100 kPa e 20 °C, e a aceleração local da gravidade é de 9,8 m/s. O cilindro é resfriado pela transferência de calor para o ambiente.
- Em que temperatura o pistão começa a se mover?
 - Qual será o deslocamento do pistão quando o ar contido no conjunto apresentar temperatura igual à atmosférica?
 - Represente o processo num diagrama $p-v$.

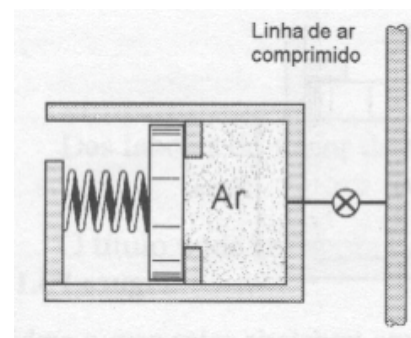


- 2- Para um determinado experimento, vapor de R-410a é mantido em um tubo de vidro selado a 20 °C. Precisamos conhecer a pressão nessa condição, mas não há meios de medi-la, pois o tubo está selado. No entanto, se o tubo é resfriado até -20 °C, gotículas de líquido começam a ser observadas nas paredes do vidro. De quanto é a pressão inicial?

- 3- Inicialmente, o conjunto cilindro-pistão mostrado na figura ao lado contém 1 L de água a 105 °C e com título igual a 85%. O conjunto é aquecido e o pistão se movimenta e encontra uma mola linear. Nesse instante, o volume interno do conjunto é 1,5 L. O aquecimento continua até que a pressão atinja 200 kPa. Sabendo que o diâmetro do pistão é 150 mm e que a constante de mola é 100 N/mm, calcule:
- O volume específico final da água no final, em m³/kg;
 - A temperatura final da água, em °C;
 - Construa um diagrama pressão (p) × volume específico (v) dos processos indicando, para cada estado, os valores de p , em kPa, e v , em m³/kg.



- 4- A figura ao lado mostra um conjunto cilindro-pistão que apresenta diâmetro igual a 10 cm. A mola tem comportamento linear com constante de proporcionalidade igual a 80 kN/m. Inicialmente o pistão está encostado nos esbarros e o volume confinado no cilindro é igual a 1 L. A válvula é então aberta e o pistão começa a se mover quando a pressão do ar atinge 150 kPa. Quando o volume interno atinge 1,5 L, a válvula é fechada e, nesta condição, a temperatura do ar no cilindro é 80 °C. Determine a massa do ar contido no conjunto na condição final.



Soluções da Lista de Exercícios 01

1) Substância: ar, modelo: gás ideal ($R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$). Sistema fechado (massa constante).

a. Chamaremos este estado, quando o pistão começa a se mover, de estado 2. O pistão começará a se mover quando a pressão interna se igualar à pressão externa somada ao peso do pistão dividido pela sua área.

$$p_2 = p_0 + \frac{m_p g}{A_p} = 100000 + \frac{50 \times 9,8}{\frac{\pi \times 0,1^2}{4}} = 162390 = 162,39 \text{ kPa}$$

Com esta pressão, conseguimos calcular a temperatura desde que saibamos o volume específico ou, alternativamente, o volume e a massa do ar. O volume é dado por $V_2 = A_p h_{p2}$, onde $h_{p2} = 0,025 \text{ m}$ é a altura do pistão quando encosta nos esbarros, dada na figura. Assim:

$$V_2 = A_p h_{p2} = \frac{\pi \times 0,1^2}{4} \times 0,25 = 1,9635 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

A massa de ar pode ser calculada considerando a condição inicial, $p_1 = 250 \text{ kPa}$, $T_1 = 300^\circ \text{C} = 573 \text{ K}$ e $V_1 = V_2 = 1,9635 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Substituindo na equação de estado:

$$pV = mRT \quad \Rightarrow \quad m = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{250 \times 1,9635 \times 10^{-3}}{0,287 \times 573} = 2,985 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

Substituindo este valor de massa na equação de estado aplicada ao estado 2:

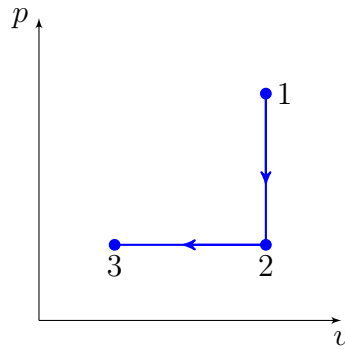
$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{162,39 \times 1,9635 \times 10^{-3}}{2,985 \times 10^{-3} \times 0,287} = 372 \text{ K}$$

b. Chamaremos este estado de estado 3, para o qual $T_3 = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$, $p_3 = p_2 = 162,39 \text{ kPa}$. Usando a equação de estado:

$$V_3 = \frac{mRT_3}{p_3} = \frac{2,985 \times 10^{-3} \times 0,287 \times 293}{162,39} = 1,546 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

A altura do pistão será $h_{p3} = V_3/A_b = 1,546 \times 10^{-3}/(\pi \times 0,1^2/4) = 0,1968 \text{ m}$. Assim, o deslocamento do pistão será $0,25 - 0,1968 = 0,0532 \text{ m}$.

c.



2) Substância: R-410a, modelo: tabelas. Sistema fechado (massa constante).

Estado 1: $T_1 = 20^\circ\text{C}$

Estado 2: $T_2 = -20^\circ\text{C}$, $x_2 = 1$ (gotículas começando a se formar nas paredes do vidro significa que o fluido está no estado de vapor saturado).

Precisamos saber mais uma propriedade termodinâmica no estado 1 para determinar p_1 . Como nem o volume nem a massa são alterados durante o processo, o volume específico é constante.

Pelas tabela de saturação do R-410a, $v_2 = v_v|_{T=-20^\circ\text{C}} = 0,06480\text{ m}^3/\text{kg}$. Como $v_2 = v_1$, basta consultar nas tabelas qual a pressão correspondente ao estado onde $T_1 = 20^\circ\text{C}$ e $v_1 = 0,06480\text{ m}^3/\text{kg}$. Nesta condição, a fase é de vapor superaquecido. Pelas tabelas, vemos que a pressão estará entre 400 kPa e 500 kPa. Interpolando:

$$p_1 = 400 + \frac{(0,06480 - 0,07916)}{(0,06231 - 0,07916)} \times (500 - 400) = 485,2\text{ kPa}$$

3) Designa-se por estado 1 o estado inicial para o qual $V_1 = 1\text{ L} = 10^{-3}\text{ m}^3$, $T_1 = 105^\circ\text{C}$ e $x_1 = 0,85$. O estado 2 será aquele no qual o pistão toca a mola para o qual $V_2 = 1,5\text{ L} = 1,5 \times 10^{-3}\text{ m}^3$. Finalmente, chama-se de estado 3 quando a pressão vale $p_3 = 200\text{ kPa}$. Outras informações do enunciado são o diâmetro do pistão ($d_p = 150\text{ mm} = 0,15\text{ m}$) e a constante elástica da mola ($k = 100\text{ N/mm} = 10^5\text{ N/m}$).

Da tabela B.1.1, para $T_1 = 105^\circ\text{C}$, como existe título, $v_{l1} = 0,001047\text{ m}^3/\text{kg}$ e $v_{v1} = 1,41936\text{ m}^3/\text{kg}$. Deste modo,

$$v_1 = (1 - x_1) \cdot v_{l1} + x_1 \cdot v_{v1} = 1,206613\text{ m}^3/\text{kg}$$

A massa do sistema (água) é constante e pode ser calculada a partir dos dados do estado 1:

$$m = \frac{V_1}{v_1} = 8,288 \times 10^{-4}\text{ kg}$$

No estado 2, tem-se:

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = 1,809846\text{ m}^3/\text{kg}$$

Enquanto o pistão não toca a mola a pressão no interior do conjunto cilindro-pistão permanece constante. Assim, $p_2 = p_1 = p_{sat @ 105^\circ C} = 120,8 \text{ kPa}$ (extraída da tabela B.1.1). Como $v_2 > v_v @ 105^\circ C = v_{v1}$, segue-se que o estado 2 é de vapor superaquecido¹.

a. A partir do momento em que o pistão toca a mola, a pressão da água será dada pela pressão no estado 2 mais a razão entre a força elástica da mola dividida pela área do pistão. Assim, para o estado 3 pode-se escrever:

$$p_3 = p_2 + \frac{F_{el}}{A_p} = p_2 + \frac{k \cdot \Delta x}{A_p} = p_2 + \frac{k}{A_p} \cdot \frac{\Delta V}{A_p} = p_2 + \frac{k}{A_p^2} \cdot \Delta V$$

$$p_3 = p_2 + \frac{k}{A_p^2} \cdot m \cdot (v_3 - v_2) \Rightarrow v_3 = v_2 + \frac{A_p^2}{k \cdot m} \cdot (p_3 - p_2) = v_2 + \frac{\pi \cdot d_p^2}{4 \cdot k \cdot m} \cdot (p_3 - p_2)$$

$$v_3 = 1,809846 + \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4 \cdot 10^5 \cdot 8,288 \times 10^{-4}} \cdot (200 - 120,8) \cdot 10^3 = 2,1083 \text{ m}^3/\text{kg}$$

b. Com os valores de $p_3 = 200 \text{ kPa}$ e $v_3 = 2,1083 \text{ m}^3/\text{kg}$ da tabela B.1.3, por interpolação, encontra-se:

$$T_3 = 641,2167^\circ \text{C} \approx 641^\circ \text{C}$$

c. A figura a seguir mostra o diagrama pedido no enunciado do exercício.

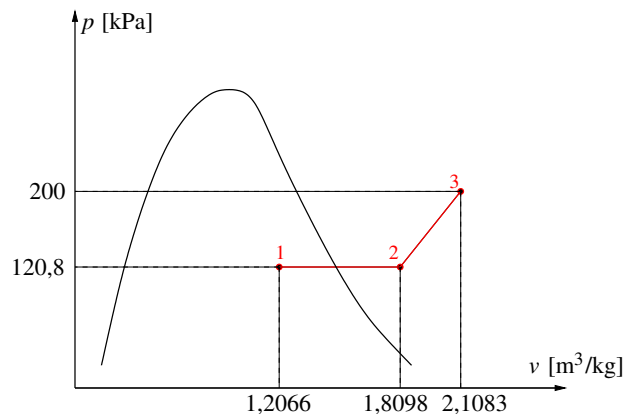


FIGURA 1 – Diagrama $p - v$ para do exercício 4.

4) Modelo de gás ideal - $R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Dados: $D_p = 0,1 \text{ m}$ e $k = 80 \text{ kN}/\text{m}$

Estado 1 (Cilindro começa a se mover): $V_1 = 10^{-3} \text{ m}^3$, $p_1 = 150 \text{ kPa}$

Estado 2: (final) $V_2 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $T_2 = 80^\circ \text{C} = 353,15 \text{ K}$

Equação de Estado: $pV = mRT \rightarrow m_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2}$. Como o único valor desconhecido é p_2 , encontra-se esse valor:

$$p_2 = p_1 + \frac{kh}{A_b}$$

¹A título de informação, a temperatura do estado 2, T_2 , vale aproximadamente $203,5^\circ \text{C}$

onde h é o deslocamento do pistão e $h = \frac{V_2 - V_1}{A_b}$

$$p_2 = p_1 + \frac{k(V_2 - V_1)}{A_b^2} = p_1 + \frac{k(V_2 - V_1)}{\frac{\pi^2 D_p^4}{16}} = 798,5 \text{ kPa}$$

Assim:

$$m_2 = 0,012 \text{ kg}$$