

Quando uma amostra do material é muito maior do que as dimensões atômicas, costumamos escrever a Eq. 14-1 na forma

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (14-2)$$

Pressão de um Fluido Um **fluido** é uma substância que pode escoar; ele se amolda aos contornos do recipiente porque não resiste a tensões de cisalhamento. Pode, porém, exercer uma força perpendicular à superfície. Essa força é descrita em termos da **pressão** p :

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}, \quad (14-3)$$

onde ΔF é a força que age sobre um elemento da superfície de área ΔA . Se a força é uniforme em uma área plana, a Eq. 14-3 pode ser escrita na forma

$$p = \frac{F}{A}. \quad (14-4)$$

A força associada à pressão em um ponto de um fluido tem o mesmo módulo em todas as direções. A **pressão manométrica** é a diferença entre a pressão real (ou *pressão absoluta*) em um ponto e a pressão atmosférica.

Variação da Pressão com a Altura e com a Profundidade A pressão em um fluido em repouso varia com a posição vertical y . Tomando como positivo o sentido para cima,

$$p_2 = p_1 + \rho g(y_1 - y_2). \quad (14-7)$$

A pressão em um fluido é a mesma para todos os pontos situados à mesma altura. Se h é a *profundidade* de uma amostra do fluido em relação a um nível de referência no qual a pressão é p_0 , a Eq. 14-7 se torna

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (14-8)$$

onde p é a pressão da amostra.

PERGUNTAS

1 O *efeito bule*. A água derramada lentamente de um bule pode mudar de sentido e escorrer por uma distância considerável por baixo do bico do bule, antes de se desprender e cair. (A água é mantida sob o bico pela pressão atmosférica.) Na Fig. 14-23, na camada de água do lado de dentro do bico, o ponto a está no alto e o ponto b está no fundo da camada; na camada de água do lado de fora do bico, o ponto c está no alto e o ponto d está no fundo da camada. Ordene os quatro pontos de acordo com a pressão manométrica a que a água está sujeita, da mais positiva para a mais negativa.

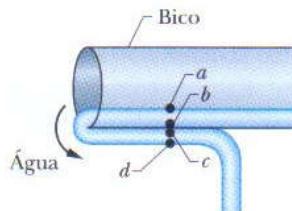


FIG. 14-23 Pergunta 1.

2 A Fig. 14-24 mostra um tanque cheio de água. Cinco pisos e tetos horizontais estão indicados; todos têm a mesma área e estão situados a uma distância L , $2L$ ou $3L$ abaixo do alto do tanque. Ordene-os de acordo com a força que a água exerce sobre eles, começando pela maior.

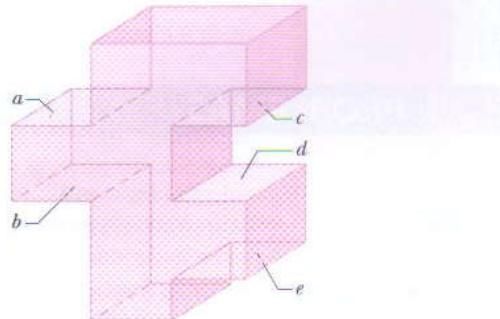


FIG. 14-24 Pergunta 2.

Princípio de Pascal Uma variação da pressão aplicada a um fluido incompressível contido em um recipiente é transmitida integralmente a todas as partes do fluido e às paredes do recipiente.

Princípio de Arquimedes Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, uma força de empuxo F_E exercida pelo fluido age sobre o corpo. A força é dirigida para cima e tem um módulo dado por

$$F_E = m_f g, \quad (14-16)$$

onde m_f é a massa do fluido deslocado pelo corpo.

Quando um corpo flutua em um fluido, o módulo F_E do empuxo (para cima) que age sobre o corpo é igual ao módulo F_g da força gravitacional (para baixo) que age sobre ele. O **peso aparente** de um corpo sobre o qual atua um empuxo está relacionado ao peso real através da equação

$$\text{peso}_{ap} = \text{peso} - F_E. \quad (14-19)$$

Escoamento de Fluidos Ideais Um **fluido ideal** é incompressível, não tem viscosidade e seu escoamento é laminar e irrotacional. Uma *linha de fluxo* é a trajetória seguida por uma partícula do fluido. Um *tubo de fluxo* é um feixe de linhas de fluxo. O escoamento no interior de um tubo de fluxo obedece à **equação da continuidade**:

$$R_V = Av = \text{constante}, \quad (14-24)$$

onde R_V é a **vazão**, A é a área da seção reta do tubo de fluxo em qualquer ponto e v é a velocidade do fluido nesse ponto. A **vazão mássica** R_m é dada por

$$R_m = \rho R_V = \rho Av = \text{constante}. \quad (14-25)$$

Equação de Bernoulli A aplicação do princípio de conservação da energia mecânica ao escoamento de um fluido ideal leva à **equação de Bernoulli**:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gy = \text{constante} \quad (14-29)$$

ao longo de qualquer tubo de fluxo.

3 Uma peça irregular de 3 kg de um material sólido é totalmente imersa em um certo fluido. O fluido que estaria no espaço ocupado pela peça tem uma massa de 2 kg. (a) Ao ser liberada, a peça sobe, desce ou permanece no mesmo lugar? (b) Se a peça é totalmente imersa em um fluido menos denso e depois liberada, o que acontece?

- 4 A Fig. 14-25 mostra quatro situações nas quais um líquido vermelho e um líquido cinzento foram colocados em um tubo em forma de U. Em uma dessas situações os líquidos não podem estar em equilíbrio estático. (a) Que situação é essa? (b) Para as outras três situações, suponha que o equilíbrio é estático. Para cada uma delas a massa específica do líquido vermelho é maior, menor ou igual à massa específica do líquido cinzento?

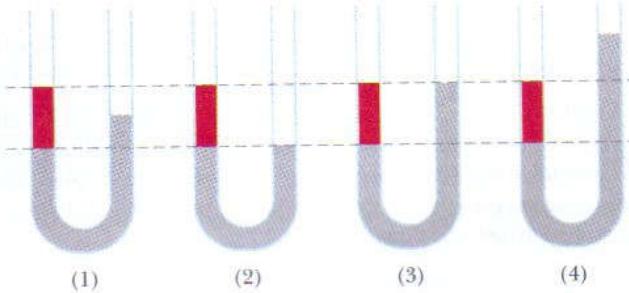


FIG. 14-25 Pergunta 4.

- 5 Um barco com uma âncora a bordo flutua em uma piscina um pouco mais larga do que o barco. O nível da água sobe, desce ou permanece o mesmo (a) se a âncora é jogada na água e (b) se a âncora é jogada do lado de fora da piscina? (c) O nível da água na piscina sobe, desce ou permanece o mesmo se, em vez disso, uma rolha de cortiça é lançada do barco para a água, onde flutua?

- 6 A Fig. 14-26 mostra três recipientes iguais, cheios até a borda; patos de brinquedo flutuam em dois deles. Ordene os três conjuntos de acordo com o peso total, em ordem decrescente.

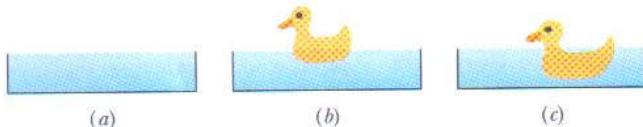


FIG. 14-26 Pergunta 6.

- 7 A água flui suavemente em um cano horizontal. A Fig. 14-27 mostra a energia cinética K de um elemento de água que se move ao longo de um eixo x paralelo ao

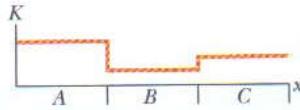


FIG. 14-27 Pergunta 7.

eixo do cano. Ordene os trechos A , B e C de acordo com o raio do cano, do maior para o menor.

- 8 A Fig. 14-28 mostra a pressão manométrica p_m em função da profundidade h para três líquidos. Uma esfera de plástico é totalmente imersa nos três líquidos, um de cada vez. Ordene os gráficos de acordo com o empuxo exercido sobre a esfera, do maior para o menor.

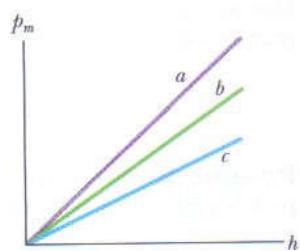


FIG. 14-28 Pergunta 8.

- 9 A Fig. 14-29 mostra quatro tubos nos quais a água escoa suavemente para a direita. Os raios das diferentes partes dos tubos estão indicados. Em qual dos tubos o trabalho total realizado sobre um volume unitário de água que escoa da extremidade esquerda para a extremidade direita é (a) nulo, (b) positivo e (c) negativo?

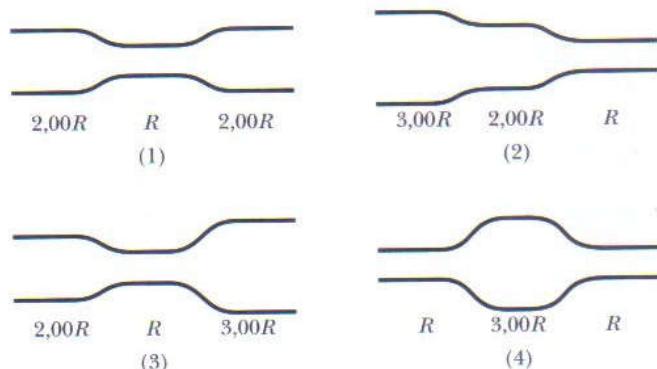


FIG. 14-29 Pergunta 9.

- 10 Um bloco retangular é empurrado para baixo em três líquidos, um de cada vez. O peso aparente P_{ap} do bloco em função da profundidade h é mostrado na Fig. 14-30 para os três líquidos. Ordene os líquidos de acordo com o peso por unidade de volume, do maior para o menor.

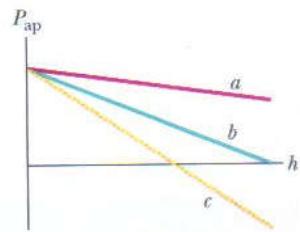


FIG. 14-30 Pergunta 10.

PROBLEMAS

• • • O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

seção 14-3 Massa Específica e Pressão

- 1 Determine o aumento de pressão do fluido em uma seringa quando uma enfermeira aplica uma força de 42 N ao êmbolo circular da seringa, que tem um raio de 1,1 cm.

- 2 Três líquidos imiscíveis são despejados em um recipiente cilíndrico. Os volumes e massas específicas dos líquidos são: 0,50 L, 2,6 g/cm³; 0,25 L, 1,0 g/cm³; 0,40 L, 0,80 g/cm³. Qual é a força total exercida pelos líquidos sobre o fundo do recipiente? Um litro = 1 L = 1000 cm³. (Ignore a contribuição da atmosfera.)

- 3 Uma janela de escritório 3,4 m de largura por 2,1 m de altura. Como resultado da passagem de uma tempestade, a pressão do ar do lado de fora do edifício cai para 0,96 atm, mas no interior do edifício permanece em 1,0 atm. Qual é o módulo da força que empurra a janela para fora por causa dessa diferença de pressão?

- 4 Você calibra os pneus do carro com 28 psi. Mais tarde, mede a pressão arterial, obtendo uma leitura de 12/8 em cm Hg. No SI, as pressões são expressas em pascal ou seus múltiplos, como o quilopascal (kPa). Quais são, em kPa, (a) a pressão dos pneus de seu carro e (b) sua pressão arterial?

- 5** Um peixe mantém sua profundidade na água doce ajustando a quantidade de ar em ossos porosos ou em bolsas de ar para tornar sua massa específica média igual à da água. Suponha que, com as bolsas de ar vazias, um certo peixe tem uma massa específica de $1,08 \text{ g/cm}^3$. Para que fração de seu volume expandido o peixe deve inflar as bolsas de ar para tornar sua massa específica igual à da água?

- 6** Um recipiente hermeticamente fechado e parcialmente evacuado tem uma tampa com uma área de 77 m^2 e massa desprezível. Se a força necessária para remover a tampa é 480 N e a pressão atmosférica é $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, qual é a pressão do ar no interior do recipiente?

- 7** Em 1654, Otto von Guericke, o inventor da bomba de vácuo, fez uma demonstração para os nobres do Sacro Império Romano na qual duas juntas de oito cavalos não puderam separar dois hemisférios de cobre evacuados. (a) Supondo que os hemisférios tinham paredes finas (e resistentes), de modo que R na Fig. 14-31 pode ser considerado tanto o raio interno como o raio externo, mostre que o módulo da força \vec{F} necessária para separar os hemisférios é dado por $F = \pi R^2 \Delta p$, onde Δp é a diferença entre as pressões do lado de fora e do lado de dentro da esfera. (b) Tomando R como 30 cm , a pressão interna como $0,10 \text{ atm}$ e a pressão externa como $1,00 \text{ atm}$, determine o módulo da força que as juntas de cavalos teriam que exercer para separar os hemisférios. (c) Explique por que uma única junta de cavalos poderia ter executado a mesma demonstração se um dos hemisférios estivesse preso em uma parede.

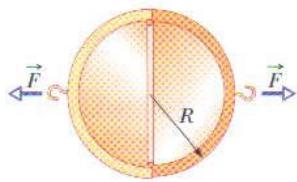


FIG. 14-31 Problema 7.

seção 14-4 Fluidos em Repouso

- 8** Calcule a diferença hidrostática entre a pressão arterial no cérebro e no pé de uma pessoa com $1,83 \text{ m}$ de altura. A massa específica do sangue é $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

- 9** Com uma profundidade de $10,9 \text{ km}$, a fossa das Marianas, no oceano Pacífico, é o lugar mais profundo dos oceanos. Em 1960, Donald Walsh e Jacques Piccard chegaram à fossa das Marianas no batiscafo *Trieste*. Supondo que a água do mar tem uma massa específica uniforme de 1024 kg/m^3 , calcule a pressão hidrostática aproximada (em atmosferas) que o *Trieste* teve que suportar.

- 10** A profundidade máxima d_{\max} a que um mergulhador pode descer com um *snorkel* (tubo de respiração) é determinada pela massa específica da água e pelo fato de que os pulmões humanos não funcionam com uma diferença de pressão (entre o interior e o exterior da cavidade torácica) maior que $0,050 \text{ atm}$. Qual é a diferença entre o d_{\max} da água doce e o da água do Mar Morto (a água natural mais salgada no mundo, com uma massa específica de $1,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)? ~~14~~

- 11** Alguns membros da tripulação tentam escapar de um submarino avariado 100 m abaixo da superfície. Que força deve ser aplicada a uma escotilha de emergência, de $1,2 \text{ m}$ por $0,60 \text{ m}$, para abri-la para fora nessa profundidade? Suponha que a massa específica da água do oceano é 1024 kg/m^3 e que a pressão do ar no interior do submarino é $1,00 \text{ atm}$. ~~14~~

- 12** O tubo de plástico da Fig. 14-32 tem uma seção reta de $5,00 \text{ cm}^2$. Introduz-se água no tubo até que o lado mais curto (de comprimento $d = 0,800 \text{ m}$) fique cheio. Em seguida, o lado menor é fechado e mais água é despejada no lado maior. Se a tampa do

lado menor é arrancada quando a força a que está submetida excede $9,80 \text{ N}$, que altura da coluna de água do lado maior deixa a tampa na iminência de ser arrancada?



FIG. 14-32
Problemas 12
e 75.

- 13** Que pressão manométrica uma máquina deve produzir para sugar lama com uma massa específica de 1800 kg/m^3 através de um tubo e fazê-la subir $1,5 \text{ m}$?

- 14** *Embolia gasosa em viagens de avião.* Os mergulhadores são aconselhados a não viajar de avião nas primeiras 24 horas após um mergulho, porque o ar pressurizado usado durante o mergulho pode introduzir nitrogênio na corrente sanguínea. Uma redução súbita da pressão do ar (como a que acontece quando um avião decola) pode fazer com que o nitrogênio forme bolhas no sangue, que podem produzir embolias dolorosas ou mesmo fatais. Qual é a variação de pressão experimentada por um soldado da divisão de operações especiais que mergulha a 20 m de profundidade em um dia e salta de pára-quedas de uma altitude de $7,6 \text{ km}$ no dia seguinte? Suponha que a massa específica média do ar nessa faixa de altitudes seja $0,87 \text{ kg/m}^3$. ~~14~~

- 15** *Girafa bebendo água.* Em uma girafa, com a cabeça $2,0 \text{ m}$ acima do coração e o coração $2,0 \text{ m}$ acima do solo, a pressão manométrica (hidrostática) do sangue na altura do coração é 250 torr. Suponha que a girafa está de pé e a massa específica do sangue é $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Determine a pressão arterial (manométrica) em torr (a) no cérebro (a pressão deve ser suficiente para abastecer o cérebro com sangue) e (b) nos pés (a pressão deve ser compensada por uma pele esticada, que se comporta como uma meia elástica). (c) Se a girafa baixasse a cabeça bruscamente para beber água, sem afastar as pernas, qual seria o aumento da pressão arterial no cérebro? (Este aumento provavelmente causaria a morte da girafa.) ~~14~~

- 16** Na Fig. 14-33, um tubo aberto, de comprimento $L = 1,8 \text{ m}$ e seção reta $A = 4,6 \text{ cm}^2$, penetra na tampa de um barril cilíndrico de diâmetro $D = 1,2 \text{ m}$ e altura $H = 1,8 \text{ m}$. O barril e o tubo estão cheios d'água (até o alto do tubo). Calcule a razão entre a força hidrostática que age sobre o fundo do barril e a força gravitacional que age sobre a água contida no barril. Por que a razão não é igual a $1,0$? (Não é necessário levar em conta a pressão atmosférica.)

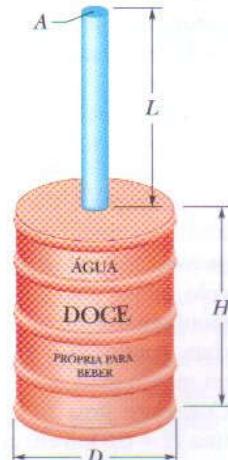


FIG. 14-33
Problema 16.

- 17** *Pressão arterial do argintinosauro.* (a) Se a cabeça deste saurópode gigantesco ficava a 21 m de altura e o coração a $9,0 \text{ m}$, que pressão manométrica (hidrostática) era necessária na altura do coração para que a pressão no cérebro fosse 80 torr (suficiente para abastecer o cérebro)? Suponha que a massa específica do sangue do argintossauro era $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. (b) Qual era a pressão arterial (em torr) na altura dos pés do animal? ~~14~~

- 18** *Seres humanos e elefantes fazendo snorkel.* Quando uma pessoa faz snorkel, os pulmões ficam ligados diretamente à atmosfera através do tubo de respiração e, portanto, estão à pressão atmosférica. Qual é a diferença Δp , em atmosferas, entre a pressão interna e a pressão da água sobre o corpo do mergulhador se o comprimento do tubo de respiração é (a) 20 cm (situação

normal) e (b) 4,0 m (situação provavelmente fatal)? No segundo caso, a diferença de pressão faz os vasos sanguíneos das paredes dos pulmões se romperem, enchendo os pulmões de sangue. Como mostra a Fig. 14-34, um elefante pode usar a tromba como tubo de respiração e nadar com os pulmões 4,0 m abaixo da superfície da água porque a membrana que envolve seus pulmões contém tecido conectivo que envolve e protege os vasos sanguíneos, impedindo que se rompam.

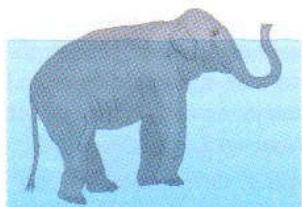


FIG. 14-34 Problema 18.

••19 Dois recipientes cilíndricos iguais, com as bases no mesmo nível, contêm um líquido de massa específica $1,30 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. A área de cada base é $4,00 \text{ cm}^2$, mas em um dos recipientes a altura do líquido é 0,854 m e no outro é 1,560 m. Determine o trabalho realizado pela força gravitacional para igualar os níveis quando os recipientes são ligados por um tubo.

••20 *Perda de consciência dos pilotos de caça.* Quando um piloto faz uma curva muito fechada em um avião de caça moderno a pressão do sangue na altura do cérebro diminui, e o sangue deixa de abastecer o cérebro. Se o coração mantém a pressão manométrica (hidrostática) da aorta em 120 torr quando o piloto sofre uma aceleração centrípeta horizontal de $4g$, qual é a pressão sanguínea no cérebro (em torr), situado a 30 cm de distância do coração no sentido do centro da curva? A falta de sangue no cérebro pode fazer com que o piloto passe a enxergar em preto e branco e o campo visual se estreite, um fenômeno conhecido como “visão de túnel”. Caso persista, o piloto pode sofrer a chamada *g-LOC* (*g-induced loss of consciousness*, perda de consciência induzida por *g*). A massa específica do sangue é $1,06 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

••21 Na análise de certos fenômenos geológicos é muitas vezes apropriado supor que a pressão em um dado *nível de compensação* horizontal, muito abaixo da superfície, é a mesma em uma vasta região e é igual à pressão produzida pelo peso das rochas que se encontram acima desse nível. Assim, a pressão no nível de compensação é dada pela mesma fórmula usada para calcular a pressão de um fluido. Esse modelo exige, por exemplo, que as montanhas tenham *raízes* de rochas continentais que penetram no manto mais denso (Fig. 14-35). Considere uma montanha de altura $H = 6,0 \text{ km}$ em um continente de espessura $T = 32 \text{ km}$. As rochas continentais têm uma massa específica $2,9 \text{ g/cm}^3$ e o manto que fica abaixo destas rochas tem uma massa específica de $3,3 \text{ g/cm}^3$. Calcule a profundidade D da raiz. (Sugestão: Iguale as pressões nos pontos a e b ; a profundidade y do nível de compensação se cancela.)

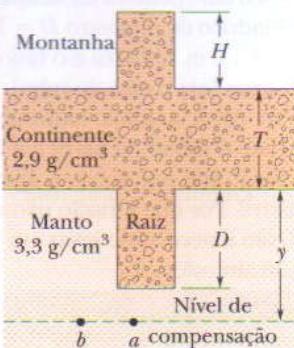


FIG. 14-35 Problema 21.

••22 O tanque em forma de L mostrado na Fig. 14-36 está cheio d’água e é aberto na parte de cima. Se $d = 5,0 \text{ m}$, qual é a força exercida pela água (a) na face A e (b) na face B?

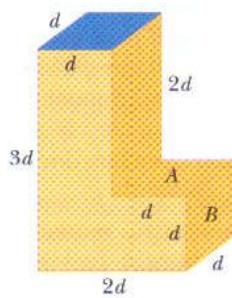


FIG. 14-36

Problema 22.

••23 Um grande aquário de 5,00 m de altura está cheio de água doce até uma altura de 2,00 m. Uma das paredes do aquário é feita de plástico e tem 8,00 m de largura. De quanto aumenta a força exercida sobre esta parede se a altura da água é aumentada para 4,00 m?

••24 Na Fig. 14-37 a água atinge uma altura $D = 35,0 \text{ m}$ atrás da face vertical de uma represa com $W = 314 \text{ m}$ de largura. Determine (a) a força horizontal a que está submetida a represa por causa da pressão manométrica da água e (b) o torque produzido por essa força em relação a uma reta que passa por O e é paralela à face plana da represa. (c) Determine o braço de alavanca deste torque.

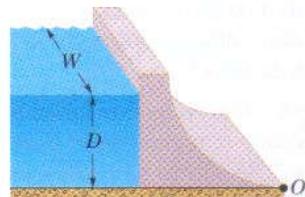


FIG. 14-37 Problema 24.

seção 14-5 Medindo a Pressão

•25 A coluna de um barômetro de mercúrio (como o da Fig. 14-5a) tem uma altura $h = 740,35 \text{ mm}$. A temperatura é $-5,0^\circ\text{C}$, na qual a massa específica do mercúrio é $\rho = 1,3608 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$. A aceleração de queda livre no local onde se encontra o barômetro é $g = 9,7835 \text{ m/s}^2$. Qual é a pressão atmosférica medida pelo barômetro em pascal e em torr (que é uma unidade muito usada para as leituras dos barômetros)?

•26 Para sugar limonada, com uma massa específica de 1000 kg/m^3 , usando um canudo para fazer o líquido subir 4,0 cm, que pressão manométrica mínima (em atmosferas) deve ser produzida pelos pulmões?

•27 Qual seria a altura da atmosfera se a massa específica do ar (a) fosse uniforme e (b) diminuisse linearmente até zero com a altura? Suponha que ao nível do mar a pressão do ar é 1,0 atm e a massa específica do ar é $1,3 \text{ kg/m}^3$.

seção 14-6 O Princípio de Pascal

•28 Um êmbolo com uma seção reta a é usado em uma prensa hidráulica para exercer uma pequena força de módulo f sobre um líquido que está em contato, através de um tubo de ligação, com um êmbolo maior de seção reta A (Fig. 14-38). (a) Qual é o módulo F da força que deve ser aplicada ao êmbolo maior para que o sistema fique em equilíbrio? (b) Se os diâmetros dos êmbolos são $3,80 \text{ cm}$ e $53,0 \text{ cm}$, qual é o módulo da força que deve ser aplicada ao êmbolo menor para equilibrar uma força de $20,0 \text{ kN}$ aplicada ao êmbolo maior?

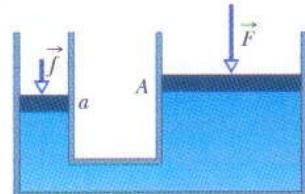


FIG. 14-38

Problema 28.

••29 Na Fig. 14-39, uma mola de constante elástica $3,00 \times 10^4 \text{ N/m}$ liga uma viga rígida ao êmbolo de saída de um macaco hidráulico. Um recipiente vazio de massa desprezível está sobre o êmbolo de entrada. O êmbolo de entrada tem uma área A_e e o êmbolo de saída tem uma área $18,0A_e$. Inicialmente a mola está relaxada. Quantos quilogramas de areia devem ser despejados (lentamente) no recipiente para que a mola sofra uma compressão de $5,00 \text{ cm}$?

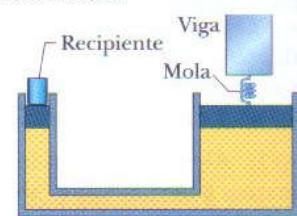


FIG. 14-39 Problema 29.

seção 14-7 O Princípio de Arquimedes

•30 Na Fig. 14-40, um cubo de aresta $L = 0,600 \text{ m}$ e 450 kg de massa é suspenso por uma corda em um tanque aberto que con-

tém um líquido de massa específica 1030 kg/m^3 . Determine (a) o módulo da força total exercida sobre a face superior do cubo pelo líquido e pela atmosfera, supondo que a pressão atmosférica é de 1,00 atm, (b) o módulo da força total exercida sobre a face inferior do cubo e (c) a tensão da corda. (d) Calcule o módulo da força de empuxo a que o cubo está submetido usando o princípio de Arquimedes. Que relação existe entre todas essas grandezas?

•31 Uma âncora de ferro de massa específica 7870 kg/m^3 parece ser 200 N mais leve na água que no ar. (a) Qual é o volume da âncora? (b) Quanto ela pesa no ar?

•32 Um barco que flutua em água doce desloca um volume de água que pesa 35,6 kN. (a) Qual é o peso da água que este barco desloca quando flutua em água salgada de massa específica $1,10 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$? (b) Qual é a diferença entre o volume de água doce e o volume de água salgada deslocados?

•33 Três crianças, todas pesando 356 N, fazem uma jangada com toras de madeira de 0,30 m de diâmetro e 1,80 m de comprimento. Quantas toras são necessárias para mantê-las flutuando em água doce? Suponha que a massa específica da madeira é 800 kg/m^3 .

•34 Um objeto de 5,00 kg é liberado a partir do repouso quando está totalmente imerso em um líquido. O líquido deslocado pelo objeto tem uma massa de 3,00 kg. Que distância e em que sentido o objeto se move em 0,200 s, supondo que se desloca livremente e que a força de arrasto exercida pelo líquido é desprezível?

•35 Um bloco de madeira flutua em água doce com dois terços do volume V submersos e em óleo com $0,90V$ submersos. Determine a massa específica (a) da madeira e (b) do óleo.

•36 Um flutuador tem a forma de um cilindro reto, com 0,500 m de altura e $4,00 \text{ m}^2$ de área das bases; sua massa específica é 0,400 vezes a massa específica da água doce. Inicialmente o flutuador é mantido totalmente imerso em água doce, com a face superior na superfície da água. Em seguida é liberado e sobe gradualmente até começar a flutuar. Qual é o trabalho realizado pelo empuxo sobre o flutuador durante a subida?

•37 Uma esfera oca de raio interno 8,0 cm e raio externo 9,0 cm flutua com metade do volume submerso em um líquido de massa específica 800 kg/m^3 . (a) Qual é a massa da esfera? (b) Calcule a massa específica do material de que é feita a esfera.

•38 Jacarés traiçoeiros. Os jacarés costumam esperar pela presa flutuando com apenas o alto da cabeça exposto, para não serem vistos. Um meio de que dispõem para afundar mais ou menos é controlar o tamanho dos pulmões. Outro é engolir pedras (*gastrólitos*), que passam a residir no estômago. A Fig. 14-41 mostra um modelo muito simplificado de jacaré, com uma massa de 130 kg, que flutua com a cabeça parcialmente exposta. O alto da cabeça tem uma área de $0,20 \text{ m}^2$. Se o jacaré engolir pedras com uma massa total de 1,0% da massa do corpo (um valor típico), de quanto afundará?

•39 Que fração do volume de um *iceberg* (massa específica 917 kg/m^3) é visível se o *iceberg* flutua (a) no mar (água salgada, massa específica 1024 kg/m^3) e (b) em um rio (água doce, massa

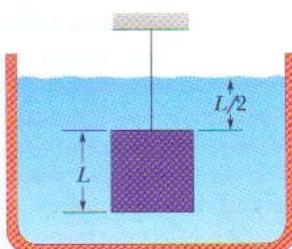


FIG. 14-40 Problema 30.

específica 1000 kg/m^3)? (Quando a água congela para formar gelo, o sal é deixado de lado. Assim, a água que resulta do degelo de um *iceberg* pode ser usada para beber.)

•40 Uma pequena esfera totalmente imersa em um líquido é liberada a partir do repouso, e sua energia cinética é medida depois que se desloca 4,0 cm no líquido. A Fig. 14-42 mostra os resultados depois de muitos líquidos terem sido usados: a energia cinética K é plotada no gráfico em função da massa específica do líquido, ρ_{liq} , e a escala do eixo vertical é definida por $K_s = 1,60 \text{ J}$. Quais são (a) a massa específica e (b) o volume da bola?

•41 Uma esfera de ferro oca flutua quase totalmente submersa em água. O diâmetro externo é 60,0 cm e a massa específica do ferro é $7,87 \text{ g/cm}^3$. Determine o diâmetro interno.

•42 Na Fig. 14-43a, um bloco retangular é gradualmente empurrado para dentro de um líquido. O bloco tem uma altura d ; a área das faces superior e inferior é $A = 5,67 \text{ cm}^2$. A Fig. 14-43b mostra o peso aparente P_{ap} do bloco em função da profundidade h da face inferior. A escala do eixo vertical é definida por $P_s = 0,20 \text{ N}$. Qual é a massa específica do líquido?

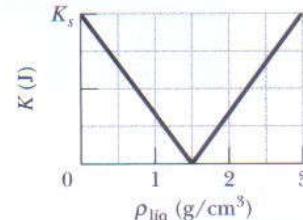


FIG. 14-42 Problema 40.

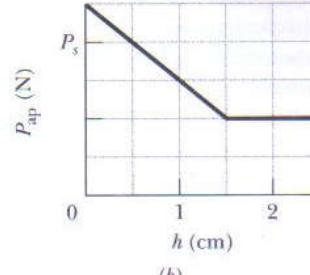
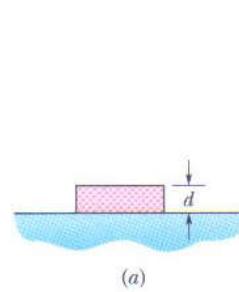


FIG. 14-43 Problema 42.

•43 Uma peça de ferro contendo um certo número de cavidades pesa 6000 N no ar e 4000 N na água. Qual é o volume total de cavidades? A massa específica do ferro é $7,87 \text{ g/cm}^3$.

•44 Deixa-se cair uma pequena bola a partir do repouso em uma profundidade de 0,600 m abaixo da superfície em uma piscina com água. Se a massa específica da bola é 0,300 vezes a da água e se a força de arrasto que a água exerce sobre a bola é desprezível, que altura acima da superfície da água a bola atinge ao emergir? (Despreze a transferência de energia para as ondas e respingos produzidos pela bola ao emergir.)

•45 O volume de ar no compartimento de passageiros de um automóvel de 1800 kg é $5,00 \text{ m}^3$. O volume do motor e das rodas dianteiras é $0,750 \text{ m}^3$ e o volume das rodas traseiras, tanque de gasolina e porta-malas é $0,800 \text{ m}^3$; a água não pode penetrar nessas duas regiões. O carro cai em um lago. (a) A princípio, não entra água no compartimento de passageiros. Que volume do carro, em metros cúbicos, fica abaixo da superfície da água com o carro flutuando (Fig. 14-44)? (b) Quando a água penetra lentamente, o carro afunda. Quantos metros cúbicos de água estão dentro do carro quando ele desaparece abaixo da superfície da água? (O carro, com uma carga pesada no porta-malas, permanece na horizontal.)

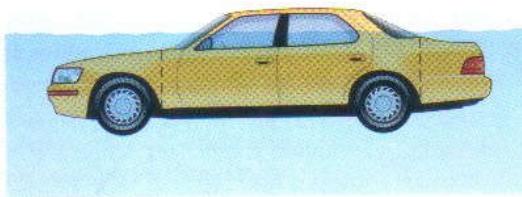


FIG. 14-44 Problema 45.

••46 Um bloco de madeira tem uma massa de 3,67 kg e uma massa específica de 600 kg/m^3 . Ele deve ser carregado de chumbo ($1,14 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$) para flutuar na água com 0,900 de seu volume submerso. Que massa de chumbo é necessária se o chumbo for colocado (a) no alto do bloco e (b) na base do bloco?

••47 Quando os paleontólogos encontram um fóssil de dinossauro razoavelmente completo podem determinar a massa e o peso do dinossauro vivo usando um modelo em escala esculpido em plástico e baseado nas dimensões dos ossos do fóssil. A escala do modelo é de 1 para 20, ou seja, ele tem $1/20$ do comprimento real, as áreas são $(1/20)^2$ das áreas reais e os volumes são $(1/20)^3$ dos volumes reais. Primeiro, pendura-se o modelo em um dos braços de uma balança e colocam-se pesos no outro braço até que o equilíbrio seja estabelecido. Em seguida, o modelo é totalmente imerso em água e removem-se pesos do outro braço até que o equilíbrio seja restabelecido (Fig. 14-45). Para um modelo de um certo fóssil de *T. rex*, 637,76 g tiveram que ser removidos para restabelecer o equilíbrio. Qual era o volume (a) do modelo e (b) do *T. rex* original? (c) Se a massa específica do *T. rex* era aproximadamente igual à da água, qual era a sua massa?

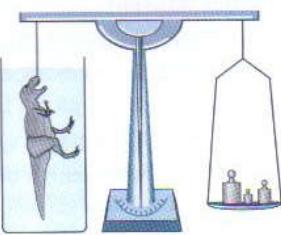


FIG. 14-45 Problema 47.

••48 A Fig. 14-46 mostra uma bola de ferro suspensa por uma corda de massa desprezível presa em um cilindro que flutua, parcialmente submerso, com as bases paralelas à superfície da água. O cilindro tem uma altura de 6,00 cm, uma área das bases de $12,0 \text{ cm}^2$, uma massa específica de $0,30 \text{ g/cm}^3$ e 2,00 cm de sua altura estão acima da superfície da água. Qual é o raio da bola de ferro?

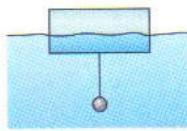


FIG. 14-46

Problema 48.

seção 14-9 A Equação de Continuidade

•49 Uma mangueira de jardim com diâmetro interno de 1,9 cm está ligada a um borrifador (estacionário) que consiste apenas em um recipiente com 24 furos de 0,13 cm de diâmetro. Se a água circula na mangueira com uma velocidade de 0,91 m/s, com que velocidade deixa os furos do borrifador?

•50 Dois riachos se unem para formar um rio. Um dos riachos tem uma largura de 8,2 m, uma profundidade de 3,4 m e a velocidade da água é 2,3 m/s. O outro riacho tem 6,8 m de largura, 3,2 m de profundidade e a velocidade da água é 2,6 m/s. Se o rio tem uma largura de 10,5 m e a velocidade da água é 2,9 m/s, qual é a profundidade do rio?

•51 *Efeito canal.* A Fig. 14-47 mostra uma canal onde se encontra uma barcaça ancorada com $d = 30 \text{ m}$ de largura e $b = 12 \text{ m}$ de calado. O canal tem uma largura $D = 55 \text{ m}$, uma profundidade $H = 14 \text{ m}$ e nele circula água com uma velocidade $v_i = 1,5 \text{ m/s}$. Suponha que a vazão em torno da barcaça é uniforme. Quando a

água passa pela proa da barcaça sofre uma queda brusca de nível conhecida como efeito canal. Se a queda é de $h = 0,80 \text{ m}$, qual é a velocidade da água ao passar ao lado da barcaça (a) pelo plano vertical indicado pela reta tracejada a e (b) pelo plano vertical indicado pela reta tracejada b ? A erosão causada pelo aumento da velocidade é um problema que preocupa os engenheiros hidráulicos.

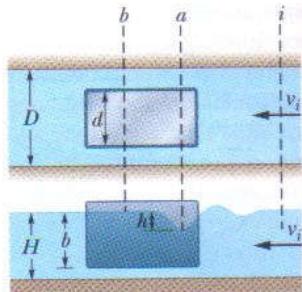


FIG. 14-47 Problema 51.

•52 A Fig. 14-48 mostra dois segmentos de uma antiga tubulação que atravessa uma colina; as distâncias são $d_A = d_B = 30 \text{ m}$ e $D = 110 \text{ m}$. O raio do cano do lado de fora da colina é 2,00 cm; o raio do cano no interior da colina, porém, não é mais conhecido. Para determiná-lo os engenheiros hidráulicos verificaram inicialmente que a velocidade da água nos segmentos à esquerda e à direita da colina era 2,50 m/s. Em seguida, introduziram um corante na água no ponto A e observaram que levava 88,8 s para chegar ao ponto B . Qual é o raio médio do cano no interior da colina?

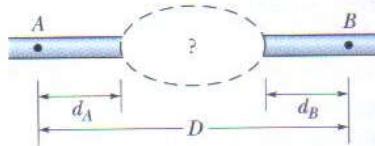


FIG. 14-48 Problema 52.

••53 A água de um porão inundado é bombeada com uma velocidade de 5,0 m/s através de uma mangueira com 1,0 cm de raio. A mangueira passa por uma janela 3,0 m acima do nível da água. Qual é a potência da bomba?

••54 A água que sai de um cano de 1,9 cm (diâmetro interno) passa por três canos de 1,3 cm. (a) Se as vazões nos três canos menores são 26, 19 e 11 L/min, qual é a vazão no tubo de 1,9 cm? (b) Qual é a razão entre a velocidade da água no cano de 1,9 cm e a velocidade no cano em que a vazão é 26 L/min?

seção 14-10 A Equação de Bernoulli

•55 A água se move com uma velocidade de 5,0 m/s em um cano com uma seção reta de $4,0 \text{ cm}^2$. A água desce gradualmente 10 m enquanto a seção reta aumenta para $8,0 \text{ cm}^2$. (a) Qual é a velocidade da água depois da descida? (b) Se a pressão antes da descida é $1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$, qual é a pressão depois da subida?

•56 A entrada da tubulação da Fig. 14-49 tem uma seção reta de $0,74 \text{ m}^2$ e a velocidade da água é 0,40 m/s. Na saída, a uma distância $D = 180 \text{ m}$ abaixo da entrada, a seção reta é menor que a da entrada e a velocidade da água é 9,5 m/s. Qual é a diferença de pressão entre a entrada e a saída?

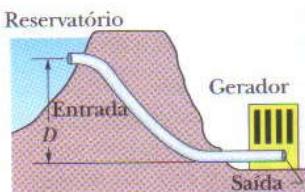


FIG. 14-49 Problema 56.

•57 Um cano com um diâmetro interno de 2,5 cm transporta água para o porão de uma casa a uma velocidade de 0,90 m/s com uma pressão de 170 kPa. Se o cano se estreita para 1,2 cm e sobe para o segundo piso, 7,6 m acima do ponto de entrada, quais são (a) a velocidade e (b) a pressão da água no segundo piso?

•58 Os torpedos são às vezes testados em tubos horizontais por onde escoa água, da mesma forma como os aviões são testados em túneis de vento. Considere um tubo circular com um diâme-

tro interno de 25,0 cm e um torpedo alinhado com o eixo maior do tubo. O torpedo tem 5,00 cm de diâmetro e deve ser testado com a água passando por ele a 2,50 m/s. (a) Com que velocidade a água deve passar na parte do tubo que não está obstruída pelo torpedo? (b) Qual é a diferença de pressão entre a partes obstruída e a parte não obstruída do tubo?

••59 Um tanque cilíndrico de grande diâmetro está cheio de água até uma profundidade $D = 0,30$ m. Um furo de seção reta $A = 6,5 \text{ cm}^2$ no fundo do tanque permite a drenagem da água. (a) Qual é a velocidade de escoamento da água, em metros cúbicos por segundo? (b) A que distância abaixo do fundo do tanque a seção reta do jorro é igual a metade da área do furo?

••60 Dois tanques, 1 e 2, ambos com uma grande abertura no alto, contêm líquidos diferentes. Um pequeno furo é feito no lado de cada tanque à mesma distância h abaixo da superfície do líquido, mas o furo do tanque 1 tem metade da seção reta do furo do tanque 2. (a) Qual é a razão ρ_1/ρ_2 entre as massas específicas dos líquidos se a vazão mássica é a mesma para os dois furos? (b) Qual é a razão R_{V1}/R_{V2} entre as vazões dos dois tanques? (c) Em um certo instante, o líquido do tanque 1 está 12,0 cm acima do furo. A que altura acima do furo o líquido do tanque 2 deve estar nesse instante para que os tanques tenham que ter vazões iguais?

••61 Qual o trabalho realizado pela pressão para fazer passar $1,4 \text{ m}^3$ de água por um cano com um diâmetro interno de 13 mm se a diferença de pressão entre as extremidades do cano é 1,0 atm?

••62 Na Fig. 14-50, água doce atravessa um cano horizontal e sai para a atmosfera com uma velocidade $v_1 = 15 \text{ m/s}$. Os diâmetros dos segmentos esquerdo e direito do cano são 5,0 cm e 3,0 cm. (a) Que volume de água escoa para a atmosfera em um período de 10 min? Quais são (b) a velocidade v_2 e (c) a pressão manométrica no segmento esquerdo do tubo?

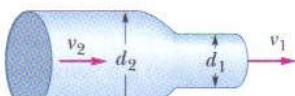


FIG. 14-50 Problema 62.

••63 Na Fig. 14-51, a água doce atrás de uma represa tem uma profundidade $D = 15$ m. Um cano horizontal de 4,0 cm de diâmetro atravessa a represa a uma profundidade $d = 6,0$ m. Uma tampa fecha a abertura do cano. (a) Determine o módulo da força de atrito entre a tampa e a parede do tubo. (b) A tampa é retirada. Qual é o volume de água que sai do cano em 3,0 h?

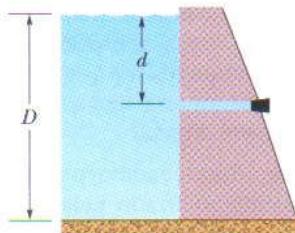


FIG. 14-51 Problema 63.

••64 Água doce escoa horizontalmente do segmento 1 de uma tubulação, com uma seção reta A_1 , para o segmento 2, com uma seção reta A_2 . A Fig. 14-52 mostra um gráfico da diferença de pressão $p_2 - p_1$ em função do inverso do quadrado A_1^{-2} da área que seria esperada para uma vazão de certo valor se o escoamento fosse laminar em todas as circunstâncias. A escala do eixo vertical é definida por $\Delta p_s = 300 \text{ kN/m}^2$. Nas condições da figura, quais são os valores (a) de A_2 e (b) da vazão?

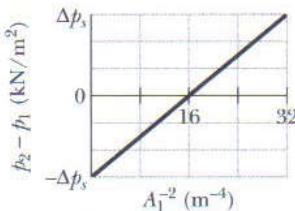


FIG. 14-52 Problema 64.

••65 A Fig. 14-53 mostra um jorro d'água saindo por um furo a uma distância $h = 10$ cm da superfície de tanque que contém

$H = 40$ cm de água. (a) A que distância x a água atinge o solo? (b) A que profundidade deve ser feito um segundo furo para que o valor de x seja o mesmo? (c) A que profundidade deve ser feito um furo para maximizar o valor de x ?

••66 Na Fig. 14-54 a água escoa em regime laminar no segmento esquerdo de uma tubulação (raio $r_1 = 2,00R$), atravessa o segmento seção central (raio R) e atravessa o segmento direito (raio $r_3 = 3,00R$). A velocidade da água no segmento central é 0,500 m/s. Qual é o trabalho total realizado sobre $0,400 \text{ m}^3$ de água quando ela passa do segmento esquerdo para o segmento direito?

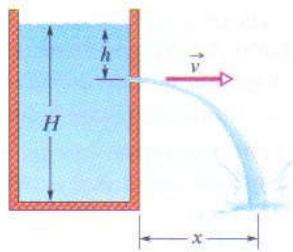


FIG. 14-53 Problema 65.

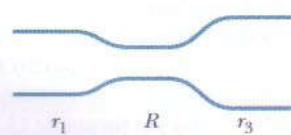


FIG. 14-54 Problema 66.

••67 Um medidor venturi é usado para medir a velocidade de um fluido em um cano. O medidor é ligado entre dois segmentos do cano (Fig. 14-55); a seção reta A na entrada e na saída do medidor é igual à seção reta do cano. Entre a entrada e a saída do medidor o fluido escoa com velocidade V e depois passa com velocidade v por uma "garganta" estreita de seção reta a . Um manômetro liga a parte mais larga do medidor à parte mais estreita. A variação da velocidade do fluido é acompanhada por uma variação Δp da pressão do fluido, que produz uma diferença h na altura do líquido nos dois lados do manômetro. (A diferença Δp corresponde à pressão na garganta menos a pressão no cano.) (a) Aplicando a equação de Bernoulli e a equação de continuidade aos pontos 1 e 2 na Fig. 14-55, mostre que

$$V = \sqrt{\frac{2a^2\Delta p}{\rho(a^2 - A^2)}},$$

onde ρ é a massa específica do fluido. (b) Suponha que o fluido é água doce, que a seção reta é 64 cm^2 no cano e 32 cm^2 na garganta e que a pressão é 55 kPa no cano e 41 kPa na garganta. Qual é a vazão de água em metros cúbicos por segundo?

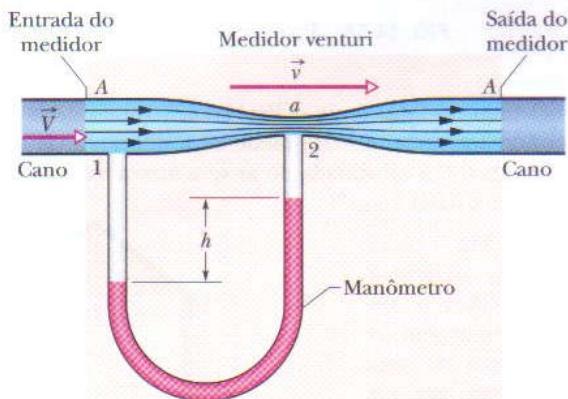


FIG. 14-55 Problemas 67 e 68.

••68 Considere o medidor venturi do Problema 67 e da Fig. 14-51 sem o manômetro. Suponha que $A = 5a$ e que a pressão p_1 no ponto A é 2,0 atm. Calcule o valor (a) da velocidade V no ponto A e (b) da velocidade v no ponto a para que a pressão p_2 no ponto

a seja zero. (c) Calcule a vazão correspondente se o diâmetro no ponto *A* é 5,0 cm. O fenômeno que ocorre em *a* quando p_2 cai para perto de zero é conhecido como cavitação; a água evapora para formar pequenas bolhas.

••69 Um líquido de massa específica 900 kg/m^3 escoa em um tubo horizontal com seção reta de $1,90 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ na região *A* e uma seção reta de $9,50 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ na região *B*. A diferença de pressão entre as duas regiões é $7,20 \times 10^3 \text{ Pa}$. Quais são (a) a vazão e (b) a vazão mássica?

••70 O tubo de Pitot (Fig. 14-56) é usado para medir a velocidade do ar nos aviões. Ele é formado por um tubo externo com pequenos furos *B* (quatro são mostrados na figura) que permitem a entrada de ar no tubo; este tubo está ligado a um dos lados de um tubo em forma de U. O outro lado do tubo em forma de U está ligado ao furo *A* na frente do medidor, que aponta no sentido do movimento do avião. Em *A* o ar fica estagnado, de modo que $v_A = 0$. Em *B*, porém, a velocidade do ar é presumivelmente igual à velocidade v do ar em relação ao avião. (a) Use a equação de Bernoulli para mostrar que

$$v = \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho_{\text{ar}}}},$$

onde ρ é a massa específica do líquido contido no tubo em U e h é a diferença entre os níveis do líquido no tubo. (b) Suponha que o tubo contém álcool e que a diferença de nível h é 26,0 cm. Qual é a velocidade do avião em relação ao ar? A massa específica do ar é $1,03 \text{ kg/m}^3$ e a do álcool é 810 kg/m^3 .

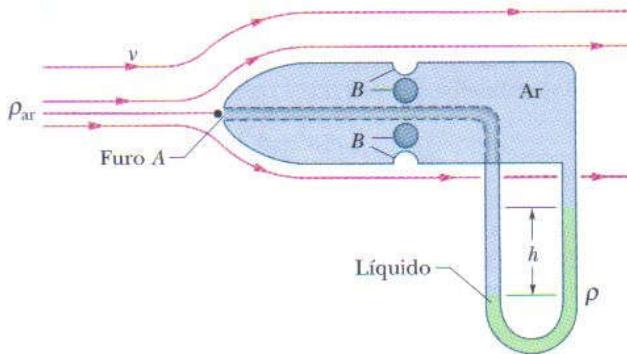


FIG. 14-56 Problemas 70 e 71.

••71 O tubo de Pitot (veja o Problema 70) de um avião que está voando a grande altitude mede uma diferença de pressão de 180 Pa. Qual é a velocidade do ar se a massa específica do ar nessa altitude é $0,031 \text{ kg/m}^3$?

••72 A Fig. 14-57 mostra um diagrama muito simplificado do sistema de drenagem de água da chuva de uma casa. A chuva que cai no telhado inclinado escorre para as calhas da borda do telhado e desce por canos verticais (apenas um é mostrado na figura) para um cano principal *M* abaixo do

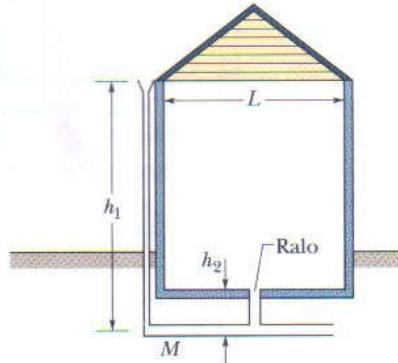


FIG. 14-57 Problema 72.

porão, que leva a água para um cano ainda maior, situado no subsolo. Na Fig. 14-57 um ralo no porão também está ligado ao cano *M*. Suponha que as seguintes condições são verdadeiras:

1. os canos verticais têm uma altura $h_1 = 11 \text{ m}$,
2. o ralo do porão fica a uma altura $h_2 = 1,2 \text{ m}$ do cano *M*,
3. o cano *M* tem um raio de 3,0 cm,
4. a casa tem $L = 60 \text{ m}$ de fachada e $P = 30 \text{ m}$ de profundidade,
5. toda a água que cai no telhado passa pelo cano *M*,
6. a velocidade inicial da água nos canos verticais é desprezível,
7. a velocidade do vento é desprezível (a chuva cai verticalmente).

Para que índice de precipitação, em centímetros por hora, a água do cano *M* chega à altura do ralo, ameaçando inundar o porão?

Problemas Adicionais

73 Uma bola de vidro com 2,00 cm de raio repousa no fundo de um copo de leite. A massa específica do leite é $1,03 \text{ g/cm}^3$, e o módulo da força normal que o fundo do copo exerce sobre a bola é $9,48 \times 10^{-2} \text{ N}$. Qual é a massa da bola?

74 Quando tossimos, o ar é expelido em alta velocidade pela traquéia e brônquios superiores e remove o excesso de muco que está prejudicando a respiração. Esta alta velocidade é produzida da seguinte forma: depois que inspiramos uma grande quantidade de ar, a glote (abertura estreita da laringe) se fecha, os pulmões se contraem, aumentando a pressão do ar, a traquéia e os brônquios superiores se estreitam e a glote se abre bruscamente, deixando escapar o ar. Suponha que, durante a expulsão, a vazão seja $7,0 \times 10^{-3} \text{ m/s}$. Que múltiplo da velocidade do som ($v_s = 343 \text{ m/s}$) é a velocidade do ar na traquéia se o diâmetro da traquéia (a) permanece com o valor normal de 14 mm e (b) diminui para 5,2 mm?

75 A Fig. 14-32 mostra um tubo em U modificado: o lado direito é mais curto do que o esquerdo. A extremidade do lado direito está $d = 10,0 \text{ cm}$ acima da bancada do laboratório. O raio do tubo é 1,50 cm. Despeja-se água (lentamente) no lado esquerdo até que comece a transbordar do lado direito. Em seguida, um líquido de massa específica $0,80 \text{ g/cm}^3$ é despejado lentamente no lado esquerdo até que sua altura nesse lado seja 8,0 cm (o líquido não se mistura com a água). Que quantidade de água transborda do lado direito?

76 Surpreendido por uma avalanche, um esquiador é totalmente soterrado pela neve, cuja massa específica é 96 kg/m^3 . Suponha que a massa específica média do esquiador, com seus trajes e equipamentos, seja de 1020 kg/m^3 . Que fração da força gravitacional que age sobre o esquiador é compensada pelo empuxo da neve?

77 A Fig. 14-58 mostra um sifão, que é um tubo usado para transferir líquidos de um recipiente para outro. O tubo ABC deve estar inicialmente cheio, mas se esta condição é satisfeita o líquido escapa pelo tubo até que a superfície do líquido no recipiente esteja no mesmo nível que a extremidade A do tubo. O líquido tem uma massa específica de 1000 kg/m^3 e viscosidade desprezível. As distâncias mostradas na figura são $h_1 = 25 \text{ cm}$, $d = 12 \text{ cm}$ e $h_2 = 40 \text{ cm}$.

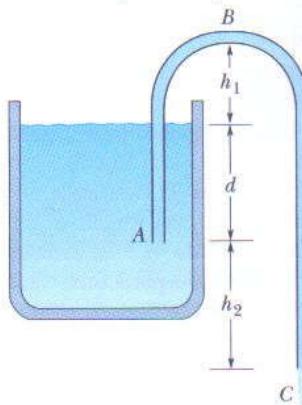


FIG. 14-58 Problema 77.

(a) Com que velocidade o líquido sai do tubo no ponto C? (b) Se a pressão atmosférica é $1,0 \times 10^5$ Pa, qual é a pressão do líquido em B, o ponto mais alto do tubo? (c) Teoricamente, até que altura máxima h_1 esse sifão pode fazer a água subir? ~~_____~~

78 Suponha que seu corpo tenha uma massa específica uniforme 0,95 vez a da água. (a) Se você flutua em uma piscina, que fração do volume de seu corpo está acima da superfície da água?

Areia movediça é o fluido produzido quando a água se mistura com a areia, separando os grãos e eliminando o atrito que os impede de se mover uns em relação aos outros. Poços de areia movediça podem se formar quando a água das montanhas escorre para os vales e se infiltra em bolsões de areia. (b) Se você está flutuando em um poço profundo de areia movediça com uma massa específica 1,6 vez a da água, que fração do seu corpo fica acima da superfície da areia movediça? (c) Em particular, você ainda é capaz de respirar? ~~_____~~

79 Se uma bolha de água mineral com gás sobe com uma aceleração de $0,225 \text{ m/s}^2$ e tem um raio de 0,500 mm, qual é a sua massa? Suponha que a força de arrasto que o líquido exerce sobre a bolha seja desprezível. ~~_____~~

80 Qual é a aceleração de um balão de ar quente se a razão entre a massa específica do ar fora do balão e a massa específica do ar dentro do balão é 1,39? Despreze a massa do balão e da cesta.

81 Uma lata tem um volume total de 1200 cm^3 e uma massa de 130 g. Quantos gramas de bolinhas de chumbo com uma massa específica de $11,4 \text{ g/cm}^3$ ela pode carregar sem afundar na água?

82 Um tubo em U aberto nas duas extremidades contém mercúrio. Quando 11,2 cm de água são despejados no lado direito do tubo, de quanto o mercúrio sobe no lado esquerdo em relação ao nível inicial?

83 Um objeto está pendurado em uma balança de mola. A balança indica 30 N no ar, 20 N quando o objeto está imerso em água e 24 N quando o objeto está imerso em outro líquido de massa específica desconhecida. Qual é a massa específica deste outro líquido?

84 Em um experimento, um bloco retangular de altura h é colocado para flutuar em quatro líquidos separados. No primeiro líquido, que é a água, ele flutua totalmente submerso. Nos líquidos A, B e C ele flutua com alturas $h/2$, $2h/3$ e $h/4$ acima da superfície do líquido, respectivamente. Qual é a *densidade* (massa específica em relação à da água) do líquido (a) A, (b) B e (c) C?

85 Cerca de um terço do corpo de uma pessoa que flutua no Mar Morto está acima da linha da água. Supondo que a massa específica do corpo humano é $0,98 \text{ g/cm}^3$, determine a massa específica da água do Mar Morto. (Por que ela é tão maior do que $1,0 \text{ g/cm}^3$?)

comprimento de onda e a freqüência da onda sonora. A onda sonora também provoca uma variação Δp da pressão do meio em relação à pressão de equilíbrio:

$$\Delta p = \Delta p_m \operatorname{sen}(kx - \omega t), \quad (17-14)$$

onde a **amplitude da pressão** é

$$\Delta p_m = (\nu \rho \omega) s_m. \quad (17-15)$$

Interferência A interferência de duas ondas sonoras de mesmo comprimento de onda que passam pelo mesmo ponto depende da diferença de fase ϕ entre as ondas nesse ponto. Se as ondas sonoras foram emitidas em fase e se propagam aproximadamente na mesma direção, ϕ é dado por

$$\phi = \frac{\Delta L}{\lambda} 2\pi, \quad (17-21)$$

onde ΔL é a **diferença de percurso** (a diferença entre as distâncias percorridas pelas ondas para chegar ao ponto comum). A interferência totalmente construtiva acontece quando ϕ é um múltiplo inteiro de 2π ,

$$\phi = m(2\pi), \quad \text{para } m = 0, 1, 2, \dots \quad (17-22)$$

ou seja, quando a razão entre ΔL e o comprimento de onda λ é dada por

$$\frac{\Delta L}{\lambda} = 0, 1, 2, \dots \quad (17-23)$$

A interferência totalmente destrutiva acontece quando ϕ é um múltiplo ímpar de π ,

$$\phi = (2m + 1)\pi, \quad \text{para } m = 0, 1, 2, \dots \quad (17-24)$$

ou seja, quando a razão entre ΔL e o comprimento de onda λ é dada por

$$\frac{\Delta L}{\lambda} = 0.5; 1.5; 2.5; \dots \quad (17-25)$$

Intensidade Sonora A **intensidade** I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície:

$$I = \frac{P}{A}, \quad (17-26)$$

onde P é a taxa de transferência de energia (potência) da onda sonora e A é a área da superfície que intercepta o som. A intensidade I está relacionada à amplitude s_m do deslocamento da onda sonora através da equação

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 s_m^2. \quad (17-27)$$

A intensidade a uma distância r da fonte pontual que emite ondas sonoras de potência P_s é

$$I = \frac{P_s}{4\pi r^2}. \quad (17-28)$$

Nível Sonoro em Decibéis O nível sonoro β em decibéis (dB) é definido como

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0}, \quad (17-29)$$

onde $I_0 (= 10^{-12} \text{ W/m}^2)$ é um nível de intensidade de referência com o qual todas as intensidades são comparadas. Para cada aumento de um fator de 10 na intensidade, 10 dB são somados ao nível sonoro.

Ondas Estacionárias em Tubos Ondas sonoras estacionárias podem ser produzidas em tubos. No caso de um tubo aberto nas duas extremidades as freqüências de ressonância são dadas por

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (17-39)$$

onde v é a velocidade do som no ar do interior do tubo. No caso de um tubo fechado em uma das extremidades e aberto na outra, as freqüências de ressonância são dadas por

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{4L}, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (17-41)$$

Batimentos Os **batimentos** acontecem quando duas ondas de freqüências ligeiramente diferentes, f_1 e f_2 , são detectadas simultaneamente. A freqüência de batimento é dada por

$$f_{\text{bat}} = f_1 - f_2. \quad (17-46)$$

O Efeito Doppler O **efeito Doppler** é a mudança da freqüência observada de uma onda quando a fonte ou o detector está se movendo em relação ao meio onde a onda está se propagando (como, por exemplo, o ar). No caso do som, a freqüência observada f' está relacionada à freqüência f da fonte através da equação

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S} \quad (\text{equação geral do efeito Doppler}), \quad (17-47)$$

onde v_D é a velocidade do detector em relação ao meio, v_S é a velocidade da fonte e v é a velocidade do som no meio. Os sinais são escolhidos para que f' tenda a ser *maior* para os movimentos de aproximação e *menor* para os movimentos de afastamento.

Ondas de Choque Se a velocidade de uma fonte em relação ao meio é maior que a velocidade do som no meio, a equação para o efeito Doppler deixa de ser válida. Nesse caso, surgem ondas de choque. O semi-ângulo θ do cone de Mach é dado por

$$\operatorname{sen} \theta = \frac{v}{v_S} \quad (\text{ângulo do cone de Mach}). \quad (17-57)$$

PERGUNTAS

- 1 Na Fig. 17-25, três tubos longos (A , B e C) estão cheios de gases submetidos a pressões diferentes. A razão entre o módulo de elasticidade volumétrico e a massa específica está indicada para cada gás em termos de um valor de referência B_0/ρ_0 . Cada tubo possui um êm-

bolo na extremidade esquerda que pode produzir um pulso no tubo (como na Fig. 16-2). Os três pulsos são produzidos simultaneamente. Ordene os tubos de acordo com o tempo de chegada dos pulsos na extremidade direita aberta dos tubos, em ordem crescente.

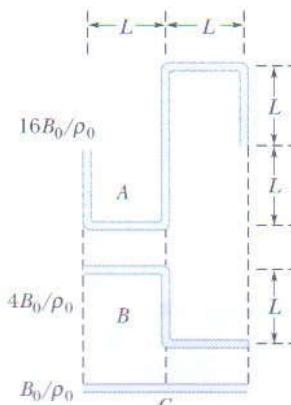


FIG. 17-25 Pergunta 1.

- 2** Na Fig. 17-26, duas fontes pontuais S_1 e S_2 , que estão em fase, emitem ondas sonoras iguais de comprimento de onda 2,0 m. Em termos de comprimentos de onda, qual é a diferença de fase entre as ondas que chegam ao ponto P se (a) $L_1 = 38$ m e $L_2 = 34$ m, (b) $L_1 = 39$ m e $L_2 = 36$ m? (c) Supondo que a distância entre as fontes é muito menor que L_1 e L_2 , que tipo de interferência ocorre em P nas situações (a) e (b)?

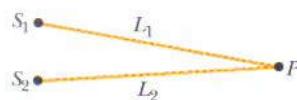


FIG. 17-26 Pergunta 2.

- 3** Em um primeiro experimento, uma onda sonora senoidal é produzida em um tubo longo de ar, transportando energia a uma taxa média $P_{\text{méd},1}$. Em um segundo experimento, duas ondas sonoras iguais à primeira são produzidas simultaneamente no tubo com uma diferença de fase ϕ de 0; 0,2 ou 0,5 comprimento de onda. (a) Sem fazer cálculos no papel, ordene esses valores de ϕ de acordo com a taxa média com a qual as ondas transportam energia, em ordem decrescente. (b) Para o primeiro valor de ϕ , qual é a taxa média em termos de $P_{\text{méd},1}$?

- 4** O tubo A tem comprimento L e uma extremidade aberta. O tubo B tem comprimento $2L$ e as duas extremidades abertas. Quais harmônicos do tubo B têm freqüências iguais às freqüências de ressonância do tubo A ?

- 5** Quatro das seis freqüências dos harmônicos abaixo de 1000 Hz de um certo tubo são 300, 600, 750 e 900 Hz. Quais são as duas freqüências que estão faltando nesta lista?

- 6** O sexto harmônico é gerado em um tubo. (a) Quantas extremidades abertas o tubo possui (ele possui pelo menos uma)? (b) No ponto médio do tubo existe um nó, um antinó ou um estado intermediário?

- 7** Na Fig. 17-27, o tubo A é colocado para oscilar no terceiro harmônico por uma pequena fonte sonora interna. O som emitido na extremidade direita faz ressoar quatro tubos próximos, cada um com apenas uma extremidade aberta (eles não estão desenhados em escala). O tubo B oscila no modo fundamental, o

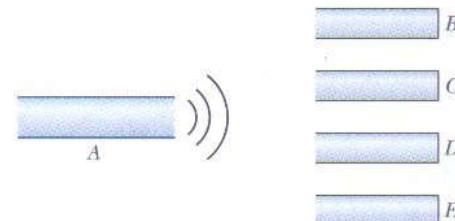


FIG. 17-27 Pergunta 7.

tubo C no segundo harmônico, o tubo D no terceiro harmônico e o tubo E no quarto harmônico. Sem executar cálculos, ordene os cinco tubos de acordo com seus comprimentos, em ordem decrescente. (Sugestão: Desenhe as ondas estacionárias em escala e, em seguida, desenhe os tubos em escala.)

- 8** A Fig. 17-28 mostra uma corda esticada de comprimento L e tubos a , b , c e d de comprimentos L , $2L$, $L/2$ e $L/2$, respectivamente. A tensão da corda é ajustada até que a velocidade das ondas na corda seja igual à velocidade do som no ar. O modo fundamental de oscilação é então produzido na corda. Em que tubo o som gerado pela corda produz ressonância e qual é o modo de oscilação correspondente?

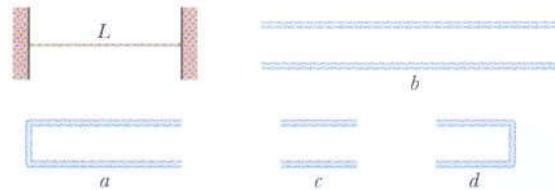


FIG. 17-28 Pergunta 8.

- 9** A Fig. 17-29 mostra uma fonte S em movimento que emite sons com uma certa freqüência e quatro detectores de som estacionários. Ordene os detectores de acordo com a freqüência do som que detectam, da maior para a menor.

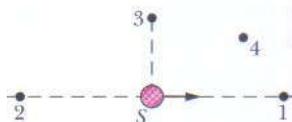


FIG. 17-29 Pergunta 9.

- 10** Uma pessoa fica na borda de três carrosséis, um de cada vez, segurando uma fonte que emite isotropicamente sons de uma certa freqüência. A freqüência que outra pessoa ouve a uma certa distância dos carrosséis varia com o tempo por causa da rotação dos carrosséis. A variação da freqüência para os três carrosséis está plotada em função do tempo da Fig. 17-30. Ordene as curvas de acordo (a) com a velocidade linear v da fonte sonora, (b) com a velocidade angular ω do carrossel e (c) com o raio r do carrossel, em ordem decrescente.

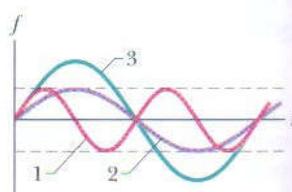


FIG. 17-30 Pergunta 10.

PROBLEMAS

• - •• O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Use os seguintes valores nos problemas, a menos que sejam fornecidos outros valores:

velocidade do som no ar: 343 m/s
massa específica do ar: 1,21 kg/m³

e

seção 17-3 A Velocidade do Som

- 1** Quando a porta da Capela do Mausoléu, em Hamilton, Escócia, é fechada, o último eco ouvido por uma pessoa que está atrás da porta, no interior da capela, ocorre 15 s depois. (a)

Se esse eco se devesse a uma única reflexão em uma parede em frente à porta, a que distância da porta estaria essa parede? (b) Como a parede, na verdade, está a 25,7 m de distância, a quantas reflexões (para a frente e para trás) corresponde o último eco?

•2 Uma coluna de soldados, marchando a 120 passos por minuto, segue o ritmo da batida de um tambor que é tocado na frente da coluna. Observa-se que os últimos soldados da coluna estão levantando o pé esquerdo quando os primeiros soldados estão levantando o pé direito. Qual é o comprimento aproximado da coluna?

•3 Dois espectadores de uma partida de futebol, no estádio de Montjuic, vêm e depois ouvem uma bola ser chutada no campo. O tempo de retardo para o espectador A é 0,23 s e para o espectador B é 0,12 s. As linhas de visada dos dois espectadores até o jogador que chutou a bola fazem um ângulo de 90°. A que distância do jogador estão (a) o espectador A e (b) o espectador B? (c) Qual é a distância entre os dois espectadores?

•4 Qual é o módulo de elasticidade volumétrico do oxigênio se 32 g de oxigênio ocupam 22,4 L e a velocidade do som no oxigênio é 317 m/s?

•5 Uma pedra é jogada em um poço. O som produzido pela pedra ao se chocar com a água é ouvido 3,00 s depois. Qual é a profundidade do poço?

•6 *O efeito chocolate quente.* Bata com uma colher na parte interna de uma xícara com água quente e preste atenção na freqüência f_i do som. Acrescente uma colher de sopa de chocolate em pó ou café solúvel e repita o experimento enquanto mexe o líquido. A princípio, a nova freqüência, f_s , é menor, porque pequenas bolhas de ar liberadas pelo pó diminuem o valor do módulo de elasticidade volumétrico da água. Quando as bolhas chegam à superfície da água e desaparecem a freqüência volta ao valor original. Enquanto o efeito dura as bolhas não modificam apreciavelmente a massa específica nem o volume do líquido; limitam-se a alterar o valor de dV/dp , ou seja, a taxa de variação do volume do líquido causada pela variação de pressão associada às ondas sonoras. Se $f_s/f_i = 0,333$, qual é o valor da razão $(dV/dp)_s/(dV/dp)_i$?

•7 Os terremotos geram ondas sonoras no interior da Terra. Ao contrário de um gás, a Terra pode transmitir tanto ondas sonoras transversais (S) como ondas sonoras longitudinais (P). A velocidade das ondas S é da ordem de 4,5 km/s e a das ondas P é da ordem de 8,0 km/s. Um sismógrafo registra as ondas P e S de um terremoto. As primeiras ondas P chegam 3,0 min antes das primeiras ondas S. Se as ondas se propagaram em linha reta, a que distância ocorreu o terremoto?

•8 Um homem bate com um martelo na ponta de uma barra delgada. A velocidade do som na barra é 15 vezes maior que a velocidade do som no ar. Uma mulher na outra extremidade, com o ouvido próximo da barra, escuta o som da pancada duas vezes, com um intervalo de 0,12 s; um som vem da barra e outro vem do ar em torno da barra. Se a velocidade do som no ar é 343 m/s, qual é o comprimento da barra?

seção 17-4 Ondas Sonoras Progressivas

•9 Um aparelho de ultra-som, com uma freqüência de 4,50 MHz, é usado para examinar tumores em tecidos moles. (a) Qual é o comprimento de onda no ar das ondas sonoras produzidas pelo aparelho? (b) Se a velocidade do som no tecido é 1500 m/s, qual é o comprimento de onda no tecido das ondas produzidas pelo aparelho?

•10 A pressão de uma onda sonora progressiva é dada pela equação

$$\Delta p = (1,5 \text{ Pa}) \operatorname{sen} \pi[(0,900 \text{ m}^{-1})x - (315 \text{ s}^{-1})t].$$

Determine (a) a amplitude, (b) a freqüência, (c) o comprimento de onda e (d) a velocidade da onda.

•11 Se a forma de uma onda sonora que se propaga no ar é

$$s(x, t) = (6,0 \text{ nm}) \operatorname{cos}(kx + (3000 \text{ rad/s})t + \phi),$$

quanto tempo uma molécula de ar no caminho onda leva para se mover entre os deslocamentos $s = 2,0 \text{ nm}$ e $s = -2,0 \text{ nm}$?

•12 Ilusão causada pela água.

Uma das informações usadas pelo cérebro humano para determinar a localização de uma fonte sonora é a diferença Δt entre o instante em que um som é detectado pelo ouvido mais próximo da fonte e o instante em que é detectado pelo outro ouvido. Suponha que a fonte está suficientemente distante para que as frentes de onda sejam praticamente planas e seja D a distância entre os ouvidos. (a) Se a direção da fonte faz um ângulo θ com uma perpendicular ao plano do rosto (Fig. 17-31), qual é o valor de Δt em termos de D e da velocidade v do som no ar? (b) Se uma pessoa está debaixo d'água e a fonte está exatamente à direita, qual é o valor de Δt em termos de D e da velocidade v_a do som na água? (c) Com base na diferença Δt , o cérebro calcula erroneamente que a direção da fonte faz um ângulo $\theta \neq 90^\circ$ com uma perpendicular ao plano do rosto. Determine o valor de θ para água doce a 20 °C.

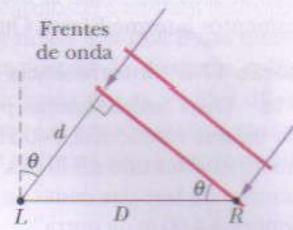


FIG. 17-31 Problema 12.

•13 O som de bater de palmas em um anfiteatro produz ondas que são espalhadas por degraus de largura $w = 0,75 \text{ m}$ (Fig. 17-32). O som retorna ao palco como uma série regular de pulsos, que soa como uma nota musical. (a) Supondo que todos os raios na Fig. 17-32 são horizontais, determine a freqüência com a qual os pulsos chegam ao palco (ou seja, a freqüência da nota ouvida por alguém que se encontra no palco). (b) Se a largura w dos degraus fosse menor, a freqüência seria maior ou menor?

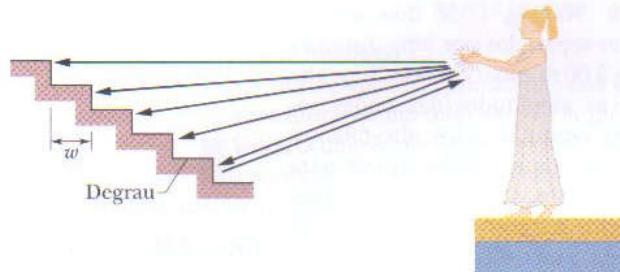


FIG. 17-32 Problema 13.

•14 A Fig. 17-33 mostra a leitura de um monitor de pressão montado em um ponto da trajetória de uma onda sonora de uma só freqüência, propagando-se a 343 m/s em um ar de massa específica uniforme 1,21 kg/m³. A escala do eixo vertical é definida por $\Delta p_s = 4,0 \text{ mPa}$. Se a função deslocamento da onda é $s(x, t) = s_m \operatorname{cos}(kx - \omega t)$,

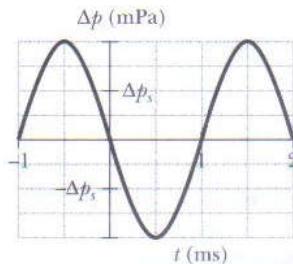


FIG. 17-33 Problema 14.

determine (a) s_m , (b) k e (c) ω . Quando o ar é resfriado, a massa específica aumenta para $1,35 \text{ kg/m}^3$ e a velocidade da onda sonora diminui para 320 m/s . A fonte emite uma onda com a mesma freqüência e a mesma pressão que antes. Qual é o novo valor (d) de s_m , (e) de k e (f) de ω ?

••15 Uma onda sonora da forma $s = s_m \cos(kx - \omega t + \phi)$ se propaga a 343 m/s no ar em um tubo horizontal longo. Em um certo instante a molécula A do ar, situada no ponto $x = 2,000 \text{ m}$, está com o deslocamento máximo positivo de $6,00 \text{ nm}$ e a molécula B , situada em $x = 2,070 \text{ m}$, está com um deslocamento positivo de $2,00 \text{ nm}$. Todas as moléculas entre A e B estão com deslocamentos intermediários. Qual é a freqüência da onda?

seção 17-5 Interferência

•16 Duas ondas sonoras, produzidas por duas fontes diferentes de mesma freqüência, 540 Hz , se propagam na mesma direção e no mesmo sentido a 330 m/s . As fontes estão em fase. Qual é a diferença de fase das ondas em um ponto que está a $4,40 \text{ m}$ de uma fonte e a $4,00 \text{ m}$ da outra?

••17 A Fig. 17-34 mostra duas fontes sonoras pontuais isotrópicas, S_1 e S_2 . As fontes, que emitem ondas em fase, de comprimento de onda $\lambda = 0,50 \text{ m}$, estão separadas por uma distância $D = 1,75 \text{ m}$. Se um detector é deslocado ao longo de uma grande circunferência cujo raio é o ponto médio entre as fontes, em quantos pontos as ondas chegam ao detector (a) exatamente em fase e (b) com fases opostas?

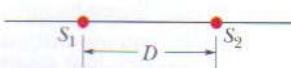


FIG. 17-34 Problemas 17 e 107.

••18 Na Fig. 17-35, um som com comprimento de onda de $40,0 \text{ cm}$ se propaga para a direita um tubo que possui uma bifurcação. Ao chegar à bifurcação a onda se divide em duas partes. Uma parte se propaga em um tubo em forma de semicircunferência e a outra se propaga em um tubo retilíneo. As duas ondas se combinam mais adiante, interferindo mutuamente antes de chegarem a um detector. Qual é o menor raio r da semicircunferência para o qual a intensidade medida pelo detector é mínima?



FIG. 17-35 Problema 18.

••19 Na Fig. 17-36 dois alto-falantes separados por uma distância $d_1 = 2,00 \text{ m}$ estão em fase. Suponha que as amplitudes das ondas sonoras emitidas pelos alto-falantes são aproximadamente iguais para um ouvinte que se encontra diretamente à frente do alto-falante da direita, a uma distância $d_2 = 3,75 \text{ m}$. Considere toda a faixa de audição de um ser humano normal, 20 Hz a 20 kHz . (a) Qual é a menor freqüência, $f_{\min,1}$, para a qual a intensidade do som é mínima (interferência destrutiva) na posição do ouvinte? Por que número a freqüência $f_{\min,1}$ deve ser multiplicada para se obter (b) a segunda menor freqüência, $f_{\min,2}$, para a qual a intensidade do som é mínima, e (c) a terceira menor freqüência, $f_{\min,3}$, para a qual a intensidade do som é mínima? (d) Qual é a menor freqüência, $f_{\max,1}$, para a qual a intensidade do som é máxima (interferência construtiva) na posição do ouvinte? Por qual número $f_{\max,1}$ deve ser multiplicada para se obter (e) a segunda menor freqüência, $f_{\max,2}$, para a qual a intensidade do som é máxima, e (f) a terceira menor freqüência, $f_{\max,3}$, para a qual a intensidade do som é máxima?

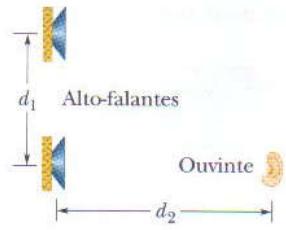


FIG. 17-36 Problema 19.

••20 Na Fig. 17-37 as ondas sonoras A e B , de mesmo comprimento de onda λ , estão inicialmente em fase e se propagam para a direita, como indicam os dois raios. A onda A é refletida por quatro superfícies, mas volta a se propagar na direção e no sentido original. O mesmo acontece com a onda B , mas depois de ser refletida por apenas duas superfícies. Suponha que a distância L da figura é um múltiplo do comprimento de onda λ : $L = q\lambda$. Qual é (a) o menor e (b) o segundo menor valor de q para o qual A e B estão em oposição de fase após as reflexões?

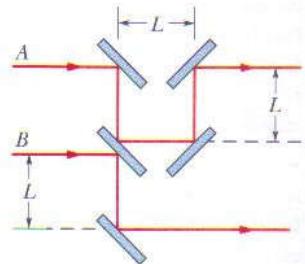


FIG. 17-37 Problema 20.

••21 Dois alto-falantes estão separados por uma distância de $3,35 \text{ m}$ em um palco ao ar livre. Um ouvinte está a $18,3 \text{ m}$ de um dos alto-falantes e a $19,5 \text{ m}$ do outro. Durante o teste do som um gerador de sinais alimenta os dois alto-falantes em fase com um sinal de mesma amplitude e freqüência. A freqüência transmitida varia ao longo de toda a faixa audível (20 Hz a 20 kHz). (a) Qual é menor freqüência, $f_{\min,1}$, para a qual a intensidade do sinal é mínima (interferência destrutiva) na posição do ouvinte? Por que número $f_{\min,1}$ deve ser multiplicada para se obter (b) a segunda menor freqüência, $f_{\min,2}$, para a qual o sinal é mínimo, e (c) a terceira menor freqüência, $f_{\min,3}$, para a qual o sinal é mínimo? (d) Qual é menor freqüência, $f_{\max,1}$, para a qual o sinal é máximo (interferência construtiva) na posição do ouvinte? Por que número $f_{\max,1}$ deve ser multiplicada para se obter (e) a segunda menor freqüência, $f_{\max,2}$, para a qual o sinal é máximo, e (f) a terceira menor freqüência, $f_{\max,3}$, para a qual o sinal é máximo?

••22 A Fig. 17-38 mostra quatro fontes sonoras pontuais isotrópicas uniformemente espaçadas ao longo de um eixo x . As fontes emitem sons de mesmo comprimento de onda λ e mesma amplitude s_m , e estão em fase. Um ponto P é mostrado sobre o eixo x . Suponha que quando as ondas se propagam até P a amplitude se mantém praticamente constante. Que múltiplo de s_m corresponde à amplitude da onda resultante em P se a distância d mostrada na figura é (a) $\lambda/4$, (b) $\lambda/2$ e (c) λ ?

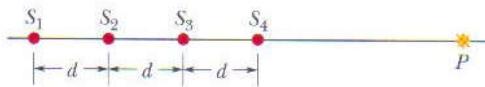


FIG. 17-38 Problema 22.

••23 A Fig. 17-39 mostra duas fontes pontuais S_1 e S_2 que emitem sons de comprimento de onda $\lambda = 2,00 \text{ m}$. As emissões são isotrópicas e em fase; a distância entre as fontes é $d = 16,0 \text{ m}$. Em qualquer ponto P sobre o eixo x as ondas produzidas por S_1 e S_2 interferem. Se P está muito distante ($x = \infty$), qual é (a) a diferença de fase entre as ondas produzidas por S_1 e S_2 e (b) o tipo de interferência que elas produzem? Suponha que o ponto P é deslocado ao longo do eixo x em direção a S_1 . (c) A diferença de fase entre as ondas aumenta ou diminui? A que distância x da origem as ondas possuem uma diferença de fase de (d) $0,50\lambda$, (e) $1,00\lambda$ e (f) $1,50\lambda$?

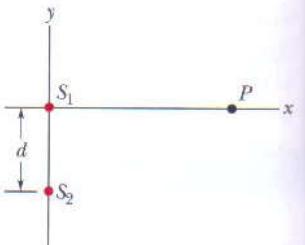


FIG. 17-39 Problema 23.

seção 17-6 Intensidade e Nível Sonoro

•24 Uma fonte pontual de 1,0 W emite ondas sonoras isotropicamente. Supondo que a energia da onda é conservada, determine a intensidade (a) a 1,0 m e (b) a 2,5 m da fonte.

•25 Uma fonte emite ondas sonoras isotropicamente. A intensidade das ondas a 2,50 m da fonte é $1,91 \times 10^{-4}$ W/m². Supondo que a energia da onda é conservada, determine a potência da fonte.

•26 A diferença entre os níveis sonoros de dois sons é 1,00 dB. Qual é a razão entre a intensidade maior e a intensidade menor?

•27 Uma onda sonora com uma freqüência de 300 Hz tem uma intensidade de $1,00 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Qual é a amplitude das oscilações do ar causadas por esta onda?

•28 A fonte de uma onda sonora tem uma potência de $1,00 \mu\text{W}$. Se ela é uma fonte pontual, (a) qual é a intensidade a 3,00 m de distância e (b) qual é o nível sonoro em decibéis a essa distância?

•29 O nível sonoro de uma certa fonte sonora é aumentado em 30,0 dB. Por que fator é multiplicada (a) a intensidade do som e (b) a amplitude da pressão do ar?

•30 Uma discussão começa acalorada, com um nível sonoro de 70 dB, mas o nível cai para 50 dB quando os interlocutores se acalmam. Supondo que a freqüência do som é 500 Hz, determine a intensidade (a) inicial e (b) final e a amplitude (c) inicial e (d) final das ondas sonoras.

•31 O macho da rã-touro, *Rana catesbeiana*, é conhecido pelos ruidosos gritos de acasalamento. O som não é emitido pela boca da rã, mas pelos tímpanos. Surpreendentemente, o mecanismo nada tem a ver com o papo inflado da rã. Se o som emitido possui uma freqüência de 260 Hz e um nível sonoro de 85 dB (perto dos tímpanos), qual é a amplitude da oscilação dos tímpanos? A massa específica do ar é $1,21 \text{ kg/m}^3$.

•32 Os ouvidos de aproximadamente um terço das pessoas com audição normal emitem continuamente um som de baixa intensidade através do canal auditivo. Uma pessoa com essa *emissão otoacústica espontânea* raramente tem consciência do som, exceto talvez em um ambiente extremamente silencioso, mas às vezes a emissão é suficientemente intensa para ser percebida por outra pessoa. Em uma observação, a onda sonora tinha uma freqüência de 1665 Hz e uma amplitude de pressão de $1,13 \times 10^{-3}$ Pa. Quais eram (a) a amplitude dos deslocamentos e (b) a intensidade da onda emitida pelo ouvido?

•33 Ao “estalar” uma junta você alarga bruscamente a cavidade da articulação, aumentando o volume disponível para o fluido sinovial em seu interior e causando o aparecimento súbito de uma bolha de ar no fluido. A produção súbita da bolha, chamada de “cavitação”, produz um pulso sonoro: o som do estalo. Suponha que o som é transmitido uniformemente em todas as direções e que passa completamente do interior da articulação para o exterior. Se o pulso tem um nível sonoro de 62 dB no seu ouvido, estime a taxa com a qual a energia é produzida pela cavitação.

•34 *Conversas em festas.* Quanto maior o número de pessoas presentes em uma festa mais você precisa levantar a voz para ser ouvido, por causa do *ruído de fundo* dos outros participantes. Entretanto, depois que você está gritando a plenos pulmões a única forma de se fazer ouvir é aproximar-se do interlocutor, invadindo seu “espaço pessoal”. Modele a situação substituindo a pessoa que está falando por uma fonte sonora isotrópica de potência

fixa P e o ouvinte por um ponto Q que absorve parte das ondas sonoras. Os pontos P e Q estão separados inicialmente por uma distância $r_i = 1,20 \text{ m}$. Se o ruído de fundo aumenta de $\Delta\beta = 5 \text{ dB}$, o nível do som na posição do ouvinte também deve aumentar. Qual é a nova distância r_f necessária para que a conversa possa prosseguir?

•35 Uma fonte pontual emite 30,0 W de som isotropicamente. Um pequeno microfone intercepta o som em uma área de $0,750 \text{ cm}^2$, a 200 m de distância da fonte. Calcule (a) a intensidade sonora nessa posição e (b) a potência interceptada pelo microfone.

•36 Duas fontes sonoras *A* e *B* na atmosfera emitem isotropicamente com potência constante. Os níveis sonoros β das emissões estão plotados na Fig. 17-40 em função da distância r das fontes. A escala do eixo vertical é definida por $\beta_1 = 85,0 \text{ dB}$ e $\beta_2 = 65,0 \text{ dB}$. Para $r = 10 \text{ m}$, determine (a) a razão entre a maior e a menor potência e (b) a diferença entre os níveis sonoros das emissões.

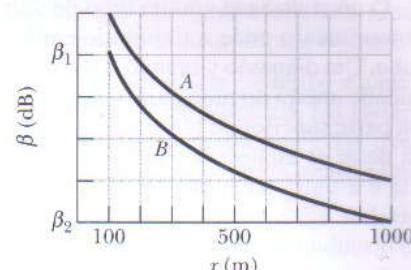


FIG. 17-40
Problema 36.

••37 Uma fonte produz uma onda sonora senoidal de freqüência angular 3000 rad/s e amplitude 12,0 nm em um tubo com ar. O raio interno do tubo é 2,00 cm. (a) Qual é a taxa média com a qual a energia (soma das energias cinética e potencial) é transportada para a extremidade oposta do tubo? (b) Se, ao mesmo tempo, uma onda igual se propaga em um tubo vizinho idêntico, qual é a taxa média total com a qual a energia é transportada pelas ondas para a extremidade oposta dos tubos? Se, em vez disso, essas duas ondas são produzidas simultaneamente no *mesmo* tubo, qual é a taxa média total com que a energia é transportada quando a diferença de fase entre as ondas é (c) 0, (d) $0,40\pi$ rad e (e) π rad?

seção 17-7 Fontes de Sons Musicais

•38 A crista do crânio de um dinossauro *Parasaurolophus* continha uma passagem nasal na forma de um tubo longo e arqueado aberto nas duas extremidades. O dinossauro pode ter usado a passagem para produzir sons no modo fundamental do tubo. (a) Se a passagem nasal de um certo fóssil de *Parasaurolophus* tem 2,0 m de comprimento, que freqüência era produzida? (b) Se esse dinossauro pudesse ser clonado (como em *Jurassic Park*), uma pessoa com uma capacidade auditiva na faixa de 60 Hz a 20 kHz poderia ouvir esse modo fundamental? O som seria de alta ou de baixa freqüência? Crânios fósseis com passagens nasais mais curtas são atribuídos a *Parasaurolophus* fêmeas. (c) Isso torna a freqüência fundamental da fêmea maior ou menor que a do macho?

•39 Uma corda de violino com 15,0 cm de comprimento e as duas extremidades fixas oscila no modo $n = 1$. A velocidade das ondas na corda é 250 m/s e a velocidade do som no ar é 348 m/s. Quais são (a) a freqüência e (b) o comprimento de onda da onda sonora emitida?

•40 Uma onda sonora que se propaga em um meio fluido é refletida em uma barreira, o que leva à formação de uma onda esta-

cionalária. A distância entre nós é 3,8 cm e a velocidade de propagação é 1500 m/s. Determine a freqüência da onda sonora.

•41 No tubo *A*, a razão entre a freqüência de um certo harmônico e a freqüência do harmônico precedente é 1,2. No tubo *B*, a razão entre a freqüência de um certo harmônico e a freqüência do harmônico precedente é 1,4. Quantas extremidades abertas existem (a) no tubo *A* e (b) no tubo *B*?

•42 O tubo de órgão *A*, com as duas extremidades abertas, tem uma freqüência fundamental de 300 Hz. O terceiro harmônico do tubo de órgão *B*, com uma extremidade aberta, tem a mesma freqüência que o segundo harmônico do tubo *A*. Qual é o comprimento (a) do tubo *A* e (b) do tubo *B*?

•43 (a) Determine a velocidade das ondas em uma corda de violino de massa 800 mg e comprimento 22,0 cm se a freqüência fundamental é 920 Hz. (b) Qual é a tensão da corda? Para o modo fundamental, qual é o comprimento de onda (c) das ondas na corda e (d) das ondas sonoras emitidas pela corda?

•44 O nível de água em um tubo de vidro vertical com 1,00 m de comprimento pode ser ajustado em qualquer posição dentro do tubo. Um diapasão vibrando a 686 Hz é mantido acima da extremidade aberta do tubo para gerar uma onda sonora estacionária na parte superior do tubo, onde existe ar. (Essa parte superior cheia de ar se comporta como um tubo com uma extremidade aberta e a outra fechada.) (a) Para quantas posições diferentes do nível de água o som do diapasão produz uma ressonância na parte do tubo cheia de ar? Quais são (b) a menor altura e (c) a segunda menor altura da água no tubo para as quais ocorre ressonância?

•45 Na Fig. 17-41, *S* é um pequeno alto-falante alimentado por um oscilador de áudio com uma freqüência que varia de 1000 Hz a 2000 Hz, e *D* é um tubo cilíndrico com 45,7 cm de comprimento e as duas extremidades abertas. A velocidade do som no ar do interior do tubo é 344 m/s. (a) Para quantas freqüências o som do alto-falante produz ressonância no tubo? Quais são (b) a menor e (c) a segunda menor freqüência de ressonância?

•46 Uma das freqüências harmônicas do tubo *A*, que possui as duas extremidades abertas, é 325 Hz. A freqüência harmônica seguinte é 390 Hz. (a) Qual é a freqüência harmônica que se segue à freqüência harmônica de 195 Hz? (b) Qual é o número desse harmônico?

Uma das freqüências harmônicas do tubo *B*, com apenas uma das extremidades abertas, é 1080 Hz. A freqüência harmônica seguinte é 1320 Hz. (c) Qual é a freqüência harmônica que se segue à freqüência harmônica de 600 Hz? (d) Qual é o número desse harmônico?

•47 Uma corda de violino de 30,0 cm de comprimento com uma massa específica linear de 0,650 g/m é colocada perto de um alto-falante alimentado por um oscilador de áudio de freqüência variável. Observa-se que a corda entra em oscilação apenas nas freqüências de 880 Hz e 1320 Hz, quando a freqüência do oscilador de áudio varia no intervalo de 500 a 1500 Hz. Qual é a tensão da corda?

•48 Um tubo com 1,20 m de comprimento é fechado em uma extremidade. Uma corda esticada é colocada perto da extremidade aberta. A corda tem 0,330 m de comprimento e 9,60 g de massa, está fixa nas duas extremidades e oscila no modo fundamental. Devido à ressonância, ela faz a coluna de ar no tubo os-

cilar na sua freqüência fundamental. Determine (a) a freqüência fundamental da coluna de ar e (b) a tensão da corda.

•49 Um poço com paredes verticais e água no fundo ressoa em 7,00 Hz e em nenhuma outra freqüência mais baixa. (A parte do poço cheia de ar se comporta como um tubo com uma extremidade fechada e outra aberta.) O ar no interior do poço tem uma massa específica de 1,10 kg/m³ e um módulo de elasticidade volumétrico de $1,33 \times 10^5$ Pa. A que profundidade está a superfície da água?

•50 O tubo *A*, que tem 1,20 m de comprimento e as duas extremidades abertas, oscila na terceira freqüência harmônica. Está cheio de ar, para o qual a velocidade do som é 343 m/s. O tubo *B*, com uma das extremidades fechada, oscila na segunda freqüência harmônica. A freqüência de oscilação de *B* coincide com a de *A*. Um eixo *x* coincide com o eixo do tubo *B*, com *x* = 0 na extremidade fechada. (a) Quantos nós existem no eixo *x*? Quais são (b) o menor e (c) o segundo menor valor da coordenada *x* desses nós? (d) Qual é a freqüência fundamental do tubo *B*?

seção 17-8 Batimentos

•51 A corda lá de um violino está esticada demais. São ouvidos 4,00 batimentos por segundo quando a corda é tocada junto com um diapasão que oscila exatamente na freqüência do lá de concerto (440 Hz). Qual é o período de oscilação da corda do violino?

•52 Um diapasão de freqüência desconhecida produz 3,00 batimentos com um segundo diapasão-padrão com freqüência de 384 Hz. A freqüência de batimento diminui quando um pequeno pedaço de cera é colocado em um dos braços do primeiro diapasão. Qual é a freqüência desse diapasão?

•53 Duas cordas de piano iguais têm uma freqüência fundamental de 600 Hz quando são submetidas a uma mesma tensão. Que aumento relativo da tensão de uma das cordas faz com que haja 6,0 batimentos por segundo quando as duas cordas oscilam simultaneamente?

•54 Cinco diapasões oscilam com freqüências próximas, mas diferentes. Quais são os números (a) máximo e (b) mínimo de freqüências de batimento diferentes que podem ser produzidas tocando os diapasões aos pares, dependendo da diferença entre as freqüências?

seção 17-9 O Efeito Doppler

•55 Um guarda rodoviário persegue um carro que excede o limite de velocidade em um trecho reto de uma rodovia; os dois carros estão a 160 km/h. A sirene do carro de polícia produz um som com uma freqüência de 500 Hz. Qual é o deslocamento Doppler da freqüência ouvida pelo motorista infrator?

•56 Uma ambulância cuja sirene emite um som com uma freqüência de 1600 Hz passa por um ciclista que está a 2,44 m/s. Depois de ser ultrapassado, o ciclista escuta uma freqüência de 1590 Hz. Qual é a velocidade da ambulância?

•57 Um apito de 540 Hz se move em uma circunferência com 60,0 cm de raio com uma velocidade angular de 15,0 rad/s. Quais são as freqüências (a) mais baixa e (b) mais alta escutadas por um ouvinte distante, em repouso em relação ao centro da circunferência?

•58 Um detector de movimento estacionário envia ondas sonoras de 0,150 MHz em direção a um caminhão que se aproxima com uma velocidade de 45,0 m/s. Qual é a freqüência das ondas refletidas de volta para o detector?

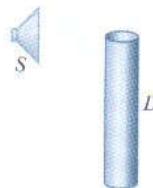


FIG. 17-41
Problema 45.

••59 Um alarme acústico contra roubo utiliza uma fonte que emite ondas com uma freqüência de 28,0 kHz. Qual é a freqüência de batimento entre as ondas da fonte e as ondas refletidas em um intruso que caminha com uma velocidade média de 0,950 m/s afastando-se em linha reta do alarme?

••60 Uma fonte sonora *A* e uma superfície refletora *B* se movem uma em direção à outra. Em relação ao ar, a velocidade da fonte *A* é 29,9 m/s, a velocidade da superfície *B* é 65,8 m/s e a velocidade do som é 329 m/s. A fonte emite ondas com uma freqüência de 1200 Hz no referencial da fonte. No referencial do refletor, quais são (a) a freqüência e (b) o comprimento de onda das ondas sonoras? No referencial da fonte, quais são (c) a freqüência e (d) o comprimento de onda das ondas sonoras refletidas de volta para a fonte?

••61 Na Fig. 17-42, um submarino francês e um submarino americano se movem um em direção ao outro durante manobras em águas paradas no Atlântico Norte. O submarino francês se move com velocidade $v_F = 50,0 \text{ km/h}$ e o submarino americano com velocidade $v_A = 70,0 \text{ km/h}$. O submarino francês envia um sinal de sonar (onda sonora na água) de $1,000 \times 10^3 \text{ Hz}$. As ondas de sonar se propagam a 5470 km/h. (a) Qual é a freqüência do sinal detectado pelo submarino americano? (b) Qual é a freqüência do eco do submarino americano detectado pelo submarino francês?



FIG. 17-42 Problema 61.

••62 Um detector estacionário mede a freqüência de uma fonte sonora que se aproxima em linha reta, passa pelo detector e se afasta, mantendo a velocidade constante. A freqüência emitida pela fonte é f . A freqüência detectada durante a aproximação é f'_{ap} e a freqüência detectada durante o afastamento é f'_{af} . Se $(f'_{\text{ap}} - f'_{\text{af}})/f = 0,500$, qual é a razão v_s/v entre a velocidade da fonte e a velocidade do som?

••63 Um morcego está voando em uma caverna, orientando-se através de pulsos ultra-sônicos. A freqüência dos sons emitidos pelo morcego é 39 000 Hz. O morcego se aproxima de uma parede plana da caverna com uma velocidade igual a 0,025 vez a velocidade do som no ar. Qual é a freqüência com que o morcego ouve os sons refletidos pela parede da caverna?

••64 A Fig. 17-43 mostra quatro tubos de 1,0 m ou 2,0 m de comprimento e com uma ou as duas extremidades abertas. O terceiro harmônico é produzido em cada tubo, e parte do som que escapa é captada pelo detector *D*, que se afasta dos tubos em linha reta. Em termos da velocidade do som v , que velocidade deve ter o detector para que a freqüência do som proveniente (a) do tubo 1, (b) do tubo 2, (c) do tubo 3 e (d) do tubo 4 seja igual à freqüência fundamental do tubo?



FIG. 17-43 Problema 64.

500,0 Hz. O ar está parado. (a) Que freqüência o tio ouve? (b) Que freqüência a menina ouve? (c) Um vento vindo do leste começa a soprar a 10,00 m/s. (c) Que freqüência o tio passa a ouvir? (d) Que freqüência a menina passa a ouvir?

••66 Dois trens viajam um em direção ao outro a 30,5 m/s em relação ao solo. Um dos trens faz soar um apito de 500 Hz. (a) Que freqüência é ouvida no outro trem se o ar está parado? (b) Que freqüência é ouvida no outro trem se o vento está soprando a 30,5 m/s no sentido contrário ao do trem que apitou? (c) Que freqüência é ouvida se o sentido do vento se inverte?

••67 Uma sirene de 2000 Hz e um funcionário da defesa civil estão em repouso em relação ao solo. Que freqüência o funcionário ouve se o vento está soprando a 12 m/s (a) da fonte para o funcionário e (b) do funcionário para a fonte?

seção 17-10 Velocidades Supersônicas, Ondas de Choque

••68 A onda de choque produzida pelo avião da Fig. 17-24 tinha um ângulo de aproximadamente 60° . O avião estava se movendo a 1350 km/h no momento em que a fotografia foi tirada. Qual era, aproximadamente, a velocidade do som na altitude do avião?

••69 Um avião a jato passa sobre um pedestre a uma altitude de 5000 m e a uma velocidade de Mach 1,5. (a) Determine o ângulo do cone de Mach (a velocidade do som é 331 m/s). (b) Quanto tempo após o avião ter passado diretamente acima do pedestre ele é atingido pela onda de choque?

••70 Um avião voa a 1,25 vez a velocidade do som. Seu estrondo sônico atinge um homem no solo 1,00 min depois de o avião ter passado exatamente por cima dele. Qual é a altitude do avião? Suponha que a velocidade do som é 330 m/s.

Problemas Adicionais

71 Na Fig. 17-44, um som de comprimento de onda 0,850 m é emitido isotropicamente por uma fonte pontual *S*. O raio de som 1 se propaga diretamente para o detector *D*, situado a uma distância $L = 10,0 \text{ m}$. O raio de som 2 chega a *D* após ser refletido em uma superfície plana. Essa reflexão ocorre sobre a mediatrix do segmento de reta *SD*, a uma distância d do raio 1. Suponha que a reflexão desloca a fase da onda sonora de $0,500\lambda$. Qual é o menor valor de d (diferente de zero) para o qual o som direto e o som refletido chegam a *D* (a) em oposição de fase e (b) em fase?

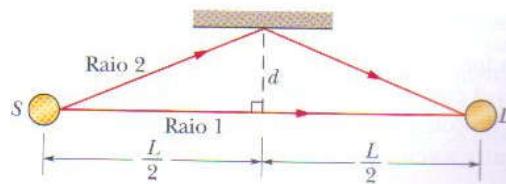


FIG. 17-44 Problema 71.

72 Um detector se aproxima em linha reta de uma fonte sonora estacionária, passa pela fonte e se afasta, mantendo a velocidade constante. A freqüência emitida pela fonte é f . A freqüência detectada durante a aproximação é f'_{ap} e a freqüência detectada durante o afastamento é f'_{af} . Se $(f'_{\text{ap}} - f'_{\text{af}})/f = 0,500$, qual é a razão v_D/v entre a velocidade do detector e a velocidade do som?

73 Duas ondas sonoras com uma amplitude de 12 nm e um comprimento de onda de 35 cm se propagam no mesmo sentido em um tubo longo, com uma diferença de fase de $\pi/3$ rad. Quais são (a) a amplitude e (b) o comprimento de onda da onda sonora que resulta da interferência das duas ondas? Se, em vez disso, as ondas sonoras se propagam em sentidos opostos no tubo, quais

são (c) a amplitude e (d) o comprimento de onda da onda resultante?

74 Uma onda sonora senoidal se propaga a 343 m/s no ar no sentido positivo de um eixo x . Em um certo instante, a molécula A do ar está em seu deslocamento máximo no sentido negativo do eixo, enquanto a molécula B do ar está em sua posição de equilíbrio. A distância entre as duas moléculas é 15,0 cm e as moléculas entre A e B possuem deslocamentos intermediários no sentido negativo do eixo. (a) Qual é a freqüência da onda sonora?

Em um arranjo semelhante, para uma onda sonora senoidal diferente, a molécula C do ar está em seu máximo deslocamento no sentido positivo do eixo, enquanto a molécula D do ar está em seu máximo deslocamento no sentido negativo. A distância entre essas moléculas é 15,0 cm e as moléculas entre C e D possuem deslocamentos intermediários. (b) Qual é a freqüência da onda sonora?

75 Na Fig. 17-45, as ondas sonoras A e B , de mesmo comprimento de onda λ , estão inicialmente em fase e se propagam para a direita, como indicam os dois raios. A onda A é refletida por quatro superfícies, mas volta a se propagar na direção e no sentido original. Que múltiplo do comprimento de onda λ é o menor valor da distância L da figura para o qual A e B estão em oposição de fase após as reflexões?

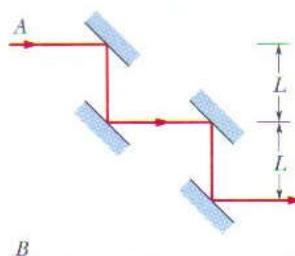


FIG. 17-45 Problema 75.

76 Um trompetista em um vagão de trem em movimento se aproxima de segundo trompetista ao lado dos trilhos enquanto ambos tocam uma nota de 440 Hz. As ondas sonoras ouvidas por um observador estacionário entre os dois trompetistas têm uma freqüência de batimento de 4,0 batimentos/s. Qual é a velocidade do vagão?

77 Uma sirene que emite um som com uma freqüência de 1000 Hz se afasta de você em direção a um rochedo com uma velocidade de 10 m/s. Considere a velocidade do som no ar como 330 m/s. (a) Qual é a freqüência do som que você escuta vindo diretamente da sirene? (b) Qual é a freqüência do som que você escuta refletido do rochedo? (c) Qual é a freqüência de batimento entre os dois sons? Ela é perceptível (menor que 20 Hz)?

78 Uma fonte sonora se move ao longo de um eixo x , entre os detectores A e B . O comprimento de onda do som detectado por A é 0,500 do comprimento do som detectado por B . Qual é a razão v_s/v entre a velocidade da fonte e a velocidade do som?

79 Um sistema de alto-falantes emite sons isotropicamente com uma freqüência de 2000 Hz e uma intensidade de 0,960 mW/m² a uma distância de 6,10 m. Suponha que não existem reflexões. (a) Qual é a intensidade a 30,0 m? A 6,10 m, quais são (b) a amplitude do deslocamento e (c) a amplitude de pressão do som?

80 Em um certo ponto, duas ondas produzem variações de pressão dadas por $\Delta p_1 = \Delta p_m \operatorname{sen} \omega t$ e $\Delta p_2 = \Delta p_m \operatorname{sen} (\omega t - \phi)$. Nesse ponto, qual é a razão $\Delta p_r/\Delta p_m$, onde Δp_r é a amplitude da pressão da onda resultante, se ϕ é igual a (a) 0, (b) $\pi/2$, (c) $\pi/3$ e (d) $\pi/4$?

81 A intensidade do som é 0,0080 W/m² a uma distância de 10 m de uma fonte sonora pontual isotrópica. (a) Qual é a potência da fonte? (b) Qual é a intensidade sonora a 5,0 m da fonte? (c) Qual é o nível sonoro a 10 m da fonte?

82 A massa específica média da crosta da Terra 10 km abaixo dos continentes é 2,7 g/cm³. A velocidade de ondas sísmicas a essa profundidade, calculada a partir do tempo de percurso das ondas produzida por terremotos distantes, é 5,4 km/s. Use essa informação para determinar o módulo de elasticidade volumétrico da crosta terrestre a essa profundidade. Para fins de comparação, o módulo de elasticidade volumétrico do aço é aproximadamente 16×10^{10} Pa.

83 Dois diapasões iguais oscilam a 440 Hz. Uma pessoa está situada em algum ponto da reta que liga os dois diapasões. Calcule a freqüência de batimento ouvida por essa pessoa se (a) ela estiver parada e os dois diapasões se moverem no mesmo sentido ao longo da reta a 3,00 m/s e (b) os diapasões estiverem parados e o ouvinte se mover ao longo da reta a 3,00 m/s.

84 É possível estimar a distância de um relâmpago contando o número de segundos que separam o clarão do trovão. Por que número inteiro é preciso dividir o número de segundos para obter a distância em quilômetros?

85 (a) Se duas ondas sonoras, uma no ar e uma na água doce, têm a mesma freqüência e a mesma intensidade, qual é a razão entre a amplitude da pressão da onda na água e a amplitude da pressão da onda no ar? Suponha que a água e o ar estão a 20°C. (Veja a Tabela 14-1.) (b) Se, em vez de terem a mesma intensidade, as ondas têm a mesma amplitude de pressão, qual é a razão entre as intensidades?

86 Encontre a razão (entre a maior e a menor) (a) das intensidades, (b) das amplitudes de pressão e (c) das amplitudes dos deslocamentos das partículas para dois sons cujos níveis sonoros diferem de 37 dB.

87 A Fig. 17-46 mostra um interferômetro acústico, usado para demonstrar a interferência de ondas sonoras. A fonte sonora F é um diafragma oscilante; D é um detector de ondas sonoras, como o ouvido ou um microfone; o tubo contém ar. O comprimento do tubo FBD pode variar, mas o tubo FAD é fixo. Em D , a onda sonora que se propaga no tubo FBD interfere com a que se propaga no tubo FAD . Em um experimento, a intensidade sonora no detector D possui um valor mínimo de 100 unidades para uma certa posição do braço móvel e aumenta continuamente até um valor máximo de 900 unidades quando o braço é deslocado de 1,65 cm. Determine (a) a freqüência do som emitido pela fonte e (b) a razão entre as amplitudes no ponto D da onda FAD e da onda FBD . (c) Como é possível que essas ondas tenham amplitudes diferentes, já que foram geradas pela mesma fonte?

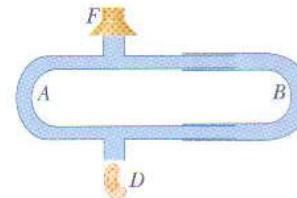


FIG. 17-46 Problema 87.

88 Uma bala é disparada com uma velocidade de 685 m/s. Determine o ângulo entre o cone de choque e a trajetória da bala.

89 O som produzido pelos cachalotes (Fig. 17-47a) lembra uma série de cliques. Na verdade, a baleia produz apenas um som na frente da cabeça para iniciar a série. Parte desse som passa para a água e se torna o primeiro clique da série. O restante do som se propaga para trás, atravessa o saco de espermacete (um depósito de gordura), é refletido no saco frontal (uma camada de ar) e passa novamente pelo saco de espermacete. Quando chega ao saco distal (outra camada de ar), na frente da cabeça, parte desse som escapa para a água para formar o segundo clique, enquanto o restante é refletido de volta para o saco de espermacete (e acaba formando outros cliques).

A Fig. 17-47b mostra o registro de uma série de cliques detectados por um hidrofone. O intervalo de tempo correspondente a 1 ms está indicado no gráfico. Supondo que a velocidade do som no saco de espermacete é 1372 m/s, determine o comprimento do saco de espermacete. Usando cálculos desse tipo, os cientistas marinhos estimam o comprimento de uma baleia a partir dos cliques que produz.

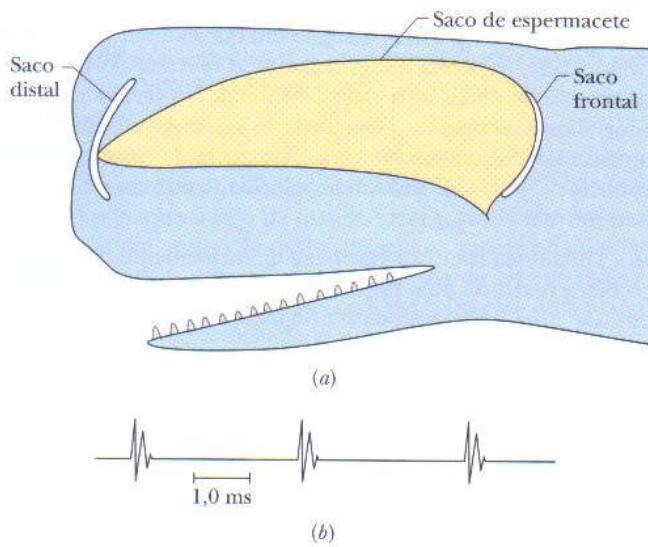


FIG. 17-47 Problema 89.

90 Uma onda longitudinal senoidal contínua é produzida em uma mola espiral muito longa por uma fonte presa à mola. A onda se propaga no sentido negativo de um eixo x ; a freqüência da fonte é 25 Hz; em qualquer instante, a distância entre pontos sucessivos de distensão máxima da mola é igual a 24 cm; o deslocamento longitudinal máximo de uma partícula da mola é 0,30 cm; a partícula situada em $x = 0$ possui deslocamento nulo no instante $t = 0$. Se a onda é escrita na forma $s(x, t) = s_m \cos(kx \pm \omega t)$, determine (a) s_m , (b) k , (c) ω , (d) a velocidade da onda e (e) o sinal que precede ω .

91 A uma distância de 10 km, uma corneta de 100 Hz, considerada uma fonte pontual isotrópica, mal pode ser ouvida. A que distância começa a causar dor?

92 A velocidade do som em um certo metal é v_m . Uma das extremidades de um tubo longo feito com esse metal, de comprimento L , recebe uma pancada. Uma pessoa na outra extremidade ouve dois sons, um associado à onda que se propaga na parede do tubo e o outro associado à onda que se propaga no ar do interior do tubo. (a) Se v é a velocidade do som no ar, qual é o intervalo de tempo Δt entre as chegadas dos dois sons ao ouvido da pessoa? (b) Se $\Delta t = 1,00$ s e o metal é o aço, qual é o comprimento L ?

93 Um tubo de 0,60 m de comprimento, fechado em uma extremidade, está cheio de um gás desconhecido. A freqüência do terceiro harmônico do tubo é 750 Hz. (a) Qual é a velocidade do som no gás desconhecido? (b) Qual é a freqüência fundamental do tubo quando está cheio do gás desconhecido?

94 Quatro ondas sonoras são produzidas no mesmo tubo cheio de ar, no mesmo sentido:

$$s_1(x, t) = (9,00 \text{ nm}) \cos(2\pi x - 700\pi t)$$

$$s_2(x, t) = (9,00 \text{ nm}) \cos(2\pi x - 700\pi t + 0,7\pi)$$

$$s_3(x, t) = (9,00 \text{ nm}) \cos(2\pi x - 700\pi t + \pi)$$

$$s_4(x, t) = (9,00 \text{ nm}) \cos(2\pi x - 700\pi t + 1,7\pi).$$

Qual é a amplitude da onda resultante? (Sugestão: Use um diagrama fasorial para simplificar o problema.)

95 Um segmento de reta AB liga duas fontes pontuais, separadas por uma distância de 5,00 m, que emitem ondas sonoras de 300 Hz de mesma amplitude e fases opostas. (a) Qual é a menor distância entre o ponto médio de AB e um ponto sobre AB no qual a interferência das ondas provoca a maior oscilação possível das moléculas de ar? Quais são (b) a segunda e (c) a terceira menor distância?

96 Uma fonte pontual que está parada em um eixo x emite uma onda sonora senoidal com uma freqüência de 686 Hz e uma velocidade de 343 m/s. A onda se propaga radialmente, fazendo as moléculas de ar oscilarem para perto e para longe da fonte. Defina uma frente de onda como uma linha que liga os pontos nos quais as moléculas de ar possuem o deslocamento máximo para fora na direção radial. Em qualquer instante, as frentes de onda são circunferências concêntricas com o centro na fonte. (a) Qual é a distância, ao longo do eixo x , entre frentes de onda vizinhas? A fonte passa a ser mover ao longo do eixo x com uma velocidade de 110 m/s. Qual é a distância, ao longo do eixo x , entre as frentes de onda (b) na frente e (c) atrás da fonte?

97 Você está parado a uma distância D de uma fonte sonora pontual isotrópica, caminha 50,0 m em direção à fonte e observa que a intensidade do som dobrou. Calcule a distância D .

98 Em 10 de julho de 1996, um bloco de granito se desprendeu de uma montanha no vale de Yosemite e, depois de deslizar pela encosta, foi lançado em uma trajetória balística. As ondas sísmicas produzidas pelo choque do bloco com o solo foram registradas por sismógrafos a mais de 200 km de distância. Medições posteriores mostraram que o bloco tinha uma massa entre $7,3 \times 10^7$ kg e $1,7 \times 10^8$ kg e que ele caiu a uma distância vertical de 500 m e a uma distância horizontal de 30 m do ponto de onde foi lançado. (O ângulo de lançamento não é conhecido.) (a) Estime a energia cinética do bloco imediatamente antes do choque com o solo.

Suponha que tipos de ondas sísmicas foram produzidos no solo pelo impacto: uma *onda volumétrica*, com a forma de um hemisfério de raio crescente, e uma *onda superficial*, com a forma de um cilindro curto (Fig. 17-48). Suponha que o choque durou 0,50 s, que o cilindro tinha uma altura d de 5,0 m e que cada tipo de onda recebeu 20% da energia que o bloco possuía imediatamente antes do impacto. Desprezando a energia mecânica perdida pelas ondas durante a propagação, determine a intensidade (b) da onda volumétrica e (c) da onda superficial quando chegaram a um sismógrafo situado a 200 km de distância. (d) Com base nesses resultados, qual das duas ondas pode ser detectada com mais facilidade por um sismógrafo distante?

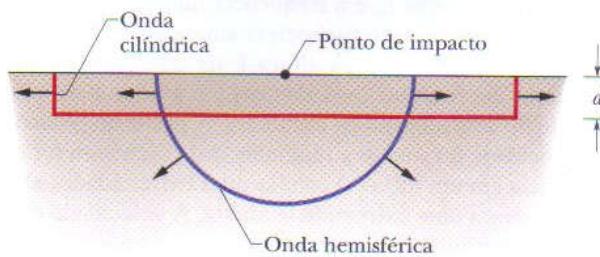


FIG. 17-48 Problema 98.

99 Uma avalanche de areia em um tipo raro de duna pode produzir um estrondo suficientemente intenso para ser ouvido a 10 km de distância. O estrondo aparentemente é causado pela osci-

lação de uma camada deslizante de areia; a espessura da camada aumenta e diminui periodicamente. Se a freqüência emitida é 90 Hz, determine (a) o período de oscilação da espessura da camada e (b) o comprimento de onda do som.

100 Os ocupantes de um carro que se move a 16,0 m/s ouvem a sirene de uma ambulância que se aproxima por trás, a uma velocidade de 40,0 m/s (em relação ao ar e ao chão). A freqüência da sirene é 950 Hz e a velocidade do som no ar é 340 m/s. (a) Qual é a freqüência da sirene ouvida pelo motorista da ambulância? (b) Qual é a freqüência ouvida pelos ocupantes do carro depois que o carro é ultrapassado pela ambulância?

101 O ultra-som, uma onda sonora com uma freqüência tão alta que não pode ser ouvida pelos seres humanos, é usado para produzir imagens do interior do corpo humano. Além disso, o ultra-som é usado para medir a velocidade do sangue no corpo; para tal, a freqüência do ultra-som aplicado ao corpo é comparada com a freqüência do ultra-som refletido pelo sangue para a superfície do corpo. Como o sangue pulsa, a freqüência detectada varia.

Suponha que uma imagem de ultra-som do braço de um paciente mostra uma artéria que faz um ângulo $\theta = 20^\circ$ com a direção de propagação do ultra-som (Fig. 17-49). Suponha ainda que a freqüência do ultra-som refletido pelo sangue da artéria apresenta um aumento máximo de 5495 Hz em relação à freqüência de 5,000 000 MHz do ultra-som original. (a) Na Fig. 17-49, o sangue está correndo para a direita ou para a esquerda? (b) A velocidade do som no braço humano é 1540 m/s. Qual é a velocidade máxima do sangue? (Sugestão: O efeito Doppler é causado pela componente da velocidade do sangue na direção de propagação do ultra-som.) (c) Se o ângulo θ fosse maior, a freqüência refletida seria maior ou menor?

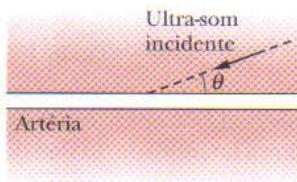


FIG. 17-49 Problema 101.

102 O cano *A* tem apenas uma extremidade aberta; o tubo *B* é quatro vezes mais comprido e tem as duas extremidades abertas. Dos 10 menores números harmônicos n_B do tubo *B*, quais são (a) o menor, (b) o segundo menor e (c) o terceiro menor valor para o qual uma freqüência harmônica de *B* coincide com uma das freqüências harmônicas de *A*?

103 *Acústica das cachoeiras.* O impacto turbulento da água de uma cachoeira faz o solo oscilar em uma larga faixa de baixas freqüências. Se a água cai livremente (em vez de bater nas pedras enquanto desce), as oscilações são maiores em uma freqüência particular f_m . Este fato sugere que o fenômeno se deve a uma ressonância acústica e que f_m é a freqüência fundamental. A tabela a seguir mostra, para nove cachoeiras americanas e canadenses, os valores medidos de f_m e da altura L da queda livre da água. Mostre como representar os dados em um gráfico para obter a velocidade do som na água da cachoeira. A partir do gráfico, calcule a velocidade do som se a ressonância da cachoeira for como a ressonância em um tubo (a) com as duas extremidades abertas e (b) com apenas uma extremidade aberta. A velocidade do som em uma água turbulentada contendo bolhas de ar pode ser cerca de

25% menor que a sua velocidade de 1400 m/s em água parada. (c) A partir das respostas dos itens (a) e (b), determine quantas extremidades abertas estão efetivamente envolvidas na ressonância de uma cachoeira.

104 Uma pessoa em um vagão de trem toca uma nota de 440 Hz em um trompete. O vagão está se movendo a 20,0 m/s em direção a uma parede. Calcule a freqüência (a) a som que incide na parede e (b) do som refletido que é ouvido pelo trompetista.

105 Um carro de polícia persegue um Porsche 911 por excesso de velocidade. Suponha que a velocidade máxima do Porsche é 80,0 m/s e a do carro se polícia é 54,0 m/s. No instante em que os dois carros atingem a velocidade máxima, que freqüência o motorista do Porsche escuta se a freqüência da sirene do carro de polícia é 440 Hz? Considere a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s.

106 Uma onda sonora se propaga uniformemente em todas as direções a partir de uma fonte pontual. (a) Justifique a seguinte expressão para o deslocamento s do meio transmissor a uma distância r da fonte:

$$s = \frac{b}{r} \operatorname{sen} k(r - vt),$$

onde b é uma constante. Considere a velocidade, o sentido de propagação, a periodicidade e a intensidade da onda. (b) Qual é a dimensão da constante b ?

107 Na Fig. 17-34, S_1 e S_2 são duas fontes sonoras pontuais isotrópicas. Elas emitem ondas em fase com comprimento de onda 0,50 m e estão separadas por uma distância $D = 1,60$ m. Se movemos um detector de som ao longo de uma grande circunferência com o centro no ponto médio entre as fontes, em quantos pontos as ondas chegam ao detector (a) com a mesma fase e (b) com fases opostas?

108 Suponha que um alto-falante esférico emite sons isotropicamente com uma potência de 10 W em uma sala com paredes, piso e teto cobertos de material absorvente (uma câmara anecóica). (a) Qual é a intensidade do som a uma distância $d = 3,0$ m da fonte? (b) Qual é a razão entre as amplitudes da onda em $d = 4,0$ m e em $d = 3,0$ m?

109 Os paleontólogos podem usar ondas sonoras para produzir uma imagem computadorizada do fóssil de um dinossauro incrustado na rocha. A imagem serve para guiar os paleontólogos durante a remoção do fóssil. (A técnica é mostrada nas cenas de abertura do filme *Jurassic Park*.) Para isso, um pulso sonoro de alta intensidade é emitido por uma fonte especial (um canhão sísmico) no nível do solo e detectado por hidrofones instalados em um poço a intervalos regulares. A fonte e um hidrofone são mostrados na Fig. 17-50. Se a onda sonora se propaga da fonte para o hidrofone apenas através da rocha, como na Fig. 17-50, ela viaja com uma velocidade V e leva um certo tempo T . Se, em vez disso, ela atravessa um osso fossilizado no caminho, leva um tempo ligeiramente maior, já que a velocidade de propagação no osso é menor do que na rocha. Medindo a diferença Δt entre os tempos de percursos esperado e observado, a distância d percorrida no osso pode ser calculada. Depois que esse procedimento é

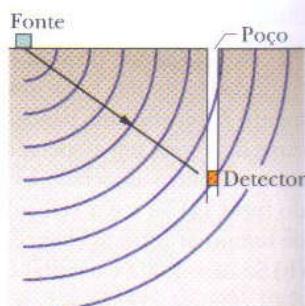


FIG. 17-50 Problema 109.

CACHOEIRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_m (Hz)	5,6	3,8	8,0	6,1	8,8	6,0	19	21	40
L (m)	97	71	53	49	35	24	13	11	8

repetido para muitas localizações da fonte e dos hidrofones, um computador pode transformar as várias distâncias d calculadas em uma imagem do fóssil.

(a) Seja $V - \Delta V$ a velocidade do som no osso fossilizado, onde ΔV é muito menor que V . Mostre que a distância d é dada por

$$d \approx \frac{V^2 \Delta t}{\Delta V}.$$

(b) Para $V = 5000$ m/s e $\Delta V = 200$ m/s, que valor típico de Δt pode ser esperado se o som passar pelo diâmetro de um osso da perna de um *T. rex* adulto? (Estime o diâmetro do osso.)

110 O período de uma estrela variável pulsante pode ser estimado supondo que a estrela está executando pulsações longitudinais *radiais* no modo fundamental de uma onda estacionária, ou seja, que o raio da estrela varia periodicamente com o tempo, com um antinó do deslocamento na superfície da estrela. (a) Nesse modelo, o centro da estrela é um nó ou um antinó do deslocamento? (b) Por analogia com um tubo com uma extremidade aberta e a outra fechada, mostre que o período de pulsação

é dado por $T = 4R/v$, onde R é o raio de equilíbrio da estrela e v é a velocidade média do som no interior da estrela. (c) As estrelas anãs brancas típicas são feitas de uma substância com um módulo de elasticidade volumétrico de $1,33 \times 10^{22}$ Pa e uma massa específica de 10^{10} kg/m³ e têm um raio igual a $9,0 \times 10^{-3}$ vezes o raio solar. Qual o período aproximado de pulsação de uma anã branca?

111 Um homem em repouso (em relação ao ar e ao chão) ouve um sinal de freqüência f_1 produzido por uma fonte que se move em sua direção com velocidade de 15 m/s. Se o homem se move em direção à fonte com uma velocidade de 25 m/s, ouve uma freqüência f_2 que difere de f_1 por 37 Hz. Qual é a freqüência da fonte? (Tome a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s.)

112 Uma violinista afina uma corda de violão para uma freqüência fundamental de 440 Hz. (a) Qual será a freqüência fundamental se ela aumentar a tensão da corda em 20%? (b) Qual será a freqüência se, em vez disso, ela diminuir o comprimento efetivo da corda deslocando o dedo da posição da cravelha para um terço da distância até a ponte, na outra extremidade da corda?

Respostas

dos Testes e das Perguntas e Problemas Ímpares

Capítulo 12

- T** 1. c, e, f 2. (a) não; (b) no ponto de aplicação de \vec{F}_1 , perpendicular ao plano da figura; (c) 45 N 3. d **P** 1. a e c (as forças e os torques se equilibram) 3. (a) 12 kg; (b) 3 kg; (c) 1 kg 5. (a) 1 e 3, 2; (b) todas iguais; (c) 1 e 3, 2 (zero) 7. aumenta 9. (a) em C (para eliminar da equação do torque as forças aplicadas a este ponto); (b) positivo; (c) negativo; (d) igual **PR** 1. (a) 1,00 m; (b) 2,00 m; (c) 0,987 m; (d) 1,97 m 3. 7,92 kN 5. (a) 9,4 N; (b) 4,4 N 7. (a) 1,2 kN; (b) para baixo; (c) 1,7 kN; (d) para cima; (e) o de trás; (f) o da frente 9. (a) 2,8 \times 10² N; (b) 8,8 \times 10² N; (c) 71° 11. 74,4 g 13. (a) 5,0 N; (b) 30 N; (c) 1,3 m 15. 8,7 N 17. (a) 2,7 kN; (b) para cima; (c) 3,6 kN; (d) para baixo 19. (a) 0,64 m; (b) aumentar 21. 13,6 N 23. (a) 1,9 kN; (b) para cima; (c) 2,1 kN; (d) para baixo 25. (a) 192 N; (b) 96,1 N; (c) 55,5 N 27. (a) 6,63 kN; (b) 5,74 kN; (c) 5,96 kN 29. 2,20 m 31. (a) $(-80\text{ N})\hat{i} + (1,3 \times 10^2 \text{ N})\hat{j}$; (b) $(80\text{ N})\hat{i} + (1,3 \times 10^2 \text{ N})\hat{j}$ 33. (a) 445 N; (b) 0,50; (c) 315 N 35. (a) 60,0°; (b) 300 N 37. 0,34 39. (a) desliza; (b) 31°; (c) tomba; (d) 34° 41. (a) 211 N; (b) 534 N; (c) 320 N 43. (a) 6,5 \times 10⁶ N/m²; (b) $1,1 \times 10^{-5}$ m 45. (a) 866 N; (b) 143 N; (c) 0,165 47. (a) 0,80; (b) 0,20; (c) 0,25 49. (a) $1,4 \times 10^9 \text{ N}$; (b) 75 51. (a) $1,2 \times 10^2 \text{ N}$; (b) 68 N 53. 76 N 55. (a) 8,01 kN; (b) 3,65 kN; (c) 5,66 kN 57. 71,7 N 59. (a) $L/2$; (b) $L/4$; (c) $L/6$; (d) $L/8$; (e) $25L/24$ 61. (a) $1,8 \times 10^7 \text{ N}$; (b) $1,4 \times 10^7 \text{ N}$; (c) 16 63. 0,29 65. 60° 67. (a) 270 N; (b) 72 N; (c) 19° 69. (a) 106 N; (b) 64,0° 71. $2,4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 73. (a) 88 N; (b) $(30\hat{i} + 97\hat{j})\text{ N}$ 75. (a) $a_1 = L/2, a_2 = 5L/8, h = 9L/8$; (b) $b_1 = 2L/3, b_2 = L/2, h = 7L/6$ 77. (a) BC, CD, DA; (b) 535 N; (c) 757 N 79. (a) 1,38 kN; (b) 180 N 81. (a) $\mu < 0,57$; (b) $\mu > 0,57$ 83. L/4 85. (a) $(35\hat{i} + 200\hat{j})\text{ N}$; (b) $(-45\hat{i} + 200\hat{j})\text{ N}$; (c) $1,9 \times 10^2 \text{ N}$

Capítulo 13

- T** 1. todos iguais 2. (a) 1, 2 e 4, 3; (b) da horizontal 3. (a) aumenta; (b) negativo 4. (a) 2; (b) 1 5. (a) a trajetória 1 (a redução de E (tornando-a mais negativa) reduz o valor de a); (b) menor (a redução de a resulta em uma redução de T) **P** 1. Gm^2/r^2 , para cima 3. b e c, a (zero) 5. $3GM^2/d^2$, para a esquerda 7. (a) +y; (b) sim, gira no sentido anti-horário até apontar para a partícula B 9. 1, 2 e 4, 3 11. b, d e f (os três empatados) e, c, a **PR** 1. 19 m 3. 1/2 5. $-5,00d$ 7. 2,60 \times 10⁵ km 9. 0,8 m 11. (a) $M = m$; (b) 0 13. $8,31 \times 10^{-9} \text{ N}$ 15. (a) $-1,88d$; (b) $-3,90d$; (c) $0,489d$ 17. $2,6 \times 10^6 \text{ m}$ 19. (a) 17 N; (b) 2,4 21. (a) $7,6 \text{ m/s}^2$; (b) $4,2 \text{ m/s}^2$ 23. $5 \times 10^{24} \text{ kg}$ 25. (a) $9,83 \text{ m/s}^2$; (b) $9,84 \text{ m/s}^2$; (c) $9,79 \text{ m/s}^2$ 27. (a) $(3,0 \times 10^{-7} \text{ N/kg})m$; (b) $(3,3 \times 10^{-7} \text{ N/kg})m$; (c) $(6,7 \times 10^{-7} \text{ N/kg} \cdot \text{m})mr$ 29. (a) 0,74; (b) 3,8 m/s²; (c) 5,0 km/s 31. (a) 0,0451; (b) 28,5 33. $5,0 \times 10^9 \text{ J}$ 35. (a) 0,50 pJ; (b) $-0,50 \text{ pJ}$ 37. (a) 1,7 km/s; (b) $2,5 \times 10^5 \text{ m}$; (c) 1,4 km/s 39. (a) 82 km/s; (b) $1,8 \times 10^4 \text{ km/s}$ 41. $-4,82 \times 10^{-13} \text{ J}$ 43. $6,5 \times 10^{23} \text{ kg}$ 45. 5×10^{10} estrelas 47. (a) $6,64 \times 10^3 \text{ km}$; (b) 0,0136 49. (a) 7,82 km/s; (b) 87,5 min 51. (a) $1,9 \times 10^{13} \text{ m}$; (b) $3,6R_p$ 55. 0,71 ano 57. $5,8 \times 10^6 \text{ m}$ 59. $(GM/L)^{0,5}$ 61. (a) 2,8 anos; (b) $1,0 \times 10^{-4}$ 63. (a) 3,19 $\times 10^3 \text{ km}$; (b) a energia para fazer o satélite subir 65. (a) $r^{1,5}$; (b) r^{-1} ; (c) $r^{0,5}$; (d) $r^{-0,5}$ 67. (a) 7,5 km/s; (b) 97 min; (c) $4,1 \times 10^2 \text{ km}$; (d) 7,7 km/s; (e) 93 min; (f) $3,2 \times 10^{-3} \text{ N}$; (g) não; (h) sim 69. 1,1 s 71. (a) $1,0 \times 10^3 \text{ kg}$; (b) 1,5 km/s 73. $-0,044 \text{ j } \mu\text{N}$ 75. (a) $2,15 \times 10^4 \text{ s}$; (b) 12,3 km/s; (c) 12,0 km/s; (d) $2,17 \times 10^{11} \text{ J}$

- (e) $-4,53 \times 10^{11} \text{ J}$; (f) $-2,35 \times 10^{11} \text{ J}$; (g) $4,04 \times 10^7 \text{ m}$; (h) $1,22 \times 10^3 \text{ s}$; (i) a elíptica 77. $0,37 \text{ j } \mu\text{N}$ 79. 29 pN 81. $2,5 \times 10^4 \text{ km}$ 83. (a) $2,2 \times 10^{-7} \text{ rad/s}$; (b) 89 km/s 85. $3,2 \times 10^{-7} \text{ N}$ 87. (a) 0; (b) $1,8 \times 10^{32} \text{ J}$; (c) $1,8 \times 10^{32} \text{ J}$; (d) $0,99 \text{ km/s}$ 89. $GM_r m / 12R_T$ 91. (a) $1,4 \times 10^6 \text{ m/s}$; (b) $3 \times 10^6 \text{ m/s}^2$ 93. $2\pi r^{1,5} G^{-0,5} (M + m/4)^{-0,5}$ 95. $2,4 \times 10^4 \text{ m/s}$ 97. $-1,87 \text{ GJ}$ 99. (a) $GMmx(x^2 + R^2)^{-3/2}$; (b) $[2GM(R^{-1} - (R^2 + x^2)^{-1/2})]^{1/2}$ 101. (a) Gm^2/R_b ; (b) $Gm^2/2R_b$; (c) $(Gm/R_b)^{0,5}$; (d) $2(Gm/R_b)^{0,5}$; (e) Gm^2/R_b ; (f) $(2Gm/R_b)^{0,5}$; (g) O referencial do centro de massa é um referencial inercial, e nele a lei de conservação da energia pode ser aplicada como no Capítulo 8; o referencial ligado ao corpo A é não-inercial, e a lei de conservação de energia não pode ser aplicada como no Capítulo 8. A resposta correta é do item (d). 103. (a) $1,9 \times 10^{11} \text{ m}$; (b) $4,6 \times 10^4 \text{ m/s}$

Capítulo 14

- T** 1. são todas iguais 2. (a) são todas iguais (a força gravitacional a que o pingüim está submetido é a mesma); (b) $0,95\rho_0, \rho_0; 1,1\rho_0$ 3. $13 \text{ cm}^3/\text{s}$, para fora 4. (a) todas iguais; (b) 1, 2 e 3, 4 (quanto mais larga, mais lenta); (c) 4, 3, 2, 1 (quanto mais larga e mais baixa, maior a pressão) **P** 1. b, a e d (zero), c 3. (a) desce; (b) desce 5. (a) desce; (b) desce; (c) permanece o mesmo 7. B, C, A 9. (a) 1 e 4; (b) 2; (c) 3 **PR** 1. $1,1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 3. $2,9 \times 10^4 \text{ N}$ 5. 0,074 7. (b) 26 kN 9. $1,08 \times 10^3 \text{ atm}$ 11. $7,2 \times 10^5 \text{ N}$ 13. $-2,6 \times 10^4 \text{ Pa}$ 15. (a) 94 torr; (b) $4,1 \times 10^2$ torr; (c) $3,1 \times 10^2$ torr 17. (a) $1,0 \times 10^3$ torr; (b) $1,7 \times 10^3$ torr 19. 0,635 J 21. 44 km 23. $4,69 \times 10^5 \text{ N}$ 25. 739,26 torr 27. (a) 7,9 km; (b) 16 km 29. 8,50 kg 31. (a) $2,04 \times 10^{-2} \text{ m}^3$; (b) 1,57 kN 33. 5 35. (a) $6,7 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$; (b) $7,4 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ 37. (a) 1,2 kg; (b) $1,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 39. (a) 0,10; (b) 0,083 41. 57,3 cm 43. $0,126 \text{ m}^3$ 45. (a) $1,80 \text{ m}^3$; (b) 4,75 m³ 47. (a) $637,8 \text{ cm}^3$; (b) $5,102 \text{ m}^3$; (c) $5,102 \times 10^3 \text{ kg}$ 49. 8,1 m/s 51. (a) 3,0 m/s; (b) 2,8 m/s 53. 66 W 55. (a) 2,5 m/s; (b) $2,6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 57. (a) 3,9 m/s; (b) 88 kPa 59. (a) $1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$; (b) 0,90 m 61. $1,4 \times 10^5 \text{ J}$ 63. (a) 74 N; (b) $1,5 \times 10^2 \text{ m}^3$ 65. (a) 35 cm; (b) 30 cm; (c) 20 cm 67. (b) $2,0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}$ 69. (a) $0,0776 \text{ m}^3/\text{s}$; (b) 69,8 kg/s 71. $1,1 \times 10^2 \text{ m/s}$ 73. 44,2 g 75. $45,3 \text{ cm}^3$ 77. (a) 3,2 m/s; (b) $9,2 \times 10^4 \text{ Pa}$; (c) 10,3 m 79. $5,11 \times 10^{-7} \text{ kg}$ 81. $1,07 \times 10^3 \text{ g}$ 83. $6,0 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ 85. $1,5 \text{ g/cm}^3$

Capítulo 15

- T** 1. (plota x em função de t) (a) $-x_m$; (b) $+x_m$; (c) 0 2. a (F deve ter a forma da Eq. 15-10) 3. (a) 5 J; (b) 2 J; (c) 5 J 4. são todos iguais (na Eq. 15-29, I é proporcional a m) 5. 1, 2, 3 (a razão m/b faz diferença, mas não o valor de k) **P** 1. (a) 2; (b) positiva; (c) entre 0 e $+x_m$ 3. a e b 5. (a) são todas iguais; (b) 3 e depois 1 e 2 empataidas; (c) 1, 2, 3 (zero); (d) 1, 2, 3 (zero); (e) 1, 3, 2 7. (a) entre D e E ; (b) entre $3\pi/2$ rad e 2π rad 9. (a) maior; (b) igual; (c) igual; (d) maior (e) maior 11. b (período infinito, não oscila), c, a **PR** 1. $37,8 \text{ m/s}^2$ 3. (a) 1,0 mm; (b) 0,75 m/s; (c) $5,7 \times 10^2 \text{ m/s}^2$ 5. (a) 0,50 s; (b) 2,0 Hz; (c) 18 cm 7. (a) 0,500 s; (b) 2,00 Hz; (c) 12,6 rad/s; (d) 79,0 N/m; (e) 4,40 m/s; (f) 27,6 N 9. (a) 498 Hz; (b) maior 11. (a) 3,0 m; (b) -49 m/s; (c) $-2,7 \times 10^2 \text{ m/s}^2$; (d) 20 rad; (e) 1,5 Hz; (f) 0,67 s 13. 39,6 Hz 15. (a) 5,58 Hz; (b) 0,325 kg; (c) 0,400 m 17. 3,1 cm 19. (a) 0,18/1; (b) no mesmo sentido 21. (a) 25 cm; (b) 2,2 Hz 23. 54 Hz 25. (a) 0,525 m; (b) 0,686 s 27. 37 mJ

- 29.** (a) 0,75; (b) 0,25; (c) $2^{-0,5}x_m$ **31.** (a) 2,25 Hz; (b) 125 J; (c) 250 J; (d) 86,6 cm **33.** (a) 3,1 ms; (b) 4,0 m/s; (c) 0,080 J; (d) 80 N; (e) 40 N **35.** (a) 1,1 m/s; (b) 3,3 cm **37.** (a) 2,2 Hz; (b) 56 cm/s; (c) 0,0 kg; (d) 20,0 cm **39.** (a) 39,5 rad/s; (b) 34,2 rad/s; (c) 124 rad/s² **41.** (a) 1,64 s; (b) igual **43.** (a) 0,205 kg · m²; (b) 47,7 cm; (c) 1,50 s **45.** 0,366 s **47.** 8,77 s **49.** (a) 0,53 m; (b) 2,1 s **51.** 0,0653 s **53.** (a) 0,845 rad; (b) 0,0602 rad **55.** (a) 2,26 s; (b) aumenta; (c) permanece o mesmo **57.** (a) 14,3 s; (b) 5,27 **59.** 6,0% **61.** (a) $F_m/b\omega$; (b) F_m/b **63.** 5,0 cm **65.** (a) 1,2 J; (b) 50 **67.** 1,53 m **69.** (a) 16,6 cm; (b) 1,23% **71.** (a) $2,8 \times 10^3$ rad/s; (b) 2,1 m/s; (c) 5,7 km/s² **73.** (a) 0,735 kg · m²; (b) 0,0240 N · m; (c) 0,181 rad/s **75.** (a) 0,35 Hz; (b) 0,39 Hz; (c) 0 (não há oscilações) **77.** (a) 7,90 N/m; (b) 1,19 cm; (c) 2,00 Hz **79.** 1,6 kg **81.** (a) 3,5 m; (b) 0,75 s **83.** 7,2 m/s **85.** (a) 1,23 kN/m; (b) 76,0 N **87.** (a) 1,1 Hz; (b) 5,0 cm **89.** (a) $1,3 \times 10^2$ N/m; (b) 0,62 s; (c) 1,6 Hz; (d) 5,0 cm; (e) 0,51 m/s **91.** (a) 3,2 Hz; (b) 0,26 m; (c) $x = (0,26 \text{ m}) \cos(20t - \pi/2)$, com t em segundos **93.** 0,079 kg · m² **95.** (a) 0,44 s; (b) 0,18 m **97.** (a) 245 N/m; (b) 0,284 s **99.** 50 cm **101.** (a) $8,11 \times 10^{-5}$ kg · m²; (b) 3,14 rad/s **103.** 14,0° **105.** (a) 0,30 m; (b) 0,28 s; (c) $1,5 \times 10^2$ m/s²; (d) 11 J **107.** (a) 0,45 s; (b) 0,10 m acima e 0,20 m abaixo; (c) 0,15 m; (d) 2,3 J **109.** 7×10^2 N/m **111.** (a) F/m ; (b) $2F/mL$; (c) 0

Capítulo 16

- T** **1.** a, 2; b, 3; c, 1 (compare com a fase da Eq. 16-2 e veja a Eq. 16-5) **2.** (a) 2, 3, 1 (veja a Eq. 16-12); (b) 3 e depois 1 e 2 empatados (determine a amplitude de dy/dt) **3.** (a) permanece igual (é independente de f); (b) diminui ($\lambda = v/f$); (c) aumenta; (d) aumenta **4.** 0,20 e 0,80, 0,60, 0,45 **5.** (a) l; (b) 3; (c) 2 **6.** (a) 75 Hz; (b) 525 Hz **P** **1.** a, para cima; b, para cima; c, para baixo; d, para baixo; e, para baixo; f, para baixo; g, para cima; h, para cima **3.** (a) 1, 4, 2, 3; (b) 1, 4, 2, 3 **5.** (a) 0; 0,2 comprimento de onda; 0,5 comprimento de onda (zero); (b) $4P_{\text{méd},1}$ **7.** intermediária (mais próxima de totalmente destrutiva) **9.** c, a, b **11.** d **PR** **1.** (a) $3,49 \text{ m}^{-1}$; (b) 31,5 m/s **3.** (a) 0,680 s; (b) 1,47 Hz; (c) 2,06 m/s **5.** 1,1 ms **7.** (a) 11,7 cm; (b) π rad **9.** (a) 64 Hz; (b) 1,3 m; (c) 4,0 cm; (d) 5,0 m⁻¹; (e) $4,0 \times 10^2$ s⁻¹; (f) $\pi/2$ rad; (g) negativo **11.** (a) 3,0 mm; (b) 16 m⁻¹; (c) $2,4 \times 10^2$ s⁻¹; (d) negativo **13.** (a) negativa; (b) 4,0 cm; (c) $0,31 \text{ cm}^{-1}$; (d) $0,63 \text{ s}^{-1}$; (e) π rad; (f) negativo; (g) 2,0 cm/s; (h) $-2,5 \text{ cm/s}$ **15.** 129 m/s **17.** (a) 0,12 mm; (b) 141 m⁻¹; (c) 628 s⁻¹; (d) positivo **19.** (a) 15 m/s; (b) 0,036 N **21.** (a) 5,0 cm; (b) 40 cm; (c) 12 m/s; (d) 0,033 s; (e) 9,4 m/s; (f) 16 m⁻¹; (g) $1,9 \times 10^2$ s⁻¹; (h) 0,93 rad; (i) positivo **23.** 2,63 m **27.** 3,2 mm **29.** 0,20 m/s **31.** $1,41 y_m$ **33.** (a) 9,0 mm; (b) 16 m⁻¹; (c) $1,1 \times 10^3$ s⁻¹; (d) 2,7 rad; (e) positivo **35.** 5,0 cm **37.** 84° **39.** (a) 3,29 mm; (b) 1,55 rad; (c) 1,55 rad **41.** (a) 7,91 Hz; (b) 15,8 Hz; (c) 23,7 Hz **43.** (a) 82,0 m/s; (b) 16,8 m; (c) 4,88 Hz **45.** (a) 144 m/s; (b) 60,0 cm; (c) 241 Hz **47.** (a) 105 Hz; (b) 158 m/s **49.** 260 Hz **51.** (a) 0,25 cm; (b) $1,2 \times 10^2$ cm/s; (c) 3,0 cm; (d) 0 **53.** (a) 0,50 cm; (b) 3,1 m⁻¹; (c) $3,1 \times 10^2$ s⁻¹; (d) negativo **55.** (a) 2,00 Hz; (b) 2,00 m; (c) 4,00 m/s; (d) 50,0 cm; (e) 150 cm; (f) 250 cm; (g) 0; (h) 100 cm; (i) 200 cm **57.** 0,25 m **59.** (a) 324 Hz; (b) 8 **61.** (a) $0,83y_1$; (b) 37° **63.** (a) 0,31 m; (b) 1,64 rad; (c) 2,2 mm **65.** 1,2 rad **67.** (a) 3,77 m/s; (b) 12,3 N; (c) 0; (d) 46,4 W; (e) 0; (f) 0; (g) $\pm 0,50$ cm **69.** (a) $2\pi y_m/\lambda$; (b) não **71.** (a) 1,00 cm; (b) $3,46 \times 10^3$ s⁻¹; (c) 10,5 m⁻¹; (d) positivo **73.** (a) 75 Hz; (b) 13 ms **75.** (a) 240 cm; (b) 120 cm; (c) 80 cm **77.** (a) 144 m/s; (b) 3,00 m; (c) 1,50 m; (d) 48,0 Hz; (e) 96,0 Hz **79.** (a) 2,0 mm; (b) 95 Hz; (c) +30 m/s; (d) 31 cm; (e) 1,2 m/s **81.** 36 N **83.** (a) 300 m/s; (b) não **85.** (a) 1,33 m/s; (b) 1,88 m/s; (c) 16,7 m/s²; (d) 23,7 m/s² **87.** (a) 0,16 m; (b) $2,4 \times 10^2$ N; (c) $y(x, t) = (0,16 \text{ m}) \sin[(1,57 \text{ m}^{-1})x] \sin[(31,4$

- $\text{s}^{-1})t]$ **89.** (a) $[k \Delta\ell(\ell + \Delta\ell)/m]^{0,5}$ **91.** (a) 0,52 m; (b) 40 m/s; (c) 0,40 m **93.** (c) 2,0 m/s; (d) $-x$

Capítulo 17

- T** **1.** começando a diminuir (exemplo: desloque mentalmente as curvas da Fig. 17-7 para a direita, a partir do ponto $x = 42 \text{ m}$) **2.** (a) 1 e 2,3 (veja a Eq. 17-28); (b) 3 e depois 1 e 2 empatados (veja a Eq. 17-26) **3.** o segundo (veja as Eqs. 17-39 e 17-41) **4.** a, maior; b, menor; c, indefinido; d, indefinido; e, maior; f, menor **P** **1.** C e depois A e B empatados **3.** (a) 0; 0,2 comprimento de onda; 0,5 comprimento de onda (zero); (b) $4P_{\text{méd},1}$ **5.** 150 Hz e 450 Hz **7.** E, A, D, C, B **9.** 1, 4, 3, 2 **PR** **1.** (a) 2,6 km; (b) $2,0 \times 10^2$ **3.** (a) 79 m; (b) 41 m; (c) 89 m **5.** 40,7 m **7.** $1,9 \times 10^3$ km **9.** (a) $76,2 \mu\text{m}$; (b) $0,333 \text{ mm}$ **11.** 0,23 ms **13.** (a) $2,3 \times 10^2$ Hz; (b) maior **15.** 960 Hz **17.** (a) 14; (b) 14 **19.** (a) 343 Hz; (b) 3; (c) 5; (d) 686 Hz; (e) 2; (f) 3 **21.** (a) 143 Hz; (b) 3; (c) 5; (d) 286 Hz; (e) 2; (f) 3 **23.** (a) 0; (b) totalmente construtiva; (c) aumenta; (d) 128 m; (e) 63,0 m; (f) 41,2 m **25.** 15,0 mW **27.** 36,8 nm **29.** (a) $1,0 \times 10^3$; (b) 32 **31.** 0,76 μm **33.** 2 μW **35.** (a) $5,97 \times 10^{-5}$ W/m²; (b) 4,48 nW **37.** (a) 0,34 nW; (b) 0,68 nW; (c) 1,4 nW; (d) 0,88 nW; (e) 0 **39.** (a) 833 Hz; (b) 0,418 m **41.** (a) 2; (b) 1 **43.** (a) 405 m/s; (b) 596 N; (c) 44,0 cm; (d) 37,3 cm **45.** (a) 3; (b) 1129 Hz; (c) 1506 Hz **47.** 45,3 N **49.** 12,4 m **51.** 2,25 ms **53.** 0,020 **55.** 0 **57.** (a) 526 Hz; (b) 555 Hz **59.** 155 Hz **61.** (a) 1,022 kHz; (b) 1,045 kHz **63.** 41 kHz **65.** (a) 485, Hz; (b) 500,0 Hz; (c) 486,2 Hz; (d) 500,0 Hz **67.** (a) 2,0 kHz; (b) 2,0 kHz **69.** (a) 42°; (b) 11 s **71.** (a) 2,10 m; (b) 1,47 m **73.** (a) 21 nm; (b) 35 cm; (c) 24 nm; (d) 35 cm **75.** 0,25 **77.** (a) $9,7 \times 10^2$ Hz; (b) 1,0 kHz; (c) 60 Hz, não **79.** (a) $39,7 \mu\text{W}/\text{m}^2$; (b) 171 nm; (c) 0,893 Pa **81.** (a) 10 W; (b) $0,032 \text{ W}/\text{m}^2$; (c) 99 dB **83.** (a) 7,70 Hz; (b) 7,70 Hz **85.** (a) 59,7; (b) $2,81 \times 10^{-4}$ **87.** (a) 5,2 kHz; (b) 2 **89.** 2,1 m **91.** 1 cm **93.** (a) $3,6 \times 10^2$ m/s; (b) 150 Hz **95.** (a) 0; (b) 0,572 m; (c) 1,14 m **97.** 171 m **99.** (a) 11 ms; (b) 3,8 m **101.** (a) para a direita; (b) 0,90 m/s; (c) menor **103.** (a) $5,5 \times 10^2$ m/s; (b) $1,1 \times 10^3$ m/s; (c) 1 **105.** 400 Hz **107.** (a) 14; (b) 12 **109.** (b) 0,8 a 1,6 μs **111.** 4,8 $\times 10^2$ Hz

Capítulo 18

- T** **1.** (a) são todos iguais; (b) 50°X , 50°Y , 50°W **2.** (a) 2 e 3, 1, 4; (b) 3, 2 e, em seguida, 1 e 4 empatados (por analogia com as Eqs. 18-9 e 18-10, suponha que a variação da área é proporcional à área inicial) **3.** A (veja a Eq. 18-14) **4.** c e e (maximizam a área limitada por um ciclo no sentido horário) **5.** (a) são todas iguais (ΔE_{int} não depende da trajetória, mas apenas de *i* e *f*); (b) 4, 3, 2, 1 (comparando as áreas sob as curvas); (c) 4, 3, 2, 1 (veja a Eq. 18-26) **6.** (a) nula (ciclo fechado); (b) negativa (*W* é negativo; veja a Eq. 18-26). **7.** b e d, a, c (mesmo valor de P_{cond} ; veja a Eq. 18-32) **P** **1.** B e, em seguida, A e C empatados **3.** c e, em seguida, a, b e d empatados **5.** (a) ambos no sentido horário; (b) ambos no sentido horário **7.** c, b, a **9.** (a) f, porque a temperatura do gelo não pode aumentar até o ponto de congelamento e depois diminuir; (b) b e c no ponto de congelamento da água, d acima, e abaixo; (c) em b, o líquido congela parcialmente e o gelo não derrete; em c o líquido não congela e o gelo não derrete; em d o líquido não congela e o gelo não derrete totalmente; em e, o líquido congela totalmente e o gelo não derrete **11.** (a) maior; (b) 1, 2, 3; (c) 1, 3, 2; (d) 1, 2, 3; (e) 2, 3, 1 **PR** **1.** 348 K **3.** 1,366 **5.** (a) 320°F ; (b) $-12,3^\circ\text{F}$ **7.** $-92,1^\circ\text{X}$ **9.** $29,29 \text{ cm}^3$ **11.** $2,731 \text{ cm}$ **13.** $49,87 \text{ cm}^3$ **15.** 0,26 cm^3 **17.** 360°C **19.** 0,13 mm **21.** 7,5 cm **23.** 94,6 L **25.** 42,7 kJ **27.** 160 s **29.** 33 g **31.** 3,0 min **33.** 33 m² **35.** 13,5 C° **37.** 742 kJ **39.** (a) $5,3^\circ\text{C}$; (b) 0; (c) 0°C ; (d) 60 g **41.** (a)