

## Física II – Exercícios de Termodinâmica – 2022-23

### Capítulo I – Equilíbrio térmico e escalas de temperatura

1. Um termómetro de gás a volume constante é calibrado em gelo seco (dióxido de carbono no estado sólido, temperatura de  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e em álcool etílico em ebulição (temperatura de  $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Os valores das pressões medidas são  $0,9\text{ atm}$  e  $1,635\text{ atm}$ , respetivamente. Determine:
  - a) O valor do zero absoluto fornecido pela calibração; (**R:**  $273,47\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
  - b) O valor da pressão no ponto de congelação da água; (**R:**  $1,27\text{ atm}$ )
  - c) O valor da pressão no ponto de ebulição da água. (**R:**  $1,74\text{ atm}$ )
2. No *termómetro de resistência*, a propriedade usada para a medida da temperatura é a resistência eléctrica de um condutor. As temperaturas medidas por este termómetro podem ser directamente relacionadas com a resistência,  $R$ , medida em Ohm. Um certo termómetro de resistência possui uma resistência  $R = 90.35\text{ }\Omega$  quando colocado em água à temperatura do seu ponto triplo ( $273.16\text{ K}$ ). Calcule a temperatura indicada pelo termómetro quando for colocado num meio tal que a sua resistência seja de  $105\text{ }\Omega$ . (**R:**  $317,45\text{ K}$ )
3. O ponto de fusão do ouro é  $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$  e o ponto de ebulição é  $2660\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - a) Expresse estas temperaturas em kelvin. (**R:**  $T_f = 1337.15\text{ K}$ ;  $T_e = 2933.15\text{ K}$ ).
  - b) Calcule as diferenças entre estas temperaturas em graus Celsius e kelvin. (**R:**  $\Delta t(^{\circ}\text{C}) = 1596\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\Delta T = 1596\text{ K}$ )
4. A diferença de temperatura entre o interior e o exterior de um motor de automóvel é de  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Expresse esta diferença de temperaturas na escala Fahrenheit e na escala Kelvin. (**R:**  $\Delta t = 810\text{ }^{\circ}\text{F}$  e  $\Delta T = 450\text{ K}$ )
5. A pressão do gás de um termómetro de gás a volume constante é de  $380\text{ mmHg}$  quando o seu reservatório é colocado num padrão de ponto triplo. Qual será o valor da temperatura registada pelo termómetro se este estiver num ambiente tal que a diferença de alturas entre as colunas esquerda e direita do manómetro de mercúrio é de  $76\text{ mm}$ ? ( $\rho_{\text{Hg}} = 1,36 \cdot 10^4\text{ kg/m}^3$ ) (**R:**  $492\text{ K}$ )
6. A temperatura da superfície do Sol é aproximadamente igual a  $6000\text{ K}$ . Expresse esta temperatura em  $^{\circ}\text{C}$  e em  $^{\circ}\text{F}$ . (**R:**  $5726.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $10340.33\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
7.
  - a) Exprima a temperatura média do corpo humano ( $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em  $^{\circ}\text{F}$ . (**R:**  $96.8\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).
  - b) Exprima a temperatura normal do ponto de ebulição do oxigénio ( $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em  $^{\circ}\text{F}$ . (**R:**  $-297.4\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).
8. Converta para  $^{\circ}\text{C}$  as seguintes temperaturas:
  - a)  $223\text{ K}$  (**R:**  $-50.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
  - b)  $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$  (**R:**  $-28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
  - c)  $523\text{ K}$  (**R:**  $249.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
  - d)  $235\text{ }^{\circ}\text{F}$  (**R:**  $112.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

9. Converta para kelvin as seguintes temperaturas:  
 a) 27 °C (**R:** 300.15 K);      b) -23 °C (250.15 K);      c) -200 °C (**R:** 73.15 K);      d) 20 °F (**R:** 266.48 K);      e) 120 °F (**R:** 322.04 K);  
 f) -200 °F (**R:** 144.26 K).
10. A que temperatura os seguintes pares de escalas fornecem a mesma leitura?  
 a) Fahrenheit e Celsius (**R:** -40 °C);   b) Fahrenheit e Kelvin (**R:** 301.44 °C);  
 c) Celsius e Kelvin (**R:** nenhuma);
11. No intervalo de 0 a 660 °C usa-se, para interpolar temperaturas na Escala Internacional Prática, um termómetro de resistência de platina, de características especificadas. A temperatura,  $T$ , é calculada através de uma equação que exprime a variação da resistência em função da temperatura,  

$$R = R_0 (1 + AT + BT^2)$$
 em que  $R_0$ ,  $A$  e  $B$  são constantes determinadas nos pontos de fusão e de ebulição da água (0 e 100 °C, respectivamente) e ainda no ponto de fusão do enxofre (444.6 °C). Se  $R=10000 \, \Omega$ , no ponto de fusão da água,  $R=13946 \, \Omega$  no ponto de ebulição da água e  $R=24817 \, \Omega$  no ponto de fusão do enxofre, determine  $R_0$ ,  $A$  e  $B$ . (**R:**  $R_0 = 10000 \, \Omega$ ;  $A = 4.1240 \cdot 10^{-3} \, (^{\circ}\text{C})^{-1}$ ;  $B = -1.7799 \cdot 10^{-6} \, (^{\circ}\text{C})^{-2}$ )

## Capítulo II – Expansão Térmica de Sólidos e Líquidos

12. Partindo da relação  $\Delta l = \alpha l \Delta T$ , obtenha uma expressão para o coeficiente de dilatação linear em função da taxa de variação do comprimento com a temperatura,  $dl/dT$ . (**R:**  $\alpha = \frac{1}{l} \frac{dl}{dT}$ ).
13. Mostre que, se  $\alpha$  for considerado função da temperatura, então
- $$l = l_0 \exp \left[ \int_{T_0}^T \alpha(T) dT \right]$$
- em que  $l_0$  é o comprimento à temperatura de referência,  $T_0$ .
14. A densidade,  $\rho$ , é definida como sendo o quociente entre a massa e o volume de um corpo. Como o volume depende da temperatura, o mesmo acontece com a densidade. Prove que a variação da densidade,  $\Delta \rho$ , quando a temperatura varia de  $\Delta T$ , é expressa por  

$$\Delta \rho = -\beta \rho \Delta T$$
 em que  $\beta$  é o coeficiente de dilatação volumétrica.
15. O espelho do telescópio de um observatório localizado no cimo de uma serra tem um diâmetro de 60.0 cm e o seu coeficiente de dilatação linear é de, aproximadamente,  $3 \cdot 10^{-6} \, ^{\circ}\text{C}^{-1}$ . A temperatura da serra varia entre 3 e 30 °C. Determine a variação máxima do diâmetro do espelho. (**R:**  $4.86 \cdot 10^{-3} \, \text{cm}$ ).

16. Num balão de vidro são introduzidos 100 g de mercúrio, através de um pequeno orifício. O balão e o mercúrio encontram-se inicialmente à temperatura de 0°C. Quando a temperatura do conjunto aumenta para 20 °C, verifica-se que 0.3 g de mercúrio transbordam. Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é  $\beta = 1.8 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ , determine o coeficiente de expansão linear do vidro. (**R:**  $10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).
17. Uma barra de aço possui um diâmetro igual a 3.000 cm a 20 °C. Um anel de latão possui diâmetro interno de 2.994 cm a 20 °C. Calcule a temperatura mínima do anel de latão para que a barra possa ser introduzida no anel. ( $\alpha_{\text{latão}} = 19 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha_{\text{aço}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). (**R:** 125.5 °C).
18. A densidade do mercúrio a 0 °C é 13600 kg/m<sup>3</sup>. Calcule a densidade do mercúrio a 50 °C, sabendo que o seu coeficiente de dilatação linear é  $\alpha = 1.82 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . (**R:** 13228.72 kg m<sup>-3</sup>).
19. Quando a temperatura de uma moeda se eleva de 100 °C, o seu diâmetro aumenta de 0.18 %. Obtenha o acréscimo correspondente:
- da sua espessura (**R:** 0.18%);
  - da sua área (**R:** 0.36%);
  - do seu volume (**R:** 0.54%);
  - da sua massa (**R:** não varia).
  - Qual é o seu coeficiente de dilatação linear? (**R:**  $1.8 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ).
20. Um termómetro de mercúrio é constituído por um reservatório esférico e um tubo capilar. O tubo capilar e o reservatório têm diâmetros 0.004 cm e 0.25 cm, respetivamente. Determine a altura a que o mercúrio sobe no tubo capilar para um aumento de temperatura de 30 °C, sabendo que, à temperatura inicial, o mercúrio preenche apenas todo o reservatório esférico. Despreze a expansão térmica do vidro. ( $\alpha_{\text{Hg}} = 6.07 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ). (**R:** 3,557 cm).
21. As placas de cimento de uma autoestrada têm um comprimento de 25 m à temperatura de 10 °C. Qual deve ser a distância mínima entre as placas se o cimento puder atingir uma temperatura de 50 °C? ( $\alpha_{\text{cimento}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). (**R:** 1.2 cm).
22. São colocados trilhos de aço, para uma estrada, quando a temperatura é de 0 °C. Uma secção padrão tem comprimento igual a 12.0 m. Qual o intervalo que deve existir entre as secções para que não haja compressão quando a temperatura alcançar 42 °C? ( $\alpha_{\text{aço}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). (**R:** 5.54 mm).
23. Um tubo de alumínio ( $\alpha_{\text{alumínio}} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) tem 3.0000 m de comprimento a 20.0 °C. Qual é o seu comprimento a:
- 100.0 °C? (**R:** 3.0058 m).
  - 0.0 °C? (**R:** 2.9986 m).
24. O tanque de um automóvel é totalmente cheio com 45 l de gasolina a 10 °C. Imediatamente depois o veículo é estacionado ao Sol onde a temperatura é de 35

- °C. Quanta gasolina entorna do tanque como resultado da expansão? (Despreze a expansão do tanque). ( $\beta_{\text{gasolina}} = 9.6 \cdot 10^{-4} (\text{°C})^{-1}$ ). (R: 1.08 l).
25. As armações de uns óculos são feitas de um plástico cujo coeficiente de expansão linear é de  $1.3 \cdot 10^{-4} \text{°C}^{-1}$ . As armações possuem dois aros circulares de 2.2 cm de raio (à temperatura de 20 °C) para inserir as lentes. A que temperatura devem as armações ser aquecidas para inserir lentes de 2.21 cm de raio? (R: 55.0 °C).
26. O coeficiente de expansão volumétrica para o tetracloreto de carbono é de  $5.81 \cdot 10^{-4} \text{°C}^{-1}$ . Se um contentor de aço de 5.0 l for completamente cheio de tetracloreto de carbono quando a temperatura é de 10.0 °C, quanto se entornará quando a temperatura subir para 30.0 °C? ( $\beta_{\text{aço}} = 33 \cdot 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ ). (R: 0.0548 l).

### Capítulo III – Calor e Trabalho

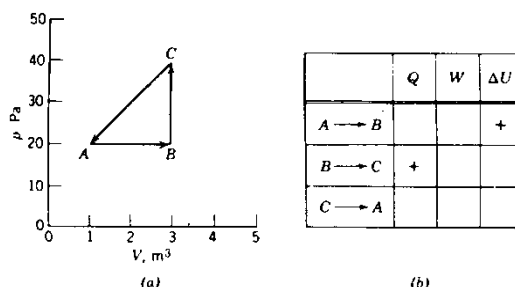
27. Quantas calorias será necessário fornecer a 3.0 kg de alumínio para elevar a sua temperatura de 20 °C para 50 °C? ( $c_{\text{Al}} = 900 \text{ J/kg °C}$ ). (R: 19350 cal).
28. A temperatura de uma barra de prata aumenta de 10.0 °C quando absorve 1.23 kJ de calor. A massa da barra é de 525 g. Determine o calor específico da prata. (R: 234.3 J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).
29. Se 100 g de água, a 100 °C, forem deitadas num copo de alumínio de 20 g de massa, contendo 50 g de água a 20 °C, qual será a temperatura de equilíbrio do sistema? Admita que o copo e a água estão inicialmente em equilíbrio térmico. ( $c_{\text{Al}} = 900 \text{ J/kg °C}$ ;  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg °C}$ ). (R: 71.85 °C).
30. Qual a quantidade de calor que é necessário fornecer a um cubo de gelo, de 1 g, à temperatura de -30 °C, para obter vapor de água a 128 °C ( $c_g = 2090 \text{ J/kg °C}$ ,  $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$ ,  $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/kg °C}$ ,  $\lambda_e = 2260 \text{ kJ/kg}$ ,  $c_v = 2010 \text{ J/kg °C}$ ). (R: 3130.6 J).
31. Nas máquinas de café (expresso) utiliza-se vapor de água para aquecer um líquido. Qual é a massa de vapor de água, à temperatura de 130 °C, necessária para aquecer uma chávena com 100 g de água, desde  $t_i = 20 \text{ °C}$  até  $t_f = 50 \text{ °C}$ . ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg °C}$ ;  $c_{\text{vapor}} = 2010 \text{ J/kg °C}$ ). (R: 4,96 g).
32. Qual é a temperatura final de equilíbrio quando 10 g de leite, a 10 °C, são adicionados a 160 g de café a 90 °C? Assuma que  $c_{\text{leite}} = c_{\text{café}} = c_{\text{água}}$ . (Despreze a capacidade calorífica do recipiente). (R: 85.3 °C).
33. Uma ferradura de cavalo, de 1.5 kg, inicialmente a 600 °C, é introduzida num recipiente contendo 20 kg de água a 25 °C. Qual será a temperatura final do

- sistema? (Despreze a capacidade calorífica do recipiente;  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{Fe}} = 448 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $29.6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
- 34.** Que quantidade de calor deve ser adicionada a 20 g de alumínio, a  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ , para o derreter completamente? ( $T_f = 660 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{Al}} = 900 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ;  $L_f = 3.97 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ ). (**R:**  $19460 \text{ J}$ ).
- 35.** A temperatura do ar nas regiões costeiras é influenciada pelo elevado valor do calor específico da água ( $4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ ). Uma das razões está ligada ao facto do calor libertado por  $1 \text{ m}^3$  de água, quando arrefece  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , aumentar em  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$  a temperatura de um grande volume de ar. Calcule este volume, sabendo que o calor específico do ar é  $c_{\text{ar}} = 1 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$  e a densidade do ar é  $\rho_{\text{ar}} = 1.3 \text{ kg/m}^3$ . ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ). (**R:**  $3223 \text{ m}^3$ ).
- 36.** Calcule o calor específico de um metal a partir dos seguintes dados: um recipiente metálico de  $4.0 \text{ kg}$  contém  $14.0 \text{ kg}$  de água e ambos estão a  $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; um bloco de  $2.0 \text{ kg}$  feito do mesmo metal, que estava inicialmente a  $160 \text{ } ^\circ\text{C}$ , é mergulhado na água; após o equilíbrio térmico, todo o sistema se encontra à temperatura de  $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ . ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $646.4 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).
- 37.** Dois cubos de gelo de  $40 \text{ g}$  são colocados num copo com  $150 \text{ g}$  de água. A temperatura inicial da água era de  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$  e a temperatura inicial dos cubos de gelo era de  $-10 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Calcule a temperatura final de equilíbrio, sabendo que  $c_{\text{gelo}} = 0.50 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  e  $L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g}$ . ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
- 38.** Um termómetro de massa  $0,055 \text{ kg}$  e calor específico  $0,20 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$  marca  $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ . O termómetro é mergulhado em  $0,3 \text{ kg}$  de água e, após atingirem o equilíbrio térmico, vai marcar  $44,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Calcule a temperatura inicial da água, isto é, antes da imersão do termómetro, desprezando outras perdas possíveis de calor. ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $45,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
- 39.** Num calorímetro misturou-se  $100 \text{ g}$  de alumínio à temperatura de  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$  com  $50 \text{ g}$  de água à temperatura de  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Determine a temperatura final do conjunto. ( $c_{\text{Al}} = 0.251 \text{ cal/g K}$ ,  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). (**R:**  $46.7 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
- 40.** Num recipiente isolado,  $250 \text{ g}$  de gelo a  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  são adicionados a  $600 \text{ g}$  de água a  $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ . ( $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$ ,  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ).
- Determine a temperatura final do sistema. (**R:**  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
  - Determine a quantidade de gelo que permanece no sistema quando este atinge o estado de equilíbrio. (**R:**  $114.2 \text{ g}$ ).
- 41.** O calor fornecido a um corpo desde uma temperatura inicial,  $T_i$ , até uma temperatura final,  $T$ , é dado por:
- $$Q = A(T - T_i)^2$$
- onde  $A = 20 \text{ cal/K}^2$ .

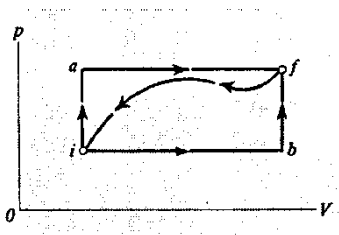
- a) Determine a expressão da capacidade calorífica em função de  $T$ .  
b) Sabendo que  $T_i=200$  K, calcule a capacidade calorífica para  $T=300$  K. (**R:**  $16744 \text{ J K}^{-1}$ ).
42. Considere que o calor específico de um corpo varia com a temperatura de acordo com a relação
- $$c = A + BT^2$$
- em que  $A$  e  $B$  são constantes e  $T$  é a temperatura, medida em graus Celsius. Compare o calor específico médio do corpo no intervalo  $T=0$  a  $T=T_0$  com o calor específico do mesmo corpo à temperatura  $T_0/2$ . (**R:**  $c_{\text{médio}} > c(T_0/2)$ ).
43. No topo das cataratas do Niagara a temperatura da água é  $10^\circ\text{C}$ . Sabendo que a altura da catarata é de  $50$  m, e assumindo que toda a energia potencial é utilizada para o aquecimento da água, calcule a temperatura da água na base das cataratas. ( $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $10.12^\circ\text{C}$ ).
44. Por vezes utiliza-se um aparelho eléctrico, constituído por uma resistência eléctrica em forma de serpentina, para aquecer água. Se o aparelho tiver uma potência de  $10\text{W}$ , quanto tempo é necessário esperar para que  $1$  kg de água, à temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , se evapore completamente? ( $\lambda_e = 2260 \text{ kJ/kg}$ ). (**R:**  $226 \cdot 10^3 \text{ s}$ ).
45. a) Um bloco de gelo, cuja massa inicial é de  $50$  kg a  $0^\circ\text{C}$ , desliza sobre uma superfície horizontal. A sua velocidade inicial é de  $5.38 \text{ m/s}$  e pára após percorrer  $28.3$  m. Calcule a massa de gelo que passa ao estado líquido em consequência do atrito entre o bloco e a superfície. ( $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$ ,  $c_g = 2093 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). (**R:**  $2.17 \text{ g}$ ).  
b) Resolva o mesmo problema para uma temperatura inicial do gelo de  $-1^\circ\text{C}$ . (**R:**  $0 \text{ g}$ ).  
c) Determine a variação de temperatura do bloco de gelo nas condições de b). (**R:**  $0.007^\circ\text{C}$ ).
46. Um projectil de chumbo, de  $2$  g de massa, move-se com uma velocidade de  $200 \text{ m/s}$  quando penetra num bloco de madeira. Calcule a variação de temperatura do projectil, supondo que todo o calor libertado devido ao atrito foi gasto para aquecê-lo. ( $c_{\text{pb}}=128 \text{ J/kg }^\circ\text{C}$ ). (**R:**  $156.25^\circ\text{C}$ ).
47. Um atleta dissipa toda a energia da sua dieta, que é de  $4000 \text{ kcal/dia}$ . Compare este calor com a produção de energia de uma lâmpada de  $100 \text{ W}$ . (**R:** é maior).
48. Em torno de uma cratera, formada por um meteorito,  $75$  kg de rocha fundiram devido ao impacto. A temperatura do solo antes do impacto era de  $0^\circ\text{C}$ . Supondo que o meteorito atingiu o solo enquanto se movia a uma velocidade de  $600 \text{ m/s}$ , determine a massa mínima do meteorito. Assuma que, durante o impacto, não houve perdas de calor para a rocha circundante que não fundiu, nem para a atmosfera. ( $c_{\text{rocha}} = 0.8 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$ ,  $T_f = 500^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_f = 48 \text{ kcal/kg}$ ). (**R:**  $781.4 \text{ kg}$ ).

### Capítulo IV – 1ª Lei da Termodinâmica

49. Um gás é comprimido à pressão constante de 0.80 atm de 9.0 l para 2.0 l. 400 J de calor são perdidas pelo gás.  
 a) Qual é o trabalho realizado pelo gás? (**R:** -567.3 J).  
 b) Qual é a variação da sua energia interna? (**R:** 167.3 J).
50. Um sistema termodinâmico sofre um processo no qual a sua energia interna diminui 500 J. Se, simultaneamente, um trabalho de 220 J for realizado pelo sistema, encontre a quantidade de calor transferida para o sistema ou cedida por ele. (**R:** cede 280 J).
51. Um sistema termodinâmico é levado do estado inicial A até ao estado B e trazido de volta a A através do estado C, conforme o diagrama p-V da figura (a) abaixo.  
 a) Complete a tabela da figura (b), atribuindo os sinais + ou - às grandezas termodinâmicas associadas a cada processo.  
 b) Calcule o trabalho realizado pelo sistema para o ciclo completo A-B-C-A. (**R:** -20 J).



52. Considere a figura representada abaixo. Suponha que a variação de energia interna do sistema é igual a 230 J para o percurso *iaf*. Calcule a variação de energia interna para os percursos:  
 a) *if*; (**R:** 230 J).      b) *ibf* (**R:** 230 J).      c) *fi*. (**R:** -230 J).



53. Considere a mesma figura do problema anterior. Quando um sistema é levado do estado  $i$  para o estado  $f$ , ao longo do caminho  $iaf$ ,  $Q=50$  cal e  $W=20$  cal. Ao longo do caminho  $ibf$ , verifica-se que  $Q=36$  cal.
- a) Qual é o valor de  $W$  para o percurso  $ibf$ ? (**R:** 25.1 J).
  - b) Se  $W = -13$  cal para o caminho  $fi$ , qual é o valor de  $Q$ ? (**R:** -180 J).
  - c) Se  $U_i = 10$  cal, quanto vale  $U_f$ ? (**R:** 167.4 J).
  - d) Se  $U_b = 22$  cal, quanto vale  $Q$ , para o processo  $ib$ ? E para o processo  $bf$ ? (**R:**  $Q_{ib} = Q_{bf} = 75.3$  J).
54. Realiza-se um trabalho de 8 kJ para evaporar uma certa quantidade de água a 1 atm e 373.15 K. A variação da energia interna neste processo é igual a 80 kJ. Calcule a massa de água evaporada. ( $L_e = 2260$  kJ/kg). (**R:** 0.039 kg).

## Capítulo V – Gases Ideais

55. Calcule o volume ocupado por 1 mol de um gás ideal nas condições de pressão e temperatura normais, isto é, à pressão de 1 atm e à temperatura de 0 °C. (**R:** 22.4 dm<sup>3</sup>).
56. Um gás ideal encontra-se no seguinte estado:  $p = 1$  atm,  $V = 3$  l,  $T = 300$  K. Calcule a massa total do gás sabendo que a sua massa molecular vale 32 g / mol. (**R:** 3.9 g).
57. 1 l de azoto a 40 °C e à pressão de 30 mm Hg expande-se até atingir um volume de 2 l, à pressão de 40 mm Hg. Determine:
- a) a quantidade de azoto expressa em mol; (**R:**  $1.54 \cdot 10^{-3}$  mol).
  - b) a temperatura final do sistema. (**R:** 833 K).
58. Um pneu de automóvel, cujo volume é igual a 250 cm<sup>3</sup>, contém ar à pressão de 1.7 atm, quando a sua temperatura é de 23 °C. Calcule a pressão do ar no pneu quando a sua temperatura passar para 53 °C e o seu volume para 280 cm<sup>3</sup>. (**R:**  $1.69 \cdot 10^5$  Pa).
59. Calcule a pressão exercida por 10 g de azoto no interior de um recipiente de 1 l, sendo a temperatura igual a 25 °C e admitindo que o azoto se comporta como um gás ideal. ( $M(N_2) = 28$  g mol<sup>-1</sup>). (**R:**  $8.85 \cdot 10^4$  Pa).
60. O melhor vácuo que se consegue obter em laboratório corresponde à pressão de aproximadamente  $10^{-14}$  atm, cerca de  $10^{-10}$  mm Hg. Quantas moléculas por centímetro cúbico existem neste vácuo, à temperatura ambiente (20 °C)? (**R:**  $2.5 \cdot 10^5$  cm<sup>-3</sup>).



61. Calcule o número de moléculas de um gás contidas num volume de  $1.00 \text{ cm}^3$  à pressão de  $1.00 \cdot 10^{-3} \text{ atm}$  e à temperatura de  $200 \text{ K}$ . (**R:**  $3,7 \cdot 10^{16}$ ).
62. A massa da molécula de  $\text{H}_2$  é de  $3.32 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ . Se  $10^{23}$  moléculas de hidrogénio chocam, por segundo, contra  $2.0 \text{ cm}^2$  de uma parede inclinada de  $45^\circ$  em relação à direcção da velocidade, que vale  $10^5 \text{ cm/s}$ , qual é a pressão que elas exercem sobre a parede? (**R:**  $2.35 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ).
63. A  $273^\circ\text{F}$  e  $1.00 \cdot 10^{-2} \text{ atm}$  a densidade de um gás é de  $1.24 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ .  
a) Determine  $v_{\text{qm}}$  para as moléculas do gás. (**R:**  $495 \text{ m s}^{-1}$ ).  
b) Determine a massa molar do gás. (**R:**  $41.4 \text{ g mol}^{-1}$ ).
64. a) Calcule a velocidade quadrática média de um átomo de argon à temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$ . ( $M(\text{Ar}) = 40 \text{ g mol}^{-1}$ ). (**R:**  $427.5 \text{ m s}^{-1}$ ).  
b) A que temperatura a velocidade quadrática média será reduzida a metade desse valor? A que temperatura será o dobro? (**R:**  $73.3 \text{ K}$ ,  $1172.6 \text{ K}$ ).
65. Encontre a velocidade quadrática média das moléculas de azoto sob condições de pressão e temperatura normais ( $0.0^\circ\text{C}$  e  $1 \text{ atm}$ ). (Note que  $1 \text{ mol}$  de qualquer gás ocupa um volume de  $22.4 \text{ l}$  em condições de pressão e temperatura normais). ( $M(\text{N}_2) = 28 \text{ g mol}^{-1}$ ). (**R:**  $493.3 \text{ m s}^{-1}$ ).
66.  $2 \text{ mol}$  de oxigénio estão confinados a um volume de  $5.00 \text{ l}$ , à pressão de  $8.00 \text{ atm}$ . Calcule a energia cinética média de translação de uma molécula de oxigénio nestas condições. (**R:**  $5.0 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ ).
67. a) Quantos átomos de  $\text{He}$  são necessários para encher um balão até um diâmetro de  $30.0 \text{ cm}$  a  $20.0^\circ\text{C}$  e  $1.00 \text{ atm}$ ? (**R:**  $3.54 \cdot 10^{23}$ ).  
b) Qual é a energia cinética média de cada átomo de  $\text{He}$ ? (**R:**  $6.07 \cdot 10^{-21} \text{ J}$ ).  
c) Qual é a velocidade quadrática média de cada átomo de  $\text{He}$ ? ( $M(\text{He}) = 4 \text{ g mol}^{-1}$ ). (**R:**  $1352 \text{ m s}^{-1}$ ).
68. A massa da molécula de um gás pode ser calculada a partir do calor específico a volume constante. Considere  $c_V = 0.075 \text{ kcal / kg K}$  para o argon. Calcule:  
a) a massa molar do argon (**R:**  $39.7 \text{ g mol}^{-1}$ );  
b) a massa de um átomo de argon. (**R:**  $6.6 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ ).
69.  $1 \text{ mol}$  de um gás ideal monoatômico encontra-se à temperatura inicial de  $300 \text{ K}$ . O gás sofre um processo isocórico recebendo  $500 \text{ J}$  de calor. Seguidamente sofre um processo isobárico perdendo a mesma quantidade de calor. Determine:  
a) a nova temperatura do gás; (**R:**  $316 \text{ K}$ ).  
b) o trabalho realizado sobre o gás. (**R:**  $-200 \text{ J}$ ).
70.  $1 \text{ mol}$  de ar ( $c_V = 5 R / 2$ ) a  $300 \text{ K}$ , confinado num cilindro com um pistão, ocupa um volume de  $5.0 \text{ l}$ . Determine o novo volume do gás se  $4.4 \text{ kJ}$  de calor forem transferidos para o ar a pressão constante. (**R:**  $7.52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ).

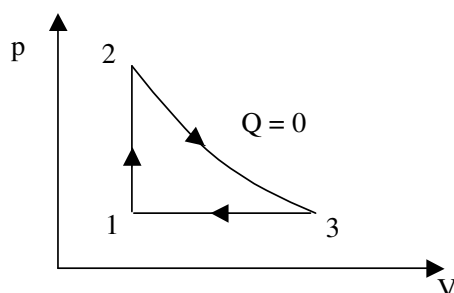
71. 1 mol de um gás ideal monoatômico é aquecido a pressão constante, a partir de 0 °C. Qual é a quantidade de calor que deve ser adicionada ao gás para que o seu volume aumente para o dobro? (**R:** 5677.4 J).
72. Um litro de um gás ( $\gamma = 1.3$ ) encontra-se a 273 K e à pressão 1.0 atm. O gás é rapidamente comprimido até metade do seu volume original. Determine as suas pressão e temperatura finais. (**R:**  $2.5 \cdot 10^5$  Pa, 336.1 K).
73. A massa de um gás ocupa um volume de 4.0 l, à pressão de 1.0 atm e à temperatura de 300 K. O gás é comprimido adiabaticamente até ao volume de 1.0 l. Determine:
- a) a pressão final; (**R:**  $8.1 \cdot 10^5$  Pa).
  - b) a temperatura final; (**R:** 600 K).
- supondo tratar-se de um gás ideal para o qual  $\gamma = 1.5$ .
74. 2 mol de um gás ideal ( $\gamma = 1.40$ ) expandem adiabaticamente desde uma pressão de 5.00 atm e um volume de 12.0 l até um volume final de 30.0 l.
- a) Qual é a pressão final do gás? (**R:**  $1.4 \cdot 10^5$  Pa).
  - b) Quais são as temperaturas inicial e final?  
(**R:**  $T_i = 365.5$  K,  $T_f = 253.4$  K).
75. Um recipiente de 5.00 l contém 0.125 mol de um gás ideal a 1.50 atm. Qual é a energia cinética média de translação de uma molécula? (**R:**  $1.5 \cdot 10^{-20}$  J).
76. Num sistema de alto vácuo a pressão é de  $1.00 \cdot 10^{-10}$  torr (1 torr = 133 Pa). Se a temperatura for de 300 K, encontre o número de moléculas num volume de 1.00 m<sup>3</sup>. (**R:**  $3.2 \cdot 10^{12}$ ).
77. a) Um gás ideal monoatômico, inicialmente a 27 °C, é comprimido bruscamente até um décimo do seu volume inicial. Qual será a sua temperatura após a compressão? (**R:** 1393.2 K).
- b) Faça o mesmo cálculo para um gás diatômico. (**R:** 753.9 K).
78. Um recipiente de 20 litros, mantido à temperatura de 127 °C, contém 3.2 g de oxigénio, 2.8 g de de azoto e 0.2 g de hidrogénio. As massas moleculares relativas valem 32 g/mol, para o oxigénio, 28 g/mol, para o azoto, e 2 g/mol, para o hidrogénio. Determine a pressão parcial:
- a) do oxigénio; (**R:**  $1.6 \cdot 10^4$  Pa).
  - b) do azoto; (**R:**  $1.6 \cdot 10^4$  Pa).
  - a) do hidrogénio. (**R:**  $1.6 \cdot 10^4$  Pa).
79. Uma sala de 80 m<sup>3</sup> de volume contém ar com uma massa molar média de 29 g/mol. A temperatura ambiente é de 18 °C e a pressão é de 1 atm. Se se aumentar a temperatura ambiente para 25 °C, qual é a variação da massa de ar na sala? (**R:** -2.3 kg).
80. Uma bolha de ar, de 25 cm<sup>3</sup> de volume, encontra-se no fundo de um lago, a 40 m de profundidade e à temperatura de 4 °C. A bolha sobe à superfície, que está à temperatura de 20 °C e à pressão de 1 atm. Supondo que a temperatura da

bolha é igual à temperatura da água na sua vizinhança, calcule o seu volume imediatamente antes de atingir a superfície. ( $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ ). (**R:** 128.8 cm<sup>3</sup>).

81. A massa atômica do Hélio é  $6.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Calcule o calor específico mássico a volume constante para o Hélio gasoso. (**R:** 3109 J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).
82. 5 mol de um gás ideal expandem isotermicamente a 127 °C para 4 vezes o seu volume inicial. Encontre:
  - a) o trabalho realizado pelo gás; (**R:**  $2.31 \cdot 10^4 \text{ J}$ ).
  - b) o calor transferido para o sistema. (**R:**  $2.31 \cdot 10^4 \text{ J}$ ).
83. Um gás ideal inicialmente a 300 K sofre uma expansão isobárica a 2.50 kPa. Se o volume aumenta de 1.00 m<sup>3</sup> para 3.00 m<sup>3</sup> e 12.5 kJ de calor são transferidos para o gás, determine:
  - a) a variação da energia interna; (**R:**  $7.5 \cdot 10^3 \text{ J}$ ).
  - b) a temperatura final do gás. (**R:** 900 K).
84. a) A energia interna de um gás ideal depende do volume?  
 b) A energia interna de um gás ideal depende da sua pressão?  
 c) Calcule a energia interna de 1 mol de um gás ideal monoatômico a 273 K. (**R:** 3404.6 J).
85. Calcule a variação da energia interna de 3.0 mol de He quando a sua temperatura aumenta de 2.0 K. (**R:** 74.8 J).
86. Dez gramas de oxigénio são aquecidos desde 27 °C até 127 °C à pressão atmosférica, considerada constante. ( $M(\text{O}_2) = 32 \text{ g mol}^{-1}$ ).
  - a) Qual é a quantidade de calor transmitida para o oxigénio? (**R:** 909.3 J).
  - b) Que fracção desse calor é usada para aumentar a energia interna do oxigénio? (**R:** 71.4 %).
87. Um gás ideal expande-se adiabaticamente de  $T_1$  a  $T_2$ . Mostre que o trabalho realizado pelo gás é  $C(T_1 - T_2)$ , onde C representa a capacidade térmica do gás.
88. Uma mole de um gás ideal sofre uma expansão isotérmica. Mostre que a quantidade de energia transferida para o gás sob a forma de calor é  $RT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ .
89. O gás contido num recipiente encontra-se à pressão de 1.5 atm e ocupa um volume de 4.0 m<sup>3</sup>. Qual será o trabalho realizado pelo gás se:
  - a) se expandir a pressão constante para o dobro do seu volume inicial? (**R:**  $6.08 \cdot 10^5 \text{ J}$ ).
  - b) for comprimido a pressão constante para um quarto do seu volume inicial? (**R:**  $-4.56 \cdot 10^5 \text{ J}$ ).
90. Um gás ideal encontra-se no interior de um cilindro tapado por um êmbulo móvel. O êmbulo tem uma massa de 8000 g e uma área de 5.0 cm<sup>2</sup>, podendo

deslocar-se livremente na vertical, mantendo o gás a pressão constante. Qual a quantidade de trabalho realizado quando a temperatura de 0.20 mol do gás é elevada de 20 °C para 300 °C? (**R:** 465.6 J).

- 91.** Uma amostra de um gás ideal é expandida para o dobro do seu volume original ( $1.0 \text{ m}^3$ ) num processo quase estático para o qual  $P = \alpha V^2$ , com  $\alpha = 5.0 \text{ atm/m}^6$ . Que quantidade de trabalho é realizada pelo gás em expansão? (**R:**  $1.18 \cdot 10^6 \text{ J}$ ).
- 92.** Uma mole de um gás ideal monoatômico sofre a transformação cíclica representada na figura.



O processo  $2 \rightarrow 3$  é adiabático,  $T_1 = 300 \text{ K}$ ,  $T_2 = 600 \text{ K}$ ,  $T_3 = 455 \text{ K}$ .

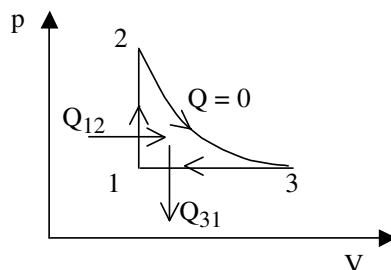
**a)** Calcule  $Q$ ,  $\Delta U$  e  $W$  para cada um dos processos e para o ciclo completo.

(**R:**  $1 \rightarrow 2$ :  $Q = 3741.3 \text{ J}$ ,  $W = 0 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 3741.3 \text{ J}$ ;  $2 \rightarrow 3$ :  $Q = 0 \text{ J}$ ,  $W = 1808.3 \text{ J}$ ;  $\Delta U = -1808.3 \text{ J}$ ;  $3 \rightarrow 1$ :  $Q = -3221.7 \text{ J}$ ,  $W = -1288.7 \text{ J}$ ;  $\Delta U = -1933 \text{ J}$ ; **ciclo completo**:  $Q = 519.6 \text{ J}$ ,  $W = 519.6 \text{ J}$ ;  $\Delta U = 0 \text{ J}$ ).

**b)** Se a pressão no ponto 1 for 1 atm, quais serão a pressão e o volume nos pontos 2 e 3? (**R:**  $p_2 = 2.026 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_2 = 0.025 \text{ m}^3$ ,  $p_3 = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V_3 = 0.038 \text{ m}^3$ ).

## Capítulo VI – 2ª Lei da Termodinâmica e Entropia

- 93.** Na figura está representado o ciclo de uma máquina térmica, cuja substância de trabalho é um gás ideal monoatômico ( $V_3 = 2 V_1$ ).
- a)** Calcule a constante adiabática do gás. (**R:**  $5/3$ )
- b)** Mostre que  $T_3 = 2^{1-\gamma} T_2$ .
- c)** Mostre que  $T_2 = 2^\gamma T_1$ .
- d)** Calcule o rendimento da máquina térmica. (**R:** 0.23)



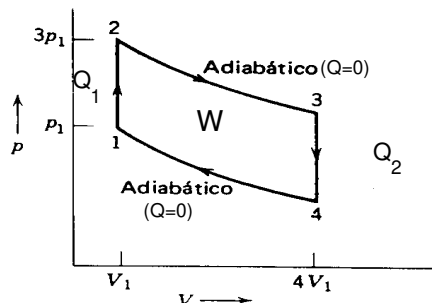
- 94.** Uma máquina de Carnot usa um gás ideal como substância de trabalho e funciona entre as temperaturas de  $227^{\circ}\text{C}$  e  $127^{\circ}\text{C}$ . A máquina absorve  $6.0 \cdot 10^4$  calorias à temperatura mais elevada.
- Determine o rendimento da máquina. (**R:** 0.20).
  - Qual é o trabalho realizado pela máquina em cada ciclo? (**R:**  $1,2 \cdot 10^4$  cal).
- 95.** Num ciclo de Carnot, a expansão isotérmica do gás (ideal) ocorre a  $500\text{ K}$  e a compressão isotérmica ocorre a  $300\text{ K}$ . Durante a expansão são transferidas  $700$  cal de calor para o gás. Determine:
- o trabalho realizado pelo gás durante a expansão isotérmica; (**R:**  $700$  cal)
  - o calor cedido pelo gás durante a compressão isotérmica; (**R:**  $420$  cal)
  - o trabalho realizado sobre o gás durante a compressão isotérmica. (**R:**  $+420$  cal)
- 96.** Uma máquina térmica absorve  $360\text{ J}$  de calor e realiza um trabalho de  $25\text{ J}$  em cada ciclo. Calcule:
- o rendimento da máquina. (**R:** 0.069)
  - o calor expelido em cada ciclo. (**R:**  $335\text{ J}$ )
- 97.** Uma máquina térmica produz  $200\text{ J}$  de trabalho em cada ciclo e tem um rendimento de  $30\%$ . Para cada ciclo, que quantidade de calor é:
- absorvida? (**R:**  $666.7\text{ J}$ )
  - perdida? (**R:**  $466.7\text{ J}$ )
- 98.** Em cada ciclo, um motor absorve  $1600\text{ J}$  de um reservatório quente e expõe  $1000\text{ J}$  para um reservatório frio.
- Determine o rendimento da máquina. (**R:** 0.375)
  - Determine o trabalho realizado em cada ciclo. (**R:**  $600\text{ J}$ )
  - Determine a potência da máquina se cada ciclo durar  $0.3\text{ s}$ . (**R:**  $2000\text{ W}$ )
- 99.** O vapor de água entra numa turbina a  $800^{\circ}\text{C}$  e sai a  $120^{\circ}\text{C}$ . Qual é o rendimento máximo desta turbina? (**R:** 0.63)
- 100.** Uma máquina térmica opera entre dois reservatórios a  $20^{\circ}\text{C}$  e  $300^{\circ}\text{C}$ . Qual é o rendimento máximo possível para esta máquina? (**R:** 0.489)

- 101.** Uma máquina de Carnot tem um rendimento de 25% quando o reservatório térmico “quente” tem uma temperatura de 500 °C. Se quisermos melhorar o rendimento para 30% qual deverá ser a temperatura do reservatório “quente”, considerando que tudo o resto se mantém inalterado? (**R:** 828.4 K)
- 102.** Num frigorífico ideal, a câmara de baixa temperatura encontra-se a  $-15\text{ °C}$  e o gás no compressor está a uma temperatura de  $37\text{ °C}$ .  
a) Calcule a eficiência deste ciclo. (**R:** 4.96)  
b) Se a quantidade de calor extraída ao frigorífico for igual a 30 J, qual será o trabalho fornecido ao mesmo? (**R:** 6.05 J)
- 103.** Uma máquina de Carnot funciona entre um reservatório quente à temperatura de 320 K e um reservatório frio a 260 K.  
a) Se ela absorver 500 J de calor do reservatório quente num ciclo, que trabalho produzirá esta máquina num ciclo? (**R:** 93.75 J)  
b) Se ela funcionar ao contrário, como frigorífico, que trabalho deve ser fornecido à máquina para retirar 1000 J de calor do reservatório frio? (**R:** 230.77 J)
- 104.** Um frigorífico ideal é mantido a  $-13\text{ °C}$  e a temperatura da fonte quente é igual a  $127\text{ °C}$ . Calcule o trabalho mínimo que deve ser fornecido ao frigorífico para extrair 2 J de calor do reservatório frio. (**R:** 1.08 J)
- 105.** Que quantidade de trabalho é requerida, usando uma máquina frigorífica de Carnot ideal, para remover 1.0 J de calor de gás hélio a 4.0 K e libertar calor para o ambiente à temperatura de 293 K? (**R:** 72.25 J)
- 106.** Determine a variação de entropia que ocorre durante a vaporização de 1 kg de água à pressão de 1 atm. O calor latente de vaporização da água vale aproximadamente 540 cal/g. (**R:** 6057.7 J K<sup>-1</sup>)
- 107.** Qual é a variação de entropia quando 1 mol de ouro (197 g) é derretida à sua temperatura de fusão  $1063\text{ °C}$ ? ( $\lambda_f = 15.38\text{ kcal/kg}$ ). (**R:** 9.49 J K<sup>-1</sup>)
- 108.** Num certo sistema ocorre uma transformação isotérmica reversível. A variação de entropia ocorrida nesta transformação foi igual a 0.2 J/K. Calcule a temperatura da transformação, sabendo que o calor fornecido durante a transformação foi igual a 20 cal. (**R:** 418.6 K)
- 109.** A superfície do Sol encontra-se a aproximadamente 5700 K e a temperatura da superfície da Terra é de, aproximadamente, 290 K. Que variação de entropia ocorre quando 1000 J de calor são transferidos do Sol para a Terra? (**R:** 3.27 J K<sup>-1</sup>)
- 110.** O *perpetuum mobile* de 1ª espécie é um dispositivo que viola a 1ª lei da termodinâmica. O *perpetuum mobile* de 2ª espécie é um dispositivo que viola a 2ª lei da termodinâmica. Um engenheiro diz que inventou uma máquina térmica tal que, operando por ciclos, consome uma quantidade de calor igual a  $1.06 \times 10^8$

J de uma fonte a 480 K e fornece uma quantidade de calor igual a  $4.2 \times 10^7$  J a uma fonte a 240 K. Ele diz que esta máquina produz um trabalho de 16 kWh. Verifique se esta máquina viola:

- a) a 1ª lei da termodinâmica; (**R:** não)  
 b) a 2ª lei da termodinâmica. (**R:** sim)

- 111.** Uma máquina térmica de dois estágios, no primeiro estágio absorve uma quantidade de calor  $Q_1$ , à temperatura  $T_1$ , realiza o trabalho  $W_1$  e cede a quantidade de calor  $Q_2$  à temperatura  $T_2$ . No segundo estágio absorve o calor cedido no primeiro, realiza o trabalho  $W_2$  e cede a quantidade de calor  $Q_3$  à temperatura mais baixa,  $T_3$ . Prove que o rendimento do conjunto é  $(T_1 - T_3)/T_1$ .
- 112.** Um motor de *combustão interna* a gasolina pode ser aproximado pelo *ciclo Otto* mostrado na figura a seguir. Neste problema considere um gás ideal. Considere ainda uma razão de compressão  $V_4/V_1=4$  e suponha que  $p_2=3p_1$ .
- a) Calcule a temperatura em cada um dos vértices do diagrama p-V, em função de  $T_1$  e da razão  $\gamma=c_p/c_v$ . (**R:**  $T_2=3T_1$ ,  $T_3=3 \times 4^{1-\gamma}T_1$ ,  $T_4=4^{1-\gamma}T_1$ )
- b) Calcule o rendimento deste ciclo. (**R:**  $\eta=1-4^{1-\gamma}$ )
- c) Concretize a alínea anterior, considerando um gás ideal diatômico,  $P_1=1.013 \cdot 10^5$  Pa e  $T_1=293$  K e compare o resultado obtido com o rendimento de uma máquina de Carnot que funciona entre as temperaturas  $T_2$  e  $T_4$  do ciclo analisado. (**R:** 0.43 e 0.81)



- 113.** Uma mole de um gás ideal monoatômico passa do estado inicial, com pressão  $p$  e volume  $V$ , para o estado final, de pressão  $2p$  e volume  $2V$ . O gás atinge o estado final através de dois processos diferentes: I) expansão isotérmica seguida de um aumento de pressão isocórico, até atingir o estado final; II) compressão isotérmica e expansão isobárica até atingir o estado final.
- a) Desenhe o caminho de cada processo num diagrama p-V.
- b) Para cada processo calcule a variação de entropia do gás. (**R:**  $23.05 \text{ J K}^{-1}$ )
- 114.** Qual é o decréscimo de entropia de 1 mol de He que é arrefecido a 1 atm desde a temperatura ambiente de 293 K até à temperatura final de 4 K? ( $c_p = 21 \text{ J/mol K}$ ). (**R:**  $-90.2 \text{ J K}^{-1}$ )

- 115.** Calcule a variação de entropia de 250 g de água aquecida lentamente de 20 °C até 80 °C. ( $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/kg K}$ ). (**R:** 194.9 J K<sup>-1</sup>)
- 116.** Uma ferradura de 1 kg de ferro é retirada de um forno a 900 °C e posta em 4 kg de água a 10 °C. Se não for perdido calor para a vizinhança, determine a variação total de entropia. ( $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/kg K}$ ,  $c_{\text{Fe}} = 448 \text{ J/kg K}$ ). (**R:** 716.52 J K<sup>-1</sup>)
- 117.** Um cubo de gelo de 10 g, à temperatura de -10 °C, é colocado num lago cuja temperatura é de 15 °C. Calcule a variação de entropia do gelo quando se atinge o equilíbrio térmico no lago. ( $c_{\text{gelo}} = 0.52 \text{ cal/g K}$ ,  $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/kg K}$ ,  $L_{\text{gelo}} = 333 \text{ kJ/kg}$ ). (**R:** 15.24 J K<sup>-1</sup>)
- 118.** Num calorímetro misturam-se 100 g de alumínio ( $c_{\text{Al}} = 0,251 \text{ cal/g K}$ ), à temperatura de 100 °C, com 50 g de água a 20 °C. Calcule a diferença de entropia entre o estado final e o estado inicial da mistura ( $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g °C}$ ). (**R:** 2.09 J K<sup>-1</sup>)
- 119.** Um iceberg de 100 000 kg a -5 °C desprende-se da camada de gelo polar e flutua no oceano a 5 °C. Qual a variação total de entropia do sistema quando o iceberg derrete completamente? ( $c_{\text{gelo}} = 2010 \text{ J/kg °C}$ ,  $L_{\text{gelo}} = 333 \text{ kJ/kg}$ ,  $c_{\text{água}} = 4186 \text{ J/kg K}$ ). (**R:**  $2.36 \cdot 10^6 \text{ J K}^{-1}$ )
- 120.** Um cubo de gelo, de 8 g, à temperatura de -10 °C, é lançado numa garrafa térmica que contém 100 cm<sup>3</sup> de água à temperatura de 20 °C. Qual é a variação de entropia do sistema quando se atinge o estado final de equilíbrio ( $c_{\text{gelo}} = 0.52 \text{ cal/g K}$ ,  $L_f = 333 \text{ kJ/kg}$ ,  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). (**R:** 0.16 cal K<sup>-1</sup>)