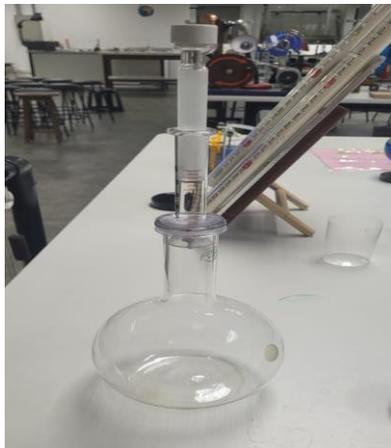


**LISTA 3A – Temperatura, Calor e Primeira Lei da Termodinâmica**

**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



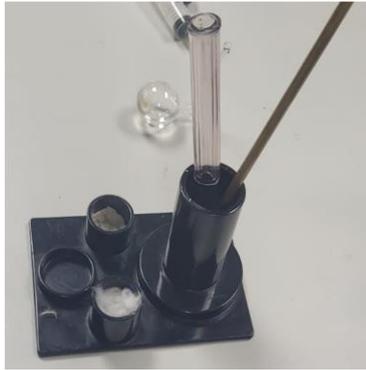
- 2) Explique os processos envolvidos na demonstração da máquina de Sterling:



- 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  $\alpha^2$  e  $\alpha^3$ . Logo, o *coeficiente de dilatação volumétrica* é  $3\alpha$ , o que se aplica também ao volume de uma cavidade, num corpo cujo coeficiente de dilatação linear é  $\alpha$ .

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

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

Valores típicos de  $\beta$  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  $0^{\circ}\text{C}$ , o volume do bulbo à temperatura  $\theta$  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,  $\beta$  é  $> 0$ , mas há uma anomalia no caso da água, para a qual  $\beta$  se torna  $< 0$  entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $4^{\circ}\text{C}$ . Assim, a densidade máxima da água é atingida a  $4^{\circ}\text{C}$ , e ela se expande, em lugar de se contrair, quando a temperatura diminui, na região abaixo de  $4^{\circ}\text{C}$ , 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  $15^{\circ}\text{C}$ . O coeficiente de dilatação linear do alumínio é  $2,3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ . De quantos  $\text{cm}^3$  varia o volume da cavidade interna quando a temperatura sobe para  $40^{\circ}\text{C}$ ? O volume da cavidade aumenta ou diminui?
2. Uma barra retilínea é formada por uma parte de latão soldada em outra de aço. A  $20^{\circ}\text{C}$ , 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  $15^\circ\text{C}$ , 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  $40^\circ\text{C}$ , 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  $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ .

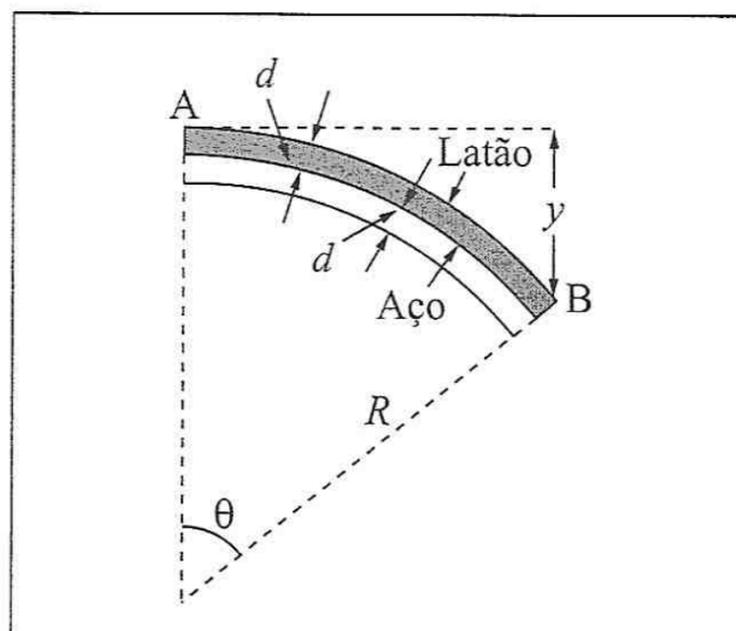


Figura P.1

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  $10^\circ\text{C}$ , o relógio adianta, em média 55 s por semana; no verão, quando a temperatura média é de  $30^\circ\text{C}$ , 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  $l = 0,5\text{m}$ .

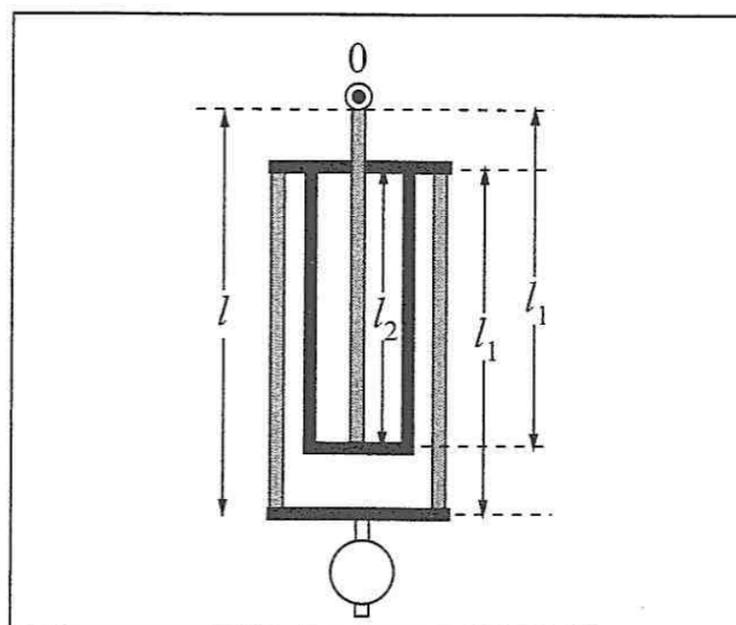


Figura P.2

6. (a) Um líquido tem coeficiente de dilatação volumétrica  $\beta$ . Calcule a razão  $\rho/\rho_0$  entre a densidade do líquido à temperatura  $T$  e sua densidade  $\rho_0$  à temperatura  $T_0$ . (b) No método de Dulong e Petit para determinar  $\beta$ , 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  $\beta$  (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  $0^\circ\text{C}$ ,  $T$  é  $20^\circ\text{C}$ ,  $h_0 = 1$  m e  $h = 1,03$  m. Calcule o coeficiente de dilatação volumétrica da acetona.

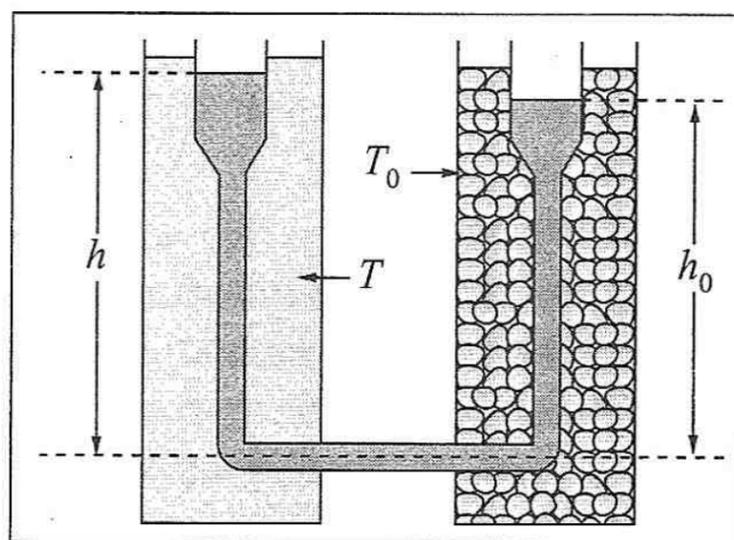


Figura P.3

7. Um tubo cilíndrico delgado de secção uniforme, feito de um material de coeficiente de dilatação linear  $\alpha$ , contém um líquido de coeficiente de dilatação volumétrica  $\beta$ . À temperatura  $T_0$ , a altura da coluna líquida é  $h_0$ . (a) Qual é a variação  $\Delta h$  de altura da coluna quando a temperatura sobe de  $1^\circ\text{C}$ ? (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  $\Delta h$  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  $V_0 = 0,2$  cm<sup>3</sup>, 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  $1^\circ\text{C}$ . 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.

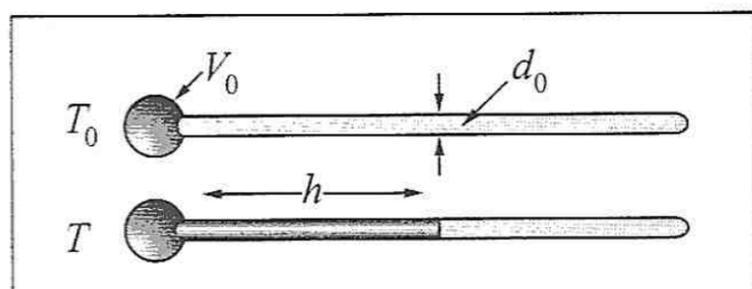


Figura P.4

9. Um reservatório cilíndrico de aço contém mercúrio, sobre o qual flutua um bloco cilíndrico de latão. À temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , 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/cm<sup>3</sup> e a densidade do mercúrio é de  $13,55$  g/cm<sup>3</sup>. (a) Ache a que altura  $H_0$  está o topo do bloco de latão em relação ao fundo do reservatório a  $20^\circ\text{C}$  (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  $\delta H$  da altura  $H_0$  (em mm) quando a temperatura sobe para  $80^\circ\text{C}$ .

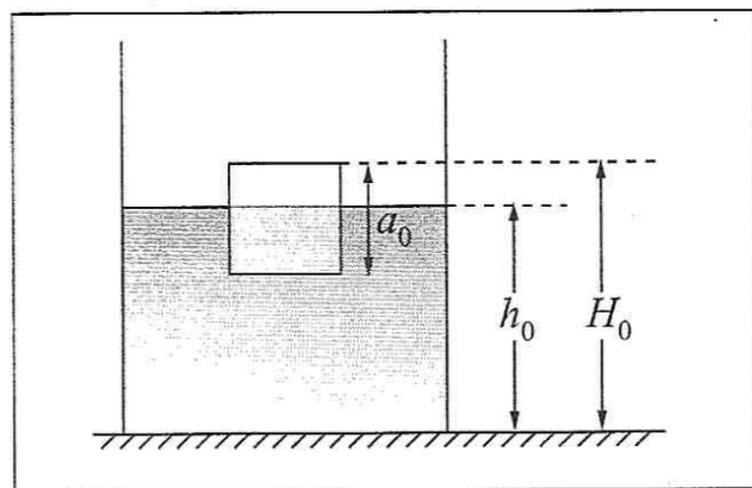


Figura P.5

(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

$$\boxed{\Delta U = 0} \quad (8.7.8)$$

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  $10^\circ$  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/m<sup>2</sup>. Para um elemento de área cuja normal faz um ângulo  $\theta$  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  $\approx 590$  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.

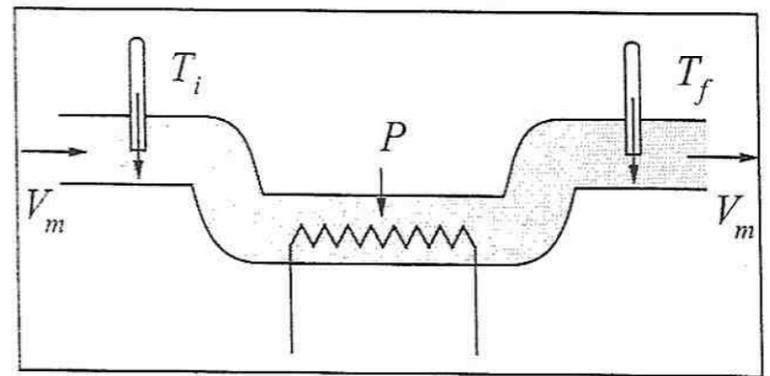


Figura P.1

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 cm<sup>2</sup> de área tem 15 cm de comprimento, dos quais 5 cm de alumínio e 10 cm 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  $r = r_2$ .

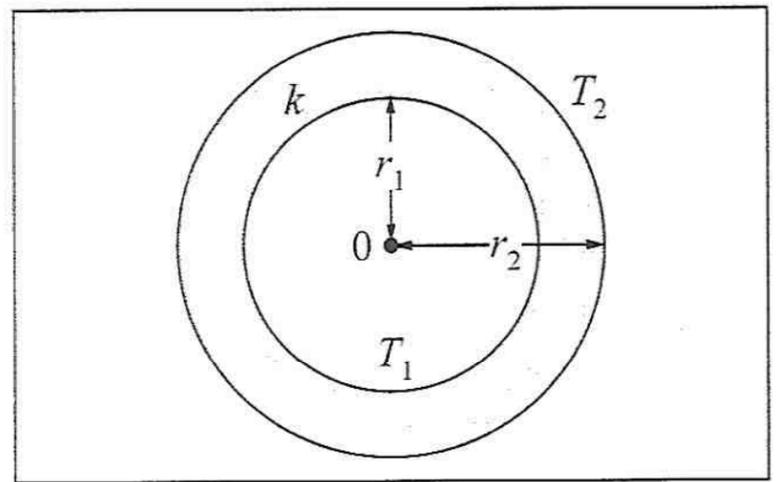


Figura P.2

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  $\rho_1$  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  $100^\circ\text{C}$  e a temperatura externa é de  $25^\circ\text{C}$ . Quanto tempo demora para que o café esfrie até a temperatura ambiente?
15. Uma chaleira de alumínio contendo água em ebulição, a  $100^\circ\text{C}$ , 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  $100^\circ\text{C}$  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  $-10^\circ\text{C}$  e começa a formar-se uma camada de gelo sobre o lago. A água sob o gelo permanece a  $0^\circ\text{C}$ : 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  $\rho$  e calor latente de fusão  $L$ , bem como da diferença de temperatura  $\Delta T$  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/cm<sup>3</sup> e  $L = 80$  cal/g.
17. À pressão atmosférica, a vaporização completa de 1 l de água a  $100^\circ\text{C}$  gera  $1,671$  m<sup>3</sup> 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.

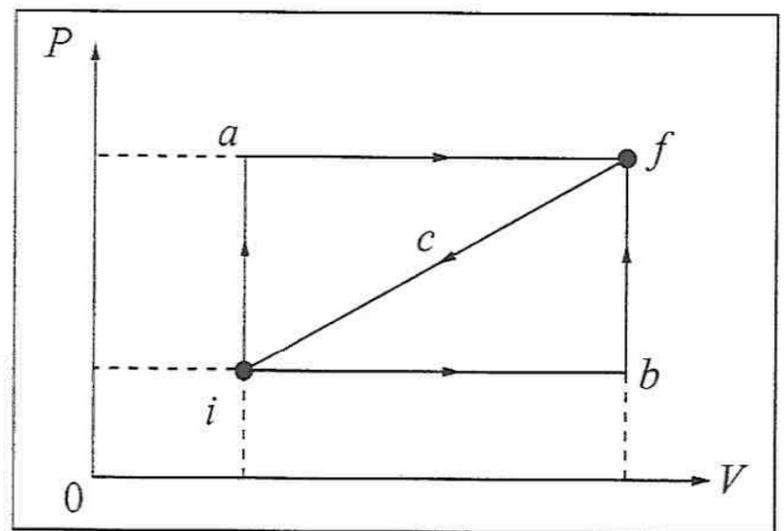


Figura P.3

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  $\Delta U$  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.

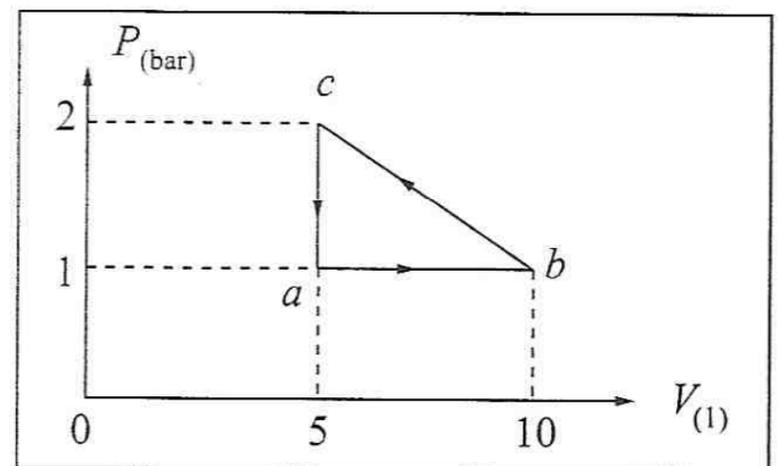


Figura P.4

Etapa	$W$ (J)	$Q$ (J)	$\Delta U$ (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  $1 \text{ cm}^2$  e  $90 \text{ cm}$  de altura acima da superfície livre do reservatório de mercúrio. Num dia em que a temperatura ambiente é de  $20^\circ\text{C}$  e a pressão atmosférica verdadeira é de  $750 \text{ mm/Hg}$ , a altura da coluna barométrica é de  $735 \text{ mm}$ . Calcule a quantidade de ar (em moles) aprisionada no espaço acima da coluna de mercúrio.
- Dois recipientes fechados de mesma capacidade, igual a  $1 \text{ l}$ , estão ligados um ao outro por um tubo capilar de volume desprezível. Os recipientes contêm oxigênio, inicialmente à temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e pressão de  $1 \text{ atm}$ . (a) Quantas gramas de  $\text{O}_2$  estão contidas nos recipientes? (b) Aquece-se um dos recipientes até a temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , mantendo o outro a  $25^\circ\text{C}$ . Qual é o novo valor da pressão? (c) Quantas gramas de  $\text{O}_2$  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  $200 \text{ cm}^2$  de área, sobre o qual está colocado um peso de  $10 \text{ kg}$ . A pressão externa é de  $1 \text{ atm}$ . O recipiente contém  $3 \text{ l}$  de gás hélio, para o qual  $C_V = \frac{3}{2}R$ , à temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . (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  $70^\circ\text{C}$ . (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  $1 \text{ atm}$  e  $27^\circ\text{C}$ . 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  $20^\circ\text{C}$ , 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  $\Delta W$ ,  $\Delta Q$  e  $\Delta U$  para os processos AB, BC, CA e o ciclo.

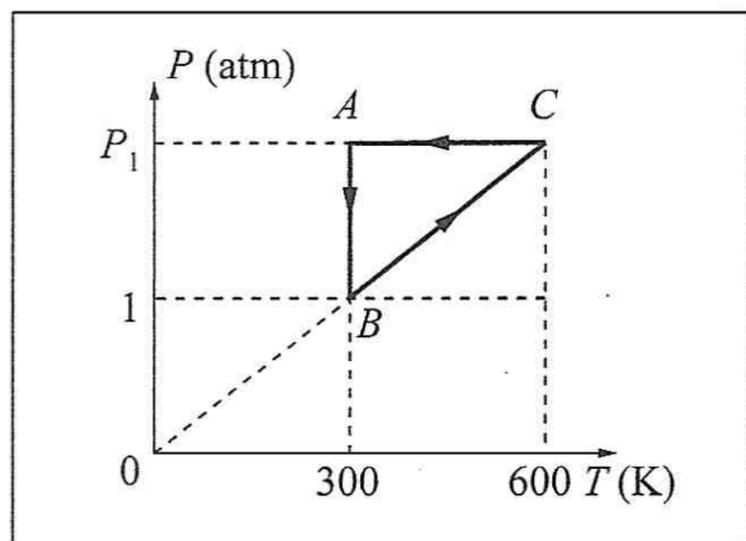


Figura P.1

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  $\Delta U$  e  $\Delta W$  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  $T_2$ .

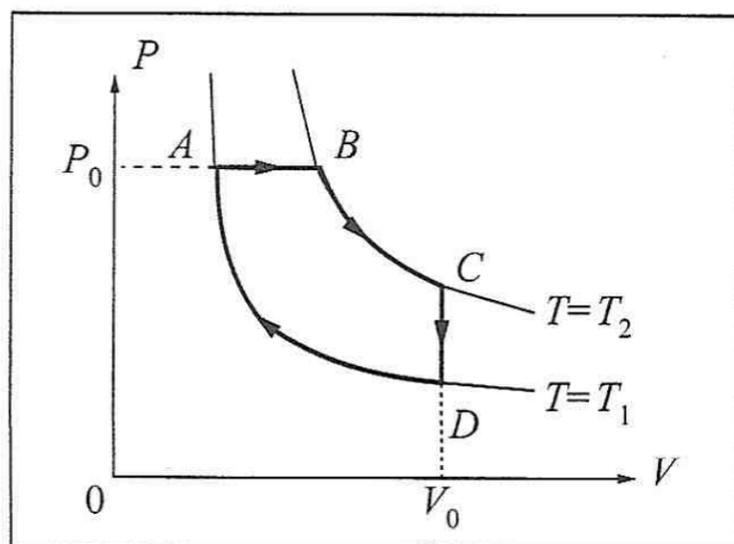


Figura P.2

9. Um mol de gás hélio, com  $C_V = \frac{3}{2}R$ , inicialmente a 10 atm e  $0^\circ\text{C}$ , 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  $\text{H}_2$  (para o qual  $\gamma = 7/5$ ), à pressão de 1 atm e temperatura de  $27^\circ\text{C}$ , 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  $\Delta U$  e  $\Delta Q$  para cada etapa.
11. Um mol de um gás ideal, com  $C_V = \frac{3}{2}R$ , a  $17^\circ\text{C}$ , 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,  $\Delta W$  e  $\Delta U$ .

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  $\tau$  em função de  $a, m, V, p_0$  e  $\gamma$ . (b) Numa

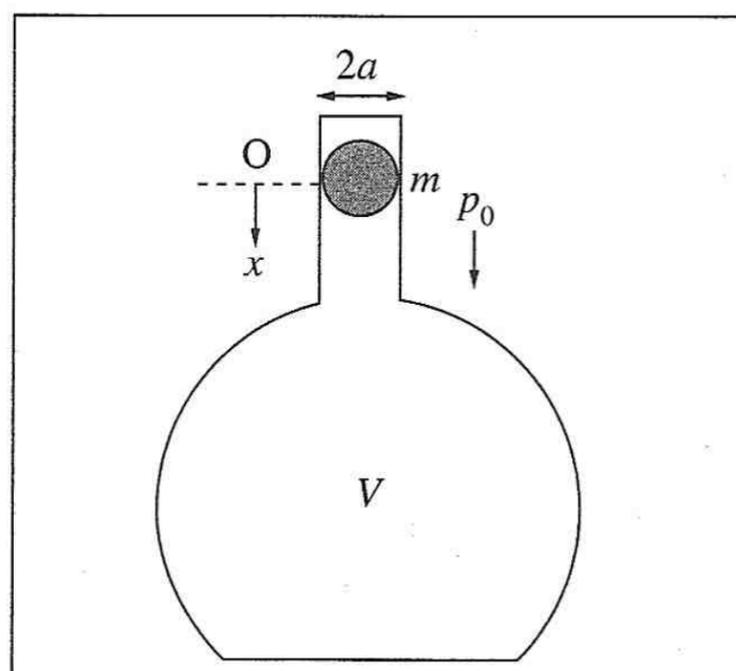


Figura P.3

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  $\gamma$  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.