

Problemas de Termodinâmica e Estrutura da Matéria  
3ª série

**3.1)** Uma mole de um gás descreve um ciclo de Carnot, entre as temperaturas de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na transformação isotérmica superior, o volume inicial é de 1 litro e o volume final é de 5 litros. Calcule as quantidades de calor permutadas entre o sistema termodinâmico e as fontes quente e fria. Calcule o trabalho realizado ao longo de um ciclo.

**3.2)** Calcule o rendimento ideal de um motor térmico trabalhando entre as temperaturas de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

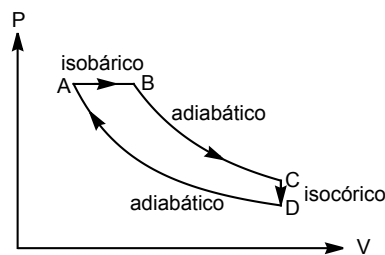
**3.3)** A temperatura da radiação solar que chega à Terra é de  $6\,000\text{ K}$ .

a) Qual é a eficiência máxima de um painel solar que está à temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Considere que o painel solar funciona aproximadamente como uma máquina térmica de Carnot.

b) Se a energia da radiação solar incidente é de  $100\text{ J}$ , quanto é a quantidade máxima de energia que o painel solar pode fornecer?

**3.4)** Uma máquina térmica descreve um ciclo de Carnot, entre as temperaturas de  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , atingindo apenas  $20\%$  da sua eficiência máxima. Calcule a energia que é necessário fornecer à máquina para que o trabalho realizado seja de  $10^4\text{ J}$ .

**3.5)** Um motor a diesel é descrito pelo ciclo termodinâmico indicado na figura. Determine os fluxos de calor da fonte quente e da fonte fria. Determine o rendimento do motor a diesel.



**3.6)** Uma máquina térmica de Stirling é descrita por um ciclo termodinâmico constituído por duas isotérmicas e duas isocóricas. Determine a sua eficiência.

**3.7)** O sistema de refrigeração de um frigorífico é constituído por  $0.2\text{ mol}$  de um gás – o isobutano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Durante o ciclo termodinâmico do frigorífico, o isobutano começa por estar sujeito a uma expansão adiabática, seguindo-se um aquecimento isocórico, uma compressão adiabática e, finalmente, o

isobutano é comprimido e arrefecido isobaricamente. No total, o ciclo termodinâmico é constituído por quatro processos termodinâmicos elementares e o ciclo é percorrido no sentido contrário ao das rotações dos ponteiros do relógio. Considere que a temperatura de funcionamento do frigorífico é de  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e que a temperatura exterior é de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A pressão máxima do isobutano na tubagem do frigorífico é de 4 bar e a temperatura do isobutano no início da compressão adiabática é de  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O isobutano é caracterizado pelas constantes termodinâmicas,  $c_V = 85.85\text{ J}/(\text{mol K})$  e  $\gamma = 1.097$ .

a) Faça o diagrama  $(V, P)$  do processo termodinâmico cíclico descrito. Indique os sentidos dos percursos e calcule as pressões, as temperaturas e os volumes no início e no fim dos quatro processos termodinâmicos elementares.

b) No diagrama do ciclo termodinâmico, indique os sentidos dos fluxos de calor e de trabalho. Nas várias transformações elementares do ciclo, calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas entre o sistema termodinâmico e o exterior.

c) Em condições normais de funcionamento do frigorífico, são percorridos 1 000 ciclos termodinâmico por hora, e o preço da energia eléctrica é de 15 cêntimos por kilowatt-hora. Calcule a potência do frigorífico. Como o custo de funcionamento do frigorífico é devido ao custo da energia que alimenta o motor que comprime o gás de refrigeração, calcule o custo diário de manutenção do frigorífico.

d) Calcule a eficiência do ciclo termodinâmico do frigorífico.

**3.8)** Num sistema termodinâmico, uma mole de um gás ideal monoatômico está sujeita a uma transformação cíclica, percorrida sentido contrário ao da rotação dos ponteiros do relógio. Num diagrama  $(V, P)$ , o processo termodinâmico tem forma triangular. Inicialmente, o gás está à pressão de 1 atm e à temperatura de 350 K, sendo depois aquecido até se atingir a temperatura de 400 K, ocupando o dobro do volume inicial. Em seguida, o gás é arrefecido até atingir a temperatura de 250 K, ocupando o triplo do volume inicial. Finalmente, o sistema é aquecido até chegar às condições iniciais.

a) Calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas com o exterior nas várias transformações elementares do ciclo termodinâmico.

b) Se o ciclo termodinâmico descreve um frigorífico, calcule o rendimento.

c) Se o ciclo termodinâmico descreve uma bomba de calor, calcule o rendimento.

d) Se o mesmo ciclo termodinâmico é percorrido no sentido da rotação dos ponteiros do relógio, calcule o rendimento da máquina térmica.

**3.9)** Num sistema termodinâmico, duas moles de um gás ideal diatômico estão sujeitas a uma transformação cíclica. O diagrama do processo termo-

dinâmico numa representação  $(V, P)$  tem forma triangular. Inicialmente o gás está à pressão de 1.013 bar e à temperatura de 300 K. Em seguida é aquecido até atingir a temperatura de 350 K, ocupando o dobro do volume inicial. Depois é arrefecido até atingir a temperatura de 250 K, ocupando o triplo do volume inicial. Finalmente, o sistema é aquecido até chegar às condições iniciais. Ao todo, existem três processos termodinâmicos elementares.

a) Calcule as pressões e os volumes no início e no fim dos três processos termodinâmicos elementares.

b) Faça o diagrama  $(V, P)$  do processo termodinâmico cíclico descrito e indique os sentidos dos percursos.

c) Calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas com o exterior nas várias transformações elementares do ciclo termodinâmico. No diagrama do ciclo termodinâmico, indique os sentidos dos fluxos de calor e de trabalho.

**3.10)** O calor específico de um sólido é  $c_P = 125.48 \text{ J}/(\text{kg K})$ . Determine a variação de entropia quando 1 kg desse sólido é aquecido de  $0^\circ \text{C}$  para  $100^\circ \text{C}$ .

**3.11)** Calcule a variação de entropia de uma mole de um gás ideal, quando este se expande isotermicamente para duas vezes o seu volume.

**3.12)** Qual a variação de entropia na vaporização de 1 litro de água. Considere que todo o processo ocorre a  $100^\circ \text{C}$  ( $L_e = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ).

**3.13)** Qual a variação de entropia quando se aquece 2 litros de água de  $20^\circ \text{C}$  para  $80^\circ \text{C}$ , a pressão constante ( $c_P = 75.29 \text{ J}/(\text{mole K})$ ).

**3.14)** Um recipiente isolado do exterior contém dois compartimentos com volumes iguais e separados por uma parede adiabática. Um dos compartimentos contém 0.5 mol de  $\text{H}_2$  e o outro, 0.5 mol de  $\text{O}_2$ . O primeiro compartimento está à pressão de 1 atm e o segundo à pressão de 2 atm. A temperatura do gás no primeiro compartimento é de  $20^\circ \text{C}$ . Qual a variação de entropia, quando se remove a parede que separa os compartimentos.

**3.15)** Uma máquina térmica percorre um ciclo constituído por uma transformação isobárica de A para B, seguindo-se de uma transformação isocórica de B para C, terminando por uma transformação isotérmica de C para A. Neste processo,  $V_A > V_B$ . O sistema termodinâmico é constituído por 1 mole de um gás ideal monoatômico,  $V_A = 50 \text{ l}$ ,  $V_B = 10 \text{ l}$  e  $P_A$  está à pressão atmosférica.

a) Calcule o trabalho realizado pelo sistema termodinâmico, ao longo de cada um dos percursos AB, BC e CA. Calcule o trabalho total realizado pelo gás.

b) Calcule o calor trocado com o sistema termodinâmico, ao longo de cada um dos percursos AB, BC e CA.

- c) Calcule a eficiência do ciclo termodinâmico.
- d) Calcule a variação de entropia ao longo do caminho CA.

**3.16)** Uma turbina realiza trabalho de acordo com um ciclo de Brayton constituído por um caminho isobárico de A para B, um caminho adiabático de B para C e um caminho isotérmico de C para A. A pressão máxima atingida durante o ciclo termodinâmico ocorre no percurso isobárico.

- a) Nos três caminhos elementares, determine as quantidades de calor e de trabalho trocadas entre o sistema termodinâmico e o exterior.
- b) Determine a eficiência reversível do ciclo termodinâmico.

**3.17)** O ciclo diário da atmosfera terrestre pode ser descrito por uma máquina térmica. Vai-se estudar este ciclo termodinâmico para uma mole de um gás diatômico. Ao fim de um dia a temperatura é  $T_A = 20\text{ }^\circ\text{C}$ , à pressão  $P_A = 1\text{ atm}$ . Durante a noite a temperatura desce até atingir, ao nascer do Sol, a temperatura  $T_B = 14\text{ }^\circ\text{C}$ , num processo adiabático. Em seguida, a temperatura aumenta durante a manhã até atingir, ao meio dia solar, a temperatura  $T_C = 26\text{ }^\circ\text{C}$ , num processo isobárico. Finalmente, a temperatura desce até ao pôr do Sol, atingindo o valor  $T_A$ , num processo cuja variação da pressão sobre a variação do volume é constante.

- a) Calcule a quantidade de calor que o sistema recebe do Sol.
- b) Calcule o calor dissipado por ciclo.
- c) Calcule o balanço de trabalho num ciclo.
- d) Calcule a variação de entropia no percurso BC.
- e) Considerando que a atmosfera terrestre se comporta como uma bomba de calor, calcule o rendimento do ciclo.
- f) Definindo o rendimento como a razão entre o valor absoluto do calor dissipado e o calor recebido, calcule este rendimento do ciclo.

**3.18)** Calcule o logaritmo natural do número de configurações microscópicas de uma mole de um gás ideal monoatômico, à pressão atmosférica e à temperatura de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Soluções: 3.1)  $Q_q = 5261 \text{ J}$ ,  $Q_f = -3923 \text{ J}$ ,  $W = -1338 \text{ J}$ . 3.2)  $e = 0.38$ .  
 3.3) (a)  $e = 0.95$ , (b)  $W = 95 \text{ kJ}$ . 3.4)  $Q_q = 197 \text{ kJ}$ . 3.5)  $Q_q = nc_P(T_B - T_A) > 0$ ,  $Q_f = nc_V(T_D - T_C) < 0$ ,  $e = 1 - (T_C - T_D)/\gamma(T_B - T_A)$ . 3.6)  
 $e = R(T_q - T_f) \ln(V_B/V_A)/(RT_q \ln(V_B/V_A) + c_V(T_q - T_f))$ , em que  $V_B > V_A$ .  
 3.7) (a)  $V_A = 1.24 \text{ l}$ ,  $V_B = 2.63 \text{ l}$ ,  $P_B = 175\,118 \text{ Pa}$ ,  $P_C = 177\,645 \text{ Pa}$ ,  
 $V_D = 1.26 \text{ l}$ ,  $T_D = 28.92 \text{ }^\circ\text{C}$ , (b)  $Q_f = 68.7 \text{ J}$ ,  $Q_q = -73.8 \text{ J}$ ,  $W_{AB} = -360.6 \text{ J}$ ,  
 $W_{CD} = 359.2 \text{ J}$ ,  $W_{DA} = 6.6 \text{ J}$ , (c)  $102 \text{ W}$ ,  $0.37 \text{ euro}$ , (d)  $e_{frig} = 0.19$ . 3.8)  
 (a)  $Q_{AB} = 2910 \text{ J}$ ,  $Q_{BC} = -693 \text{ J}$ ,  $Q_{CA} = -2356 \text{ J}$ ,  $W_{AB} = -2286 \text{ J}$ ,  
 $W_{BC} = -1178 \text{ J}$ ,  $W_{CA} = 3603 \text{ J}$ , (b)  $e = 0.81$ , (c)  $e = 0.85$ , (d)  $e = 0.05$ . 3.9)  
 (a)  $V_A = 49.2 \text{ l}$ ,  $P_B = 59092 \text{ Pa}$ ,  $P_C = 28139 \text{ Pa}$ , (c)  $W_{AB} = -3949 \text{ J}$ ,  $W_{BC} =$   
 $-2148 \text{ J}$ ,  $W_{CA} = 6374 \text{ J}$ ,  $Q_{AB} = 6028 \text{ J}$ ,  $Q_{BC} = -2009 \text{ J}$ ,  $Q_{CA} = -4296 \text{ J}$ .  
 3.10)  $\Delta S = 39.14 \text{ J/K}$ . 3.11)  $\Delta S = 5.76 \text{ J/K}$ . 3.12)  $\Delta S = 6057 \text{ J/K}$ . 3.13)  
 $\Delta S = 1558 \text{ J/K}$ . 3.14)  $\Delta S = 7 \text{ J/K}$ . 3.15) (a)  $W_{AB} = 4053 \text{ J}$ ,  $W_{BC} = 0 \text{ J}$ ,  
 $W_{CA} = -8154 \text{ J}$ ,  $W = -4101 \text{ J}$ , (b)  $Q_{AB} = -10133 \text{ J}$ ,  $Q_{BC} = 6080 \text{ J}$ ,  $Q_{CA} =$   
 $8154 \text{ J}$ , (c)  $e = 0.29$ , (d)  $\Delta S = 13.38 \text{ J/K}$ . 3.16) (a)  $W_{AB} = -p_A(V_B - V_A)$ ,  
 $Q_{AB} = nc_P(T_B - T_A)$ ,  $W_{BC} = (p_C V_C - p_B V_B)/(\gamma - 1)$ ,  $Q_{BC} = 0$ ,  $W_{CA} =$   
 $-Q_{CA} = -nRT_C \ln(V_A/V_C)$ , (b)  $e_{rev} = 1 - RT_c \ln(V_C/V_A)/c_P(T_B - T_A)$ . 3.17)  
 (a)  $Q_{BC} = 349 \text{ J}$ , (b)  $Q_{CA} = -353 \text{ J}$ , (c)  $W = 3.8 \text{ J}$ , (d)  $\Delta S = 1.19 \text{ J/K}$ , (e)  
 $e = 1.55$ , (f)  $e = 1.01$ . 3.18)  $3 \times 10^{24}$ .