

Física II

Ano letivo 2025/26, 1º semestre

EXERCÍCIOS DE TERMODINÂMICA

Temperatura 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 $-80,00\text{ }^{\circ}\text{C}$) e em álcool etílico em ebulação (temperatura de $78,00\text{ }^{\circ}\text{C}$). Os valores das pressões medidas são 0,9000 atm e 1,635 atm, respectivamente. Determine:
 - a. o valor do zero absoluto fornecido pela calibração. **R:** $-273,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. o valor da pressão no ponto de fusão do gelo. **R:** 1,272 atm
 - c. o valor da pressão no ponto de ebulação da água. **R:** 1,737 atm
2. Considere um termómetro em que a propriedade termométrica é a resistência elétrica. Assuma que a temperatura varia linearmente com a resistência e que à temperatura de 0 K corresponde uma resistência de 0 Ω . Quando imerso em água à temperatura do seu ponto triplo ($273,16\text{ K}$), o termómetro indica uma resistência de $90,35\text{ }\Omega$. Qual a temperatura do termómetro se a resistência for de $105,0\text{ }\Omega$? **R:** 317,5 K
3. A pressão do gás de um termómetro de gás a volume constante é de 380 mmHg quando o seu reservatório é imerso em água à temperatura do seu ponto triplo ($273,16\text{ K}$). Determine a temperatura registada pelo termómetro quando a diferença de alturas entre as colunas do manômetro de mercúrio for de 76,0 mm. Considere que a densidade do mercúrio é $\rho_m = 1,36 \times 10^4\text{ kg/m}^3$, a aceleração da gravidade é $g = 9,80\text{ m/s}^2$ e a pressão atmosférica é $p_{atm} = 1,01325 \times 10^5\text{ Pa} = 760\text{ mmHg}$. **R:** 492 K
4. A diferença de temperatura entre o interior e o exterior de um motor de um automóvel é de $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Expresse esta diferença de temperaturas na escala Fahrenheit e na escala Kelvin. **R:** $810\text{ }^{\circ}\text{F}; 450\text{ K}$
5. O ponto de fusão do ouro é $1064\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o ponto de ebulação é $2660\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - a. Expresse estas temperaturas em kelvin. **R:** 1337 K; 2933 K
 - b. Qual a diferença entre estas temperaturas em graus Celsius e em kelvin?
R: $1596\text{ }^{\circ}\text{C}; 1596\text{ K}$
6. A temperatura da superfície do Sol é aproximadamente 6000 K. Expresse esta temperatura em $^{\circ}\text{C}$ e $^{\circ}\text{F}$. **R:** $5727\text{ }^{\circ}\text{C}; 1,034 \times 10^4\text{ }^{\circ}\text{F}$
7. Exprima a temperatura média do corpo humano ($36\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a temperatura normal do ponto de ebulação do oxigénio ($-183\text{ }^{\circ}\text{C}$) em $^{\circ}\text{F}$. **R:** $97\text{ }^{\circ}\text{F}; -297\text{ }^{\circ}\text{F}$
8. Converta para $^{\circ}\text{C}$ as seguintes temperaturas:
 - a. 223 K. **R:** $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - b. $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$. **R:** $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - c. 523 K. **R:** $250\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - d. $235\text{ }^{\circ}\text{F}$. **R:** $113\text{ }^{\circ}\text{C}$

9. Converta para kelvin as seguintes temperaturas:
- 27 °C. **R:** 300 K
 - 23 °C. **R:** 250 K
 - 200 °C. **R:** 73 K
 - 20 °F. **R:** 266 K
 - 120 °F. **R:** 322 K
 - 200 °F. **R:** 144 K
10. A que temperatura os seguintes pares de escalas fornecem a mesma leitura?
- Fahrenheit e Celsius. **R:** $-40\text{ }^{\circ}\text{C} = -40\text{ }^{\circ}\text{F}$
 - Fahrenheit e Kelvin. **R:** $575\text{ }^{\circ}\text{F} = 575\text{ K}$
 - Celsius e Kelvin. **R:** nenhuma
11. Na escala de temperatura Estranha, o ponto de fusão do gelo é $-15\text{ }^{\circ}\text{E}$ e o ponto de ebólíção da água é $60\text{ }^{\circ}\text{E}$. Escreva a equação de conversão linear entre esta escala de temperatura e a escala Celsius. **R:** $T^C = \frac{4}{3}T^E + 20$
- ### Expansão térmica de sólidos e líquidos
12. O espelho do telescópio de um observatório localizado no cimo de uma serra tem um diâmetro de 60 cm e o seu coeficiente de dilatação linear é de $\alpha = 3,0 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. No cimo da serra, a temperatura varia entre $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine a variação máxima do diâmetro do espelho. **R:** $4,9 \times 10^{-3}\text{ cm}$
13. As placas de cimento de uma autoestrada têm um comprimento de 25 m à temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual deve ser a distância mínima entre as placas se o cimento puder atingir uma temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$? Considere que o coeficiente de expansão linear do cimento é $\alpha_c = 12 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. **R:** 1,2 cm
14. Uma barra de aço possui um diâmetro igual a 3,000 cm à temperatura de $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um anel de latão tem um diâmetro interno de 2,994 cm a essa temperatura. Calcule a temperatura mínima do anel de latão para que a barra possa nele ser introduzida. Considere que o coeficiente de expansão linear do latão é $\alpha_l = 19,0 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ **R:** 125 °C
15. Um tubo de alumínio ($\alpha_{al} = 24,00 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) tem 3,000 m de comprimento à temperatura de $20,00\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual é o seu comprimento quando a temperatura é:
a. $100,0\text{ }^{\circ}\text{C}$? **R:** 3,006 m
b. $0,000\text{ }^{\circ}\text{C}$? **R:** 2,999 m
16. As armações de uns óculos são feitas de um plástico cujo coeficiente de expansão linear é $1,30 \times 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. As armações possuem dois aros circulares de 2,20 cm de raio (à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) para inserir as lentes. A que temperatura devem as armações ser aquecidas para inserir lentes de 2,21 cm de raio? **R:** 55°C
17. Quando a temperatura de uma moeda aumenta $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, o seu diâmetro aumenta 0,18%. Determine o acréscimo percentual:

- a. da sua espessura. **R:** 0,18%
 - b. da sua área. **R:** 0,36%
 - c. do seu volume. **R:** 0,54%
 - d. da sua massa. **R:** não varia
 - e. Qual é o seu coeficiente de dilatação linear? **R:** $1,8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
18. O tanque de um automóvel está totalmente cheio com 45 litros de gasolina à temperatura de $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. Se o automóvel for estacionado ao Sol, onde a temperatura é de $35 \text{ } ^\circ\text{C}$, quanta gasolina se entorna em consequência da sua expansão? Despreze a expansão do tanque e considere que o coeficiente de expansão volúmica da gasolina é $\beta_g = 9,6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. **R:** 1,1 litros
19. A densidade de uma substância é definida como o quociente entre a massa e o volume, $\rho = m/V$. Como o volume depende da temperatura, o mesmo acontece com a densidade. Mostre que a variação da densidade, $\Delta\rho$, quando a temperatura varia ΔT é dada por $\Delta\rho = -\beta\rho\Delta T$, onde β é o coeficiente de expansão volúmica.
20. A densidade do mercúrio à temperatura de $0,00 \text{ } ^\circ\text{C}$ é $\rho_m = 1,36 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$. Calcule a densidade do mercúrio a $50,0 \text{ } ^\circ\text{C}$, sabendo que o seu coeficiente de expansão volúmica é $\beta_m = 1,82 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. **R:** $1,35 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$
21. Um balão de vidro com um pequeno orifício no topo é totalmente preenchido com 100 g de mercúrio. O balão e o mercúrio encontram-se inicialmente à temperatura de $0,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Quando a temperatura do conjunto aumenta para $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, uma pequena quantidade de mercúrio, 0,30 g, transborda. Sabendo que o coeficiente de expansão volúmica do mercúrio é $\beta_m = 1,8 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de expansão linear do vidro, α_v . **R:** $1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
22. O coeficiente de expansão volúmica do tetracloreto de carbono é $\beta_t = 5,81 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Se um contentor de aço de 5,0 litros estiver completamente cheio de tetracloreto de carbono quando a temperatura for de $10,0 \text{ } ^\circ\text{C}$, quanto se entornará quando a temperatura subir para $30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$? Considere que $\beta_{aço} = 33,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. **R:** 0,0548 litros
23. Um termômetro de mercúrio é constituído por um reservatório esférico e um tubo capilar. O tubo capilar e o reservatório têm diâmetros de $4,00 \times 10^{-3} \text{ cm}$ e $0,250 \text{ cm}$, respectivamente. Sabendo que a uma dada temperatura o mercúrio apenas preenche o reservatório esférico, determine a altura a que o mercúrio sobe no tubo capilar quando essa temperatura aumenta $30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Despreze a expansão térmica do vidro e considere que $\alpha_m = 6,07 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. **R:** 3,56 cm

Calor

24. Quantas calorias é necessário fornecer a 3,0 kg de alumínio para elevar a sua temperatura de $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ para $50 \text{ } ^\circ\text{C}$? Considere que o calor específico mássico do alumínio é $c_{al} = 900 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Use o fator de conversão $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$.
R: $1,9 \times 10^4 \text{ cal}$

25. A temperatura de uma barra de prata aumenta $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ quando absorve $1,23\text{ kJ}$ de calor. Sabendo que a massa da barra é de 525 g , determine o calor específico mássico da prata. **R:** $234\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
26. Qual é a temperatura de equilíbrio de uma mistura de 10 g de leite à temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e de 160 g de café à temperatura de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$? Assuma que os calores específicos mássicos do leite e do café são iguais e despreze a variação de temperatura do recipiente onde o café e o leite são misturados. **R:** $85\text{ }^{\circ}\text{C}$
27. Uma farradura de cavalo de massa $1,50\text{ kg}$, inicialmente à temperatura de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, é introduzida num recipiente contendo $20,0\text{ kg}$ de água à temperatura de $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual a temperatura final do sistema? Considere que os calores específicos mássicos da água e do ferro são, respectivamente, $c_{ag} = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $c_f = 448\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Despreze a variação de temperatura do recipiente. **R:** $29,6\text{ }^{\circ}\text{C}$
28. Se 100 g de água a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ forem deitadas num copo de alumínio de $20,0\text{ g}$ de massa, contendo $50,0\text{ g}$ de água a $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, qual será a temperatura final do sistema? Assuma que o copo e a água nele contida estão inicialmente em equilíbrio térmico. Considere que os calores específicos mássicos da água e do alumínio são, respectivamente, $c_{ag} = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $c_{al} = 900\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. **R:** $71,8\text{ }^{\circ}\text{C}$
29. Um termômetro de massa $55,0\text{ g}$ e calor específico $0,200\text{ kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ indica uma temperatura $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. O termômetro é mergulhado em 300 g de água e, após atingir o equilíbrio térmico, passa a indicar uma temperatura de $44,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Determine a temperatura da água antes da imersão do termômetro, desprezando outras perdas possíveis de calor. Considere que $c_{ag} = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ **R:** $45,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
30. Que quantidade de calor deve ser adicionada a $20,0\text{ g}$ de alumínio à temperatura de $20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para o derreter completamente? Para o alumínio, o calor específico mássico, a temperatura de fusão e o calor latente de fusão são, respectivamente, $c_{al} = 900\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $T_f = 660\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\lambda_f = 3,97 \times 10^5\text{ J/kg}$. **R:** $1,95 \times 10^4\text{ J}$
31. Qual a quantidade de calor que é necessário fornecer a um cubo de gelo, de massa $m_g = 1,00\text{ g}$, à temperatura de $-30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, para obter vapor de água a $128\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para o vapor de água, o calor específico mássico é $c_{vp} = 2010\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Para a água, o calor específico mássico, a temperatura de vaporização e o calor latente de vaporização são, respectivamente, $c_{ag} = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $T_v = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\lambda_v = 2260\text{ kJ/kg}$. Para o gelo, o calor específico mássico, a temperatura de fusão e o calor latente de fusão são, respectivamente, $c_g = 2090\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $T_f = 0,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\lambda_f = 333\text{ kJ/kg}$. **R:** $3,13 \times 10^3\text{ J}$
32. Nas máquinas de café (expresso) utiliza-se vapor de água para aquecer um líquido. Qual é a massa mínima de vapor de água, à temperatura de $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, necessária para aquecer uma chávena com 100 g de água, de $T_i = 20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $T_f = 50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considere que $c_{ag} = 4186\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_{vp} = 2010\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_v = 2260\text{ kJ/kg}$. **R:** $4,96\text{ g}$

33. Um recipiente metálico de massa 4,0 kg contém 14,0 kg de água, estando o conjunto à temperatura de 15,0 °C. Um bloco do mesmo metal, de massa 2,0 kg e à temperatura de 160 °C, é mergulhado na água. Depois de atingido o equilíbrio térmico, a temperatura do sistema (recipiente, água e bloco) é de 18,0 °C. Sabendo que $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, determine o calor específico do metal. **R:** $6,5 \times 10^2 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
34. A temperatura do ar nas regiões costeiras é influenciada pelo elevado valor do calor específico mássico da água ($c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$). Uma das razões está ligada ao facto de o calor libertado por 1,0 m³ de água, quando arrefece 1,0 °C, aumentar em 1,0 °C a temperatura de um grande volume de ar. Calcule esse volume, sabendo que para o ar o calor específico mássico e a densidade são, respetivamente, $c_{ar} = 1000 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\rho_{ar} = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Para a água, a densidade é $\rho_{ag} = 1000 \text{ kg/m}^3$. **R:** $3,5 \times 10^3 \text{ m}^3$
35. Dois cubos de gelo, com uma massa de 40 g cada um e à temperatura de -10 °C, são colocados num copo que contém 150 g de água à temperatura de 20 °C. Determine a temperatura final de equilíbrio, sabendo que $c_{ag} = 1,0 \text{ cal g}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_g = 0,50 \text{ cal g}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_f = 80 \text{ cal/g}$. **R:** 0,0 °C
36. Num recipiente isolado, 250 g de gelo a 0,00 °C são adicionados a 600 g de água a 18,0 °C. Considere que $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$. Determine:
a. a temperatura final do sistema. **R:** 0,00 °C.
b. a quantidade de gelo que permanece no sistema quando este atinge o estado de equilíbrio. **R:** 114 g
37. No topo das cataratas do Niágara a temperatura da água é 10,0 °C. Assumindo que a altura das cataratas é de 50,0 m e que toda a energia potencial é utilizada para o aquecimento da água, calcule a temperatura da água na base das cataratas. Considere que $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $g = 9,80 \text{ m/s}^2$. **R:** 10,1 °C
38. Por vezes utiliza-se um aparelho elétrico, constituído por uma resistência elétrica em forma de serpentina, para aquecer água. Se o aparelho tiver uma potência de 1000 W, quanto tempo é necessário esperar para que 1,0 kg de água à temperatura de 100 °C se evapore completamente? Considere que $\lambda_v = 2260 \text{ kJ/kg}$. **R:** $2,3 \times 10^3 \text{ s}$
39. Um bloco de gelo, cuja massa inicial é de 50,0 kg, desliza sobre uma superfície horizontal. A sua velocidade inicial é de 5,38 m/s e pára após percorrer 28,3 m. Determine a massa de gelo que passa ao estado líquido em consequência do atrito entre o bloco e a superfície. Considere que $c_g = 2090 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$.
a. No caso em que a temperatura inicial do bloco é 0,00 °C. **R:** 2,17 g
b. No caso em que a temperatura inicial do bloco é -1,00 °C. **R:** 0,00 g
c. Determine a variação de temperatura do bloco de gelo nas condições da alínea anterior. **R:** 0,00692 °C
40. Um projétil de chumbo, com uma massa de 2,00 g, move-se com uma velocidade de 200 m/s quando penetra num bloco de madeira. Calcule a variação de temperatura do projétil, supondo que todo o calor libertado no choque foi usado para o aquecer. Considere que $c_{ch} = 128 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. **R:** 156 °C

41. 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 0,0 °C. Supondo que o meteorito atingiu o solo enquanto se movia a uma velocidade de 0,6 km/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. Considere que para a rocha o calor específico mássico, a temperatura de fusão e o calor latente de fusão são, respectivamente, $c_r = 0,80 \text{ kcal kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $T_f = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\lambda_f = 48 \text{ kJ/kg}$.
R: $7,8 \times 10^2 \text{ kg}$

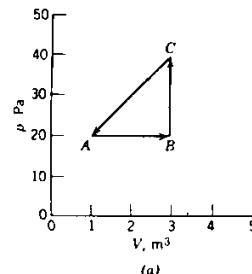
42. O calor fornecido a uma dada substância desde uma temperatura inicial T_i até uma temperatura final T é dado pela expressão $Q = A(T - T_i)^2$, onde $A = 20 \text{ cal/K}^2$. Determine:
a. a expressão para a capacidade calorífica em função da temperatura.
R: $2A(T - T_i)$
b. a capacidade calorífica para $T = 300 \text{ K}$, sabendo que $T_i = 200 \text{ K}$.
R: $1,7 \times 10^4 \text{ J K}^{-1}$

43. Considere que o calor específico mássico de um corpo varia com a temperatura de acordo com a relação $c = A + BT^2$, onde A e B são constantes e T é a temperatura medida em graus Celsius. Compare o calor específico médio do corpo no intervalo $[0, T_0]$ com o calor específico do mesmo corpo à temperatura $T_0/2$. **R:** $c_{\text{médio}} > c(T_0/2)$

Trabalho, energia interna e 1º Princípio da Termodinâmica

44. Um gás é comprimido à pressão constante de 0,800 atm, passando de um volume inicial de 9,00 litros para um volume final de 2,00 litros. Neste processo, uma energia de 400 J é perdida pelo gás na forma de calor. Sabendo que $p_{atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$, determine:
a. o trabalho realizado sobre o gás. **R:** -567 J
b. a variação da sua energia interna. **R:** 167 J
45. Num dado processo termodinâmico, a energia interna de um sistema diminui 500 J. Se nesse processo o sistema realizar um trabalho de 220 J, qual a quantidade de calor trocada com o exterior. **R:** -280 J (calor cedido pelo sistema)

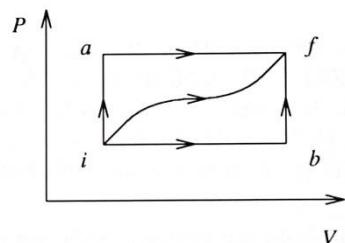
46. Um sistema termodinâmico é levado do estado inicial A ($V_A = 1,0 \text{ m}^3$, $p_A = 20 \text{ Pa}$) até ao estado B ($V_B = 3,0 \text{ m}^3$, $p_B = 20 \text{ Pa}$) e trazido de volta a A através do estado C ($V_C = 3,0 \text{ m}^3$, $p_C = 40 \text{ Pa}$), conforme o diagrama pV da figura (a).
a. Complete a tabela da figura (b), atribuindo os símbolos +, - ou 0 às grandezas termodinâmicas associadas a cada processo. **R:** $\{+, +, +\}, \{+, 0, +\}, \{-, -, -\}$
b. Determine o trabalho realizado pelo sistema para o ciclo completo $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$. **R:** -20 J



	Q	W	ΔU
$A \rightarrow B$			+
$B \rightarrow C$	+		
$C \rightarrow A$			

47. Considere os processos termodinâmicos representados na figura. Se a variação de energia interna do sistema no processo $i \rightarrow a \rightarrow f$ for igual a 230 J, qual a variação de energia interna para os processos:

- $i \rightarrow f$. R: 230 J
- $i \rightarrow b \rightarrow f$. R: 230 J
- $f \rightarrow i$. R: -230 J



48. Considere a figura do exercício anterior. Quando um sistema é levado do estado i para o estado f , através do processo $i \rightarrow a \rightarrow f$, o calor trocado e o trabalho realizados são, respectivamente, $Q = 50,0$ cal e $W = 20,0$ cal. Sabe-se ainda que no processo $i \rightarrow b \rightarrow f$ o calor trocado é $Q = 36,0$ cal.
- Qual é o valor de W no processo $i \rightarrow b \rightarrow f$? **R: 25,1 J**
 - Se $W = -13,0$ cal no processo $f \rightarrow i$, qual é o valor de Q nesse processo?
R: -180 J
 - Se $U_i = 10,0$ cal, qual o valor de U_f ? **R: 167 J**
 - Se $U_b = 22,0$ cal, qual o valor de Q para o processo $i \rightarrow b$? E para o processo $b \rightarrow f$? **R: 75,3 J; 75,3 J**
49. Para evaporar completamente uma certa quantidade de água à pressão de 1,0 atm e à temperatura de 373,15 K, é realizado um trabalho de 8,0 kJ. Sabendo que a variação da energia interna neste processo é igual a 80 kJ, determine a massa de água evaporada. Considere que $\lambda_v = 2260$ kJ/kg. **R: 0,039 kg**

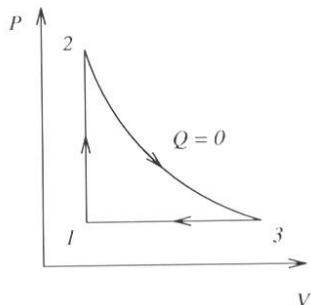
Gases ideais

50. Qual o volume ocupado por 1,00 mol de um gás ideal quando a pressão e a temperatura são, respectivamente, $p = 101325$ Pa e $T = 273,15$ K. Considere que a constante universal dos gases ideais é $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R: 22,4 dm}^3**
51. Um gás ideal encontra-se num estado de equilíbrio caracterizado pelas seguintes variáveis de estado: $p = 1,0$ atm, $V = 3,0$ litros e $T = 300$ K. Determine a massa do gás, sabendo que a sua massa molar é $M = 32$ g/mol. Considere que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$. **R: 3,9 g**
52. 1,00 litro de azoto à temperatura de 40,0 °C e pressão de 30,0 mmHg expande-se até atingir um volume de 2,00 litros à pressão de 40,0 mmHg. Considere que o azoto se comporta como um gás ideal e que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$, $101325 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$. Determine:
 - a quantidade de azoto expressa em mol. **R: $1,54 \times 10^{-3}$ mol**
 - a temperatura final do sistema. **R: 833 K**
53. Um pneu de automóvel, cujo volume é $V = 250 \text{ cm}^3$, contém ar à pressão de 1,70 atm e temperatura de 23,0 °C. Calcule a pressão do ar no pneu se a sua temperatura e volume passarem para 53,0 °C e 280 cm³, respectivamente. Considere que o ar no pneu se comporta como um gás ideal e que $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$.
R: $1,69 \times 10^5 \text{ Pa}$

54. Calcule a pressão exercida por 10 g de azoto no interior de um recipiente de 1,0 litro à temperatura de 25 °C, admitindo que o azoto se comporta como um gás ideal. Considere que a massa molar da molécula de azoto N₂ é 28 g/mol e que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R:** $8,9 \times 10^5 \text{ Pa}$
55. Calcule o número de moléculas de um gás ideal contido num volume de 1,00 cm³ à pressão de $1,00 \times 10^{-3} \text{ atm}$ e à temperatura de 200 K. Considere que a constante de Avogadro é $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e 1 atm = 101325 Pa. **R:** $3,67 \times 10^{16}$
56. Num laboratório é obtido um vácuo profundo, a que corresponde uma pressão de apenas $1,0 \times 10^{-14} \text{ atm}$. À temperatura de 20 °C, quantas moléculas por centímetro cúbico existem neste vácuo? Considere que $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e 1 atm = 101325 Pa. **R:** $2,5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$.
57. Num sistema de alto vácuo a pressão é de $1,00 \times 10^{-10} \text{ torr}$. Se a temperatura for de 300 K, quantas moléculas há num volume de 1,00 m³. Considere que $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e 1 torr = 133,32 Pa. **R:** $3,22 \times 10^{12}$
58. Um recipiente de 20 litros, mantido à temperatura de 127 °C, contém 3,2 g de oxigénio, 2,8 g de azoto e 0,2 g de hidrogénio, que se comportam como gases ideais. As massas molares destas substâncias são, respetivamente, 32 g/mol, 28 g/mol e 2 g/mol. Sabendo que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$, determine a pressão parcial:
- do oxigénio. **R:** $1,7 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - do azoto. **R:** $1,7 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - do hidrogénio. **R:** $1,7 \times 10^4 \text{ Pa}$
59. Uma sala de 80 m³ contém ar, cuja massa molar média é de 29 g/mol. A temperatura ambiente nessa sala é de 18 °C e a pressão é de 1,0 atm. Se a temperatura ambiente for aumentada para 25 °C, qual a variação da massa de ar na sala? Assuma que a sala tem ventiladores por onde pode entrar ou sair ar, o qual se comporta como um gás ideal. Considere que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e 1 atm = 101325 Pa. **R:** $-2,3 \text{ kg}$
60. Uma bolha de ar, de 25 cm³ de volume, encontra-se no fundo de um lago, a 40 m de profundidade e à temperatura de 4,0 °C. A bolha sobe à superfície, que está à temperatura de 20 °C e à pressão de 1,0 atm. Supondo que o ar na bolha se comporta como um gás ideal e que a sua temperatura é sempre igual à temperatura da água na sua vizinhança, calcule o volume da bolha imediatamente antes de atingir a superfície. Considere que $\rho_{ag} = 1000 \text{ kg/m}^3$, 1 atm = 101325 Pa e $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
R: $1,3 \times 10^2 \text{ cm}^3$.
61. 1,0 mol de um gás ideal monoatómico encontra-se inicialmente à temperatura de 300 K. O gás sofre um processo isocórico, recebendo 500 J de calor. Seguidamente, sofre um processo isobárico, perdendo a mesma quantidade de calor. Determine:
- a temperatura final do gás. **R:** 316 K
 - o trabalho realizado sobre o gás nos dois processos. **R:** -200 J

62. À temperatura de 300 K, 1,0 mol de um gás ideal está confinada num cilindro com um êmbolo, ocupando um volume de 5,0 litros. Se 4,4 kJ de calor forem transferidos para o gás a pressão constante, qual o seu volume final? Considere que o calor específico molar a volume constante do gás é dado por $C_V = 5R/2$, onde $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R:** $7,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
63. 1,0 mol de um gás ideal monoatómico é aquecida a pressão constante, a partir da temperatura de 0,0 °C. Que quantidade de calor deve ser transferida para o gás para que o seu volume aumente para o dobro? **R:** $5,7 \times 10^3 \text{ J}$
64. Um gás ideal inicialmente à temperatura de 300 K sofre uma expansão isobárica a 2,50 kPa. Se o volume aumentar de 1,00 m³ para 3,00 m³ e 12,5 kJ de calor forem transferidos para o gás, determine:
a. a variação da sua energia interna. **R:** $7,5 \times 10^3 \text{ J}$
b. a sua temperatura final. **R:** 900 K
65. Um gás ideal contido num recipiente encontra-se à pressão de 1,5 atm e ocupa um volume de 4,0 m³. Considerando que 1 atm = 101325 Pa, determine:
a. o trabalho realizado pelo gás se este se expandir a pressão constante para o dobro do seu volume inicial. **R:** $6,1 \times 10^5 \text{ J}$
b. o trabalho realizado sobre o gás se este for comprimido a pressão constante para um quarto do seu volume inicial. **R:** $-4,6 \times 10^5 \text{ J}$
66. 0,20 mol de um gás ideal estão confinadas no interior de um cilindro dotado de um êmbolo móvel. Este êmbolo pode deslocar-se livremente, mantendo o gás a pressão constante. Qual o trabalho realizado quando a temperatura do gás é elevada de 20 °C para 300 °C? Considere que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R:** $4,7 \times 10^2 \text{ J}$
67. 1,00 litro de um gás ideal, cuja constante adiabática é $\gamma = 1,300$, encontra-se à temperatura de 273 K e à pressão de 1,00 atm. O gás é comprimido rapidamente até metade do seu volume original. Determine a pressão e a temperatura finais do gás. **R:** $2,50 \times 10^5 \text{ Pa}$; 336 K
68. Um gás ideal, cuja constante adiabática é $\gamma = 1,5$, ocupa um volume de 4,0 litros à pressão de 1,0 atm e à temperatura de 300 K. O gás é comprimido adiabaticamente até ao volume final de 1,0 litro. Considerando que 1 atm = 101325 Pa, determine:
a. a pressão final. **R:** $8,1 \times 10^5 \text{ Pa}$
b. a temperatura final. **R:** $6,0 \times 10^2 \text{ K}$
69. 2,00 mol de um gás ideal, cuja constante adiabática é $\gamma = 1,40$, ocupam um volume de 12,0 litros à pressão de 5,00 atm. O gás expande-se adiabaticamente até ocupar um volume final de 30,0 litros. Considerando que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e 1 atm = 101325 Pa, determine:
a. a pressão final do gás. **R:** $1,40 \times 10^5 \text{ Pa}$
b. as temperaturas inicial e final. **R:** 366 K; 253 K

70. Um gás ideal, inicialmente à temperatura de 27 °C, é comprimido bruscamente até um décimo do seu volume inicial ($V_f/V_i = 0,10$). Qual é a sua temperatura após a compressão:
- se o gás for monoatómico? **R:** $1,4 \times 10^3$ K
 - se o gás for diatómico? **R:** $7,5 \times 10^2$ K
71. 5,00 mol de um gás ideal expandem-se isotermicamente a 127 °C, passando a ocupar um volume 4,00 vezes o volume inicial. Determine:
- o trabalho realizado pelo gás. **R:** $2,31 \times 10^4$ J
 - o calor transferido para o sistema. **R:** $2,31 \times 10^4$ J
72. Determine a variação da energia interna de 3,0 mol de hélio quando a sua temperatura aumenta de 2,0 K. Considere que o hélio se comporta como um gás ideal e que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R:** 75 J
73. 10 g de oxigénio são aquecidos de 27 °C a 127 °C à pressão atmosférica. Sabendo que a molécula do oxigénio é diatómica e tem uma massa molar de 32 g/mol e usando $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$, determine:
- a quantidade de calor absorvida pelo oxigénio. **R:** $9,1 \times 10^2$ J
 - a fração desse calor que é usada para aumentar a energia interna do oxigénio.
R: 5/7
74. Determine o calor específico mássico a volume constante do hélio, sabendo que este gás é monoatómico. Considere que a massa atómica do hélio é $m_{at} = 6,65 \times 10^{-27}$ kg e que $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$.
R: $3,11 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
75. A massa da molécula de um gás pode ser calculada a partir do calor específico a volume constante. Considere o árgon (gás monoatómico), para o qual $c_V = 0,075 \text{ kcal K}^{-1}\text{kg}^{-1}$. Sabendo que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, determine:
- a sua massa molar. **R:** 40 g/mol
 - a massa de um átomo de árgon. **R:** $6,6 \times 10^{-26}$ kg
76. 1,000 mol de um gás ideal monoatómico sofre a transformação cíclica representada na figura. O processo 2 → 3 é adiabático e as temperaturas são $T_1 = 300,0 \text{ K}$, $T_2 = 600,0 \text{ K}$ e $T_3 = 455,0 \text{ K}$. Considere que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$. Determine:
- Q , ΔU e W para cada um dos processos e para o ciclo completo. **R:** $Q_{12} = 3741 \text{ J}$; $W_{12} = 0 \text{ J}$; $\Delta U_{12} = 3741 \text{ J}$; $Q_{23} = 0 \text{ J}$; $W_{23} = 1808 \text{ J}$; $\Delta U_{23} = -1808 \text{ J}$; $Q_{31} = -3222 \text{ J}$; $W_{31} = -1289 \text{ J}$; $\Delta U_{31} = -1933 \text{ J}$; $Q_{ciclo} = 519,6 \text{ J}$; $W_{ciclo} = 519,6 \text{ J}$; $\Delta U_{ciclo} = 0 \text{ J}$
 - a pressão e o volume nos estados 2 e 3, sabendo que $p_1 = 1,000 \text{ atm}$.
R: $p_2 = 2,027 \times 10^5 \text{ Pa}$, $V_2 = 0,02462 \text{ m}^3$, $p_3 = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $V_3 = 0,03733 \text{ m}^3$



Teoria cinética dos gases

77. Em cada segundo ($\Delta t = 1,0 \text{ s}$), um conjunto de $N = 1,0 \times 10^{23}$ moléculas de hidrogénio (H_2) chocam com uma parede. Sabendo que o módulo da velocidade das moléculas e o seu ângulo de inclinação em relação à parede são $v = 1,0 \times 10^5 \text{ cm/s}$ e $\theta = 45^\circ$, respetivamente, que a área da parede onde incidem as moléculas é $A = 2,0 \text{ cm}^2$ e que a massa da molécula de hidrogénio é de $3,32 \times 10^{-24} \text{ g}$, determine a pressão exercida na parede. **R:** $2,3 \times 10^3 \text{ Pa}$
78. Determine a velocidade quadrática média das moléculas de azoto (N_2) quando a pressão é $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ e a temperatura é $0,0^\circ\text{C}$. Considere que a massa molar do azoto é $M = 28 \text{ g/mol}$ e que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$. **R:** $4,9 \times 10^2 \text{ m/s}$
79. A 273°F e $1,00 \times 10^{-2} \text{ atm}$, a densidade de um gás é de $1,24 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$. Sabendo que $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$, determine:
a) a velocidade quadrática média das moléculas do gás. **R:** 495 m/s
b) a massa molar do gás. **R:** $41,4 \text{ g/mol}$
80. Sabendo que a massa molar do árgon é $M = 39,9 \text{ g/mol}$, determine a velocidade quadrática média dos átomos deste gás quando a temperatura é $20,0^\circ\text{C}$. A que temperatura a velocidade quadrática média é metade desse valor? A que temperatura é o dobro? Considere que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$.
R: $428 \text{ m/s}; 73,3 \text{ K}; 1,17 \times 10^3 \text{ K}$
81. 2,00 mol de oxigénio (O_2) estão confinadas a um volume de 5,00 litros, à pressão de 8,00 atm. Sabendo que a constante de Boltzmann é $k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ e que $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$, determine a energia cinética média de translação de uma molécula de oxigénio nestas condições. **R:** $5,05 \times 10^{-21} \text{ J}$
82. Um recipiente de 5,00 litros contém 0,125 mol de um gás ideal à pressão de 1,50 atm. Sabendo que $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ e $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$, determine a energia cinética média de translação de uma molécula do gás. **R:** $1,51 \times 10^{-20} \text{ J}$
83. A massa molar do hélio é $M = 4,00 \text{ g/mol}$. Sabendo que $k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, $R = 8,314 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$, $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ e $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$, determine:
a) o número de átomos de hélio necessários para encher um balão esférico com um diâmetro de 30,0 cm à temperatura de $20,0^\circ\text{C}$ e pressão de 1,00 atm.
R: $3,54 \times 10^{23}$
b) a energia cinética média de um átomo de hélio. **R:** $6,07 \times 10^{-21} \text{ J}$
c) a velocidade quadrática média de um átomo de hélio. **R:** $1,35 \times 10^3 \text{ m/s}$

Ciclo de Carnot, máquinas térmicas e frigoríficas

84. Uma máquina de Carnot, que usa um gás ideal como substância de trabalho, opera entre as temperaturas $T_q = 227^\circ\text{C}$ e $T_f = 127^\circ\text{C}$. Sabendo que esta máquina absorve $6,0 \times 10^4$ cal à temperatura mais elevada, determine:
a) o rendimento da máquina. **R: 0,200**
b) o trabalho realizado em cada ciclo? **R: $1,2 \times 10^4$ cal**
85. Num ciclo de Carnot, a expansão e a compressão isotérmicas do gás (ideal) ocorrem a 500 K e 300 K, respectivamente. Sabendo que 700 cal de calor são transferidas para o gás durante a expansão, determine:
a) o trabalho realizado pelo gás durante a expansão isotérmica. **R: 700 cal**
b) o calor cedido pelo gás durante a compressão isotérmica. **R: -420 cal**
c) o trabalho realizado sobre o gás durante a compressão isotérmica. **R: 420 cal**
86. Uma máquina de Carnot tem um rendimento de 25,0% quando o reservatório quente tem uma temperatura de 500°C . Se quisermos melhorar o rendimento para 30,0%, qual deverá ser a temperatura do reservatório quente, considerando que tudo o resto se mantém inalterado? **R: 555 °C**
87. Vapor de água entra numa turbina a 800°C e sai a 120°C . Qual o rendimento máximo desta turbina? **R: 63,4%**
88. Uma máquina de Carnot funciona entre um reservatório quente à temperatura de 320 K e um reservatório frio a 260 K.
a) Se esta máquina absorver 500 J de calor do reservatório quente, qual o trabalho realizado num ciclo? **R: 93,8 J**
b) Se funcionar no sentido inverno, como frigorífico, que trabalho deve ser fornecido à máquina para retirar 1000 J de calor do reservatório frio? **R: 231 J**
89. Que quantidade de trabalho é requerida, usando uma máquina frigorífica de Carnot ideal, para remover 1,0 J de calor de hélio a 4,0 K e libertar calor para o ambiente à temperatura de 293 K? **R: 72 J**
90. Uma máquina térmica absorve 360 J de calor e realiza um trabalho de 25 J em cada ciclo. Determine:
a) o rendimento da máquina. **R: 6,9%**
b) o calor expelido em cada ciclo. **R: 335 J**
91. Uma máquina térmica produz 200 J de trabalho em cada ciclo e tem um rendimento de 30,0%. Em cada ciclo, que quantidade de calor é:
a) absorvida? **R: 667 J**
b) expelida? **R: 467 J**
92. Em cada ciclo, um motor absorve $1,60 \times 10^3$ J de um reservatório quente e expelle $1,00 \times 10^3$ J para um reservatório frio. Determine:
a) o rendimento da máquina. **R: 37,5%**
b) o trabalho realizado em cada ciclo. **R: 600 J**
c) a potência da máquina se cada ciclo durar 0,30 s. **R: $2,0 \times 10^3$ W**

93. Na figura está representado o ciclo de uma máquina térmica, cuja substância de trabalho é um gás ideal monoatómico. Considere que $V_3 = 2,0V_1$.

a) Calcule a constante adiabática do gás.

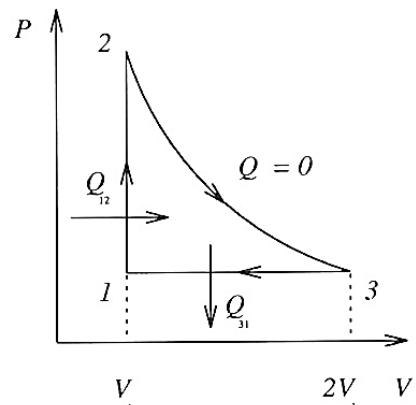
R: 5/3

b) Mostre que $T_3 = 2,0^{1-\gamma}T_2$.

c) Mostre que $T_2 = 2,0^\gamma T_1$.

d) Calcule o rendimento da máquina térmica.

R: 23%



94. Num frigorífico ideal, a câmara de baixa temperatura encontra-se a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o gás no compressor está a uma temperatura de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

a) Calcule a eficiência deste ciclo. **R:** 5.0

b) Que quantidade de trabalho é necessário realizar para extrair 30 J de calor da câmara de baixa temperatura? **R:** 6,0 J

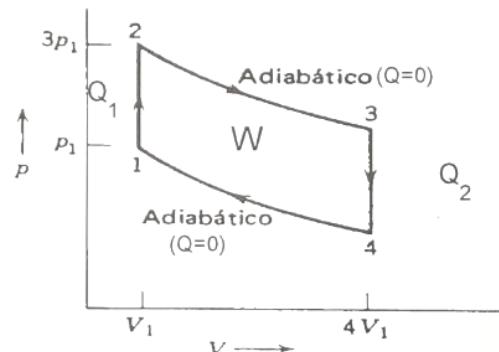
95. Considere uma máquina térmica de dois estágios. No primeiro estágio, a máquina absorve uma quantidade de calor Q_1 à temperatura T_1 , realiza o trabalho W_1 e cede a quantidade de calor Q_2 à temperatura T_2 . No segundo estágio, absorve o calor cedido no primeiro, realiza o trabalho W_2 e cede a quantidade de calor Q_3 à temperatura $T_3 < T_2$. Mostre que o rendimento máximo do conjunto é $(T_1 - T_3)/T_1$.

96. Um motor de combustão interna a gasolina pode ser aproximado pelo ciclo Otto mostrado na figura. Considere que $V_4/V_1 = 4,0$ e $p_2/p_1 = 3,0$.

a) Mostre que $T_2 = 3,0T_1$, $T_3 = 3,0 \times 4,0^{1-\gamma}T_1$ e $T_4 = 4,0^{1-\gamma}T_1$.

b) Mostre que o rendimento do ciclo é $1 - 4,0^{1-\gamma}$.

c) Calcule o rendimento, considerando que o gás ideal é diatómico e que a pressão e temperatura no estado de equilíbrio 1 são, respectivamente, $p_1 = 1,013 \times 10^5\text{ Pa}$ e $T_1 = 293\text{ K}$; compare o resultado obtido com o rendimento de uma máquina de Carnot que funciona entre as temperaturas T_2 e T_4 . **R:** 43%; 81%



97. Máquinas de movimento perpétuo de 1^a e 2^a espécie são máquinas hipotéticas que violariam, se pudessem ser construídas, o 1º e 2º princípios da Termodinâmica, respectivamente. Uma pessoa diz ter inventado uma máquina térmica, que, operando por ciclos, consome uma quantidade de calor igual a $1,06 \times 10^8\text{ J}$ de um reservatório a 480 K , fornece uma quantidade de calor igual a $4,20 \times 10^7\text{ J}$ a um reservatório a 240 K e produz um trabalho de $16,0\text{ kWh}$. Verifique se esta máquina viola:

a. o 1º princípio da termodinâmica. **R:** não

b. o 2º princípio da termodinâmica. **R:** sim

Entropia

98. Um dado sistema absorve 20,0 cal de calor num processo isotérmico reversível. Sabendo que a variação de entropia é $0,200 \text{ J/K}$, determine a que temperatura tem lugar esse processo. **R:** 419 K
99. A superfície do Sol encontra-se à temperatura de $5,7 \times 10^3 \text{ K}$, enquanto a temperatura à superfície da Terra é de $2,9 \times 10^2 \text{ K}$. Qual a variação de entropia quando 1000 J de calor são transferidos do Sol para a Terra? **R:** $3,3 \text{ J/K}$
100. Determine a variação de entropia que ocorre durante a vaporização de 1,00 kg de água à pressão de 1,00 atm. Considere que o calor latente de vaporização da água é $\lambda_v = 540 \text{ cal/g}$. **R:** $6,1 \times 10^3 \text{ J/K}$
101. Qual é a variação de entropia quando 197 g de ouro são derretidos à sua temperatura de fusão $T_f = 1063 \text{ }^\circ\text{C}$? Considere que o calor latente de fusão do ouro é $\lambda_f = 15,38 \text{ kcal/kg}$. **R:** $9,49 \text{ J/K}$
102. Qual o decréscimo de entropia de 1,0 mol de hélio que, à pressão de 1,0 atm, é arrefecida da temperatura ambiente (293 K) até à temperatura de 4,0 K? Considere que o calor específico molar a pressão constante é $C_p = 21 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$.
R: -90 J/K
103. Calcule a variação de entropia de 250 g de água quando é aquecida de 20,0 $^\circ\text{C}$ até 80,0 $^\circ\text{C}$. Considere que o calor específico mássico da água é $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.
R: 195 J/K
104. 1,00 mol de um gás ideal monoatómico passa do estado inicial, com pressão p e volume V , para o estado final, de pressão $2,00 p$ e volume $2,00 V$. 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, seguida de uma expansão isobárica até atingir o estado final.
a. Represente os processos I e II num diagrama pV .
b. Para cada um dos processos, determine a variação de entropia do gás.
R: 23,1 J/K; 23,1 J/K
105. Uma ferradura de ferro, de massa $m_f = 1,00 \text{ kg}$, é retirada de um forno que está à temperatura de 900 $^\circ\text{C}$ e mergulhada em 4,00 kg de água a 10,0 $^\circ\text{C}$. Se não houver trocas de calor com a vizinhança, determine a variação total de entropia. Considere que $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $c_f = 448 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. **R:** 717 J/K
106. Um cubo de gelo, de massa $m = 10 \text{ g}$ e à temperatura de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, é colocado num lago cuja temperatura é de 15 $^\circ\text{C}$. Determine a variação de entropia do gelo quando este atinge o equilíbrio térmico com o lago. Considere que $c_g = 2090 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$. **R:** 15 J/K
107. Num calorímetro misturam-se 100 g de alumínio à temperatura de 100 $^\circ\text{C}$ com 50 g de água a 20 $^\circ\text{C}$. Sabendo que $c_{al} = 0,25 \text{ cal g}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $c_{ag} = 1,0 \text{ cal g}^{-1}\text{K}^{-1}$,

determine a diferença de entropia entre o estado final e o estado inicial da mistura.

R: $2,1 \text{ J/K}$

108. Um icebergue, de $m = 1,00 \times 10^5 \text{ kg}$ e à temperatura de $-5,0 \text{ }^\circ\text{C}$, desprende-se da camada de gelo polar e flutua no oceano, o qual se encontra à temperatura de $5,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que $c_g = 2090 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ e $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$, determine a variação total de entropia do sistema quando o icebergue derrete completamente? **R:** $2,4 \times 10^6 \text{ J/K}$
109. Um cubo de gelo, de massa $m = 8,0 \text{ g}$ e à temperatura de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, é colocado numa garrafa térmica que contém 100 cm^3 de água à temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Sabendo que $c_g = 2090 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $c_{ag} = 4186 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, $\lambda_f = 333 \text{ kJ/kg}$ e $\rho_{ag} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$, determine a variação de entropia do sistema quando é atingido o estado final de equilíbrio. **R:** $0,15 \text{ cal/K}$