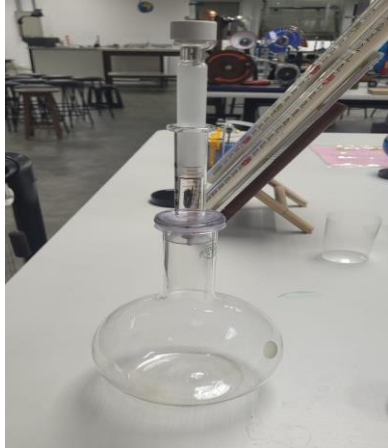


LISTA 3A – Temperatura, Calor e Primeira Lei da Termodinâmica

1. DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS EM GRUPO:

SUBMETA UM RELATÓRIO DAS DEMONSTRAÇÕES REALIZADAS PELO GRUPO SOBRE:

- 1) Sugira uma estratégia para determinar o calor transferido de você para o bulbo



- 2) Explique os processos envolvidos na demonstração da máquina de Sterling:



- 3) Determine quantas calorias continha seu amendoim ?



- 4) Na demonstração da seringa de fogo, relate o protocolo utilizado e estime qual temperatura o ar chega quando está no nível máximo de compressão ?



DICA: Inclua no relatório: introdução, a metodologia e instrumentos utilizados, os dados obtidos, a análise e gráficos, discussão dos resultados, relato das dificuldades e conclusões.

2. EXERCÍCIOS SUGERIDOS E PARA ENTREGA (em vermelho)

CAPÍTULO 7:

Problemas: 7.3, 7.6, 7.9

CAPÍTULO 8:

Problemas: 8.3, 8.4, 8.8, 8.9, 8.16, 8.18, 8.19

CAPÍTULO 9:

Problemas: 9.1, 9.4, 9.6, 9.8, 9.10, 9.12

Analogamente, a variação de volume de um paralelepípedo de arestas l_1 , l_2 e l_3 será

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta(l_1 l_2 l_3)}{l_1 l_2 l_3} \cong \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_3}{l_3}$$

o que dá

$$\boxed{\Delta V / V = 3\alpha\Delta T} \quad (7.5.4)$$

desprezando termos de ordem α^2 e α^3 . Logo, o *coeficiente de dilatação volumétrica* é 3α , o que se aplica também ao volume de uma cavidade, num corpo cujo coeficiente de dilatação linear é α .

Para um *líquido*, que toma a forma do recipiente que o contém, só interessa o *coeficiente de dilatação volumétrica* β , definido por

$$\boxed{\Delta V / V = \beta\Delta T} \quad (7.5.5)$$

Valores típicos de β para líquidos são bem maiores que para sólidos: tipicamente, da ordem de 10^{-3} por $^{\circ}\text{C}$. Para o mercúrio, $\beta \approx 1,8 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$.

Se tivermos então um termômetro de mercúrio, em que este enche completamente o bulbo de vidro à temperatura de 0°C , o volume do bulbo à temperatura θ será $V_0(1 + 3\alpha\theta)$, e o volume do mercúrio será $V_0(1 + \beta\theta)$, de modo que o volume de mercúrio expelido do bulbo e que irá subir pelo tubo capilar é

$$V_0(\beta - 3\alpha)\theta$$

Diz-se que $\beta - 3\alpha$ é o *coeficiente de dilatação aparente* do líquido (no caso, o mercúrio).

Em geral, β é > 0 , mas há uma anomalia no caso da água, para a qual β se torna < 0 entre 0°C e 4°C . Assim, a densidade máxima da água é atingida a 4°C , e ela se expande, em lugar de se contrair, quando a temperatura diminui, na região abaixo de 4°C , até se congelar. Essa expansão pode fazer estourar um cano cheio de água, quando a mesma se congela. É também por essa razão que a superfície de um lago se congela, sem que isto ocorra com a água a maior profundidade. Esta permanece a temperatura mais elevada, com densidade maior, de forma que o gelo flutua sobre ela, permitindo assim que os peixes sobrevivam durante o inverno.

A explicação microscópica do coeficiente de dilatação anômalo da água na vizinhança de seu ponto de fusão não é simples. A água é um líquido muito peculiar, devido às propriedades específicas da ligação de hidrogênio, encontrada em suas moléculas.

PROBLEMAS DO CAPÍTULO 7

1. Uma esfera oca de alumínio tem um raio interno de 10 cm e raio externo de 12 cm a 15°C . O coeficiente de dilatação linear do alumínio é $2,3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. De quantos cm^3 varia o volume da cavidade interna quando a temperatura sobe para 40°C ? O volume da cavidade aumenta ou diminui?
2. Uma barra retilínea é formada por uma parte de latão soldada em outra de aço. A 20°C , o comprimento total da barra é de 30 cm, dos quais 20 cm de latão e 10 cm de aço. Os coeficientes de dilatação linear são $1,9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ para o latão e $1,1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ para o aço. Qual é o coeficiente de dilatação linear da barra?

3. Uma tira bimetálica, usada para controlar termostatos, é constituída de uma lâmina estreita de latão, de 2 mm de espessura, presa lado a lado com uma lâmina de aço, de mesma espessura $d = 2$ mm, por uma série de rebites. A 15°C , as duas lâminas têm o mesmo comprimento, igual a 15 cm, e a tira está reta. A extremidade A da tira é fixa; a outra extremidade B pode mover-se, controlando o termostato. A uma temperatura de 40°C , a tira se encurvou, adquirindo um raio de curvatura R , e a extremidade B se deslocou de uma distância vertical y (Fig. P.1). Calcule R e y , sabendo que o coeficiente de dilatação linear do latão é $1,9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ e o do aço é $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$.

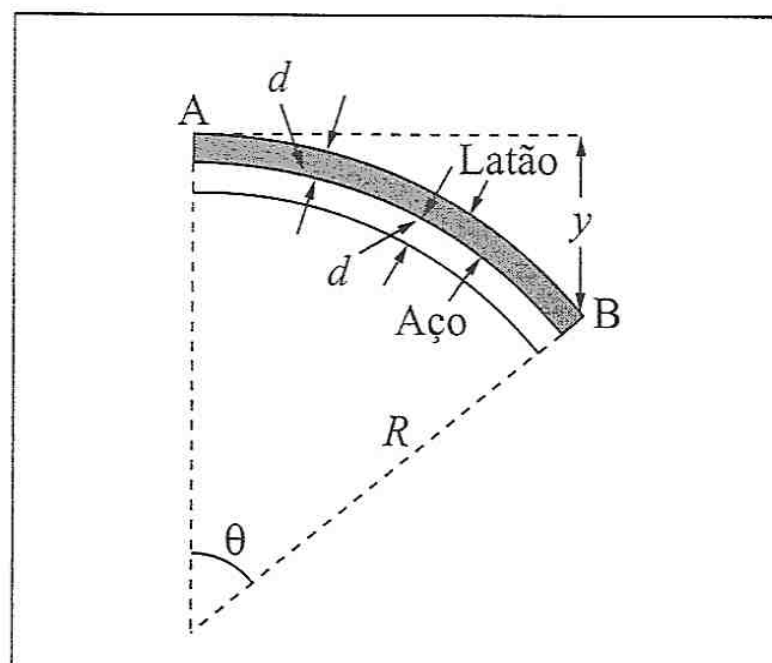


Figura P.1

4. Num relógio de pêndulo, o pêndulo é uma barra metálica, projetada para que seu período de oscilação seja igual a 1 s. Verifica-se que, no inverno, quando a temperatura média é de 10°C , o relógio adianta, em média 55 s por semana; no verão, quando a temperatura média é de 30°C , o relógio atrasa, em média 1 minuto por semana. (a) Calcule o coeficiente de dilatação linear do metal do pêndulo. (b) A que temperatura o relógio funcionaria com precisão?

5. A Fig. P.2 ilustra um esquema possível de construção de um pêndulo cujo comprimento l não seja afetado pela dilatação térmica. As três barras verticais claras na figura, de mesmo comprimento l_1 , são de aço, cujo coeficiente de dilatação linear é $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$. As duas barras verticais escuras na figura, de mesmo comprimento l_2 , são de alumínio, cujo coeficiente de dilatação linear é $2,3 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$. Determine l_1 e l_2 de forma a manter $l = 0,5\text{m}$.

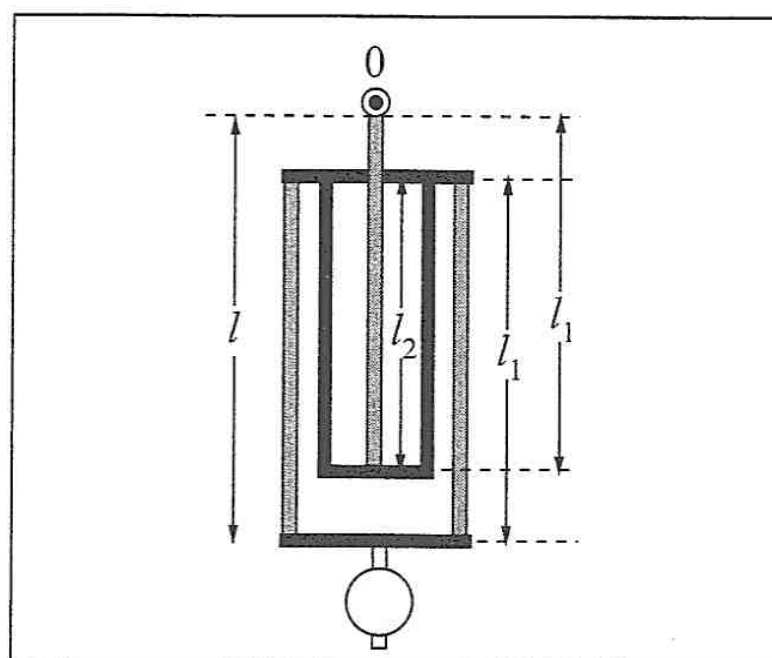


Figura P.2

6. (a) Um líquido tem coeficiente de dilatação volumétrica β . Calcule a razão ρ/ρ_0 entre a densidade do líquido à temperatura T e sua densidade ρ_0 à temperatura T_0 . (b) No método de Dulong e Petit para determinar β , o líquido é colocado num tubo em U, com um dos ramos imerso em gelo fundente (temperatura T_0) e o outro (Fig. P.3) em óleo aquecido à temperatura T . O nível atingido pelo líquido nos dois ramos é, respectivamente medido pelas alturas h_0 e h . Mostre que a experiência permite determinar β (em lugar do coeficiente de dilatação aparente do líquido), e que o resultado independe de o tubo em U ter secção uniforme. (c) Numa experiência com acetona utilizando este método, T_0 é 0°C , T é 20°C , $h_0 = 1$ m e $h = 1,03$ m. Calcule o coeficiente de dilatação volumétrica da acetona.

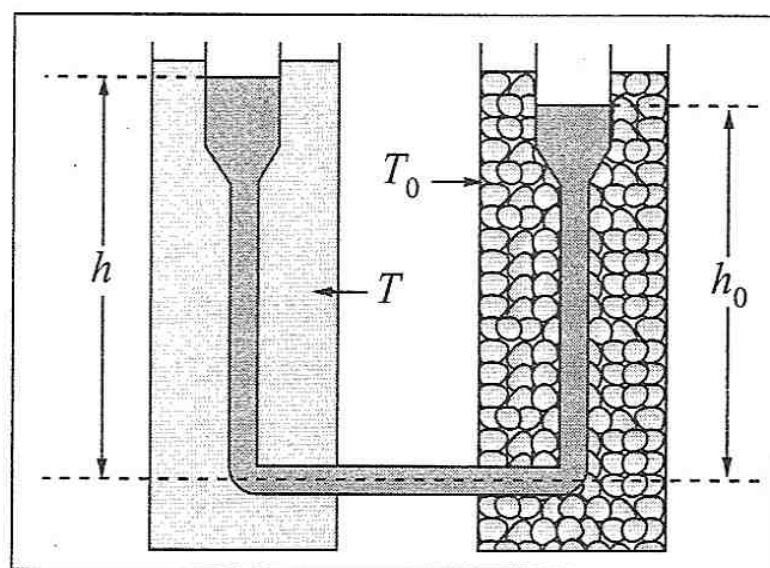


Figura P.3

7. Um tubo cilíndrico delgado de secção uniforme, feito de um material de coeficiente de dilatação linear α , contém um líquido de coeficiente de dilatação volumétrica β . À temperatura T_0 , a altura da coluna líquida é h_0 . (a) Qual é a variação Δh de altura da coluna quando a temperatura sobe de 1°C ? (b) Se o tubo é de vidro ($\alpha = 9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) e o líquido é mercúrio ($\beta = 1,8 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$), mostre que este sistema não constitui um bom termômetro, do ponto de vista prático, calculando Δh para $h_0 = 10$ cm.

8. Para construir um termômetro de leitura fácil, do ponto de vista prático (Problema 7), acopla-se um tubo capilar de vidro a um reservatório numa extremidade do tubo. Suponha que, à temperatura T_0 , o mercúrio está todo contido no reservatório, de volume V_0 , e o diâmetro do capilar é d_0 . (a) Calcule a altura h do mercúrio no capilar a uma temperatura $T > T_0$ (Fig. P.4). (b) Para um volume do reservatório $V_0 = 0,2$ cm³, calcule qual deve ser o diâmetro do capilar em mm para que a coluna de mercúrio suba de 1 cm quando a temperatura aumenta de 1°C . Tome $\alpha = 9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ para o vidro e $\beta = 1,8 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ para o mercúrio.

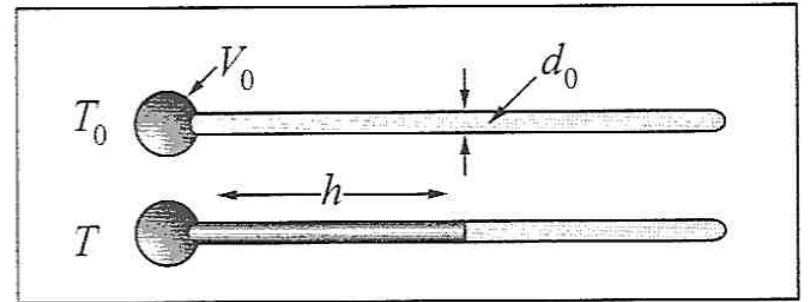


Figura P.4

9. Um reservatório cilíndrico de aço contém mercúrio, sobre o qual flutua um bloco cilíndrico de latão. À temperatura de 20°C , o nível do mercúrio no reservatório está a uma altura $h_0 = 0,5$ m em relação ao fundo e a altura a_0 do cilindro de latão é de $0,3$ m. A essa temperatura, a densidade do latão é de $8,60$ g/cm³ e a densidade do mercúrio é de $13,55$ g/cm³. (a) Ache a que altura H_0 está o topo do bloco de latão em relação ao fundo do reservatório a 20°C (Fig. P.5). (b) O coeficiente de dilatação linear do aço é $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$; o do latão é $1,9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, e o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é $1,8 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$. Calcule a variação δH da altura H_0 (em mm) quando a temperatura sobe para 80°C .

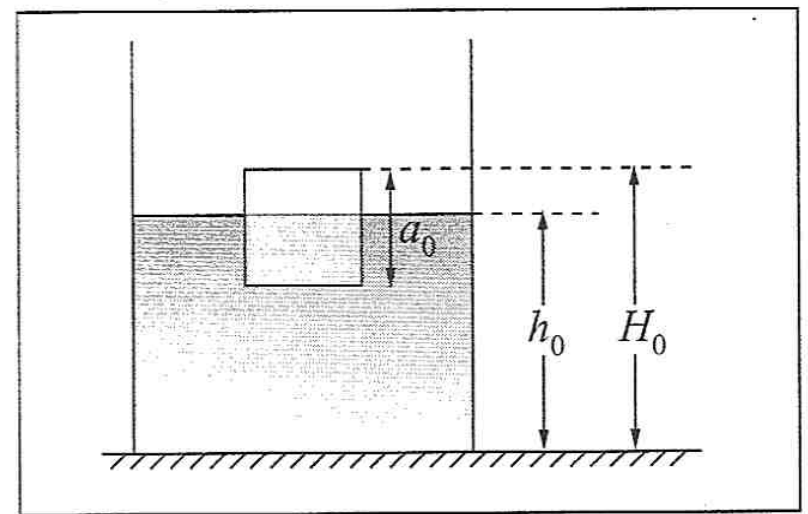


Figura P.5

(iii) Conforme já foi mencionado à pág. 177, qualquer processo suficientemente rápido para que não haja tempo de transferir calor (a transmissão de calor por condução e convecção é relativamente lenta num meio isolante como um gás) pode ser tratado como adiabático. *Exemplos:* a propagação de ondas sonoras; o aquecimento do ar quando bombeamos um pneu de bicicleta; a expansão do vapor entre a caldeira e o condensador de uma máquina a vapor; a expansão da mistura de gases aquecidos num motor de automóvel.

(iv) *A experiência de Joule de expansão livre:* Joule realizou a experiência da expansão livre, ilustrada na pág. 178, com o sistema todo imerso num calorímetro de água com paredes adiabáticas. Como vimos à pág. 179, tem-se $W_{i \rightarrow f} = 0$ neste caso (o volume do sistema total não se altera, de modo que não há trabalho externo realizado). Logo, a (8.7.7) dá

$$\Delta U = 0$$

(8.7.8)

ou seja, a energia do gás não varia neste processo adiabático irreversível.

Note que, neste exemplo, embora os estados inicial e final sejam de equilíbrio termodinâmico, podendo pois ser representados por pontos i e f num gráfico (P, V) , por exemplo (Fig. 8.12), os estados intermediários da expansão *não são estados de equilíbrio termodinâmico* (pág. 179), e não podem pois ser representados nesse gráfico.

PROBLEMAS DO CAPÍTULO 8

1. Verifique se a estimativa de Joule para a variação de temperatura da água entre o sopé e o topo das cataratas de Niagara (pág. 169) era correta, calculando a máxima diferença de temperatura possível devida à queda da água. A altura de queda é de 50 m.
2. A capacidade térmica molar (a volume constante) de um sólido a baixas temperaturas, $T \ll T_D$, onde T_D é a temperatura de Debye (pág. 171), é dada por: $C_V \approx 464 (T/T_D)^3$ cal/mol.K. Para o NaCl, $T_D \approx 281$ K. (a) Calcule a capacidade térmica molar média \bar{C}_V do NaCl entre $T_i = 10$ K e $T_f = 20$ K. (b) Calcule a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 kg de NaCl de 10 K para 20 K.
3. Um bloco de gelo de 1 tonelada, destacado de uma geleira, desliza por uma encosta de 10° de inclinação com velocidade constante de 0,1 m/s. O calor latente de fusão do gelo (quantidade de calor necessária para liquefação por unidade de massa) é de 80 cal/g. Calcule a quantidade de gelo que se derrete por minuto em consequência do atrito.
4. A *constante solar*, quantidade de energia solar que chega à Terra por unidade de tempo e área, acima da atmosfera e para um elemento de área perpendicular à direção dos raios solares, é de $1,36$ kW/m². Para um elemento de área cuja normal faz um ângulo θ com a direção dos raios solares, o fluxo de energia varia com $\cos \theta$. (a) Calcule a quantidade total de energia solar que chega à Terra por dia. *Sugestão:* Para um elemento de superfície dS , leve em conta a interpretação de $dS \cos \theta$ como projeção sobre um plano (Capítulo 1, problema 8). (b) Sabe-se que $\approx 23\%$ da energia solar incidente sobre a água vão produzir evaporação. O calor latente de vaporização da água à temperatura ambiente (quantidade de calor necessária para vaporizá-la por unidade de massa) é ≈ 590 cal/g. Sabendo que $\approx 71\%$ da superfície da Terra são cobertos por oceanos, calcule a profundidade da camada de água dos oceanos que seria evaporada por dia pela energia solar que chega à Terra.

5. Um calorímetro de alumínio de 250 g contém 0,5 l de água a 20°C, inicialmente em equilíbrio. Coloca-se dentro do calorímetro um bloco de gelo de 100 g. Calcule a temperatura final do sistema. O calor específico do alumínio é 0,21 cal/g°C e o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g (durante o processo de fusão, o gelo permanece a 0°C).
6. Um calorímetro de latão de 200 g contém 250 g de água a 30°C, inicialmente em equilíbrio. Quando 150 g de álcool etílico a 15°C são despejadas dentro do calorímetro, a temperatura de equilíbrio atingida é de 26,3°C. O calor específico do latão é 0,09 cal/g. Calcule o calor específico do álcool etílico.
7. Um calorímetro de capacidade térmica igual a 50 cal/g contém uma mistura de 100 g de água e 100 g de gelo, em equilíbrio térmico. Mergulha-se nele um aquecedor elétrico de capacidade térmica desprezível, pelo qual se faz passar uma corrente, com potência P constante. Após 5 minutos, o calorímetro contém água a 39,7°C. O calor latente de fusão é 80 cal/g. Qual é a potência (em W) do aquecedor?

8. O calor específico de um fluido pode ser medido com o auxílio de um calorímetro de fluxo (Fig. P.1). O fluido atravessa o calorímetro num escoamento estacionário, com vazão de massa V_m (massa por unidade de tempo) constante. Penetrando à temperatura T_i , o fluido passa por um aquecedor elétrico de potência P constante e emerge com temperatura T_f (fig.), em regime estacionário. Numa experiência com benzeno, tem-se $V_m = 5$ g/s, $P = 200$ W, $T_i = 15^\circ\text{C}$ e $T_f = 38,3^\circ\text{C}$. Determine o calor específico do benzeno.

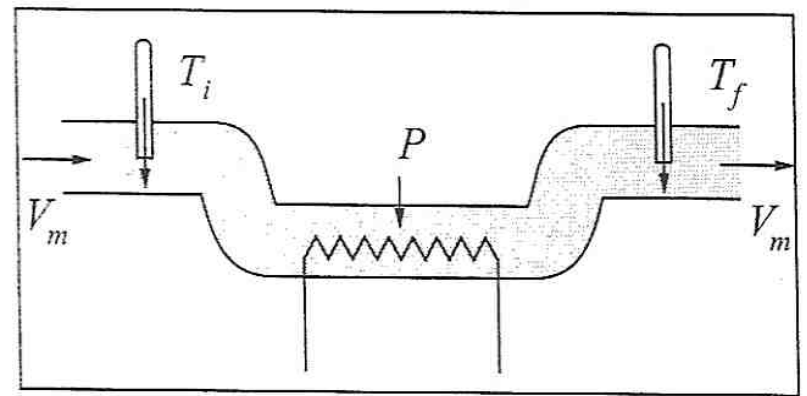


Figura P.1

9. Num dos experimentos originais de Joule (pág. 174), o trabalho era produzido pela queda de uma massa de 26,3 kg de uma altura de 1,60 m, repetida 20 vezes. O equivalente em água da massa da água e do calorímetro que a continha era de 6,32 kg e a variação de temperatura medida foi de 0,313°C. Que valor para o equivalente mecânico da caloria resulta destes dados experimentais?
10. A uma temperatura ambiente de 27°C, uma bala de chumbo de 10 g, com uma velocidade de 300 m/s, penetra num pêndulo balístico de massa igual a 200 g e fica retida nele. Se a energia cinética dissipada pela bala fosse totalmente gasta em aquecê-la, daria para derreter uma parte dela? Em caso afirmativo, quantas gramas? O calor específico do chumbo é 0,031 cal/g°C, sua temperatura de fusão é de 327°C e o calor latente de fusão é 5,85 cal/g.
11. Uma barra de secção transversal constante de 1 cm² de área tem 15 cm de comprimento, dos quais 5cm de alumínio e 10cm de cobre. A extremidade de alumínio está em contato com um reservatório térmico a 100°C, e a de cobre com outro, a 0°C. A condutividade térmica do alumínio é 0,48 cal/s.cm.°C e a do cobre é 0,92 cal/s.cm.°C. (a) Qual é a temperatura da barra na junção entre o alumínio e o cobre? (b) Se o reservatório térmico a 0°C é uma mistura de água com gelo fundente, qual é a massa de gelo que se derrete por hora? O calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g.
12. Uma barra metálica retilínea de secção homogênea é formada de três segmentos de materiais diferentes, de comprimentos l_1 , l_2 e l_3 , e condutividades térmicas k_1 , k_2 e k_3 , respectivamente. Qual é a condutividade térmica k da barra como um todo (ou seja, de uma barra equivalente de um único material e comprimento $l_1 + l_2 + l_3$)?

13. Duas esferas metálicas concêntricas, de raios r_1 e $r_2 > r_1$, são mantidas respectivamente às temperaturas T_1 e T_2 , e estão separadas por uma camada de material homogêneo de condutividade térmica k (Fig. P.2). Calcule a taxa de transmissão de calor por unidade de tempo através dessa camada. *Sugestão:* Considere uma superfície esférica concêntrica intermediária de raio r ($r_1 < r < r_2$) e escreva a lei de condução do calor através dessa superfície. Integre depois em relação a r , de $r = r_1$ até $r = r_2$.

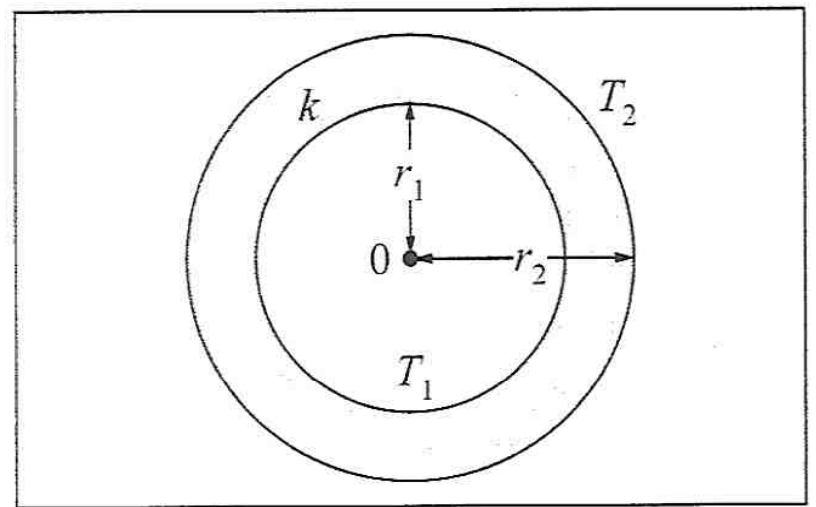


Figura P.2

14. Generalize o resultado de Problema 13 ao caso da condução do calor através de uma camada de material de condutividade térmica k entre dois cilindros concêntricos de raios ρ_1 e $\rho_2 > \rho_1$ e de comprimento $l \gg \rho_2$, de modo que se possam desprezar efeitos das extremidades. (a) Calcule a taxa de transmissão de calor por unidade de tempo através da camada. (b) Aplique o resultado a uma garrafa térmica cilíndrica, com $\rho_1 = 5$ cm, $\rho_2 = 5,5$ cm e $l = 20$ cm, com uma camada de ar entre as paredes interna e externa. A condutividade térmica do ar é de $5,7 \times 10^{-5}$ cal/s.cm.°C. A garrafa contém café inicialmente a 100°C e a temperatura externa é de 25°C . Quanto tempo demora para que o café esfrie até a temperatura ambiente?
15. Uma chaleira de alumínio contendo água em ebulição, a 100°C , está sobre uma chama. O raio do fundo da chaleira é de 7,5 cm e sua espessura é de 2 mm. A condutividade térmica do alumínio é $0,49$ cal/s.cm.°C. A chaleira vaporiza 1 l de água em 5 min. O calor de vaporização da água a 100°C é de 540 cal/g. A que temperatura está o fundo da chaleira? Despreze as perdas pelas superfícies laterais.
16. Num país frio, a temperatura sobre a superfície de um lago caiu a -10°C e começa a formar-se uma camada de gelo sobre o lago. A água sob o gelo permanece a 0°C : o gelo flutua sobre ela e a camada de espessura crescente em formação serve como isolante térmico, levando ao crescimento gradual de novas camadas de cima para baixo. (a) Exprima a espessura l da camada de gelo formada, decorrido um tempo t do início do processo de congelamento, como função da condutividade térmica k do gelo, da sua densidade ρ e calor latente de fusão L , bem como da diferença de temperatura ΔT entre a água e a atmosfera acima do lago. *Sugestão:* Considere a agregação de uma camada de espessura dx à camada já existente, de espessura x , e integre em relação a x . (b) No exemplo acima, calcule a espessura da camada de gelo 1 h após iniciar-se o congelamento, sabendo que $k = 4 \times 10^{-3}$ cal/s.cm.°C, $\rho = 0,92$ g/cm³ e $L = 80$ cal/g.
17. À pressão atmosférica, a vaporização completa de 1 l de água a 100°C gera $1,671$ m³ de vapor de água. O calor latente de vaporização da água a esta temperatura é 539,6 cal/g. (a) Quanto trabalho é realizado pela expansão do vapor no processo de vaporização de 1 l de água? (b) Qual é a variação de energia interna do sistema nesse processo?
18. Um fluido homogêneo pode passar de um estado inicial i a um estado final f no plano (P, V) através de dois caminhos diferentes, representados por iaf e ibf no diagrama indicador (Fig. P.3). A diferença de energia interna entre os estados inicial e final é $U_f - U_i = 50$ J. O trabalho realizado pelo sistema na passagem de i para b é de 100 J. O trabalho realizado pelo sistema quando descreve o ciclo $(iafbi)$ é de 200 J. A partir destes dados,

determine, em magnitude e sinal: (a) a quantidade de calor $Q_{(ibf)}$, associada ao caminho ibf ; (b) o trabalho $W_{i \rightarrow f}$; (c) a quantidade de calor $Q_{(iaf)}$ associada ao caminho iaf ; (d) Se o sistema regressa do estado final ao estado inicial seguindo a diagonal fc do retângulo (Fig.), o trabalho $W_{(fci)}$ e a quantidade de calor $Q_{(fci)}$ associados a esse caminho.

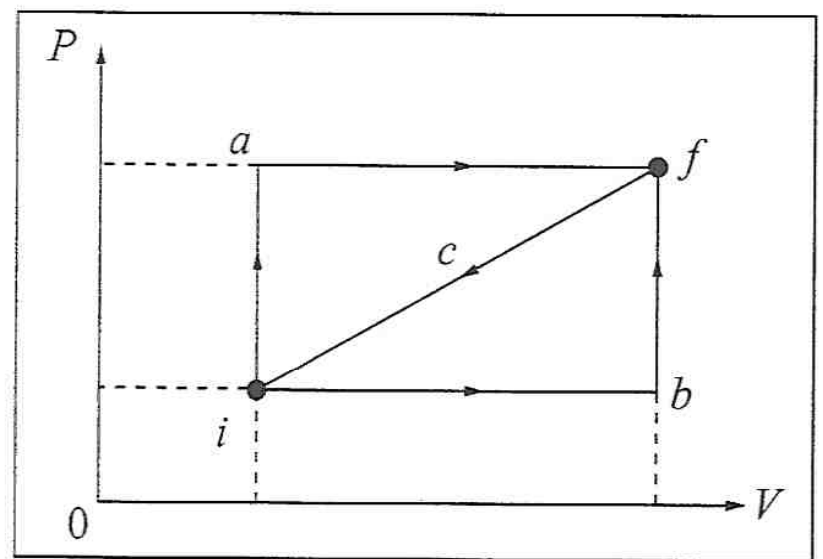


Figura P.3

19. O diagrama indicador da Fig. P.4, onde a pressão é medida em bar e o volume em l, está associado com um ciclo descrito por um fluido homogêneo. Sejam W , Q e ΔU respectivamente o trabalho, quantidade de calor e variação de energia interna do sistema associados com cada etapa do ciclo e com o ciclo completo, cujos valores (em J) devem ser preenchidos na tabela abaixo.

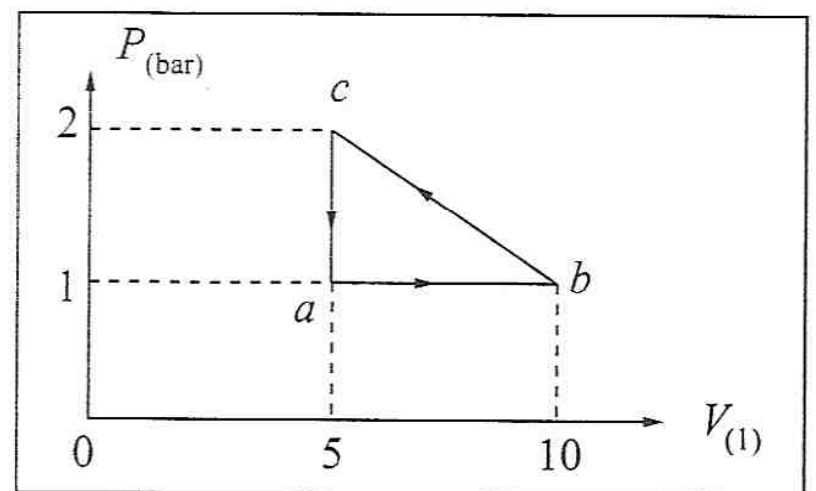


Figura P.4

Etapa	W (J)	Q (J)	ΔU (J)
ab		800	
bc			
ca			-100
Ciclo ($abca$)			

Complete a tabela, preenchendo todas as lacunas.

PROBLEMAS DO CAPÍTULO 9

- O tubo de vidro de um barômetro de mercúrio tem secção reta de 1 cm^2 e 90 cm de altura acima da superfície livre do reservatório de mercúrio. Num dia em que a temperatura ambiente é de 20°C e a pressão atmosférica verdadeira é de 750 mm/Hg , a altura da coluna barométrica é de 735 mm . Calcule a quantidade de ar (em moles) aprisionada no espaço acima da coluna de mercúrio.
- Dois recipientes fechados de mesma capacidade, igual a 1 l , estão ligados um ao outro por um tubo capilar de volume desprezível. Os recipientes contêm oxigênio, inicialmente à temperatura de 25°C e pressão de 1 atm . (a) Quantas gramas de O_2 estão contidas nos recipientes? (b) Aquece-se um dos recipientes até a temperatura de 100°C , mantendo o outro a 25°C . Qual é o novo valor da pressão? (c) Quantas gramas de O_2 passam de um lado para o outro? Despreze a condução de calor através do capilar.
- Um recipiente de paredes adiabáticas é munido de um pistão adiabático móvel, de massa desprezível e 200 cm^2 de área, sobre o qual está colocado um peso de 10 kg . A pressão externa é de 1 atm . O recipiente contém 3 l de gás hélio, para o qual $C_V = \frac{3}{2}R$, à temperatura de 20°C . (a) Qual é a densidade inicial do gás? Faz-se funcionar um aquecedor elétrico interno ao recipiente, que eleva a temperatura do gás, gradualmente, até 70°C . (b) Qual é o volume final ocupado pelo gás? (c) Qual é o trabalho realizado pelo gás? (d) Qual é a variação de energia interna do gás? (e) Quanto calor é fornecido ao gás?
- Um mol de um gás ideal, com $\gamma = 7/5$, está contido num recipiente, inicialmente a 1 atm e 27°C . O gás é, sucessivamente: (i) comprimido isobaricamente até $3/4$ do volume inicial V_0 ; (ii) aquecido, a volume constante, até voltar à temperatura inicial; (iii) expandido a pressão constante até voltar ao volume inicial; (iv) resfriado, a volume constante, até voltar à pressão inicial. (a) Desenhe o diagrama P - V associado; (b) Calcule o trabalho total realizado pelo gás; (c) Calcule o calor total fornecido ao gás nas etapas (i) e (ii); (d) Calcule as temperaturas máxima e mínima atingidas; (e) Calcule a variação de energia interna no processo (i) + (ii).
- Um mol de um gás ideal, contido num recipiente munido de um pistão móvel, inicialmente a 20°C , se expande isotermicamente até que seu volume aumenta de 50% . A seguir, é contraído, mantendo a pressão constante, até voltar ao volume inicial. Finalmente, é aquecido, a volume constante, até voltar à temperatura inicial. (a) Desenhe o diagrama P - V associado; (b) Calcule o trabalho total realizado pelo gás neste processo.
- $0,1 \text{ mol}$ de um gás ideal, com $C_V = \frac{3}{2}R$, descreve o ciclo representado na Fig. P.1 no plano (P, T) . (a) Represente o ciclo no plano (P, V) , indicando P (em atm) e V (em l) associados aos pontos A, B e C. (b) Calcule ΔW , ΔQ e ΔU para os processos AB, BC, CA e o ciclo.

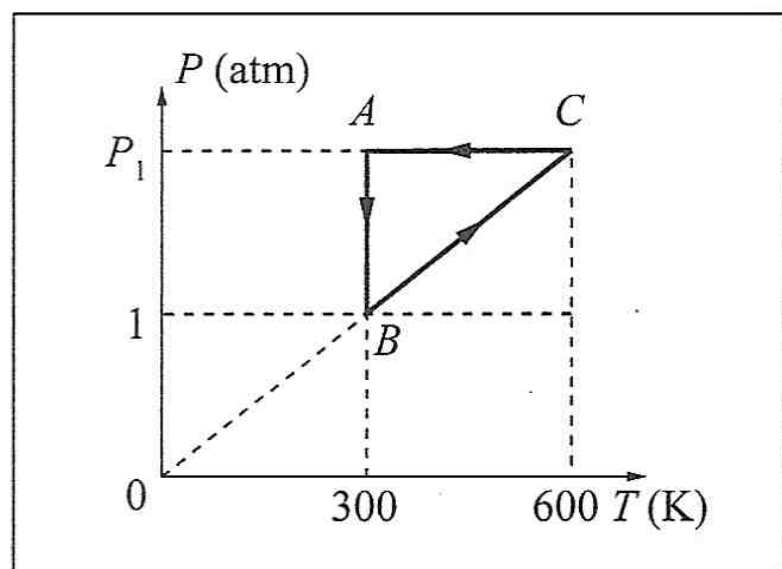


Figura P.1

7. 1 g de gás hélio, com $C_V = \frac{3}{2}R$, inicialmente nas condições NTP, é submetida aos seguintes processos: (i) Expansão isotérmica até o dobro do volume inicial; (ii) Aquecimento a volume constante, absorvendo 50 cal; (iii) Compressão isotérmica, até voltar ao volume inicial. (a) Represente os processos no plano (P, V) , indicando P (em atm), V (em l) e T (em K) associado a cada ponto. (b) Calcule ΔU e ΔW para os processos (i), (ii) e (iii).
8. Um mol de um gás ideal descreve o ciclo ABCDA representado na Fig. P.2 no plano (P, V) , onde $T = T_1$ e $T = T_2$ são isotermas. Calcule o trabalho total associado ao ciclo, em função de P_0, V_0, T_1 e T_2 .

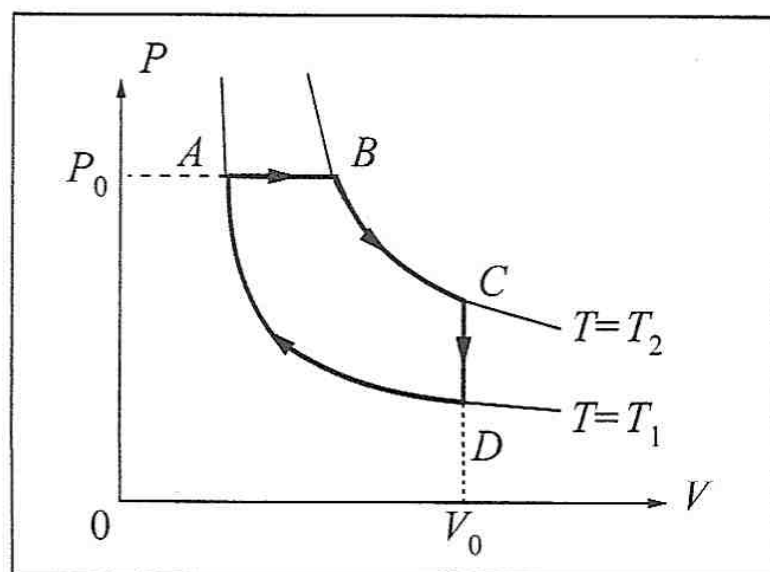


Figura P.2

9. Um mol de gás hélio, com $C_V = \frac{3}{2}R$, inicialmente a 10 atm e 0°C , sofre uma expansão adiabática reversível até atingir a pressão atmosférica, como primeiro estágio num processo de liquefação do gás. (a) Calcule a temperatura final (em $^\circ\text{C}$); (b) Calcule o trabalho realizado pelo gás na expansão.
10. 1 l de H_2 (para o qual $\gamma = 7/5$), à pressão de 1 atm e temperatura de 27°C , é comprimido adiabaticamente até o volume de 0,5 l e depois resfriado, a volume constante, até voltar à pressão inicial. Finalmente, por expansão isobárica, volta à situação inicial. (a) Represente o processo no plano (P, V) , indicando P (atm), V (l) e T (K) para cada vértice do diagrama. (b) Calcule o trabalho total realizado; (c) Calcule ΔU e ΔQ para cada etapa.
11. Um mol de um gás ideal, com $C_V = \frac{3}{2}R$, a 17°C , tem sua pressão reduzida à metade por um dos quatro processos seguintes: (i) a volume constante; (ii) isotermicamente; (iii) adiabaticamente; (iv) por expansão livre. Para um volume inicial V_i , calcule, para cada um dos quatro processos, o volume e a temperatura finais, ΔW e ΔU .

12. No método de Rüchhardt para medir $\gamma = C_P/C_V$ do ar, usa-se um grande frasco com um gargalo cilíndrico estreito de raio a , aberto para a atmosfera ($p_0 =$ pressão atmosférica), no qual se ajusta uma bolinha metálica de raio a e massa m . Na posição de equilíbrio O da bolinha, o volume de ar abaixo dela no frasco é V (Fig. P.3). (a) Calcule a força restauradora sobre a bolinha quando ela é empurrada de uma distância x para baixo a partir do equilíbrio, o movimento sendo suficientemente rápido para que o processo seja adiabático. Mostre que a bolinha executa um movimento harmônico simples e calcule o período τ em função de a, m, V, p_0 e γ . (b) Numa

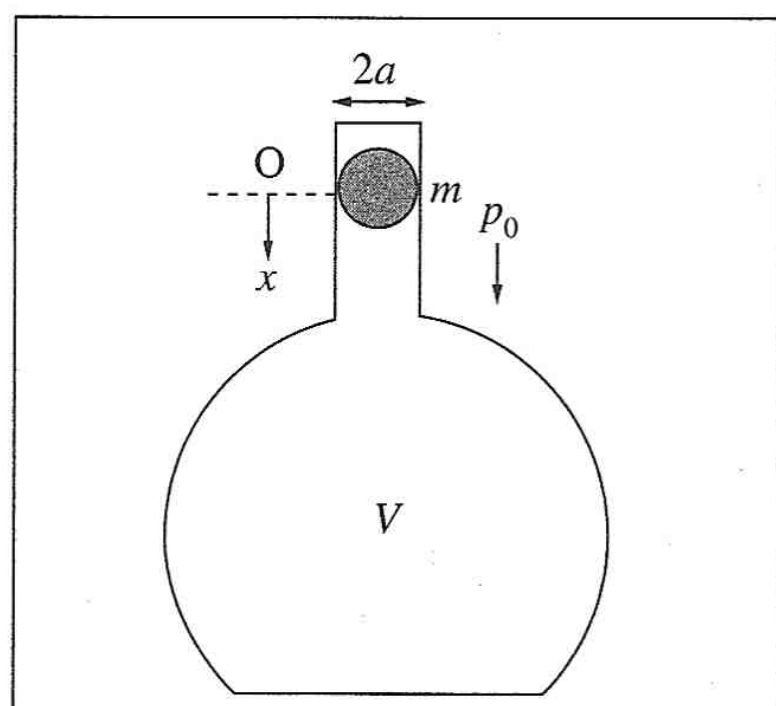


Figura P.3

experiência em que $a = 0,5$ cm, $m = 10$ g, $V = 5$ l, $p_0 = 1$ atm, o período observado é $\tau = 1,5$ s. Determine o valor correspondente de γ para o ar.

13. Um mol de um gás ideal, partindo das condições NTP, sofre: (i) uma compressão isotérmica até um volume de 5 l, seguida de (ii) uma expansão adiabática até retornar ao volume inicial, atingindo uma pressão final de 0,55 atm. (a) Calcule P ao fim da etapa (i) e T ao fim de (ii). (b) Calcule C_P e C_V , para este gás; (c) Calcule a variação total de energia interna; (d) Calcule o trabalho total realizado.