

PME 5202

1ª SÉRIE DE EXERCÍCIOS

1. Calcule a variação de entropia do universo resultante de cada um dos seguintes processos:

- um bloco de cobre de 0,4 kg e $C_p = 150 \text{ J/K}$ a 100°C é colocado em um lago a 10°C .
- o mesmo bloco, a 10°C , é deixado cair de uma altura de 100 m dentro do lago.
- dois de tais blocos, a 100°C e 0°C , são unidos.

2. Dois corpos idênticos, de calor específico constante a T_1 e T_2 , respectivamente, são usados como reservatórios térmicos para uma máquina térmica. Se os dois corpos permanecem a pressão constante e não experimentam mudanças de fase, demonstre que a quantidade de trabalho produzida é:

$$W = C_p (T_1 + T_2 - 2 T_f)$$

onde T_f é a temperatura final alcançada por ambos os corpos. Demonstre que, quando W é máximo:

$$T_f = \sqrt{T_1 \cdot T_2}$$

3. Dois corpos idênticos com $C_p = \text{cte}$ encontram-se à mesma temperatura inicial T_1 . Um refrigerador funciona entre ambos até que um deles é resfriado à temperatura T_2 . Se os corpos permanecem a pressão constante e não sofrem nenhuma mudança de fase, obtenha a expressão da quantidade mínima de trabalho necessária para isto.

4. Considere duas massas iguais de água, $m_A = m_B$, que estão inicialmente a $T_{A,0} > T_{B,0}$.

a) Se as duas massas são colocadas em contato térmico, atingindo o equilíbrio térmico: $T_{A,\infty} = T_{B,\infty} = T_{\infty}$, determine a temperatura T_{∞} e a entropia gerada durante o processo de troca de calor (S_{ge}).

b) Admita agora que um motor térmico reversível opera continuamente entre T_A e T_B , e que após um número suficiente de ciclos as duas massas atingem uma

temperatura comum $T_{\infty,r}$. Determine $T_{\infty,r}$ e o trabalho líquido, W , produzido pelo motor

c) Mostre que W é proporcional a S_{ge}

5. Considere o rejeito térmico de um processo com vazão mássica \dot{m} , temperatura T_f e pressão p_f . A pressão atmosférica é p_0 e a temperatura ambiente T_0 .

a) o escoamento é resfriado até T_0 através do contato térmico direto com a atmosfera. Modelando o rejeito como um gás ideal (R, C_p), determine:

- a taxa de transferência de calor para atmosfera \dot{Q} .

- a taxa de geração de entropia associada ao processo de resfriamento, \dot{S}_g .

b) Um método possível para utilizar os gases de exaustão para gerar trabalho mecânico consiste em operar um motor térmico entre o fluxo de gases e a atmosfera. Modelando o funcionamento do motor como reversível, determine a potência útil gerada pelo motor e a taxa de rejeito térmico para a atmosfera.

c) Demonstre que a potência mecânica calculada em b é proporcional a \dot{S}_g .

6. Considere um sistema qualquer mergulhado em um meio a temperatura constante T_0 . Suponha que o único reservatório térmico com o qual o sistema pode trocar calor é este meio. Se o sistema passa por um processo onde há absorção de calor Q , realização do trabalho W e uma variação de entropia $S_f - S_i$, demonstre que:

$$a. -(U_f - U_i + W) / T_0 + (S_f - S_i) \geq 0$$

$$b. W(\text{máx}) = U_i - T_0 S_i - (U_f - T_0 S_f)$$

$$c. T_0 \Delta S(\text{universo}) = W(\text{máx}) - W(\text{real})$$

7. Num trocador de calor a contracorrente ar é aquecido a partir de 40°C e um fluxo de gases é resfriado de 450°C até 200°C . O calor perdido pelo trocador para o meio corresponde a 20% do calor transferido do fluxo de gases. Determine a irreversibilidade do processo de transferência de calor, assumindo gases e ar como gases perfeitos com mesmas propriedades do ar e temperatura ambiente de 20°C .

8. Um refrigerador operando em regime permanente com coeficiente de performance de 2,5 remove 2,22 kW do compartimento de um freezer a 0°C . Determine a potência consumida pelo refrigerador, supondo que o ambiente esteja a 20°C ,

compare-a com aquela requerida por um refrigerador reversível operando nas mesmas condições.

9. Um ciclo de potência reversível consome Q_H de um reservatório térmico a T_H , rejeitando Q_L para um reservatório a T_L . O trabalho produzido por este ciclo é usado, para acionar uma bomba de calor reversível que remove Q_C de um reservatório a T_C e rejeita Q_P para um reservatório a T_P .

a. Desenvolver uma expressão para a relação Q_P/Q_H em termos das temperaturas dos quatro reservatórios.

b. Qual deve ser a relação entre essas temperaturas para que $Q_P/Q_H > 1$.

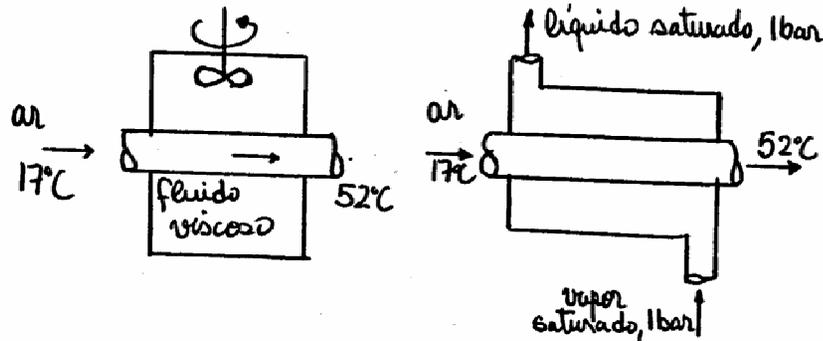
10. Um secador de cabelo fornece ar a 83°C e com velocidade de 9.1 m/s . O ar entra no duto do secador a 22°C e 3.7 m/s . Considerando que a seção transversal do duto é 18.7 cm^2 , que não há variação significativa de pressão entre as seções de entrada e saída do secador e desprezando as perdas de calor para o ambiente, determine: (\neq área de entrada)

a. a potência elétrica consumida.

b. uma expressão da eficiência do aparelho baseada na 2ª Lei; calcule essa eficiência para as condições de operação do secador.

11. Considere um motor operando num ciclo de Carnot e colocado numa nave espacial. O único meio pelo qual o calor é transferido do motor e por radiação. O calor irradiado é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta e a área da superfície irradiante. Mostre que para uma dada potência consumida e uma dada temperatura da fonte quente T_Q , a área do radiador será mínima quando $T_L/T_Q = 3/4$ (T_L = temperatura do radiador).

12. Dois sistemas são propostos para aquecer ar de 17 a 52°C à pressão constante, $P = 1 \text{ bar}$.



Admitindo operação em regime permanente, sem perdas para o meio ambiente e desprezando as variações de energia cinética e potencial, calcule a taxa de produção de entropia, por kg de ar que é aquecido, para cada um dos sistemas propostos. Comente os resultados.

13. Uma caixa de câmbio com eixos paralelos recebe 600 kW pelo eixo de alta rotação e fornece 588 kW pelo eixo de baixa rotação. Ela é resfriada segundo a expressão:

$$Q = -h A (T_b - T_0)$$

onde h é o coeficiente de troca de calor, A é a área externa da caixa, T_b é a temperatura externa da caixa (suposta uniforme) e T_0 é a temperatura do meio ambiente. Calcule a taxa de produção de entropia para (a) um volume de controle que envolve a caixa e (b) um volume de controle que contém a caixa e cuja fronteira está a T_0 . Considere $h = 0.17 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$, $A = 1.8 \text{ m}^2$ e $T_0 = 293 \text{ K}$.

14. Num processo de fabricação os materiais utilizados evoluem do estado inicial ao final de tal forma que seus incrementos globais de energia interna, entropia e volume são ΔU , ΔS e ΔV , respectivamente. A única entrada de energia no processo é originada pela condensação de vapor d'água a T_v . As saídas de energia são o calor transferido ao ambiente (a T_0 , q_0) e o trabalho envolvido no deslocamento do ambiente. A quantidade de calor fornecida pelo vapor é q_v . Mostre que a existência de irreversibilidades no processo acarreta um desperdício da energia térmica do vapor de:

$$q_v - (\Delta U + p_0 \Delta V - T_0 \Delta S) T_v / (T_v - T_0)$$

15. Determine a expressão do rendimento térmico de um ciclo térmico que opera segundo um ciclo de Carnot, entre T_H e T_L , e utiliza um gás perfeito como fluido de trabalho.

16. Considere uma massa de gelo com 1.5 kg , inicialmente à temperatura de 260 K . Devido à troca de calor com o ambiente a 293 K e 1 bar , o gelo funde, atingindo a temperatura do meio. Determine a produção de entropia associada a esse processo. Dados: $h_{s,f} = 333.4 \text{ kJ/kg}$; $c_{p,s} = 2.07 \text{ kJ/kgK}$; $c_{p,l} = 4.20 \text{ kJ/kgK}$; temperatura de fusão do gelo a $1 \text{ bar} = 273.16 \text{ K}$.