

Resumo

TÓPICO

EQUAÇÕES RELEVANTES E OBSERVAÇÕES

1. Escalas Centígrada e Fahrenheit

Na escala centígrada, o ponto de fusão do gelo é definido como 0°C e o ponto de vaporização da água é 100°C. Na escala Fahrenheit, o ponto de fusão do gelo é 32°F e o ponto de vaporização da água é 212°F. As temperaturas das escalas Fahrenheit e centígrada relacionam-se por

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32^\circ) \quad 17-2$$

2. Termômetros de Gás

Os termômetros de gás têm a propriedade de concordarem todos entre si na medida de qualquer temperatura, desde que a massa específica do gás seja muito baixa. A temperatura de gás ideal T (em kelvins) é definida por

$$T = \frac{P}{P_3} T_3 \quad 17-4$$

onde P é a pressão observada do gás no termômetro, P_3 é a pressão quando o termômetro está imerso em um banho de água-gelo-vapor em seu ponto triplo e $T_3 = 273,16$ K (a temperatura de ponto triplo).

3. Escala Celsius

A temperatura Celsius t_C se relaciona com a temperatura de gás ideal T em kelvins por

$$t_C = T + 273,15 \text{ K} \quad 17-5$$

4. Gás Ideal

Para pequenas massas específicas, todos os gases obedecem à lei dos gases ideais.

Equação de estado

$$PV = nRT \quad 17-13$$

Constante universal dos gases

$$R = N_A k = 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \\ = 0,08206 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \quad 17-12$$

Constante de Boltzmann

$$k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K} \quad 17-8$$

Número de Avogadro

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad 17-9$$

Equação para uma quantidade fixa de gás

Uma forma da lei dos gases ideais útil para a solução de problemas que envolvem uma quantidade fixa de gás é

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \quad 17-14$$

Teoria Cinética dos Gases

Interpretação molecular da temperatura

A temperatura absoluta T é uma medida da energia cinética média de translação de uma molécula.

Teorema da equipartição

Quando um sistema está em equilíbrio, há uma energia média de $\frac{1}{2}kT$ por molécula ($\frac{1}{2}RT$ por mol) associada a cada grau de liberdade.

Energia cinética média

Para um gás ideal, a energia cinética média de translação de uma molécula é

$$K_{\text{trans méd}} = \left(\frac{1}{2}m\bar{v}^2\right)_{\text{méd}} = \frac{3}{2}kT \quad 17-19$$

Energia cinética total de translação

A energia cinética total de translação de n moles de um gás contendo N moléculas é dada por

$$K_{\text{trans}} = N\left(\frac{1}{2}m\bar{v}^2\right)_{\text{méd}} = \frac{3}{2}NkT = \frac{3}{2}nRT \quad 17-20$$

Rapidez rms das moléculas

A rapidez rms de uma molécula de um gás está relacionada com a temperatura absoluta por

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{(v^2)_{\text{méd}}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad 17-21$$

onde m é a massa da molécula e M é a massa molar.

Livre caminho médio

O livre caminho médio λ de uma molécula está relacionado com o seu diâmetro d e com o número de moléculas por unidade de volume n_V por

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n_V \pi d^2} \quad 17-23$$

TÓPICO

EQUAÇÕES RELEVANTES E OBSERVAÇÕES

*6. Distribuição de Velocidades de Maxwell-Boltzmann

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/(2kT)} \quad 17-36$$

Distribuição de Energias de Maxwell-Boltzmann

$$F(E) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{kT} \right)^{3/2} E^{1/2} e^{-E/(kT)} \quad 17-38$$

Respostas das Checagens Conceituais

- 17-1 Há mais ar no quarto do Antônio.
 17-2 Diminui.
 17-3 A rapidez rms do hélio é cerca de 12 por cento da rapidez de escape da superfície da Terra. Assim, o número de moléculas de hélio com rapidez acima da rapidez de escape é suficiente para que o hélio vá, lentamente, escapando da Terra.

Respostas dos Problemas Práticos

- 17-1 (a) 20°C, (b) -40°F
 17-2 (a) $n = 4,47 \times 10^{-5}$ mol, (b) $N = 2,69 \times 10^{19}$ moléculas
 17-3 $n = 0,0804$ mol
 17-4 $5,2 \times 10^2$ m/s

Problemas

Em alguns problemas, você recebe mais dados do que necessita; em alguns outros, você deve acrescentar dados de seus conhecimentos gerais, fontes externas ou estimativas bem fundamentadas.

Interprete como significativos todos os algarismos de valores numéricos que possuem zeros em seqüência sem vírgulas decimais.

- Um só conceito, um só passo, relativamente simples
 - Nível intermediário, pode requerer síntese de conceitos
 - Desafiante, para estudantes avançados
- Problemas consecutivos sombreados são problemas pareados.

PROBLEMAS CONCEITUAIS

- 1 • Verdadeiro ou falso:
 (a) A lei zero da termodinâmica afirma que dois corpos em equilíbrio térmico entre si devem estar em equilíbrio térmico com um terceiro corpo.
 (b) As escalas de temperatura Fahrenheit e Celsius diferem apenas na escolha da temperatura do ponto de congelamento.
 (c) O grau Celsius e o kelvin têm o mesmo tamanho.
- 2 • Como é que você pode determinar se dois corpos estão em equilíbrio térmico entre si se colocá-los em contato físico um com o outro pode ter efeitos indesejáveis? (Por exemplo, se você coloca um pedaço de sódio em contato com água pode ocorrer uma violenta reação química.)
- 3 • "Ontem, quando eu acordei, fazia 20°F em meu quarto", disse Mateus para o seu velho amigo Matias. "Isto não é nada", respondeu Matias. "No meu quarto fazia -5,0°C." Quem tinha o quarto mais frio, Mateus ou Matias?
- 4 • Dois recipientes idênticos contêm gases ideais diferentes às mesmas pressão e temperatura. Segue-se daí que (a) o número de moléculas de gás é o mesmo nos dois recipientes, (b) a massa total de gás é a mesma nos dois recipientes, (c) a rapidez média das moléculas de gás é a mesma nos dois recipientes, (d) nenhuma das respostas anteriores.
- 5 • A Figura 17-18 mostra um gráfico de volume V versus temperatura absoluta T para um processo que leva uma quantidade fixa de um gás ideal do ponto A para o ponto B. O que acontece com a pressão do gás durante este processo?
- 6 • A Figura 17-19 mostra um gráfico de pressão P versus temperatura absoluta T para um processo que leva uma amostra

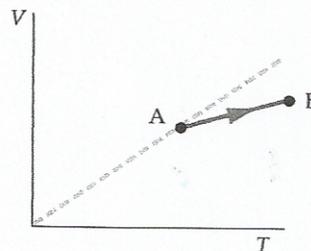


FIGURA 17-18
Problema 5

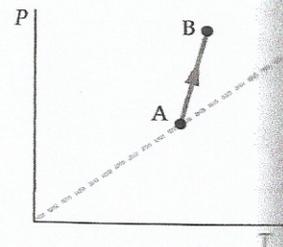


FIGURA 17-19
Problema 6

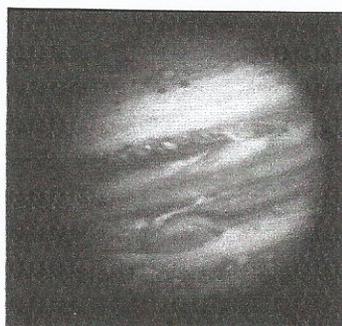
de um gás ideal do ponto A para o ponto B. O que acontece com o volume do gás durante este processo?

- 7 • Se um recipiente contém quantidades iguais, em massa, de hélio e de argônio, qual das seguintes afirmativas é verdadeira?
 (a) A pressão parcial exercida por cada um dos dois gases sobre as paredes do recipiente é a mesma.
 (b) A rapidez média de um átomo de hélio é a mesma que a de um átomo de argônio.
 (c) O número de átomos de hélio e de átomos de argônio no recipiente é o mesmo.
 (d) Nenhuma das anteriores.
- 8 • De qual fator deve aumentar a temperatura absoluta de um gás para que a rapidez rms de suas moléculas seja dobrada?
- 9 • Dois gases diferentes estão à mesma temperatura. O que pode ser dito sobre a energia cinética média de translação das moléculas de cada gás? O que pode ser dito sobre a rapidez rms das moléculas de cada gás?

- 10 • Um recipiente contém uma mistura de hélio (He) e metano (CH_4). A razão entre a rapidez rms dos átomos de He e a das moléculas de CH_4 é (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 16.
- 11 • Verdadeiro ou falso: Se a pressão de uma quantidade fixa de gás aumenta, então a temperatura do gás deve aumentar.
- 12 • Por que as escalas Celsius e Fahrenheit podem ser mais convenientes do que a escala absoluta, para propósitos ordinários, não-científicos?
- 13 • Um astrônomo afirma que a temperatura no centro do Sol é de cerca de 10^7 graus. Você acha que esta temperatura está em kelvins, graus Celsius, ou isto não importa?
- 14 • Você tem uma quantidade fixa de gás ideal em um recipiente que se expande para manter a pressão constante. Se você dobra a temperatura absoluta do gás, a rapidez média das moléculas (a) permanece constante, (b) dobra, (c) quadruplica, (d) aumenta de um fator $\sqrt{2}$.
- 15 • Você comprime um gás ideal até a metade de seu volume inicial, também reduzindo à metade sua temperatura absoluta. Durante este processo, a pressão do gás (a) é reduzida à metade, (b) permanece constante, (c) dobra, (d) quadruplica.
- 16 • A energia cinética média de translação das moléculas de um gás dependem (a) do número de moles e da temperatura, (b) da pressão e da temperatura, (c) apenas da pressão, (d) apenas da temperatura.
- 17 •• Qual é a maior rapidez, a rapidez do som em um gás ou a rapidez rms das moléculas do gás? Justifique sua resposta, usando as fórmulas apropriadas, e explique por que sua resposta é intuitivamente plausível.
- 18 •• Você aumenta a temperatura de um gás mantendo fixo o seu volume. Explique, em termos de movimento molecular, por que a pressão do gás, sobre as paredes do recipiente, aumenta.
- 19 •• Você comprime um gás mantendo-o a uma temperatura fixa (talvez mergulhando o recipiente em água fria). Explique, em termos de movimento molecular, por que a pressão do gás, sobre as paredes do recipiente, aumenta.
- 20 •• O oxigênio possui uma massa molar de 32 g/mol, e o nitrogênio possui uma massa molar de 28 g/mol. As moléculas de oxigênio e de nitrogênio em uma sala possuem:
- (a) a mesma energia cinética média translacional, mas as moléculas de oxigênio possuem uma rapidez média maior do que as moléculas de nitrogênio.
- (b) a mesma energia cinética média translacional, mas as moléculas de oxigênio possuem uma rapidez média menor do que as moléculas de nitrogênio.
- (c) a mesma energia cinética média translacional e a mesma rapidez média.
- (d) a mesma rapidez média, mas as moléculas de oxigênio possuem uma energia cinética média translacional maior do que as moléculas de nitrogênio.
- (e) a mesma rapidez média, mas as moléculas de oxigênio possuem uma energia cinética média translacional menor do que as moléculas de nitrogênio.
- (f) Nenhuma das afirmativas anteriores.
- 21 •• O nitrogênio líquido é relativamente barato, enquanto o hélio líquido é relativamente caro. Uma razão para a diferença de preços é que, enquanto o nitrogênio é o constituinte mais abundante da atmosfera, apenas pequenos traços de hélio podem ser encontrados na atmosfera. Use idéias deste capítulo para explicar por que apenas pequenos traços de hélio podem ser encontrados na atmosfera.

- 23 •• Estime a massa específica do ar seco no nível do mar em um dia quente de verão.
- 24 •• Um tubo de ensaio arrolhado, com 10,0 mL de volume, possui 1,00 mL de água em seu fundo. A água tem uma temperatura de 100°C e está inicialmente a uma pressão de 1,00 atm. O tubo de ensaio é colocado sobre uma chama até que a água tenha evaporado totalmente. Estime a pressão final dentro do tubo de ensaio.
- 25 •• No Capítulo 11, vimos que a rapidez de escape da superfície de um planeta de raio R é $v_e = \sqrt{2gR}$, onde g é a aceleração da gravidade na superfície do planeta. Se a rapidez rms de um gás é maior do que cerca de 15 ou 20 por cento da rapidez de escape de um planeta, virtualmente todas as moléculas do gás escaparão da atmosfera do planeta.
- (a) Para qual temperatura a v_{rms} do O_2 é igual a 15 por cento da rapidez de escape da Terra?
- (b) Para qual temperatura a v_{rms} do H_2 é igual a 15 por cento da rapidez de escape da Terra?
- (c) As temperaturas na atmosfera superior atingem 1000 K. Como é que isto ajuda a dar conta da baixa abundância de hidrogênio na atmosfera terrestre?
- (d) Calcule as temperaturas para as quais os valores de rapidez média do O_2 e do H_2 são iguais a 15 por cento da rapidez de escape na superfície da Lua, onde g tem cerca de um sexto de seu valor na Terra e $R = 1738$ km. Como é que isto dá conta da ausência de atmosfera na Lua?
- 26 •• A rapidez de escape de moléculas gasosas na atmosfera de Marte é 5,0 km/s e a temperatura da superfície de Marte é tipicamente 0°C . Calcule a rapidez rms de (a) H_2 , (b) O_2 e (c) CO_2 nesta temperatura. (d) H_2 , O_2 e CO_2 são passíveis de serem encontrados na atmosfera de Marte?

- 27 •• A rapidez de escape de moléculas gasosas na atmosfera de Júpiter é 60 km/s e a temperatura da superfície de Júpiter é tipicamente -150°C . Calcule a rapidez rms de (a) H_2 , (b) O_2 e (c) CO_2 nesta temperatura. (d) H_2 , O_2 e CO_2 são passíveis de serem encontrados na atmosfera de Júpiter?



Júpiter visto de cerca de doze milhões de milhas (19.311.600 km). Como a rapidez de escape na superfície de Júpiter é de cerca de 60 km/s, Júpiter retém facilmente o hidrogênio em sua atmosfera. (Jet Propulsion Laboratory/NASA.)

- 28 •• Estime a pressão média sobre a parede de uma cancha de *paddle* devida às colisões da bola durante uma partida. Use valores razoáveis para a massa da bola, sua rapidez típica e as dimensões da cancha. A pressão média exercida pela bola é significativa em comparação com a exercida pelo ar?
- 29 •• Em uma primeira aproximação, o Sol consiste em um gás com números iguais de prótons e elétrons. (As massas destas partículas podem ser encontradas no Apêndice B.) A temperatura no centro do Sol é de cerca de 1×10^7 K, e a massa específica do Sol é de cerca de 1×10^5 kg/m³. Como a temperatura é tão alta, os prótons e os elétrons são partículas separadas (em vez de estarem ligados para formar átomos de hidrogênio). (a) Estime a pressão no centro do Sol. (b) Estime os valores de rapidez rms para os prótons e os elétrons no centro do Sol.
- 30 •• **RICO EM CONTEXTO, APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Você está projetando uma câmara de vácuo para a fabricação de revestimentos

ESTIMATIVA E APROXIMAÇÃO

- 22 • Estime o número total de moléculas de ar em sua sala de aula.

refletores. Dentro da câmara, uma pequena amostra de metal será vaporizada para que seus átomos viajem em linha reta (os efeitos da gravidade são desprezíveis durante o curto tempo de voo) até uma superfície onde eles se depositam para formar um filme muito fino. A amostra de metal está a 30 cm da superfície sobre a qual seus átomos se depositarão. Quão baixa deve ser a pressão dentro da câmara, para que os átomos de metal colidam com moléculas de ar apenas raramente antes de atingirem a superfície?

31 ••• **APLICAÇÃO BIOLÓGICA** Em condições normais de respiração, aproximadamente 5 por cento de cada expiração constitui-se de dióxido de carbono. Com esta informação, e desprezando qualquer diferença entre os conteúdos de água e de vapor, estime a diferença típica de massa entre uma inspiração e uma expiração.

ESCALAS DE TEMPERATURA

32 • Determinada cera de esqui deve ser usada entre -12 e $-7,0^\circ\text{C}$. Qual é esta faixa de temperaturas na escala Fahrenheit?

33 • O ponto de fusão do ouro é $1945,4^\circ\text{F}$. Expresse esta temperatura em graus Celsius.

34 • Um boletim meteorológico informa que se espera uma queda de temperatura de $15,0^\circ\text{C}$ para as próximas quatro horas. De quantos graus da escala Fahrenheit cairá a temperatura?

35 • O comprimento da coluna de mercúrio de um termômetro é $4,00$ cm quando o termômetro está imerso em água com gelo à pressão de 1 atm e $24,0$ cm quando o termômetro está imerso em água fervente à pressão de 1 atm. Suponha o comprimento da coluna de mercúrio variando linearmente com a temperatura. (a) Esboce um gráfico do comprimento da coluna de mercúrio *versus* temperatura (em graus Celsius). (b) Qual é o comprimento da coluna à temperatura ambiente ($22,0^\circ\text{C}$)? (c) Se a coluna de mercúrio tem um comprimento de $25,4$ cm quando o termômetro está mergulhado em uma solução química, qual é a temperatura da solução?

36 • A temperatura do interior do Sol é de cerca de 1×10^7 K. Quanto vale esta temperatura, em graus (a) Celsius, (b) Fahrenheit?

37 • O ponto de ebulição do nitrogênio, N_2 , é $77,35$ K. Expresse esta temperatura em graus Fahrenheit.

38 • A pressão de um termômetro de gás a volume constante é $0,400$ atm no ponto de gelo e $0,546$ atm no ponto de vapor. (a) Esboce um gráfico da pressão *versus* temperatura Celsius para este termômetro. (b) Quando a pressão é $0,100$ atm, qual é a temperatura? (c) Qual é a pressão a $444,6^\circ\text{C}$ (o ponto de ebulição do enxofre)?

39 • Um termômetro de gás a volume constante indica $50,0$ torr no ponto triplo da água. (a) Esboce um gráfico da pressão *versus* temperatura absoluta para este termômetro. (b) Qual será a pressão quando o termômetro medir uma temperatura de 300 K? (c) A qual temperatura de gás ideal corresponde uma pressão de 678 torr?

40 • Um termômetro de gás a volume constante tem uma pressão de $50,0$ torr quando indica uma temperatura de 373 K. (a) Esboce um gráfico da pressão *versus* temperatura absoluta para este termômetro. (b) Qual é a sua pressão de ponto triplo, P_3 ? (c) A qual temperatura corresponde uma pressão de $0,175$ torr?

41 • Para qual temperatura as escalas Fahrenheit e Celsius indicam a mesma leitura?

42 • Sódio funde a 371 K. Qual é o ponto de fusão do sódio nas escalas Celsius e Fahrenheit de temperatura?

43 • O ponto de ebulição do oxigênio, a $1,00$ atm, é $90,2$ K. Qual é o ponto de ebulição do oxigênio a $1,00$ atm nas escalas Celsius e Fahrenheit?

44 •• Na escala de temperatura Réaumur, o ponto de fusão do

gelo é 0°R e o ponto de ebulição da água é 80°R . Deduza expressões para converter temperaturas da escala Réaumur para as escalas Celsius e Fahrenheit.

45 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um termistor é um dispositivo de estado sólido largamente usado em uma variedade de aplicações em engenharia. Sua principal característica é que sua resistência elétrica varia muito com a temperatura. Sua dependência com a temperatura é dada aproximadamente por $R = R_0 e^{B/T}$, com R em ohms (Ω), T em kelvins e R_0 e B sendo constantes que podem ser determinadas medindo-se R em pontos de calibração como o ponto de gelo e o ponto de vapor. (a) Se $R = 7360 \Omega$ no ponto de gelo e 153Ω no ponto de vapor, determine R_0 e B . (b) Qual é a resistência do termistor em $t = 98,6^\circ\text{F}$? (c) Qual é a taxa de variação da resistência com a temperatura (dR/dt) no ponto de gelo e no ponto de vapor? (d) Para quais temperaturas o termistor é mais sensível?

A LEI DOS GASES IDEAIS

46 • Um gás ideal, em um cilindro com um pistão encaixado (Figura 17-20), é mantido à pressão constante. Se a temperatura do gás aumenta de 50°C para 100°C , de que fator varia o volume?



FIGURA 17-20 Problemas 46 e 71

47 • Um recipiente de $10,0$ L contém gás à temperatura de $0,00^\circ\text{C}$ e à pressão de $4,00$ atm. Quantos moles de gás há no recipiente? Quantas moléculas?

48 •• Uma baixa pressão de $1,00 \times 10^{-8}$ torr pode ser atingida usando-se uma bomba de difusão a óleo. Quantas moléculas há em $1,00$ cm³ de um gás nesta pressão, se sua temperatura é 300 K?

49 •• Você copia o seguinte parágrafo de um livro de física marciano: "1 *snorf* de um gás ideal ocupa um volume de $1,35$ *zak*. À temperatura de 22 *glips*, o gás tem uma pressão de $12,5$ *klads*. A uma temperatura de -10 *glips*, o mesmo gás tem agora uma pressão de $8,7$ *klads*." Determine a temperatura do zero absoluto em *glips*.

50 •• Uma motorista enche os pneus do carro até uma pressão manométrica de 180 kPa em um dia em que a temperatura é de $-8,0^\circ\text{C}$. Quando ela chega ao destino, a pressão dos pneus aumentou para 245 kPa. Qual é a temperatura dos pneus supondo (a) que os pneus não se expandiram, ou (b) que os pneus se expandiram de modo que o volume do ar neles contido aumentou em 7 por cento?

51 •• Uma sala tem $6,0$ m por $5,0$ m por $3,0$ m. (a) Se a pressão do ar na sala é $1,0$ atm e a temperatura é 300 K, determine o número de moles de ar na sala. (b) Se a temperatura aumenta de $5,0$ K e a pressão permanece constante, quantos moles de ar deixam a sala?

52 •• Imagine que $10,0$ g de hélio líquido, inicialmente a $4,20$ K, evaporem para dentro de um balão vazio que é mantido à pressão de $1,00$ atm. Qual é o volume do balão a (a) $25,0$ K e (b) 293 K?

53 •• Um recipiente fechado, com um volume de $6,00$ L, contém $10,0$ g de hélio líquido a $25,0$ K e ar suficiente para preencher o resto de seu volume a uma pressão de $1,00$ atm. O hélio, então, evapora e o recipiente tem sua temperatura elevada para a temperatura ambiente (293 K). Qual é a pressão final dentro do recipiente?

54 •• Um pneu de automóvel é cheio até uma pressão manométrica de 200 kPa, quando sua temperatura é 20°C . (Pressão manométrica é a diferença entre a pressão real e a pressão atmosférica.) Depois de viajar a altas velocidades, a temperatura do pneu aumenta para 50°C . (a) Supondo que o volume do pneu não varie e que o ar se comporte como um gás ideal, determine a pressão manométrica do

ar no pneu. (b) Calcule a pressão manométrica se o pneu se expande e o volume do ar nele contido aumenta em 10 por cento.

55 •• Depois do nitrogênio (N_2) e do oxigênio (O_2), a água, H_2O , é a molécula mais abundante na atmosfera da Terra. Contudo, a fração de moléculas de H_2O em um dado volume de ar varia dramaticamente, de praticamente zero por cento nas condições mais secas até um valor de 4 por cento, quando a umidade é grande. (a) Para dadas temperatura e pressão, o ar se torna mais denso quando seu conteúdo de vapor é maior ou menor? (b) Qual é a diferença em massa, à temperatura ambiente e à pressão atmosférica, entre um metro cúbico de ar sem moléculas de vapor e um metro cúbico de ar com 4 por cento de moléculas de vapor?

56 •• Um mergulhador está 40 m abaixo da superfície de um lago, onde a temperatura é $5,0^\circ C$. Ele libera uma bolha de ar que tem um volume de 15 cm^3 . A bolha sobe à superfície, onde a temperatura é $25^\circ C$. Suponha que o ar na bolha esteja sempre em equilíbrio térmico com a água ao seu redor, e que não haja troca de moléculas entre a bolha e a água. Qual é o volume da bolha imediatamente antes de romper-se na superfície? *Dica: Lembre-se de que a pressão também varia.*

57 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um balão de ar quente é aberto embaixo. Ele tem um volume de 446 m^3 e é cheio com ar a uma temperatura média de $100^\circ C$. O ar fora do balão tem uma temperatura de $20,0^\circ C$ e uma pressão de $1,00 \text{ atm}$. Qual é a carga que o balão pode erguer (incluindo o revestimento do próprio balão)? Use $29,0 \text{ g/mol}$ para a massa molar do ar. (Despreze o volume tanto da carga quanto do revestimento do balão.)

58 ••• Um balão de hélio é usado para erguer um peso de 110 N . O peso do revestimento do balão é $50,0 \text{ N}$ e o volume do hélio quando o balão está totalmente inflado é $32,0 \text{ m}^3$. A temperatura do ar é $0^\circ C$ e a pressão atmosférica é $1,00 \text{ atm}$. O balão é inflado com uma quantidade de gás hélio que faz com que a força resultante para cima, sobre o balão e sua carga, seja de $30,0 \text{ N}$. Despreze efeitos de variação da temperatura causada por mudanças de altitude. (a) Quantos moles de gás hélio estão contidos no balão? (b) Em que altitude o balão estará completamente inflado? (c) O balão chega a atingir a altitude na qual ele se infla completamente? (d) Se a resposta para a Parte (c) é "Sim", qual é a máxima altitude atingida pelo balão?

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

59 • (a) Um mol de gás argônio está confinado em um recipiente de $1,0 \text{ litro}$ a uma pressão de 10 atm . Qual é a rapidez rms dos átomos de argônio? (b) Compare sua resposta com a rapidez rms dos átomos de hélio sob as mesmas condições.

60 • Determine a energia cinética total de translação das moléculas de $1,0 \text{ L}$ de gás oxigênio a uma temperatura de $0,0^\circ C$ e a uma pressão de $1,0 \text{ atm}$.

61 • Estime a rapidez rms e a energia cinética média de um átomo de hidrogênio em um gás a uma temperatura de $1,0 \times 10^7 \text{ K}$. (Nesta temperatura, que é aproximadamente a temperatura no interior de uma estrela, os átomos de hidrogênio são ionizados e se tornam prótons.)

62 • O hélio líquido tem uma temperatura de apenas $4,20 \text{ K}$ e está em equilíbrio com seu vapor quando a pressão atmosférica. Calcule a rapidez rms de um átomo de hélio no vapor a esta temperatura, e comente o resultado.

63 • Mostre que o livre caminho médio de uma molécula em um gás ideal à temperatura T e à pressão P é dado por $\lambda = kT/(\sqrt{2}P\pi d^2)$.

64 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Os atuais equipamentos de vácuo podem atingir pressões tão baixas quanto $7,0 \times 10^{-11} \text{ Pa}$. Seja uma câmara contendo hélio a esta pressão e à temperatura ambiente

(300 K). Estime o livre caminho médio e o tempo de colisão para o hélio na câmara. Considere o diâmetro de um átomo de hélio igual a $1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$.

65 •• Oxigênio (O_2) está confinado em um recipiente cúbico de 15 cm de aresta, à temperatura de 300 K . Compare a energia cinética média de uma molécula do gás com a variação de sua energia potencial gravitacional ao cair de uma altura de 15 cm (a altura do recipiente).

* A DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES MOLECULARES

66 •• Use o cálculo para mostrar que $f(v)$, dado pela Equação 17-36, tem seu valor máximo para uma rapidez $v = \sqrt{2kT/m}$.

67 •• A função distribuição $f(v)$ é definida na Equação 17-36. Como $f(v)dv$ dá a fração de moléculas que têm rapidez na faixa entre v e $v + dv$, a integral de $f(v)dv$ sobre todos os possíveis valores de rapidez deve ser igual a 1. Dado que a integral $\int_0^\infty v^2 e^{-\text{méd}^2} dv = \sqrt{(\pi/4)a^{-3/2}}$, mostre que $\int_0^\infty f(v)dv = 1$, onde $f(v)$ é dado pela Equação 17-36.

68 •• Dado que a integral $\int_0^\infty v^3 e^{-\text{méd}^2} dv = (1/2a^2)$, calcule a rapidez média $v_{\text{méd}}$ das moléculas de um gás, usando a função distribuição de Maxwell-Boltzmann.

69 •• **VÁRIOS PASSOS** As energias cinéticas de translação das moléculas de um gás são distribuídas de acordo com a distribuição de energias de Maxwell-Boltzmann, Equação 17-38. (a) Determine o valor mais provável da energia cinética de translação (em termos da temperatura T) e compare este valor com o valor médio. (b) Esboce um gráfico da distribuição de energias cinéticas de translação [$f(E)$ versus E] e indique a energia mais provável e a energia média. (Não há necessidade de desenhar o eixo vertical do gráfico em escala.) (c) Sua professora afirma: "Apenas olhando o gráfico de $f(E)$ versus E você pode ver que a energia cinética média de translação é consideravelmente maior do que a energia cinética de translação mais provável." Quais são as características do gráfico que confirmam esta afirmativa?

PROBLEMAS GERAIS

70 • Determine a temperatura na qual a rapidez rms de uma molécula de gás hidrogênio é igual a 343 m/s .

71 •• (a) Se $1,0 \text{ mol}$ de um gás em um recipiente cilíndrico ocupa um volume de 10 L a uma pressão de $1,0 \text{ atm}$, qual é a temperatura do gás em kelvins? (b) Um pistão permite variar o volume do gás dentro do cilindro (Figura 17-20). Quando o gás é aquecido à pressão constante, ele expande para um volume de 20 L . Qual é a temperatura do gás em kelvins? (c) Depois, o volume é fixado em 20 L e a temperatura do gás aumenta para 350 K . Qual é, agora, a pressão do gás?

72 •• **VÁRIOS PASSOS** (a) O volume por molécula de um gás é o inverso do número de moléculas por unidade de volume. Determine o volume médio, por molécula, para o ar seco à temperatura ambiente e à pressão atmosférica. (b) Calcule a raiz cúbica de sua resposta da Parte (a) para obter uma estimativa aproximada da distância média d entre as moléculas de ar. (c) Determine, ou estime, o diâmetro médio D de uma molécula de ar e compare-o com sua resposta da Parte (b). (d) Desenhe as moléculas em um volume de ar de forma cúbica com aresta igual a $3d$. Faça seu desenho em escala e coloque as moléculas no que você imagina que seja uma configuração típica. (e) Use seu desenho para explicar por que o livre caminho médio de uma molécula de ar é muito maior do que a distância média entre as moléculas.

73 •• **CONCEITUAL** A distribuição de Maxwell-Boltzmann se aplica não apenas a gases, mas também aos movimentos moleculares

dentro de líquidos. O fato de que nem todas as moléculas possuem a mesma rapidez nos ajuda a compreender o processo de evaporação. (a) Explique, em termos do movimento molecular, por que uma gota d'água se torna mais fria quando moléculas evaporam de sua superfície. (O resfriamento por evaporação é um importante mecanismo de regulação de nossa temperatura corporal e também é usado para resfriar edifícios em lugares quentes e secos.) (b) Use a distribuição de Maxwell-Boltzmann para explicar por que apenas um pequeno aumento da temperatura pode aumentar em muito a taxa na qual uma gota d'água evapora.

74 •• Uma caixa metálica cúbica, com 20 cm de aresta, contém ar à pressão de 1,0 atm e à temperatura de 300 K. A caixa está selada de forma a manter constante o volume interno, e é aquecida até a temperatura de 400 K. Determine a força sobre as paredes da caixa, devida à pressão interna do ar.

75 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Uma das propostas sugeridas para criar hidrogênio líquido combustível é a de converter água comum (H_2O) nos gases H_2 e O_2 por *eletrólise*. Quantos moles de cada um destes gases resultam da eletrólise de 2,0 L de água?

76 •• Um cilindro oco, de massa desprezível e 40 cm de comprimento, repousa deitado sobre uma mesa lisa horizontal. O cilindro é dividido em duas partes iguais por uma membrana vertical não-porosa. Uma das partes contém nitrogênio e a outra parte contém oxigênio. A pressão do nitrogênio é o dobro da pressão do oxigênio. Que distância o cilindro percorrerá se a membrana se romper?

77 •• Um cilindro de volume fixo contém uma mistura de gás hélio (He) e gás hidrogênio (H_2), à temperatura T_1 e à pressão P_1 . Se a temperatura é dobrada para $T_2 = 2T_1$, a pressão também deveria dobrar, a não ser pelo fato de que, nesta temperatura, H_2 é 100 por cento dissociado em H_1 . Na verdade, à pressão $P_2 = 2P_1$ a temperatura é $T_2 = 3T_1$. Se a massa do hidrogênio no cilindro é m , qual é a massa do hélio no cilindro?

78 •• O livre caminho médio das moléculas de O_2 à temperatura de 300 K e à pressão de 1,00 atm é de $7,10 \times 10^{-8}$ m. Use estes dados para estimar o tamanho de uma molécula de O_2 .

79 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Experimentos atuais sobre confinamento atômico e resfriamento podem criar gases de rubídio, e de outros átomos, de baixa massa específica e com temperaturas na região do nanokelvin (10^{-9} K). Estes átomos são confinados e resfriados usando-se campos magnéticos e lasers em câmaras de ultra-vácuo. Um método que é usado para medir a temperatura de um gás confinado é o de desligar o confinamento e medir o tempo que leva para as moléculas do gás caírem uma determinada distância. Seja um gás de átomos de rubídio a uma temperatura de 120 nK. Calcule quanto tempo um átomo levaria, viajando com a rapidez rms do gás, para cair uma distância de 10,0 cm, se (a) ele estava inicialmente se movendo para baixo, e (b) ele estava inicialmente se movendo para cima. Suponha que o átomo não colida com nenhum outro átomo em sua trajetória.

80 ••• Um cilindro está cheio com 0,10 mol de um gás ideal, nas condições normais de temperatura e pressão, e um pistão de 1,4 kg mantém o gás dentro do cilindro (Figura 17-21), podendo se mover sem atrito. A coluna de gás confinado tem 2,4 m de altura. O pistão e o cilindro estão circundados por ar, também nas condições normais de temperatura e pressão. O pistão é largado do repouso e começa a cair. O movimento do pistão cessa depois que as oscilações param,

com o pistão e o gás confinado em equilíbrio térmico com o ar circundante. (a) Determine a altura da coluna de gás. (b) Suponha que o pistão seja empurrado para um pouco abaixo de sua posição de equilíbrio e depois liberado. Supondo que a temperatura do gás permaneça constante, determine a frequência de vibração do pistão.

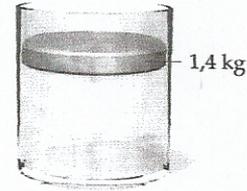


FIGURA 17-21 Problema 80

81 ••• **PLANILHA ELETRÔNICA, VÁRIOS PASSOS** Neste problema, você usará uma planilha eletrônica para estudar a distribuição de velocidades moleculares em um gás. A Figura 17-22 poderá ajudá-lo a começar. (a) Introduza os valores de R , M e T , como mostrado. Então, introduza na coluna A os valores de rapidez em uma faixa de 0 a 1200 m/s, com incrementos de 1 m/s. (Esta planilha será longa.) Na célula B7, introduza a fórmula para a distribuição relativa de velocidades de Maxwell-Boltzmann. Esta fórmula contém os parâmetros v , R , M e T . Substitua v por A7, R por B\$1, M por B\$2 e T por B\$3. Depois, use o comando "FILL DOWN" ("PREENCHER") para introduzir a fórmula na células abaixo de B7. Crie um gráfico de $f(v)$ versus v usando os dados das colunas A e B. (b) Explore como o gráfico varia quando você aumenta ou diminui a temperatura e descreva os resultados. (c) Acrescente uma terceira coluna na qual cada célula contenha a soma acumulada de todos os valores $f(v)$ multiplicados pelo intervalo de tamanho dv (que é igual a 1) das linhas acima, incluindo a própria linha em questão. Qual é a interpretação física dos números desta coluna? (d) Para gás nitrogênio a 300 K, qual é a porcentagem de moléculas com rapidez menor do que 200 m/s? (e) Para gás nitrogênio a 300 K, qual é a porcentagem de moléculas com rapidez maior do que 700 m/s?

	A	B	C
1	R =	8,31	J/mol-K
2	M =	0,028	kg/mol
3	T =	300	K
4			
5	v	f(v)	soma f(v)dv
6	(m/s)	(s/m)	(sem unidade)
7	0	0	0
8	1	3,0032E-08	3,00325E-08
9	2	1,2013E-07	1,5016E-07
10	3	2,7028E-07	4,20441E-07
11	4	4,8048E-07	9,0092E-07
12	5	7,5071E-07	1,65163E-06

FIGURA 17-22 Problema 81 (Apenas as primeiras linhas da planilha são mostradas.)