

A velocidade da luz, c , é de $2,9979 \times 10^8$ m/s. Portanto,

$$2900 \text{ kJ} = 2\,900\,000 \text{ J} = m \text{ (kg)} \times (2,9979 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

e daí

$$m = 3,23 \times 10^{-11} \text{ kg}$$

Então, a massa diminui $3,23 \times 10^{-11}$ kg quando a energia da massa de controle decresce de 2900 kJ.

PROBLEMAS

Energias cinética e potencial

5.1 O macaco hidráulico de uma oficina mecânica eleva de 1,8 m um carro com massa igual a 1750 kg. A bomba hidráulica impõe uma pressão constante de 800 kPa sobre o pistão do macaco. Qual é o aumento de energia potencial do automóvel e qual o volume de óleo hidráulico bombeado para realizar o trabalho?

5.2 A decolagem de aviões num porta-aviões é auxiliada por um dispositivo do tipo cilindro-pistão acionado por vapor d'água com uma pressão média de 750 kPa. Um avião, com massa de 3500 kg, deve ser acelerado do repouso até 30 m/s, com 25% da energia necessária sendo fornecida pelo dispositivo cilindro-pistão. Determine o deslocamento de volume requerido do pistão.

5.3 Resolva o Problema 5.2, mas considere agora que a pressão do vapor no cilindro varia linearmente com o volume de 1000 kPa, no início, até 100 kPa no final do processo.

5.4 Um conjunto cilindro-pistão desloca de 1 metro, verticalmente para baixo, o martelo de uma máquina de estampagem. O martelo tem massa de 25 kg e é movimentado do repouso até uma velocidade de 50 m/s. Qual é a variação de energia total do martelo?

5.5 Um pistão de 25 kg está retido sobre um gás no interior de um longo cilindro vertical. O pistão é então liberado do repouso e acelera atingindo o topo do cilindro, 5 metros acima da posição inicial, a uma velocidade de 25 m/s. A pressão do gás diminui durante o processo de tal modo que a pressão média é de 600 kPa com uma pressão atmosférica externa de 100 kPa. Despreze as variações nas energias cinética e potencial do gás e determine a variação requerida no volume do gás.

5.6 Determine as propriedades indicadas.

- | | | |
|---------------------|--|-----------------|
| a. H ₂ O | $T = 250^\circ\text{C}$, $v = 0,02 \text{ m}^3/\text{kg}$ | $P = ?$ $u = ?$ |
| b. N ₂ | 120 K , $P = 0,8 \text{ MPa}$ | $x = ?$ $h = ?$ |
| c. H ₂ O | $T = -2^\circ\text{C}$, $P = 100 \text{ kPa}$ | $u = ?$ $v = ?$ |
| d. R-134a | $P = 200 \text{ kPa}$, $v = 0,12 \text{ m}^3/\text{kg}$ | $u = ?$ $T = ?$ |
| e. NH ₃ | $T = 65^\circ\text{C}$, $P = 600 \text{ kPa}$ | $u = ?$ $v = ?$ |

Uma variação na massa dessa ordem de grandeza não pode ser detectada nem mesmo pela nossa balança química mais sensível. Certamente, uma variação na massa dessa magnitude não compromete a exatidão requerida em praticamente todos os cálculos de engenharia. Deste modo, se usarmos as leis da conservação de massa e da conservação de energia separadamente, não estaremos introduzindo erros significativos na maioria dos problemas de termodinâmica e nossa definição de uma massa de controle como sendo uma massa fixa pode ser usada mesmo quando a energia varia.

5.7 Determine as propriedades indicadas e a fase da substância:

- | | | |
|---------------------|---|-------------------------|
| a. H ₂ O | $u = 2390 \text{ kJ/kg}$, $T = 90^\circ\text{C}$ | $h = ?$ $v = ?$ $x = ?$ |
| b. H ₂ O | $u = 1200 \text{ kJ/kg}$, $P = 10 \text{ MPa}$ | $T = ?$ $x = ?$ $v = ?$ |
| c. R-12 | $T = -5^\circ\text{C}$, $P = 300 \text{ kPa}$ | $h = ?$ $x = ?$ |
| d. R-134a | $T = 60^\circ\text{C}$, $h = 430 \text{ kJ/kg}$ | $v = ?$ $x = ?$ |
| e. NH ₃ | $T = 20^\circ\text{C}$, $P = 100 \text{ kPa}$ | $u = ?$ $v = ?$ $x = ?$ |

5.8

- i. Determine a fase assim como as propriedades que faltam entre P , T , v , u e x .
- | | |
|---------------------|--|
| a. H ₂ O | a $P = 5000 \text{ kPa}$, $u = 1000 \text{ kJ/kg}$ (referência tabela de vapor) |
| b. Amônia | a $T = 50^\circ\text{C}$, $v = 0,1185 \text{ m}^3/\text{kg}$ |
| c. R-134a | a $T = 20^\circ\text{C}$, $u = 300 \text{ kJ/kg}$ |
| d. N ₂ | a 250 K , $P = 250 \text{ kPa}$ |
- ii. Mostre os quatro estados como pontos em um diagrama $T-v$ com a posição correta em relação à região de duas fases.

5.9 Determine as propriedades indicadas e a fase da substância:

- | | | |
|---------------------|---|-------------------------|
| a. H ₂ O | $T = 120^\circ\text{C}$, $v = 0,5 \text{ m}^3/\text{kg}$ | $u = ?$ $P = ?$ $x = ?$ |
| b. H ₂ O | $T = 100^\circ\text{C}$, $P = 10 \text{ MPa}$ | $u = ?$ $x = ?$ $v = ?$ |
| c. N ₂ | $T = 200 \text{ K}$, $P = 200 \text{ kPa}$ | $v = ?$ $u = ?$ |
| d. NH ₃ | $T = 100^\circ\text{C}$, $v = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ | $P = ?$ $x = ?$ |
| e. N ₂ | $T = 100 \text{ K}$, $x = 0,75$ | $v = ?$ $u = ?$ |

5.10 Determine as propriedades que faltam entre (P , T , v , u , h), juntamente com o título, se aplicável, e dê a fase da substância:

- | | |
|---------------------|--|
| a. R-22 | $T = 10^\circ\text{C}$, $u = 200 \text{ kJ/kg}$ |
| b. H ₂ O | $T = 350^\circ\text{C}$, $h = 3150 \text{ kJ/kg}$ |
| c. R-12 | $P = 500 \text{ kPa}$, $h = 230 \text{ kJ/kg}$ |
| d. R-134a | $T = 40^\circ\text{C}$, $u = 407 \text{ kJ/kg}$ |
| e. NH ₃ | $T = 20^\circ\text{C}$, $v = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ |

5.11 Água líquida saturada a 20°C é comprimida até uma pressão mais alta em um processo isotérmico. Determine as variações em u e h a partir do estado inicial se a pressão final for:

- b. 2000 kPa.
c. 20.000 kPa.

Equação de energia: processo simples

5.12 Um tanque rígido, com volume de 100 ℓ, contém nitrogênio (N_2) a 900 K e 3 MPa. O tanque é, então, resfriado até que a temperatura atinja 100 K. Determine o trabalho e o calor para esse processo.

5.13 Um tanque de 150 litros, fechado e rígido, contém água a 100°C e título de 90%. A água é então resfriada até -10°C . Determine o calor transferido nesse processo.

5.14 Um arranjo cilindro-pistão de pressão constante contém 0,25 kg de vapor d'água saturado a 200 kPa. A água é então aquecida até que a temperatura atinja 200°C. Determine o calor transferido nesse processo.

5.15 Um cilindro, adaptado com um pistão sem atrito, contém 2 kg de vapor superaquecido de refrigerante R-134a a 100°C e 350 kPa. O conjunto é então resfriado, num processo em que a pressão do refrigerante fica constante, até que o R-134a apresente título igual a 75%. Calcule a transferência de calor nesse processo.

5.16 Um cilindro de teste, fechado e rígido, com volume de 0,1 ℓ contém água no ponto crítico. Ele é resfriado até que a temperatura da água atinja 20°C. Calcule a quantidade de calor transferido da água.

5.17 Um conjunto cilindro-pistão de pressão constante contém 0,2 kg de vapor d'água saturado a 400 kPa. O conjunto é resfriado até que a água ocupe metade de seu volume inicial. Calcule o calor transferido no processo.

5.18 Amônia a 0°C, com título de 60%, está contida em um tanque rígido com volume de 200 ℓ. O tanque e a amônia são então aquecidos até atingir uma pressão final de 1 MPa. Determine o calor transferido para a amônia no processo.

5.19 Um tanque rígido com volume de 10 ℓ contém R-22 a -10°C com título de 80%. Uma corrente elétrica de 10 A (fornecida por uma bateria de 6 V) passa, por 10 minutos, através de uma resistência elétrica de aquecimento no interior do tanque, após o que a temperatura do R-22 atinge 40°C. Qual foi a transferência de calor do ou para o tanque nesse processo?

5.20 Uma garrafa de aço, fechada, contém amônia a -20°C , $x = 20\%$ e o volume é de 0,05 m³. A garrafa possui uma válvula de segurança que abre a uma pressão de 1,4 MPa. Por acidente, a garrafa é aquecida até que a válvula de segurança se abra. Determine o calor total transferido e a temperatura no momento da abertura da válvula.

5.21 Uma massa de 25 kg move-se a 25 m/s. Um sistema de freio pára completamente a massa, com uma desaceleração

constante, num intervalo de 5 s. A energia de frenagem é absorvida por 0,5 kg de água inicialmente a 20°C e 100 kPa. Considere que a massa está a pressão e temperatura constantes. Determine a energia que o freio remove da massa e o aumento de temperatura da água, admitindo que sua pressão seja constante.

5.22 Um dispositivo cilindro-pistão contém 50 kg de água a 200 kPa com um volume de 0,1 m³. São colocados batentes no cilindro com o objetivo de restringir o volume interno a um máximo de 0,5 m³. A água é então aquecida até que o pistão encoste nos batentes. Determine a transferência de calor necessária.

5.23 Dez quilos de água, em um conjunto cilindro-pistão de pressão constante, estão a 450°C e ocupam um volume de 0,633 m³. O sistema é então resfriado até 20°C. Mostre o diagrama P - v e determine o trabalho e a transferência de calor para o processo.

5.24 Um conjunto cilindro-pistão contém 1 kg de água líquida a 20°C e 300 kPa. Existe uma mola linear instalada sobre o pistão de forma que quando a água é aquecida a pressão atinge 3 MPa com um volume de 0,1 m³.

- Determine a temperatura final e trace o diagrama P - v para o processo.
- Calcule o trabalho e a transferência de calor para o processo.

5.25 Um cilindro, termicamente isolado e dotado de um pistão, contém R-12 a 25°C com um título de 90% e um volume de 45 ℓ. O pistão é liberado e o R-12 expande-se até atingir a condição de vapor saturado. Durante esse processo, o R-12 realiza 7,0 kJ de trabalho sobre o pistão. Determine a temperatura final, considerando que o processo seja adiabático.

5.26 Dois quilos de nitrogênio a 100 K, $x = 0,5$, são aquecidos até 300 K em um processo a pressão constante num conjunto cilindro-pistão. Determine os volumes inicial e final e a transferência de calor total requerida.

5.27 Um arranjo cilindro-pistão contém água a -2°C , pressurizada a 150 kPa pela pressão atmosférica exterior e pela massa do pistão, conforme mostrado na Fig. P5.27. A água é então aquecida até tornar-se vapor saturado. Determine a temperatura final, o trabalho específico e a transferência de calor por unidade de massa para o processo.

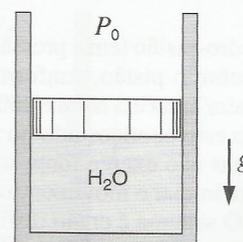


FIGURA P5.27

5.28 Considere o sistema mostrado na Fig. P5.28. O tanque A tem um volume de 100 ℓ e contém vapor saturado de R-134a a 30°C. Quando a válvula é parcialmente aberta, o R-134a escoá lentamente para dentro do cilindro B. O pistão requer uma pressão de 200 kPa no cilindro B para ser levantado. O processo termina quando a pressão no cilindro A tiver baixado para 200 kPa. Durante o processo, calor é trocado com o meio ambiente de forma que o R-134a permanece sempre a 30°C. Determine a transferência de calor para o processo.

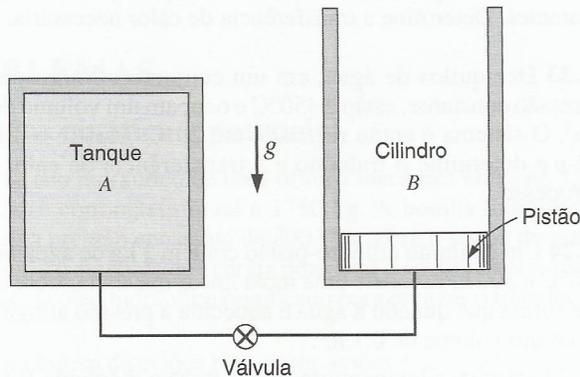


FIGURA P5.28

5.29 A Fig. P5.29 mostra um cilindro termicamente isolado que contém 2 kg de água e um pistão travado por um pino. Nessa condição, a água está a 100°C com um título de 98%. O pistão, com área da seção transversal de 100 cm², tem uma massa de 102 kg e a pressão atmosférica é de 100 kPa. O pino é, então, removido, permitindo que o pistão se mova. Admitindo que o processo seja adiabático, determine o estado final da água.

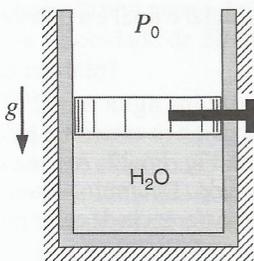


FIGURA P5.29

5.30 Um arranjo cilindro-pistão tem a pressão atmosférica e uma mola linear agindo sobre o pistão, conforme mostrado na Fig. P5.30. O arranjo contém água a 3 MPa e 400°C com um volume de 0,1 m³. Se o pistão estiver encostado no fundo do cilindro, a mola toca o pistão, mas não exerce força sobre ele, e a pressão interna necessária para iniciar o movimento do pistão, nesta condição, é de 200 kPa. O sistema é então resfriado até que a pressão atinja 1 MPa. Determine a transferência de calor para esse processo.

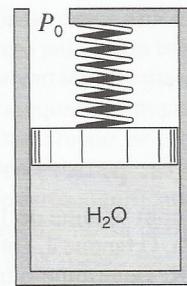


FIGURA P5.30

5.31 A Fig. P5.31 mostra um conjunto cilindro-pistão que contém 1 kg de amônia. Inicialmente, o pistão repousa sobre os batentes e a amônia está a uma temperatura de 20°C com volume de 0,1 m³. A superfície superior do pistão está aberta para a pressão atmosférica, P₀, de modo que é necessária uma pressão interna de 1400 kPa para movê-lo. A que temperatura a amônia deve ser aquecida para iniciar o levantamento do pistão? Se ela for aquecida até a condição de vapor saturado, quais são a temperatura e o volume finais da amônia e a transferência total de calor, ${}_1Q_2$, no processo?

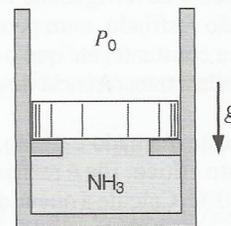


FIGURA P5.31

5.32 Um cilindro, com um pistão restringido por uma mola linear (de constante igual a 15 kN/m), contém 0,5 kg de vapor d'água saturado a 120°C, conforme mostrado na Fig. P5.32. Calor é transferido para a água causando a elevação do pistão. Se a área da seção transversal do pistão é de 0,05 m² e a pressão varia linearmente com o volume até o valor final de 500 kPa, determine a temperatura final no cilindro e o calor transferido no processo.

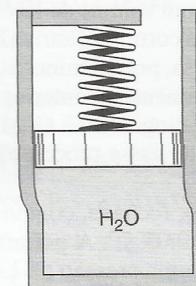


FIGURA P2.32

5.33 Um reator com volume de 1 m³, cheio d'água, está a 20 MPa e 360°C dentro de um vaso de contenção conforme mostrado na Fig. P5.33. O vaso é bem isolado e, inicialmente, está evacuado.

Quando a uma falha, o reator rompe-se e a água preenche o ambiente de contenção. Determine o volume mínimo do vaso para que a pressão final nele não exceda 200 kPa.

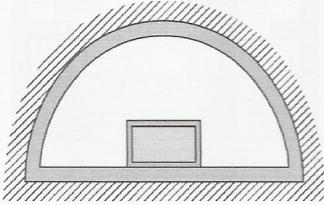


FIGURA P5.33

5.34 Um conjunto cilindro-pistão contém 1 kg de água líquida a 20°C e 300 kPa. Existe uma mola linear montada sobre o pistão de forma que quando a água é aquecida a pressão atinge 1 MPa com um volume de $0,1\text{ m}^3$. Determine a temperatura final e o calor transferido no processo.

5.35 A Fig. P5.35 mostra um cilindro de 10 m de altura, aberto, dotado de um pistão muito fino, isolado termicamente, com massa de 198,5 kg e área da seção transversal igual a $0,1\text{ m}^2$. O cilindro contém água a 20°C acima do pistão e 2 kg de água a 20°C abaixo do pistão. Transfere-se, então, calor para a água debaixo do pistão o que causa a sua expansão, o movimento para cima do pistão e o transbordo da água no topo do cilindro. Esse processo continua até que o pistão alcance o topo do cilindro. Admitindo os valores padrões para g e P_0 , determine o estado final da água debaixo do pistão (P , T , v) e o calor adicionado durante o processo.

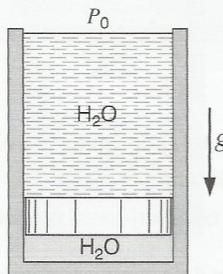


FIGURA P5.35

5.36 Uma cápsula de 1 l cheia de água a 700 kPa e 150°C é colocada em um recipiente maior, termicamente isolado e evacuado. A cápsula rompe-se e seu conteúdo enche todo o volume do recipiente. Qual deve ser o volume mínimo do vaso para que a pressão final não exceda 125 kPa?

5.37 Vapor superaquecido de R-134a a 20°C e 0,5 MPa é resfriado a pressão constante num conjunto cilindro-pistão até atingir o estado saturado com título igual a 50%. Sabendo que a massa de refrigerante é de 5 kg e que são transferidos 500 kJ de calor no processo, calcule o trabalho requerido e os volumes inicial e final no processo.

5.38 Um tanque rígido e selado contém amônia a 0°C e título de 50%. Transfere-se calor para a amônia até que ela atinja 100°C .

Determine o estado final (P_2 , u_2), o trabalho específico e a transferência de calor por quilo de amônia nesse processo.

Equação de energia: processo de múltiplas etapas

5.39 Dez quilos de água em um arranjo cilindro-pistão estão na condição de vapor saturado a 100 kPa, com um título de 50%. O sistema é então aquecido de forma que o volume triplica. A massa do pistão é tal que uma pressão interna de 200 kPa o fará flutuar, conforme mostrado na Fig. P4.36. Determine a temperatura final e o calor transferido no processo.

5.40 Um arranjo vertical cilindro-pistão contém 5 kg de R-22 a 10°C , conforme mostrado na Fig. P5.40. Calor é transferido para o sistema, causando a elevação do pistão até que o mesmo encoste nos batentes, posição na qual o volume é o dobro do inicial. Calor adicional é transferido até que a temperatura e a pressão do R-22 atinjam os valores de 50°C e 1,3 MPa, respectivamente.

- Qual é o título no estado inicial?
- Calcule o calor transferido no processo global.

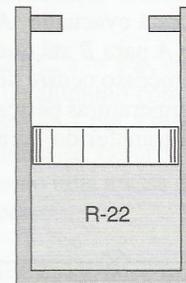


FIGURA P5.40

5.41 Determine o calor transferido no Problema 4.35.

5.42 Determine o calor transferido no Problema 4.41.

5.43 Um arranjo cilindro-pistão contém 5 kg de água a 100°C com $x = 20\%$ e o pistão, de massa $m_p = 75\text{ kg}$, repousa inicialmente sobre os esbarros, conforme mostrado na Fig. P5.43. A pressão externa é de 100 kPa e a área do cilindro é $A = 24,5\text{ cm}^2$. Calor é então adicionado até que a água atinja o estado de vapor saturado. Determine o volume inicial, a pressão final, o trabalho, o calor transferido e mostre o processo num diagrama P - v .

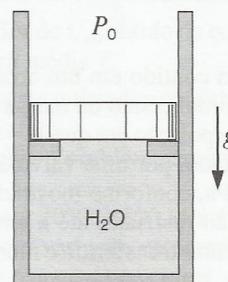


FIGURA P5.43

5.44 Um tanque rígido é dividido por uma membrana em dois compartimentos, ambos contendo água, conforme mostrado na Fig. P5.44. O compartimento A está a 200 kPa, $v = 0,5 \text{ m}^3/\text{kg}$, $V_A = 1 \text{ m}^3$, e o compartimento B contém 3,5 kg a 0,5 MPa e 400°C. A membrana rompe-se e uma transferência de calor ocorre de forma que a água chega a uma condição uniforme a 100°C. Determine o calor transferido durante o processo.

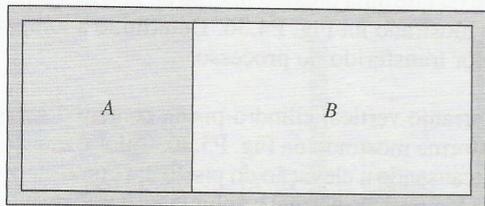


FIGURA P5.44

5.45 Dois tanques, cada um com um volume de 1 m^3 , estão conectados por uma tubulação com válvula, conforme mostrado na Fig. P5.45. O tanque A está cheio com R-134a a 20°C e título de 15%. O tanque B está evacuado. A válvula é aberta e o vapor saturado escoou de A para B até que as pressões nos dois tanques se igualem. O processo ocorre de forma lenta o suficiente para que todas as temperaturas permaneçam iguais a 20°C. Determine o calor total transferido para o R-134a durante o processo.

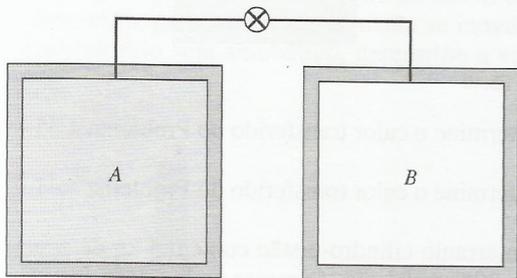


FIGURA P5.45

5.46 Considere o mesmo sistema do problema anterior. Deixe a válvula ser aberta e calor ser transferido para o R-134a de forma que todo o líquido desapareça. Determine o calor necessário.

5.47 Fluido refrigerante R-12 está contido em um arranjo cilindro-pistão a 2 MPa e 150°C com um pistão de massa desprezível encostado nos batentes, numa posição em que $V = 0,5 \text{ m}^3$. O lado acima do pistão está conectado, por uma válvula aberta, a uma linha de ar a 10°C e 450 kPa, conforme mostrado na Fig. P5.47. O conjunto inteiro é então resfriado até a temperatura ambiente de 10°C. Determine o calor transferido e mostre o processo em um diagrama P-u.

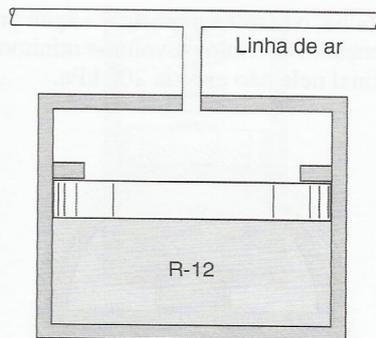


FIGURA P5.47

5.48 O volume do cilindro abaixo do pistão de carga constante possui dois compartimentos A e B cheios com água, conforme mostrado na Fig. P5.48. O compartimento A possui 0,5 kg de água a 200 kPa e 150°C e no compartimento B a pressão é de 400 kPa com um título de 50% e um volume de $0,1 \text{ m}^3$. A válvula é aberta e calor é transferido de forma que a água atinge um estado uniforme com um volume total de $1,006 \text{ m}^3$.

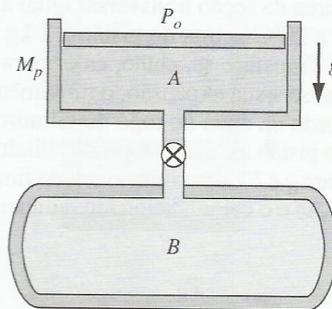


FIGURA P5.48

- Determine a massa total de água e o volume inicial total.
- Determine o trabalho no processo.
- Determine o calor transferido no processo.

5.49 Um contêiner tem dois compartimentos cheios d'água, cada um com volume de 1 m^3 , separados por uma parede. O compartimento A tem $P = 200 \text{ kPa}$ com um título $x = 80\%$. O compartimento B tem $P = 2 \text{ MPa}$ e $T = 400^\circ\text{C}$. A parede divisória é então removida e, por causa da transferência de calor, a água atinge um estado uniforme com uma temperatura de 200°C. Determine a pressão final e o calor transferido no processo.

5.50 Considere o arranjo cilindro-pistão mostrado na Fig. P5.50. Um pistão sem atrito está livre para mover-se entre dois conjuntos de batentes. Quando o pistão repousa sobre os batentes inferiores, o volume interno é de 400 ℓ. Quando o pistão encosta nos esbarros superiores, o volume é de 600 ℓ. O cilindro contém, inicialmente, água a 100 kPa, com título de 20%. Ele é aquecido até que a água esteja na condição de vapor saturado. A massa do pistão requer uma pressão de 300 kPa para movê-lo contra a pressão ambiente exterior. Determine