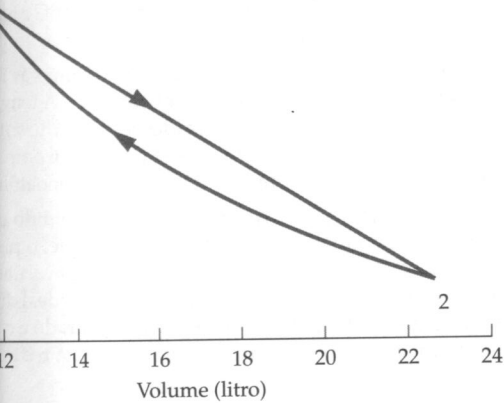


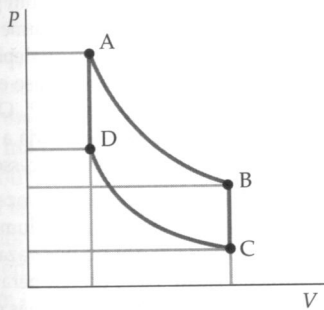
uma amostra de 1,00 mol de um gás diatômico ideal esta expansão é representada pela linha reta de 1 a 2 PV (Figura 18-23). Depois, o gás é comprimido isoterma. Esta compressão é representada pela linha curva diagrama PV. Calcule o trabalho realizado pelo gás a



8-23 Problema 73

uma amostra de um gás monoatômico ideal tem uma pressão de 2,00 atm e um volume inicial de 2,00 L. O gás é conduzido através do seguinte ciclo quase-estático: Ele se expande isotermicamente até que seu volume seja de 4,00 L. Então é aquecido a volume constante até que sua pressão seja 4,00 atm. A seguir, ele é resfriado à pressão constante de volta ao estado inicial. (a) Mostre este ciclo em um diagrama PV. (b) Determine a temperatura no final de cada etapa do ciclo. (c) Calcule o calor absorvido e o trabalho realizado pelo gás durante cada etapa do ciclo.

No ponto D da Figura 18-24, a pressão e a temperatura de um gás monoatômico ideal são 2,00 atm e 360 K, respectivamente. O volume do gás no ponto B do diagrama PV é duas vezes o volume no ponto D e sua pressão é o dobro da pressão no ponto C. Os caminhos AB e CD representam processos quase-estáticos. O gás é conduzido através de um ciclo completo ao longo do caminho DABCD. Determine o trabalho realizado pelo gás por ele absorvido, em cada etapa do ciclo.



8-24 Problemas 75 e 76

No ponto D na Figura 18-24, a pressão e a temperatura de um gás diatômico ideal são 2,00 atm e 360 K, respectivamente. O volume do gás no ponto B do diagrama PV é duas vezes o volume no ponto D e sua pressão é o dobro da

pressão no ponto C. Os caminhos AB e CD representam processos quase-estáticos. O gás é conduzido através de um ciclo completo ao longo do caminho DABCD. Determine o trabalho realizado pelo gás e o calor por ele absorvido em cada etapa do ciclo.

77 ••• Uma amostra constituída de n moles de um gás ideal está inicialmente a uma pressão P_1 , com um volume V_1 e à temperatura T_1 . O gás se expande isotermicamente até que sua pressão e volume sejam P_2 e V_2 . Depois, ele se expande adiabaticamente até que sua temperatura seja T_3 e sua pressão e volume sejam P_3 e V_3 . A seguir, ele é comprimido isotermicamente até que sua pressão seja P_4 e seu volume seja V_4 , que está relacionado ao volume inicial V_1 por $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}$. O gás é, então, comprimido adiabaticamente até voltar ao seu estado original. (a) Supondo que cada processo seja quase-estático, represente este ciclo em um diagrama PV. (Este ciclo é conhecido como o ciclo de Carnot para um gás ideal.) (b) Mostre que o calor Q_q absorvido durante a expansão isotérmica a T_q é $Q_q = nRT_q \ln(V_2/V_1)$. (c) Mostre que o calor Q_f liberado pelo gás durante a compressão isotérmica a T_f é $Q_f = nRT_f \ln(V_3/V_4)$. (d) Usando o fato de que $TV^{\gamma-1}$ é constante para uma expansão adiabática quase-estática, mostre que $V_2/V_1 = V_3/V_4$. (e) A eficiência de um ciclo de Carnot é definida como o trabalho total realizado pelo gás dividido pelo calor Q_q absorvido pelo gás. Usando a primeira lei da termodinâmica, mostre que a eficiência vale $1 - Q_f/Q_q = T_f/T_q$. (f) Usando seus resultados para as partes anteriores deste problema, mostre que $Q_f/Q_q = T_f/T_q$.

PROBLEMAS GERAIS

78 • Durante o processo quase-estático de compressão de um gás diatômico ideal a um quinto de seu volume inicial, 180 kJ de trabalho são realizados sobre o gás. (a) Se esta compressão é realizada isotermicamente à temperatura ambiente (293 K), quanto de calor é liberado pelo gás? (b) Quantos moles de gás contém esta amostra?

79 • O diagrama PV da Figura 18-25 representa 3,00 mol de um gás monoatômico ideal. O gás está inicialmente no ponto A. Os caminhos AD e BC representam variações isotérmicas. Se o sistema é conduzido ao ponto C ao longo da trajetória AEC, determine (a) as temperaturas inicial e final do gás, (b) o trabalho realizado pelo gás e (c) o calor absorvido pelo gás.

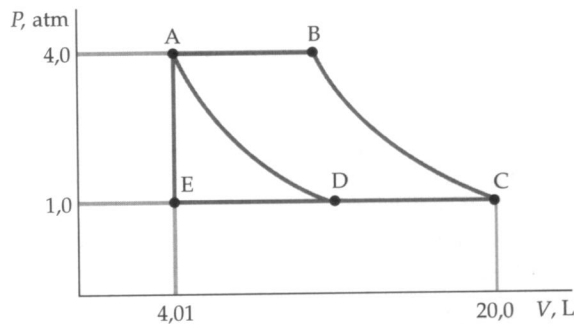


FIGURA 18-25 Problemas 79, 80, 81 e 82

80 •• O diagrama PV da Figura 18-25 representa 3,00 mol de um gás monoatômico ideal. O gás inicialmente está no ponto A. Os caminhos AD e BC representam variações isotérmicas. Se o sistema é conduzido ao ponto C ao longo do caminho ABC, determine (a) as temperaturas inicial e final do gás, (b) o trabalho realizado pelo gás e (c) o calor absorvido pelo gás.

81 •• O diagrama PV da Figura 18-25 representa 3,00 mol de um gás monoatômico ideal. O gás inicialmente está no ponto A. Os caminhos AD e BC representam variações isotérmicas. Se o sistema

é conduzido ao ponto C ao longo do caminho ADC, determine (a) as temperaturas inicial e final do gás, (b) o trabalho realizado pelo gás e (c) o calor absorvido pelo gás.

82 •• Suponha que os caminhos AD e BC da Figura 18-25 representem processos adiabáticos. Quais são os valores do trabalho realizado pelo gás e do calor absorvido pelo gás ao seguir o caminho ABC?

83 •• **APLICAÇÃO BIOLÓGICA, RICO EM CONTEXTO** Em um experimento de laboratório, você testa o conteúdo calórico de vários alimentos. Suponha que, ao ingerir estes alimentos, 100 por cento da energia liberada por eles sejam absorvidos pelo seu corpo. Você queima 2,50 g de batatas fritas e a chama resultante aquece uma pequena lata de alumínio contendo água. Depois de queimar as batatas fritas, você mede a sua massa e obtém 2,20 g. A massa da lata é 25,0 g e o volume da água contida na lata é 15,0 mL. Se o aumento de temperatura da água é de 12,5°C, quantas quilocalorias (1 kcal = 1 caloria dietética) por porção de 150 g destas batatas fritas você estima que hajam? Suponha que a lata com água capture 50,0 por cento do calor liberado durante a queima das batatas fritas. *Nota: Apesar de o joule ser a unidade SI de escolha para a maioria das situações em termodinâmica, a indústria alimentícia expressa a energia liberada durante o metabolismo em termos de "caloria dietética", que é a nossa quilocaloria.*

84 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Motores a diesel operam sem velas de ignição, diferentemente dos motores a gasolina. O ciclo do motor diesel envolve compressão adiabática do ar em um cilindro seguida da injeção de combustível. Quando o combustível é injetado, se a temperatura do ar no interior do cilindro está acima do ponto de explosão do combustível a mistura combustível-ar sofrerá ignição. A maioria dos motores diesel tem razões de compressão na faixa de 14:1 a 25:1. Para este intervalo de razões de compressão (que corresponde à razão entre os volumes máximo e mínimo), qual é o intervalo de temperaturas máximas do ar no cilindro, supondo que ele entre no cilindro a 35°C? A maioria dos motores modernos a gasolina tem, tipicamente, razões de compressão da ordem de 8:1. Explique por que você espera que o motor a diesel necessite de um sistema de refrigeração melhor (mais eficiente) do que o motor a gasolina.

85 •• A temperaturas muito baixas, o calor específico de um metal é dado por $c = aT + bT^3$. Para o cobre, $a = 0,0108 \text{ J/kg} \cdot \text{K}^2$ e $b = 7,62 \times 10^{-4} \text{ J/kg} \cdot \text{K}^4$. (a) Qual é o calor específico do cobre a 4,00 K? (b) Quanto calor é necessário para aquecer o cobre de 1,00 a 3,00 K?

86 •• Quanto trabalho deve ser realizado sobre 30,0 g de monóxido de carbono (CO), nas condições normais de temperatura e pressão, para comprimi-lo a um quinto de seu volume inicial, se o processo é (a) isotérmico, (b) adiabático?

87 •• Quanto trabalho deve ser realizado sobre 30,0 g de dióxido de carbono (CO₂), nas condições normais de temperatura e pressão, para comprimi-lo a um quinto de seu volume inicial, se o processo é (a) isotérmico, (b) adiabático?

88 •• Quanto trabalho deve ser realizado sobre 30,0 g de argônio (Ar), nas condições normais de temperatura e pressão, para comprimi-lo a um quinto de seu volume inicial, se o processo é (a) isotérmico, (b) adiabático?

89 •• Um sistema termicamente isolado consiste em 1,00 mol de um gás diatômico a 100 K e 2,00 mol de um sólido a 200 K, separados por uma parede rígida isolante. Determine a temperatura de equilíbrio do sistema depois que a parede isolante é removida, supondo que o gás obedeça à lei dos gases ideais e que o sólido obedeça à lei de Dulong-Petit.

90 •• Quando um gás ideal sofre uma variação de temperatura a volume constante, a variação de sua energia interna é dada pela fórmula $\Delta E_{\text{int}} = C_V \Delta T$. No entanto, esta fórmula fornece corretamen-

te a variação da energia interna se o volume permanece constante ou não. (a) Explique por que esta fórmula fornece valores corretos para um gás ideal mesmo quando o volume varia. (b) Usando esta fórmula, juntamente com a primeira lei da termodinâmica, mostre que, para um gás ideal, $C_P = C_V + nR$.

91 •• Um cilindro isolante contém um pistão móvel isolante que serve para manter a pressão constante. Inicialmente, o cilindro contém 100 g de gelo a -10°C . Calor é transferido para o gelo, a uma taxa constante, por um aquecedor de 100 W. Faça um gráfico mostrando a temperatura de gelo/água/vapor como função do tempo, começando em t_i quando a temperatura é -10°C e terminando em t_f quando a temperatura é 110°C .

92 •• (a) Neste problema, 2,00 mol de um gás ideal diatômico expande-se adiabática e quase-esticamente. A temperatura inicial do gás é 300 K. O trabalho realizado pelo gás durante a expansão é 3,50 kJ. Qual é a temperatura final do gás? (b) Compare o seu resultado com o que você obterá se o gás fosse monoatômico.

93 •• Um cilindro vertical isolante é dividido em duas partes por um pistão móvel de massa m . Inicialmente, o pistão é mantido em repouso. A parte de cima do cilindro está evacuada e a parte de baixo está preenchida com 1,00 mol de um gás ideal diatômico à temperatura de 300 K. Depois que o pistão é liberado e o sistema atinge o equilíbrio, o volume ocupado pelo gás está reduzido à metade. Determine a temperatura final do gás.

94 ••• De acordo com o modelo de Einstein para um sólido cristalino, a energia interna por mol é dada por $U = (3N_A k T_E) / (e^{T_E/T} - 1)$, onde T_E é a temperatura característica, chamada de *temperatura de Einstein*, e T é a temperatura do sólido em kelvin. Use esta expressão para mostrar que a capacidade térmica molar de um sólido cristalino, a volume constante, é dada por

$$c'_V = 3R \left(\frac{T_E}{T} \right)^2 \frac{e^{T_E/T}}{(e^{T_E/T} - 1)^2}$$

95 ••• (a) Use os resultados do Problema 94 para mostrar que, no limite $T \gg T_E$, o modelo de Einstein fornece a mesma expressão para o calor específico que a lei de Dulong-Petit. (b) Para o diamante, T_E é aproximadamente 1060 K. Integre numericamente $dE_{\text{int}} = c'_V dT$ para determinar o aumento da energia interna se 1,00 mol de diamante é aquecido de 300 K até 600 K.

96 ••• Use os resultados do modelo de Einstein do Problema 94 para determinar a energia interna molar do diamante ($T_E = 1060 \text{ K}$) a 300 K e a 600 K e, portanto, o aumento da energia interna quando o diamante é aquecido de 300 K até 600 K. Compare seu resultado com o do Problema 95.

97 ••• Durante uma expansão isotérmica um gás ideal, a uma pressão inicial P_0 , se expande até que seu volume seja o dobro de seu volume inicial V_0 . (a) Determine a pressão depois da expansão. (b) O gás é, então, comprimido adiabática e quase-esticamente até que seu volume seja V_0 e sua pressão seja $1,32P_0$. O gás é monoatômico, diatômico ou poliatômico? (c) Como varia a energia cinética de translação do gás em cada estágio deste processo?

98 ••• Se um pneu furar, o gás do interior vazará gradualmente. Suponha o seguinte: a área do furo é A ; o volume do pneu é V ; e o tempo τ que leva para a maior parte do gás vazar do pneu pode ser expresso em termos da razão A/V , da temperatura T , da constante de Boltzmann k e da massa inicial m do gás dentro do pneu. (a) Com base nestas suposições, use análise dimensional para fazer uma estimativa de τ . (b) Use o resultado da Parte (a) para estimar o tempo que leva para esvaziar um pneu de carro que foi furado por um prego.

A S
Ter

19-1 M

19-2 F

19-3 A

*19-4 E

19-5 I

19-6 E

19-7 E

F re
cc
qu
no
le
se

possibi
segund
tentand
forman
ros se e
aprove
e atrav

nas paredes, de maneira a poder desprezar a liberação de calor através de janelas, paredes, teto e chão. Suponha, também, que a capacidade térmica de chão, teto, paredes e mobília seja desprezível.

VARIAÇÕES DE ENTROPIA

53 • Você deixa, inadvertidamente, uma panela de água fervendo no fogão. Você retorna no exato instante em que a última gota é convertida em vapor. A panela tinha, inicialmente, 1,00 L de água fervendo. Qual é a variação da entropia da água, associada à variação de seu estado de líquido para gasoso?

54 • Qual é a variação da entropia de 1,00 mol de água líquida, a 0,0°C ao se transformar em gelo a 0,0°C?

55 •• Considere o congelamento de 50,0 g de água colocada no congelador de um refrigerador. Suponha as paredes do congelador mantidas a -10°C. A água, inicialmente líquida a 0,0°C, é congelada e resfriada até -10°C. Mostre que, mesmo que a entropia da água diminua, a entropia total do universo aumenta.

56 • Neste problema, 2,00 moles de um gás ideal a 400 K expandem, quase-estática e isotermicamente, de um volume inicial de 40,0 L para um volume final de 80,0 L. (a) Qual é a variação da entropia do gás? (b) Qual é a variação da entropia do universo para este processo?

57 •• Um sistema completa um ciclo que consiste em seis etapas quase-estáticas, realizando um trabalho total de 100 J. Durante a etapa 1 o sistema absorve 300 J de calor de um reservatório a 300 K, durante a etapa 3 o sistema absorve 200 J de calor de um reservatório a 400 K e durante a etapa 5 ele absorve calor de um reservatório à temperatura T_3 . (Durante as etapas 2, 4 e 6 o sistema sofre processos adiabáticos nos quais a temperatura do sistema passa da temperatura de um dos reservatórios para a do seguinte.) (a) Qual é a variação da entropia do sistema para o ciclo completo? (b) Se o ciclo é reversível, qual é a temperatura T_3 ?

58 •• Neste problema, 2,00 moles de um gás têm, inicialmente, uma temperatura de 400 K e um volume de 40,0 L. O gás sofre uma expansão livre adiabática até o dobro de seu volume inicial. Quais são (a) a variação da entropia do gás e (b) a variação da entropia do universo?

59 •• Um bloco de 200 kg de gelo, a 0,0°C, é colocado em um grande lago. A temperatura do lago é levemente superior a 0,0°C e o gelo se funde lentamente. (a) Qual é a variação da entropia do gelo? (b) Qual é a variação da entropia do lago? (c) Qual é a variação da entropia do universo (gelo mais lago)?

60 •• Um pedaço de gelo de 100 g, a 0,0°C, é colocado em um calorímetro isolado de capacidade térmica desprezível, contendo 100 g de água a 100°C. (a) Qual é a temperatura final da água, depois de atingido o equilíbrio térmico? (b) Determine a variação da entropia do universo para este processo.

61 •• Um bloco de 1,00 kg de cobre, a 100°C, é colocado em um calorímetro isolado de capacidade calorífica desprezível, contendo 4,00 L de água líquida a 0,0°C. Determine a variação da entropia (a) do bloco de cobre, (b) da água e (c) do universo.

62 •• Se um pedaço de 2,00 kg de chumbo, a 100°C, é largado em um lago a 10°C, determine a variação da entropia do universo.

ENTROPIA E TRABALHO PERDIDO

63 •• Um reservatório, a 300 K, absorve 500 J de calor de um segundo reservatório a 400 K. (a) Qual é a variação da entropia do universo e (b) quanto trabalho é perdido durante o processo?

64 •• Neste problema, 1,00 mol de um gás ideal, a 300 K, sofre uma expansão livre adiabática de $V_1 = 12,3$ L para $V_2 = 24,6$ L. Ele é,

então, comprimido isotermicamente e de maneira reversível de volta ao seu estado original. (a) Qual é a variação da entropia do universo para o ciclo completo? (b) Quanto trabalho é perdido neste ciclo? (c) Mostre que o trabalho perdido é $T\Delta S_u$.

PROBLEMAS GERAIS

65 • Uma máquina térmica, com 200 W de saída, tem um rendimento de 30 por cento. Ela opera a 10,0 ciclos/s. (a) Quanto trabalho é realizado pela máquina, durante cada ciclo? (b) Quanto calor é absorvido do reservatório quente e quanto é liberado para o reservatório frio, durante cada ciclo?

66 • Durante cada ciclo, uma máquina térmica operando entre dois reservatórios absorve 150 J do reservatório a 100°C e libera 125 J para o reservatório a 20°C. (a) Qual é o rendimento desta máquina? (b) Qual é a razão entre este rendimento e o de uma máquina de Carnot operando entre os mesmos reservatórios? (Esta razão é chamada de *rendimento da segunda lei*.)

67 • Uma máquina absorve 200 kJ de calor, a cada ciclo, de um reservatório a 500 K e libera calor para um reservatório a 200 K. O rendimento da máquina é 85 por cento do rendimento da máquina de Carnot trabalhando entre os mesmos reservatórios. (a) Qual é o rendimento desta máquina? (b) Quanto trabalho é realizado a cada ciclo? (c) Quanto calor é liberado para o reservatório de baixa temperatura, em cada ciclo?

68 • Estime a variação da entropia do universo associada a um mergulhador olímpico saltando na água a partir de uma plataforma de 10 m de altura.

69 • Para manter a temperatura no interior de uma casa em 20°C, o consumo de energia elétrica dos aquecedores é de 30,0 kW em um dia em que a temperatura externa é de -7°C. A que taxa esta casa contribui para o aumento da entropia do universo?

70 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Uma planta nuclear gera 1,00 GW de potência. Nesta planta, sódio líquido circula entre o núcleo do reator e um trocador de calor imerso no vapor superaquecido que alimenta a turbina. O sódio líquido retira calor do núcleo e libera calor para o vapor superaquecido. A temperatura do vapor superaquecido é de 500 K. Calor é rejeitado para um rio, cuja água corre a 25°C. (a) Qual é o máximo rendimento que esta planta pode ter? (b) Quanto calor é rejeitado para o rio, a cada segundo? (c) Quanto calor deve ser liberado pelo núcleo, para fornecer 1,00 GW de potência elétrica? (d) Suponha que novas leis ambientais foram aprovadas para preservar espécies animais raras do rio. Como consequência, a planta está proibida de aquecer o rio em mais de 0,50°C. Qual é o fluxo mínimo que a água do rio deverá ter?

71 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Um inventor o procura para explicar sua nova invenção. Trata-se de uma nova máquina térmica usando vapor d'água como substância de trabalho. Ele alega que o vapor d'água absorve calor a 100°C, realiza trabalho a uma taxa de 125 W e libera calor para o ar a uma taxa de apenas 25,0 W, quando a temperatura do ar é 25°C. (a) Explique a ele por que ele não pode estar correto. (b) Depois de uma análise cuidadosa dos dados fornecidos, você conclui que ele cometeu um erro na medida do calor liberado. Qual é a taxa mínima de exaustão de calor que faria você pensar em acreditar nele?

72 •• O ciclo representado na Figura 19-12 (junto ao Problema 19-14) é para 1,00 mol de um gás monoatômico ideal. As temperaturas nos pontos A e B são 300 e 750 K, respectivamente. Qual é o rendimento do processo cíclico ABCDA?

73 •• (a) Qual, destes dois processos, desperdiça a maior quantidade de trabalho? (1) Um bloco que se move com 0,50 J de energia cinética sendo levado ao repouso pelo atrito cinético, quando a temperatura ambiente é de 300 K, ou (2) um reservatório a 400 K liberando 1,00 kJ de calor para um reservatório a 300 K? Explique sua escolha. *Dica: Quanto do 1,00 kJ de calor seria convertido em trabalho por*

um proc
para ca

74 •
são de
sofre u
seu vol
pressão
uma co
origina
volum
(c) Det
Determin

75 •
um bal
120°C.
um res
da má
Carnot
a temp

76 •
de Car
mento
temper

77 •
na cozi
perfeit
50 W. I
a temp

78 •
são cor
diagrama
peratura
A. O se
compr
são o v
do gás
realiza
calor é



79
mico
gran
sentá
adial
O vo
atm.
Dete



um processo cíclico ideal? (b) Qual é a variação da entropia do universo para cada processo?

74 •• Hélio, um gás monoatômico, tem inicialmente uma pressão de 16 atm, um volume de 1,0 L e uma temperatura de 600 K. Ele sofre uma expansão quase-estática à temperatura constante, até que seu volume seja 4,0 L e, então, é comprimido quase-estaticamente, à pressão constante, até que seu volume e temperatura sejam tais que uma compressão adiabática quase-estática o reconduz ao seu estado original. (a) Esboce este ciclo em um diagrama PV . (b) Determine o volume e a temperatura depois da compressão a pressão constante. (c) Determine o trabalho realizado durante cada etapa do ciclo. (d) Determine o rendimento do ciclo.

75 •• Uma máquina térmica, que realiza o trabalho de encher um balão à pressão de 1,00 atm, absorve 4,00 kJ de um reservatório a 120°C. O volume do balão aumenta em 4,00 L e calor é liberado para um reservatório à temperatura T_f , onde $T_f < 120^\circ\text{C}$. Se o rendimento da máquina térmica é 50 por cento do rendimento da máquina de Carnot trabalhando entre estes mesmos dois reservatórios, determine a temperatura T_f .

76 •• Mostre que o coeficiente de desempenho de uma máquina de Carnot funcionando como refrigerador está relacionado ao rendimento de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas duas temperaturas por $\varepsilon_c \times CD_c = T_f/T_q$.

77 •• Um congelador tem uma temperatura $T_f = -23^\circ\text{C}$. O ar na cozinha está a uma temperatura $T_q = 27^\circ\text{C}$. O congelador não está perfeitamente isolado e há fuga de calor pelas paredes a uma taxa de 50 W. Determine a potência do motor que é necessária para manter a temperatura do congelador.

78 •• Em uma máquina térmica, 2,00 moles de um gás diatômico são conduzidos pelo ciclo ABCA, como mostrado na Figura 19-20. (O diagrama PV não está desenhado em escala.) Em A, a pressão e a temperatura são 5,00 atm e 600 K. O volume em B é o dobro do volume em A. O segmento BC é uma expansão adiabática e o segmento CA é uma compressão isotérmica. (a) Qual é o volume do gás em A? (b) Quais são o volume e a temperatura do gás em B? (c) Qual é a temperatura do gás em C? (d) Qual é o volume do gás em C? (e) Quanto trabalho é realizado pelo gás em cada um dos três segmentos do ciclo? (f) Quanto calor é absorvido ou liberado pelo gás em cada segmento do ciclo?

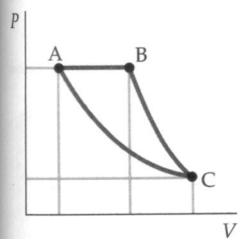


FIGURA 19-20 Problemas 78 e 80

79 •• Em uma máquina térmica, 2,00 moles de um gás diatômico percorrem o ciclo ABCDA mostrado na Figura 19-21. (O diagrama PV não está desenhado em escala.) O segmento AB representa uma expansão isotérmica e o segmento BC é uma expansão adiabática. A pressão e a temperatura em A são 5,00 atm e 600 K. O volume em B é o dobro do volume em A. A pressão em D é 1,00 atm. (a) Qual é a pressão em B? (b) Qual é a temperatura em C? (c) Determine o trabalho total realizado pelo gás em um ciclo.

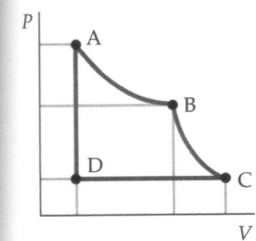


FIGURA 19-21 Problemas 79 e 81

80 •• Em uma máquina térmica, 2,00 moles de um gás monoatômico percorrem o ciclo ABCA mostrado na Figura 19-20. (O diagrama PV não está desenhado em escala.) Em A, a pressão e a temperatura são 5,00 atm e 600 K. O volume em B é o dobro do volume em A. O segmento BC é uma expansão adiabática e o segmento CA é uma compressão isotérmica. (a) Qual é o volume do gás em A? (b) Quais são o volume e a temperatura do gás em B? (c) Qual é a temperatura do gás em C? (d) Qual é o volume do gás em C? (e) Quanto trabalho é realizado pelo gás em cada um dos três segmentos do ciclo? (f) Quanto calor é absorvido pelo gás em cada segmento do ciclo?

81 •• Em uma máquina térmica, 2,00 moles de um gás monoatômico percorrem o ciclo ABCDA mostrado na Figura 19-21. (O diagrama PV não está desenhado em escala.) O segmento AB representa uma expansão isotérmica e o segmento BC é uma expansão adiabática. A pressão e a temperatura em A são 5,00 atm e 600 K. O volume em B é o dobro do volume em A. A pressão em D é 1,00 atm. (a) Qual é a pressão em B? (b) Qual é a temperatura em C? (c) Determine o trabalho total realizado pelo gás em um ciclo.

82 •• Compare o rendimento do ciclo de Otto com o rendimento do ciclo de Carnot operando entre as mesmas temperaturas máxima e mínima. (O ciclo de Otto é discutido na Seção 19-1.)

83 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um ciclo prático comum, freqüentemente usado em refrigeração, é o ciclo de Brayton, que envolve (1) uma compressão adiabática, (2) uma expansão isobárica (pressão constante), (3) uma expansão adiabática e (4) uma compressão isobárica de volta ao estado original. Suponha que o sistema comece a compressão adiabática a uma temperatura T_1 e sofra transições para as temperaturas T_2 , T_3 e T_4 após cada etapa do ciclo. (a) Esboce este ciclo em um diagrama PV . (b) Mostre que o rendimento do ciclo completo é dado por $\varepsilon = 1 - (T_4 - T_1)/(T_3 - T_2)$. (c) Mostre que este rendimento pode ser escrito como $\varepsilon = 1 - r^{1-\gamma/\gamma}$, onde r é a razão de pressões $P_{\text{alta}}/P_{\text{baixa}}$ (a razão entre as pressões máxima e mínima no ciclo).

84 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Considere a máquina do ciclo de Brayton (Problema 83) funcionando ao contrário, como refrigerador, em sua cozinha. Neste caso, o ciclo inicia à temperatura T_1 e expande à pressão constante até a temperatura T_4 . O gás é, então, comprimido adiabaticamente até que sua temperatura seja T_3 . Depois, ele é comprimido à pressão constante até atingir a temperatura T_2 . Finalmente, ele se expande adiabaticamente até retornar ao estado original à temperatura T_1 . (a) Esboce este ciclo em um diagrama PV . (b) Mostre que o coeficiente de desempenho é

$$CD_B = \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2 - T_4 + T_1)}$$

(c) Suponha seu "refrigerador em ciclo de Brayton" funcionando da seguinte maneira. O cilindro contendo o refrigerante (um gás monoatômico) tem um volume e uma pressão iniciais de 60 mL e 1,0 atm. Depois da expansão à pressão constante, o volume e a temperatura são 75 mL e -25°C . A razão de pressões $r = P_{\text{alta}}/P_{\text{baixa}}$ para o ciclo é 5,0. Qual é o coeficiente de desempenho do seu refrigerador? (d) Para absorver calor do compartimento de alimentos a uma taxa de 120 W, qual é a taxa na qual deve ser fornecida energia elétrica para o motor do refrigerador? (e) Supondo que o motor do refrigerador funcione efetivamente apenas 4,0 h por dia, quanto ele acrescenta à sua conta mensal de energia elétrica? Suponha 15 centavos por kWh de energia elétrica e 30 dias por mês.

85 •• Usando $\Delta S = C_v \ln(T_2/T_1) - nR \ln(V_2/V_1)$ (Equação 19-16) para a variação da entropia de um gás ideal, mostre explicitamente que a variação da entropia é zero para uma expansão adiabática quase-estática do estado (V_1, T_1) para o estado (V_2, T_2) .