

As cordas A e B possuem comprimentos e massa específica lineares idênticos, mas a corda B está sujeita a uma tração maior do que a da corda A. A Fig. 17.28 mostra quatro situações de (a) (b), nas quais

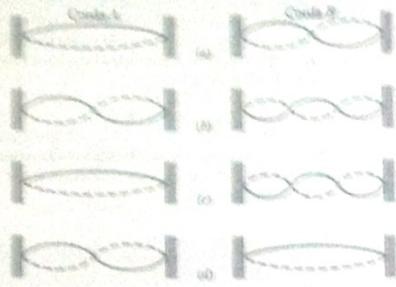


Fig. 17.28 Pergunta 9.

existem pontos de cristas estacionárias nas duas cordas. Em quais situações existe a possibilidade de as cordas A e B estarem oscilando na mesma frequência de ressonância?

10. (a) Se uma onda estacionária em uma corda for dada por

$$y(x,t) = (3 \text{ mm}) \sin(5\pi x) \cos(4\pi t),$$

exista um nó ou um antinó das oscilações da corda em $x = 0$? (b) Se a onda estacionária for dada por

$$y(x,t) = (3 \text{ mm}) \sin(5\pi x + \pi/2) \cos(4\pi t),$$

exista um nó ou um antinó em $x = 0$?

11. (a) No Problema Resolvido 17.7 e na Fig. 17.23, se aumentarmos gradualmente a massa do bloco (a frequência permanece fixa), novos modos de ressonância aparecerão. Os números harmônicos dos novos modos de ressonância aumentarão ou diminuirão de um para o próximo? (b) A passagem de um modo de ressonância para o próximo é gradual, ou cada modo desaparece bem antes que o próximo apareça?

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

SEÇÃO 17.5 Velocidade de uma Onda Progressiva

1. Uma onda possui uma frequência angular de 110 rad/s e um comprimento de onda de 1,80 m. Calcule (a) o número de onda angular e (b) a velocidade da onda.

2. A velocidade de ondas eletromagnéticas (que incluem a luz visível, o rádio e os raios X) no vácuo é de $3,0 \times 10^8$ m/s. (a) Os comprimentos de onda de ondas de luz visível variam de cerca de 400 nm no violeta até cerca de 700 nm no vermelho. Qual a faixa de frequências destas ondas? (b) A faixa de frequências para ondas curtas de rádio (por exemplo, rádio FM e televisão VHF) é de 1,5 a 300 MHz. Qual a faixa correspondente de comprimento de onda? (c) Os comprimentos de onda de raios X variam de cerca de 5,0 nm até cerca de $1,0 \times 10^{-2}$ nm. Qual a faixa de frequências para os raios X?

3. Uma onda senoidal se propaga ao longo de uma corda. O tempo para que um ponto particular se mova do deslocamento máximo até zero é de 0,170 s. Quais são (a) o período e (b) a frequência? (c) O comprimento de onda é igual a 1,40 m; qual a velocidade da onda?

4. Escreva a equação para uma onda senoidal se propagando no sentido negativo ao longo de um eixo x e tendo uma amplitude de 0,010 m, uma frequência de 550 Hz e uma velocidade de 330 m/s.

5. Mostre que

$$y = y_m \sin k(x - vt), \quad y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft \right),$$

$$y = y_m \sin \omega \left(\frac{x}{v} - t \right), \quad y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

são todos equivalentes a $y = y_m \sin(kx - \omega t)$.

6. A equação de uma onda transversal se propagando ao longo de uma corda muito comprida é $y = 6,0 \text{ sen}(0,020\pi x + 4,0\pi t)$, onde x e y estão expressos em centímetros e t em segundos. Determine (a) a amplitude, (b) o comprimento de onda, (c) a frequência, (d) a velocidade, (e) o sentido de propagação da onda e (f) a velocidade transversal máxima de uma partícula da corda. (g) Qual o deslocamento transversal em $x = 3,5$ cm quando $t = 0,26$ s?

7. (a) Escreva uma equação que descreva uma onda transversal senoidal se propagando em uma corda no sentido $+x$ com um comprimento de onda de 10 cm, uma frequência de 400 Hz e uma amplitude de 2,0 cm. (b) Qual a velocidade máxima de um ponto na corda? (c) Qual a velocidade da onda?

8. Uma onda senoidal transversal com comprimento de onda de 20 cm está se movendo ao longo de uma corda no sentido positivo de x . O deslocamento transversal da partícula da corda em $x = 0$ em função do tempo está mostrado na Fig. 17.29. (a) Faça um esboço de um comprimento de onda da onda (a porção entre $x = 0$ e $x = 20$ cm) no instante $t = 0$. (b) Qual a velocidade da onda? (c) Escreva a equação para a onda com todas as constantes calculadas. (d) Qual a velocidade transversal da partícula em $x = 0$ em $t = 5,0$ s?

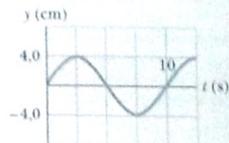


Fig. 17.29 Problema 8.

9. Uma onda senoidal com frequência de 500 Hz possui uma velocidade de 350 m/s. (a) Qual a separação entre os dois pontos que diferem em fase de $\pi/3$ rad? (b) Qual a diferença de fase entre dois deslocamentos em um certo ponto em tempos separados de 1,00 ms?

SEÇÃO 17.6 Velocidade da Onda em uma Corda Esticada

10. A corda mais pesada e a mais leve em um certo violino possuem massas específicas lineares de 3,0 e 0,29 g/m. Qual a razão entre o diâmetro da corda mais pesada e o da corda mais leve, supondo que as cordas sejam do mesmo material?

11. Qual a velocidade de uma onda transversal em uma corda de 2,0 m de comprimento e massa igual a 60,0 g sujeita a uma tração de 500 N?

12. A tração em um fio metálico preso por fixadores nas duas extremidades é dobrada sem que haja uma mudança apreciável do comprimento do fio entre os fixadores. Qual a razão entre a nova velocidade da onda e a antiga para ondas transversais se propagando ao longo deste fio?

13. A massa específica linear de uma corda é $1,6 \times 10^{-4}$ kg/m. Uma onda transversal na corda é descrita pela equação

$$y = (0,021 \text{ m}) \text{ sen}[(2,0 \text{ m}^{-1})x + (30 \text{ s}^{-1})t].$$

Qual (a) a velocidade da onda e (b) a tração na corda?

14. A equação de uma onda transversal em uma corda é

$$y = (2,0 \text{ mm}) \text{ sen}[(20 \text{ m}^{-1})x - (600 \text{ s}^{-1})t].$$

A tração na corda é de 15 N. (a) Qual a velocidade da onda? (b) Encontre a massa específica linear desta corda em gramas por metro.

15. Uma corda esticada possui uma massa por unidade de comprimento de 3,0 g/cm e uma tração de 10 N. Uma onda senoidal na corda possui uma amplitude de 0,12 mm e uma frequência de 100 Hz e está se propagando no sentido negativo de x . Escreva uma equação para esta onda.

16. Qual a onda transversal mais rápida que pode ser enviada ao longo de um fio de aço? Por razões de segurança, a tensão máxima de tração a que fios de aço podem ser submetidos é de $7,0 \times 10^8$ N/m². A massa específica do aço é de 7800 kg/m³. Mostre que a sua resposta não depende do diâmetro do fio.

17. Uma onda transversal senoidal de amplitude y_m e comprimento de onda λ se propaga em uma corda esticada. (a) Determine a razão entre a velocidade máxima da partícula (a velocidade com que uma única partícula da corda se move transversalmente à onda) e a velocidade da onda. (b) Se uma onda possuindo um certo comprimento de onda e amplitude for enviada ao longo da corda, esta razão entre velocidades dependeria do material do qual a corda é feita, como, por exemplo, metal ou náilon?

18. Uma onda senoidal está se propagando em uma corda com velocidade de 40 cm/s. Observe-se que o deslocamento das partículas da corda em $x = 10$ cm varia com o tempo de acordo com a equação $y = (5,0 \text{ cm}) \text{ sen}[1,0 - (4,0 \text{ s}^{-1})t]$. A massa específica linear da corda é 4,0 g/cm. Quais são (a) a frequência e (b) o comprimento de onda da onda? (c) Escreva a equação geral que fornece o deslocamento transversal das partículas da corda em função da posição e do tempo. (d) Calcule a tração na corda.

19. Uma onda transversal senoidal está se propagando ao longo de uma corda no sentido negativo de um eixo x . A Fig. 17.30 mostra um gráfico com o deslocamento em função da posição no tempo $t = 0$; a interseção com o eixo y é igual a 4,0 cm. A tração na corda é de 3,6 N, e a sua massa específica linear é de 25 g/m. Determine (a) a amplitude, (b) o comprimento de onda, (c) a velocidade da onda e (d) o período da onda. (e) Determine a velocidade transversal máxima de uma partícula na corda. (f) Escreva uma equação que descreva a onda se propagando.

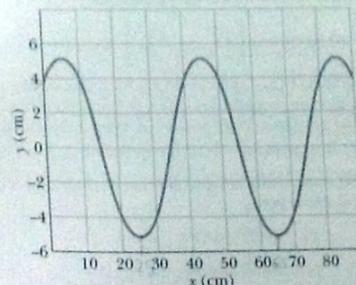


Fig. 17.30 Problema 19.

20. Na Fig. 17.31a, a corda 1 possui uma massa específica linear de 3,00 g/m, e a corda 2 possui uma massa específica linear de 5,00 g/m. Elas estão sendo traçadas devido a um bloco suspenso de massa $M = 500$ g. Calcule a velocidade da onda (a) na corda 1 e (b) na corda 2. (Dica: Quando uma corda está enrolada meia volta ao redor de uma roldana, ela puxa a roldana com uma força resultante que é igual a duas vezes a tração na corda.) Em seguida, o bloco é dividido em dois blocos (com $M_1 + M_2 = M$) e o aparato é rearranjado como mostrado na

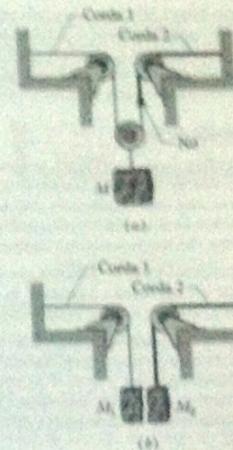


Fig. 17.31 Problema 20.

Fig. 17.31b. Determine (c) M_1 e (d) M_2 de modo que as velocidades das ondas nas duas cordas sejam iguais.

21. Um fio metálico de 10,0 m de comprimento e tendo uma massa de 100 g é esticado sujeito a uma tração de 250 N. Se dois pulsos, separados no tempo por 30,0 ms, forem gerados, um em cada extremidade do fio, onde os pulsos se encontrarão pela primeira vez?

22. O tipo de tira de borracha usada dentro de algumas boias de beisebol e de golfe obedece à lei de Hooke para uma larga faixa de alongamento da tira. Um segmento deste material possui um comprimento não-estendido l e uma massa m . Quando uma força F é aplicada, a tira se alonga de um comprimento adicional Δl . (a) Qual a velocidade (em termos de m , Δl e da constante de mola k) das ondas transversais nesta tira de borracha esticada? (b) Usando a sua resposta para (a), mostre que o tempo necessário para um pulso transversal se propagar pelo comprimento da tira de borracha é proporcional a $\sqrt{l \Delta l}$ se $\Delta l \ll l$ e constante se $\Delta l \gg l$.

23. Uma corda uniforme de massa m e comprimento L está pendurada em um teto. (a) Mostre que a velocidade de uma onda transversal na corda é função de y , a distância a partir da extremidade inferior, e é dada por $v = \sqrt{gy}$. (b) Mostre que o tempo que uma onda transversal leva para se propagar pelo comprimento da corda é dado por $t = 2\sqrt{L/g}$.

SEÇÃO 17.7 Energia e Potência de uma Onda Progressiva em uma Corda

24. Uma corda ao longo da qual ondas podem se propagar possui 2,70 m de comprimento e uma massa de 260 g. A tração na corda é de 36,0 N. Qual deve ser a frequência das ondas progressivas de amplitude 7,70 mm para que a potência média seja de 85,0 W?

25. Uma onda senoidal transversal é gerada em uma extremidade de uma corda horizontal longa por uma barra que se move para cima e para baixo por uma distância de 1,00 cm. O movimento é contínuo e se repete regularmente 120 vezes por segundo. A corda possui uma massa específica linear de 120 g/m e é mantida sujeita a uma tração de 90,0 N. Determine o valor máximo (a) da velocidade transversal u e (b) da componente transversal da tração τ . (Dica: Esta componente é $\tau \text{ sen } \theta$, onde θ é o ângulo que a corda faz com a horizontal. Você precisará relacionar o ângulo θ com $d(y)/dx$.)

(c) Mostre que os dois valores máximos calculados acima ocorrem nos mesmos valores de fase para a onda. Qual o deslocamento trans-

versal y da corda nestas fases? (d) Qual a taxa máxima de transferência de energia ao longo da corda? (e) Qual o deslocamento transversal y quando esta transferência máxima ocorre? (f) Qual a taxa de transferência mínima de energia ao longo da corda? (g) Qual o deslocamento transversal y quando esta transferência mínima ocorre?

SEÇÃO 17.9 Interferência de Ondas

26E. Que diferença de fase entre duas ondas progressivas, idênticas quanto ao resto, que se movem no mesmo sentido ao longo de uma corda esticada, resultará em uma onda combinada com amplitude igual a 1,50 vez a amplitude comum às duas ondas sendo combinadas? Expresse a sua resposta em (a) graus, (b) radianos e (c) em comprimentos de onda.

27E. Duas ondas progressivas idênticas, movendo-se no mesmo sentido, estão fora de fase por $\pi/2$ rad. Qual a amplitude da onda resultante em termos da amplitude y_m comum às duas ondas sendo combinadas?

28P. Duas ondas senoidais, idênticas exceto pela fase, se propagam no mesmo sentido ao longo de uma corda e sofrem interferência para produzir uma onda resultante dada por $y'(x, t) = (3,0 \text{ mm}) \sin(20\pi x - 4,0t + 0,820 \text{ rad})$, com x em metros e t em segundos. Qual (a) o comprimento de onda λ das duas ondas, (b) a diferença de fase entre elas e (c) a amplitude y_m delas?

SEÇÃO 17.10 Fasores

29E. Determine a amplitude da onda resultante quando duas ondas senoidais com a mesma frequência e se propagando no mesmo sentido na mesma corda são combinadas, se as suas amplitudes são 3,0 cm e 4,0 cm e possuem constantes de fase de 0 e $\pi/2$ rad, respectivamente.

30P. Duas ondas senoidais de mesmo período, com amplitudes de 5,0 e 7,0 mm, se propagam no mesmo sentido ao longo de uma corda esticada; elas produzem uma onda resultante com uma amplitude de 9,0 mm. A constante de fase da onda de 5,0 mm é 0. Qual a constante de fase da onda de 7,0 mm?

31P. Três ondas senoidais de mesma frequência se propagam ao longo de uma corda no sentido positivo de um eixo x. As suas amplitudes são y_1 , $y_1/2$ e $y_1/3$, e as suas constantes de fase são 0, $\pi/2$ e π , respectivamente. Qual (a) a amplitude e (b) a constante de fase da onda resultante? (c) Desenhe o formato da onda resultante em $t = 0$ e discuta seu comportamento quando t aumenta.

SEÇÃO 17.12 Ondas Estacionárias e Ressonância

32E. Uma corda sujeita a uma tração τ , oscila no terceiro harmônico com frequência f_1 e as ondas na corda têm comprimento de onda λ_1 . Se a tração for aumentada para $\tau_2 = 4\tau$, e fizermos a corda oscilar novamente no terceiro harmônico, quais serão então (a) a frequência de oscilação em termos de f_1 e (b) o comprimento de onda das ondas em termos de λ_1 ?

33E. Uma corda de violão de náilon possui uma massa específica linear de 7,2 g/m e está sujeita a uma tração de 150 N. Os apoios fixos estão separados de 90 cm. A corda está vibrando no padrão de onda estacionária mostrado na Fig. 17.32. Calcule (a) a velocidade, (b) o comprimento de onda e (c) a frequência das ondas progressivas cuja superposição fornece esta onda estacionária.



Fig. 17.32 Exercício 33.

34E. Duas ondas senoidais com comprimentos de onda e amplitude idênticos se propagam em sentidos opostos ao longo de uma corda com uma velocidade de 10 cm/s. Se o intervalo de tempo entre os instantes

em que a corda está sem curvatura for de 0,50 s, qual o comprimento de onda das ondas?

35E. Uma corda fixada nas duas extremidades tem 8,40 m de comprimento e uma massa de 0,120 kg. Ela está sujeita a uma tração de 96,0 N e é posta para vibrar. (a) Qual a velocidade das ondas na corda? (b) Qual o maior comprimento de onda possível para uma onda estacionária? (c) Forneça a frequência dessa onda.

36E. Uma corda de 125 cm de comprimento possui uma massa de 2,00 g. Ela é esticada com uma tração de 7,00 N entre apoios fixos. (a) Qual a velocidade de onda para esta corda? (b) Qual a frequência de ressonância mais baixa desta corda?

37E. Quais as três frequências mais baixas para ondas estacionárias em um fio metálico de 10,0 m de comprimento que possui uma massa de 100 g e que está alongado sujeito a uma tração de 250 N?

38P. Uma corda A é esticada entre dois fixadores separados por uma distância L. Uma corda B, com mesma massa específica linear e sujeita à mesma tração que a corda A, é esticada entre dois fixadores separados por uma distância 4L. Considere os oito primeiros harmônicos da corda B. Qual, se houver, possui uma frequência de ressonância que coincide com uma frequência de ressonância da corda A?

39P. Uma corda que está esticada entre apoios fixos separados de 75,0 cm possui frequências de ressonância de 420 e 315 Hz, sem frequências de ressonância intermediárias. Qual (a) a frequência de ressonância mais baixa e (b) a velocidade da onda?

40P. Na Fig. 17.33, dois pulsos se propagam ao longo de uma corda em sentidos opostos. A velocidade de onda v é 2,0 m/s e os pulsos estão distantes 6,0 cm em $t = 0$. (a) Esboce os padrões de onda quando t é igual a 5,0; 10; 15; 20 e 25 ms. (b) Em que forma (ou tipo) está a energia dos pulsos em $t = 15$ ms?

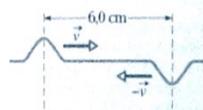


Fig. 17.33 Problema 40.

41P. Uma corda vibra de acordo com a equação

$$y' = (0,50 \text{ cm}) \sin \left[\left(\frac{\pi}{3} \text{ cm}^{-1} \right) x \right] \cos[(40\pi \text{ s}^{-1})t].$$

Qual (a) a amplitude e (b) a velocidade das duas ondas (idênticas com exceção do sentido de propagação) cuja superposição fornece esta vibração? (c) Qual a distância entre os nós? (d) Qual a velocidade de uma partícula da corda na posição $x = 1,5$ cm quando $t = \frac{7}{8}$ s?

42P. Uma onda estacionária resulta da soma de duas ondas transversais progressivas dadas por

$$y_1 = 0,050 \cos(\pi x - 4\pi t)$$

e

$$y_2 = 0,050 \cos(\pi x + 4\pi t),$$

onde x, y, e y₂ estão em metros e t está em segundos. (a) Qual o menor valor positivo de x que corresponde a um nó? (b) Em que instantes durante o intervalo $0 \leq t \leq 0,50$ s a partícula em $x = 0$ terá velocidade nula?

43P. Uma corda com 3,0 m de comprimento está oscilando como uma onda estacionária de três laços com uma amplitude de 1,0 cm. A velocidade de onda é igual a 100 m/s. (a) Qual a frequência? (b) Escreva equações para as duas ondas que, quando combinadas, resultarão nesta onda estacionária.

44P. Em um experimento de ondas estacionárias, uma corda de 90 cm de comprimento é presa à haste de um diapasão acionado eletricamente que oscila perpendicularmente ao comprimento da corda a uma frequên-

cia de 60 Hz. A massa da corda é igual a 0,044 kg. A que tração deve ser submetida a corda (pesos são presos à outra extremidade) para que ela oscile com quatro laços?

45P. As oscilações de um diapasão de 600 Hz geram ondas estacionárias em uma corda presa por fixadores nas duas extremidades. A velocidade da onda para a corda é de 400 m/s. A onda estacionária possui quatro laços e uma amplitude de 2,0 mm. (a) Qual o comprimento da corda? (b) Escreva uma equação para o deslocamento da corda em função da posição e do tempo.

46P. Uma corda, sujeita a uma tração de 200 N e fixada nas duas extremidades, oscila em um padrão de onda estacionária de segundo harmônico. O deslocamento da corda é dado por

$$y = (0,10 \text{ m}) \sin(\pi x/2) \sin 12\pi t,$$

onde $x = 0$ em uma extremidade da corda, x está em metros e t está em segundos. Qual (a) o comprimento da corda, (b) a velocidade das ondas na corda e (c) a massa da corda? (d) Se a corda oscilar em um padrão de onda estacionária de terceiro harmônico, qual será o período de oscilação?

47P. Um gerador em uma extremidade de uma corda muito longa cria uma onda dada por

$$y = (6,0 \text{ cm}) \cos \frac{\pi}{2} [(2,0 \text{ m}^{-1})x + (8,0 \text{ s}^{-1})t],$$

e em na outra extremidade cria a onda

$$y = (6,0 \text{ cm}) \cos \frac{\pi}{2} [(2,0 \text{ m}^{-1})x - (8,0 \text{ s}^{-1})t].$$

Calcule (a) a frequência, (b) o comprimento de onda e (c) a velocidade de cada onda. Em que valores de x estão (d) os nós e (e) os antinós?

48P. Um padrão de onda estacionária em uma corda é descrito por

$$y(x, t) = 0,040 \sin 5\pi x \cos 40\pi t,$$

onde x e y estão em metros e t em segundos. (a) Determine a localização de todos os nós para $0 \leq x \leq 0,40$ m. (b) Qual o período do movimento oscilatório de qualquer ponto (exceto os nós) sobre a corda? Qual (c) a velocidade e (d) a amplitude das duas ondas progressivas que sofrem interferência para produzirem esta onda? (e) Em que instantes para $0 \leq t \leq 0,050$ s todos os pontos na corda terão velocidade transversal nula?

49P. Mostre que a energia cinética máxima em cada laço de uma onda estacionária produzida por duas ondas progressivas de amplitudes idênticas é $2\pi^2 \mu y_m^2 f v$.

50P. Para uma certa onda estacionária transversal em uma corda longa, um antinó está em $x = 0$ e um nó está em $x = 0,10$ m. O deslocamento y(t) da partícula da corda em $x = 0$ é mostrado na Fig. 17.34. Quando $t = 0,50$ s, quais são os deslocamentos das partículas da corda em (a) $x = 0,20$ m e (b) $x = 0,30$ m? Em $x = 0,20$ m, quais são as velocidades transversais das partículas da corda em (c) $t = 0,50$ s e (d) $t = 1,0$ s? (e) Esboce a onda estacionária em $t = 0,50$ s para a faixa de $x = 0$ até $x = 0,40$ m.

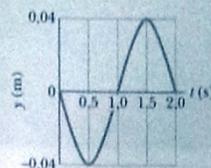


Fig. 17.34 Problema 50.

51P. Na Fig. 17.35, um fio de alumínio, de comprimento $L_1 = 60,0$ cm, área de seção transversal de $1,00 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ e massa específica de 2,60 g/cm³, está emendado a um fio de aço, de massa específica igual a 7,80 g/cm³ e de mesma área da seção transversal. O fio composto, carregado com um bloco de massa $m = 10,0$ kg, está disposto de modo que a distância L_2 da junta até a roldana de sustentação é de 86,6 cm. Ondas transversais são geradas no fio por meio de uma fonte externa de frequência

variável; um nó está localizado na roldana. (a) Ache a frequência de excitação mais baixa para a qual se observam ondas estacionárias de tal maneira que a junta no fio seja um dos nós. (b) Quantos nós são observados nesta frequência?

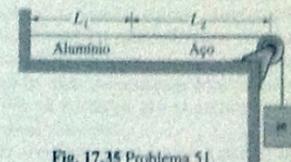


Fig. 17.35 Problema 51.

Problema Adicional

52. Colete à prova de bala. Quando um projétil se deslocando à alta velocidade, como uma bala ou um fragmento de bomba, bate em um moderno colete à prova de bala, o tecido do colete pára o projétil e evita a penetração espalhando rapidamente a energia do projétil sobre uma grande área. Este espalhamento é feito por pulsos longitudinais e transversais que se movem radialmente a partir do ponto de impacto, no qual o projétil pressiona e cria uma massa de forma cônica para dentro do tecido. O pulso longitudinal, se propagando rapidamente ao longo das fibras do tecido com velocidade v_l à frente da massa, faz com que as fibras fiquem finas e se alonguem, com o material escoando radialmente para dentro da massa. Uma destas fibras radiais é mostrada na Fig. 17.36a. Parte da energia do projétil vai para este movimento e alongamento. O pulso transversal, se movendo a uma velocidade menor v_t , se deve à formação da massa. A medida que o projétil aumenta a profundidade da massa, o raio da massa aumenta, fazendo com que o material nas fibras se mova na mesma direção que o projétil (perpendicularmente à direção de propagação do pulso transversal). O resto da energia do projétil vai para este movimento. Toda a energia que no fim das contas não é gasta na deformação permanente das fibras acaba virando energia térmica.

A Fig. 17.36b é um gráfico da velocidade escalar v contra o tempo t para uma bala de massa igual a 10,2 g disparada de um revólver Special 38 à queima-roupa. Considere $v_l = 2000$ m/s e suponha que o semi-ângulo θ da massa cônica seja igual a 60°. Ao fim da colisão, quais os raios (a) da região de espessura reduzida e (b) da massa (supondo que a pessoa que está vestindo o colete permaneça parada)?

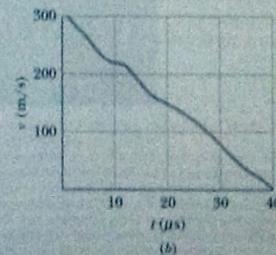
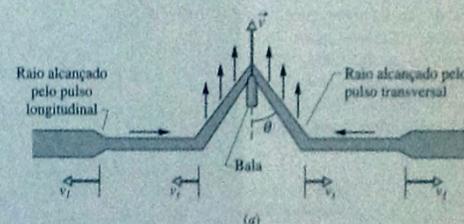


Fig. 17.36 Problema 52.

Intensidade Sonora A intensidade I de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com que a onda transfere energia através ou para a superfície:

$$I = \frac{P}{A} \quad (18.26)$$

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

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 s_m^2 \quad (18.27)$$

A intensidade a uma distância r de uma fonte pontual que emite ondas sonoras de potência P , é

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (18.28)$$

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

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0} \quad (18.29)$$

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 por um fator de 10 na intensidade, soma-se 10 dB ao nível sonoro.

Padrões de Ondas Estacionárias em Tubos Padrões de ondas sonoras estacionárias podem ser gerados em tubos. Um tubo aberto nas duas extremidades entrará em ressonância nas frequências

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (18.39)$$

PERGUNTAS

1. A Fig. 18.25 mostra as trajetórias tomadas por dois pulsos sonoros que se iniciam simultaneamente e depois dispõem uma corrida um com o outro através de uma mesma distância no ar. A única diferença entre as trajetórias é que existe uma região de ar quente (com baixa densidade) ao longo da trajetória 2. Que pulso vence a corrida?

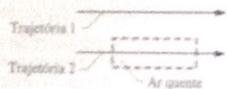


Fig. 18.25 Pergunta 1.

2. Uma onda sonora de comprimento de onda λ e amplitude de deslocamento s_m começa a se propagar em uma passagem (um tubo, a abertura do ouvido, etc.). Quando um pequeno dispositivo na passagem detecta esta onda, ele emite uma segunda onda sonora (chamada de anti-som) que é capaz de cancelar a primeira onda, de modo que nada seja ouvido na extremidade distante da passagem. Para tal cancelamento, qual deve ser (a) o sentido de propagação, (b) o comprimento de onda e (c) a amplitude do deslocamento da segunda onda? (d) Qual deve ser a diferença de fase entre as duas ondas? (Tais dispositivos anti-som são usados para eliminar sons indesejáveis em ambientes ruidosos.)

3. Na Fig. 18.26, duas fontes pontuais S_1 e S_2 , que estão em fase, emitem ondas sonoras idênticas de comprimento de onda igual a $2,0 \text{ m}$. Qual a diferença de fase, em termos de comprimentos de onda, entre as ondas chegando no ponto P se (a) $L_1 = 38 \text{ m}$ e $L_2 = 34 \text{ m}$ e (b) $L_1 = 39 \text{ m}$ e $L_2 = 36 \text{ m}$? (c) Supondo que a separação entre as fontes é muito menor do que L_1 e L_2 , que tipo de interferência ocorre em P nas situações (a) e (b), respectivamente?

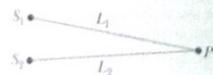


Fig. 18.26 Pergunta 3.

4. Na Fig. 18.27, ondas sonoras de comprimento de onda λ são emitidas por uma fonte pontual S e se propagam até um detector D em linha reta ao longo da trajetória 1 e via reflexão em um painel ao longo da trajetória 2. Inicialmente, o painel está bem próximo da trajetória 1, e as ondas chegando em D ao longo das duas trajetórias estão quase exatamente em fase. Depois, o painel é afastado da trajetória 1, como mostrado, até que as ondas chegando em D estejam exatamente fora de fase. Qual é então a diferença de comprimento de trajetórias ΔL das ondas ao longo das duas trajetórias?

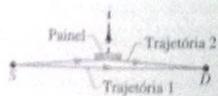


Fig. 18.27 Pergunta 4.

5. Na Fig. 18.28, duas fontes pontuais S_1 e S_2 , que estão em fase, emitem ondas sonoras idênticas de comprimento de onda λ , e o ponto P está à mesma distância delas. S_1 é então afastada de P em linha reta de uma distância igual a $\lambda/4$. As ondas em P neste caso estão exatamente

onde v é a velocidade do som no ar dentro do tubo. Para um tubo fechado em uma extremidade e aberto na outra, as frequências de ressonância são

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{4L}, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (18.41)$$

Batimentos Batimentos surgem quando duas ondas com frequências ligeiramente diferentes, f_1 e f_2 , são detectadas simultaneamente. A frequência de batimento é

$$f_{\text{bat}} = |f_1 - f_2| \quad (18.46)$$

O Efeito Doppler O efeito Doppler é uma alteração na frequência observada de uma onda quando a fonte e/ou o detector se movem em relação ao meio transmissor (como o ar). Para o som, a frequência observada f' é dada em termos da frequência da fonte f por

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \pm v_S} \quad (\text{efeito Doppler geral}), \quad (18.47)$$

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 de tal modo que f' tenda a ser maior para movimentos (do detector ou da fonte) de "aproximação" e menor para movimentos de "afastamento".

Ondas de Choque Se a velocidade de uma fonte em relação ao meio ultrapassar a velocidade do som no meio, a equação de Doppler deixa de ser válida. Neste caso, ocorrem ondas de choque. O semi-ângulo θ do cone de Mach é dado por

$$\sin \theta = \frac{v}{v_S} \quad (\text{ângulo do cone de Mach}). \quad (18.57)$$

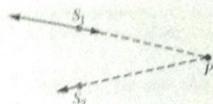


Fig. 18.28 Pergunta 5.

em fase, exatamente fora de fase, ou elas têm alguma relação de fases intermediária se (a) S_1 for aproximada de P em linha reta de uma distância igual a $\lambda/4$ e (b) S_1 for afastada de P em linha reta de uma distância igual a $3\lambda/4$?

6. No Problema Resolvido 18.3 e Fig. 18.9a, as ondas que chegam ao ponto P_1 , sobre a bissetriz do segmento que une as duas fontes, estão exatamente em fase; ou seja, as ondas vindas de S_1 e S_2 sempre tendem a mover um elemento de ar em P_1 na mesma direção e no mesmo sentido. Considere o ponto P_1 de interseção da linha que une S_1 e S_2 com a sua bissetriz. (a) As ondas que chegam a P_1 estão exatamente em fase, exatamente fora de fase (ou em oposição de fase), ou há entre elas uma relação intermediária? (b) Qual a resposta se aumentarmos a separação entre as fontes para $1,7\lambda$?

7. Uma onda sonora estacionária em um tubo possui cinco nós e cinco antinós. (a) Quantas extremidades abertas tem o tubo? (b) Qual o número harmônico n para esta onda estacionária?

8. O sexto harmônico é gerado em um tubo. (a) Quantas extremidades abertas possui o tubo (ele possui pelo menos uma)? Existe um nó, um antinó ou algum estado intermediário no ponto médio do tubo?

9. (a) Quando uma orquestra faz o seu aquecimento, a respiração quente dos músicos aumenta a temperatura do ar no interior dos instrumentos de sopro (diminuindo assim a massa específica desse ar). As frequências de ressonância destes instrumentos aumentam ou diminuem? (b) Quando o cursor de um trombone é empurrado para fora, as frequências de ressonância do instrumento aumentam ou diminuem?

10. As quatro das seis frequências de harmônicos para um determinado tubo abaixo de 1000 Hz são $300, 600, 750$ e 900 Hz . Quais as duas frequências que estão faltando na lista?

11. O tubo A possui comprimento L e uma extremidade aberta. O tubo B possui comprimento $2L$ e as duas extremidades abertas. Quais harmônicos do tubo B possuem uma frequência que coincida com uma frequência de ressonância do tubo A ?

12. A Fig. 18.29 mostra uma corda esticada de comprimento L e os tubos a, b, c e d de comprimentos $L, 2L, L/2$ e $L/2$, respectivamente. A tração na corda é ajustada até que a velocidade das ondas na corda seja igual à velocidade das ondas sonoras no ar. O modo fundamental de oscilação é então gerado na corda. Em que tubo o som produzido pela corda provocará ressonância, e que modo de oscilação esse som gerará?

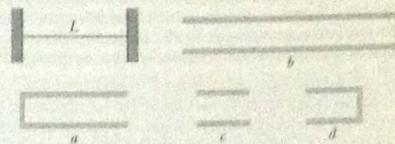


Fig. 18.29 Pergunta 12.

13. Ondas sonoras de frequência f são refletidas por um fluido que se move através de um tubo estreito ao longo de um eixo x (Fig. 18.30a). O diâmetro interno do tubo varia com x . A alteração na frequência Δf do som, devida ao efeito Doppler, também varia com x , como mostrado na Fig. 18.30b. Classifique as cinco regiões indicadas em termos do diâmetro interno do tubo, do maior para o menor. (Dica: Veja a Seção 15.10.)

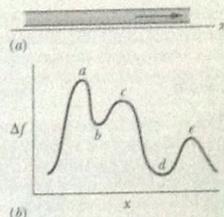


Fig. 18.30 Pergunta 13.

14. Um amigo seu passeia, nas beiradas de três carrósseis rápidos, um após o outro, enquanto segura uma fonte sonora que emite som isotropicamente a uma certa frequência. Você está de pé longe de cada carróssel. A frequência que você escuta para cada um dos três passeios do seu amigo varia quando o carróssel gira. As variações na frequência para os três passeios são dadas pelas três curvas na Fig. 18.31. Classifique as curvas de acordo com (a) a velocidade escalar linear v da fonte sonora, (b) a velocidade angular ω dos carrósseis e (c) os raios r dos carrósseis, dos maiores para os menores.

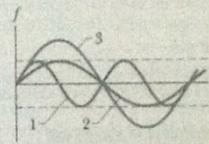


Fig. 18.31 Pergunta 14.

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

Onde for necessário nos problemas, use

velocidade do som no ar = 343 m/s

massa específica do ar = $1,21 \text{ kg/m}^3$

e a menos que sejam especificados outros valores.

SEÇÃO 18.2 A Velocidade do Som

1E. Proponha uma regra para encontrar a sua distância em quilômetros de um clarão luminoso contando os segundos desde o momento em que

o clarão até você escutar o trovão. Suponha que o som se propaga até você ao longo de uma linha reta.

2E. Você está em um grande concerto ao ar livre, sentado a 300 m de um sistema de alto-falantes. O concerto também está sendo transmitido ao vivo via satélite (com a velocidade da luz, $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$). Considere um ouvinte distante 5000 km que receba a transmissão. Quem ouve a música primeiro, você ou o ouvinte, e com que diferença de tempo?

3E. Dois espectadores em um jogo de futebol no Estádio Montjuïc vêem, e em um momento posterior escutam, a bola sendo chutada no campo

de futebol. O tempo de atraso para um espectador é de 0,23 s e para o outro é de 0,12 s. As linhas de visão dos dois espectadores até o jogador chutando a bola formam um ângulo de 90°. (a) Qual a distância de cada espectador ao jogador? (b) Qual a separação entre os espectadores?

ME Uma coluna de soldados, marchando a 120 passos por minuto, acompanha os passos com a batida de um tambor que vai na frente da coluna. Observa-se que os soldados na extremidade posterior da coluna estão marchando para a frente com o pé esquerdo quando o soldado que toca o tambor está avançando com o pé direito. Qual o comprimento aproximado da coluna?

SP Terremotos geram ondas sonoras no interior da Terra. Ao contrário de um gás, a Terra pode experimentar tanto ondas sonoras transversais (S) quanto longitudinais (P). Tipicamente, a velocidade das ondas do tipo S é de cerca de 4,5 km/s, e a das ondas do tipo P de 8,0 km/s. Um sismógrafo registra ondas P e S de um terremoto. As primeiras ondas P chegam 3,0 min antes das primeiras ondas S (Fig. 18.32). Supondo que as ondas se propagam em linha reta, a que distância ocorreu o terremoto?

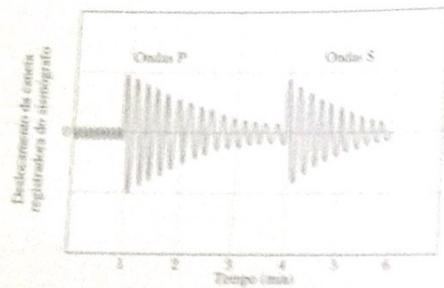


Fig. 18.32 Problema 5.

6P. A velocidade do som em um certo metal é v . Uma extremidade de um tubo longo desse metal de comprimento L recebe uma pancada dura. Um ouvinte na outra extremidade escuta dois sons, um vindo da onda que se propaga ao longo do tubo e o outro vindo da onda que se propaga através do ar. (a) Se v for a velocidade do som no ar, que intervalo de tempo t decorre entre as chegadas dos dois sons? (b) Suponha que $t = 1,00$ s e que o metal é o aço. Determine o comprimento L .

7P. Uma pedra é largada dentro de um poço. O som da pedra batendo na água é ouvido 3,0 s depois. Qual a profundidade do poço?

SEÇÃO 18.3 Ondas Sonoras Progressivas

8E. A faixa de frequência audível para um ouvido normal é de cerca de 20 Hz a 20 kHz. Quais são os comprimentos de onda de ondas sonoras nestas frequências?

25. O ultra-som para diagnóstico na frequência de 4,50 MHz é usado para examinar tumores em tecidos moles. (a) Qual o comprimento de onda no ar de uma onda sonora deste tipo? (b) Se a velocidade do som no tecido for de 1500 m/s, qual será o comprimento de onda desta onda no tecido?

10P. (a) Uma onda longitudinal senoidal contínua é enviada ao longo de uma mola em espiral muito comprida a partir de uma fonte oscilatória presa a ela. A frequência da fonte é 25 Hz, e em qualquer instante a distância entre pontos sucessivos de máxima expansão na mola é de 24 cm. Encontre a velocidade da onda. (b) Se o deslocamento longitudinal máximo de uma partícula da mola for de 0,30 cm e a onda se mover no

sentido negativo de um eixo x , escreva a equação para a onda. Coloque $x = 0$ na fonte e tome o deslocamento nesse local como nulo quando $t = 0$.

11P. A pressão em uma onda sonora progressiva é dada pela equação $\Delta p = (1,50 \text{ Pa}) \sin \pi [(0,900 \text{ m}^{-1})x - (315 \text{ s}^{-1})t]$.

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

SEÇÃO 18.4 Interferência

12P. Duas fontes pontuais de ondas sonoras de comprimento de onda λ e amplitude idênticos estão separadas por uma distância $D = 2,0\lambda$. As fontes estão em fase. (a) Quantos pontos de sinal máximo (ou seja, de máxima interferência construtiva) existem ao longo de uma grande circunferência de círculo ao redor das fontes? (b) Quantos pontos de sinal mínimo (interferência destrutiva) existem ao redor da circunferência da mesma forma?

13P. Na Fig. 18.33 dois alto-falantes, separados por uma distância de 2,00 m, estão em fase. Suponha que as amplitudes do som vindo dos alto-falantes são aproximadamente as mesmas na posição de um ouvinte, que está a 3,75 m em linha reta em frente de um dos alto-falantes. (a) Para que frequências na faixa audível (20 Hz a 20 kHz) o ouvinte escuta um sinal mínimo? (b) Para que frequências o sinal é máximo?

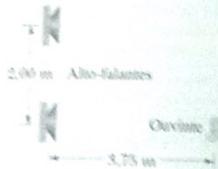


Fig. 18.33 Problema 13.

14P. Duas ondas sonoras, vindas de duas diferentes fontes com a mesma frequência, 540 Hz, se propagam na mesma direção e sentido a 330 m/s. As fontes estão em fase. Qual a diferença de fase entre as ondas em um ponto que está a 4,40 m de uma fonte e a 4,00 m da outra?

15P. Dois alto-falantes estão localizados a 3,35 m um do outro em um palco ao ar livre. Um ouvinte está a 18,3 m de um deles e a 19,5 m do outro. Durante a verificação do som, um gerador de sinais coloca os dois alto-falantes em fase com a mesma amplitude e frequência. A frequência transmitida varia na faixa audível (20 Hz a 20 kHz). (a) Quais são as frequências mais baixas nas quais o ouvinte escutará um sinal mínimo por causa de interferência destrutiva? (b) Quais as três frequências mais baixas nas quais o ouvinte escutará um sinal máximo?

16P. Na Fig. 18.34, um som com um comprimento de onda de 40,0 cm se propaga para a direita a partir de uma fonte e através de um tubo que é formado por uma porção reta e um semicírculo. Parte da onda sonora se propaga através do semicírculo e depois volta a se juntar ao resto da onda, que se propaga em linha reta através da porção reta. O resultado da junção é uma interferência. Qual o menor raio r que resulta em uma intensidade mínima no detector?



Fig. 18.34 Problema 16.

SEÇÃO 18.5 Intensidade e Nível Sonoro

17E. Uma fonte emite ondas sonoras isotropicamente. A intensidade das ondas a 2,50 m da fonte é de $1,91 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$. Supondo que a energia das ondas se conserva, encontre a potência da fonte.

18E. Uma fonte pontual de 1,0 W emite ondas sonoras isotropicamente. Supondo que a energia das ondas se conserva, ache a intensidade a (a) 1,0 m da fonte e (b) 2,5 m da fonte.

19E. Uma onda sonora com frequência de 300 Hz possui uma intensidade de $1,00 \mu\text{W/m}^2$. Qual a amplitude das oscilações do ar provocadas por esta onda?

20E. Dois sons diferem em nível sonoro por 1,00 dB. Qual a razão entre a maior intensidade e a menor intensidade?

21E. Uma certa fonte sonora tem o seu nível sonoro aumentado de 30 dB. Por qual fator de multiplicação (a) sua intensidade aumentou e (b) sua amplitude de pressão aumentou?

22E. A fonte de uma onda sonora possui uma potência de 1,00 μW . Se ela for uma fonte pontual, (a) qual será a intensidade a 3,00 m de distância e (b) qual será o nível sonoro em decibéis a essa distância?

23E. (a) Se duas ondas sonoras, uma no ar e uma em água (doce), tiverem a mesma intensidade, qual será a razão entre as amplitudes de pressão da onda na água e da onda no ar? Suponha que a água e o ar estejam a 20°C. (Veja a Tabela 15.1.) (b) Se, em vez disso, as amplitudes de pressão forem iguais, qual será a razão entre as intensidades das ondas?

24P. Suponha que um barulhento trem de carga em trilhos em linha reta emita uma onda sonora cilíndrica que se expande, e que o ar não absorva energia. Qual será a dependência da amplitude s_m da onda com a distância perpendicular r medida a partir da fonte?

25P. (a) Mostre que a intensidade I de uma onda é o produto da energia por unidade de volume w da onda pela sua velocidade v . (b) Ondas de rádio se propagam a uma velocidade de $3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$. Encontre w para uma onda de rádio a 480 km de uma fonte de 50000 W, supondo que as frentes de onda sejam esféricas.

26P. Encontre as razões (da maior para a menor) (a) entre as intensidades, (b) as amplitudes de pressão e (c) as amplitudes de deslocamentos da partícula para dois sons cujos níveis sonoros diferem de 37 dB.

27P. 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 qualquer distância r medida a partir da fonte:

$$s = \frac{A}{r} \sin k(r - vt)$$

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

28P. 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 da fonte. Calcule (a) a intensidade do som neste local e (b) a potência interceptada pelo microfone.

29P*. A Fig. 18.35 mostra um interferômetro acústico cheio de ar usado para demonstrar a interferência de ondas sonoras. A fonte sonora S

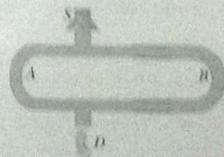


Fig. 18.35 Problema 29.

é um diágrama oscilante: D é um deslocamento, tal como um oscilômetro ou um microfone. O trajeto SBD pode ser seu comprimento modificado, mas o trajeto SAD é fixo. Em D , a onda sonora vinda da trajetória SBD interfere com aquela vinda da trajetória SAD . Em uma demonstração, a intensidade sonora em D possui um valor máximo de 100 unidades em uma posição do braço BD e cresce continuamente até um valor máximo de 900 unidades quando o braço está deslocado de 1,65 cm. Encontre (a) a frequência do som emitido pela fonte e (b) a razão entre as amplitudes da onda SAD e da onda SBD em D . (c) Como é possível que estas ondas tenham diferentes amplitudes, considerando-se que elas são originárias da mesma fonte?

SEÇÃO 18.6 Fontes de Som Musical

30E. Uma corda de violino com 15,0 cm de comprimento e fixada nas extremidades oscila em seu primeiro modo ($n = 1$). A velocidade das ondas na corda é de 250 m/s e a velocidade do som no ar é de 340 m/s. Qual (a) a frequência e (b) o comprimento de onda da onda sonora emitida?

31E. O tubo de órgão A , com as duas extremidades abertas, possui uma frequência fundamental de 300 Hz. O terceiro harmônico do tubo de órgão B , com uma extremidade aberta, possui a mesma frequência que o segundo harmônico do tubo A . Qual o comprimento (a) do tubo A e (b) do tubo B ?

32E. O nível de água em um tubo de vidro vertical com 1,00 m de comprimento pode ser ajustado a qualquer posição no tubo. Um diapasão vibrando a 686 Hz é mantido logo acima da extremidade mais alta do tubo, para gerar uma onda sonora estacionária na porção mais alta cheia de ar do tubo. (Essa porção mais alta cheia de ar age como um tubo com uma extremidade fechada e a outra extremidade aberta.) Em que posições do nível de água ocorre ressonância?

33E. (a) Encontre a velocidade das ondas em uma corda de violino com massa de 800 mg e 22,0 cm de comprimento se a frequência fundamental for de 920 Hz. (b) Qual a tração na corda? (c) Para o modo fundamental, qual o comprimento de onda (c) das ondas na corda e (d) das ondas sonoras emitidas pela corda?

34P. Uma certa corda de violino possui 30 cm de comprimento entre as suas extremidades fixas e uma massa de 2,0 g. A corda "solta" (sem nenhum dedo aplicado a ela) emite uma nota lá (440 Hz). (a) Para tocar uma nota dó (523 Hz), a que distância na corda deve-se colocar um dedo? (b) Qual a razão entre o comprimento de onda das ondas de corda necessárias para uma nota lá e o necessário para uma nota dó? (c) Qual a razão entre o comprimento de onda de uma onda sonora para uma nota lá e o comprimento para uma nota dó?

35E. Na Fig. 18.36, S é um pequeno alto-falante controlado por um oscilador e amplificador de áudio, com ajuste de frequência entre 1000 e 2000 Hz apenas. O tubo D é um pedaço de tubo cilíndrico feito de uma folha metálica com 45,7 cm de comprimento e aberto nas duas extremidades. (a) Se a velocidade do som no ar for de 344 m/s na temperatura existente, em que frequências ocorrerá ressonância no tubo quando a frequência emitida pelo alto-falante variar de 1000 até 2000 Hz? (b) Babeco a onda estacionária (usando o estilo da Fig. 18.14b) para cada frequência de ressonância.

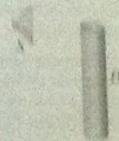


Fig. 18.36 Problema 35.

36P. Uma corda de um violoncelo possui comprimento L , para o qual a frequência fundamental é f . (a) De que comprimento l a corda deve

ser encurtada com o dedo para alterar a frequência fundamental para f' ? (b) Qual o valor de l se $L = 0,80$ m e $r = 1,2$? (c) Para $r = 1,2$, qual a razão entre o comprimento de onda da nova onda sonora emitida pela corda e o comprimento de onda da onda emitida antes de se colocar o dedo?

37P. Um poço com laterais verticais e água no fundo entra em ressonância em 7,00 Hz e em nenhuma frequência abaixo desta. (A porção do poço cheia de ar atua como um tubo com uma extremidade fechada e uma extremidade aberta.) O ar no poço possui uma massa específica de $1,10 \text{ kg/m}^3$ e um módulo de compressão de $1,33 \times 10^5 \text{ Pa}$. Qual a profundidade da superfície da água no poço?

38P. Um tubo de 1,20 m de comprimento está fechado em uma das extremidades. Um fio metálico esticado é colocado próximo à extremidade aberta. O fio possui 0,330 m de comprimento e uma massa de 9,60 g. Ele está fixado em ambas as extremidades e vibra no seu modo fundamental. Por ressonância, ele faz a coluna de ar no tubo oscilar na frequência fundamental dessa coluna. Encontre (a) essa frequência de oscilação da coluna de ar e (b) a tração no fio.

39P. O período de uma estrela variável pulsante pode ser estimado considerando que a estrela esteja executando pulsações longitudinais radiais no modo de onda estacionária fundamental; ou seja, o raio da estrela varia periodicamente com o tempo, com um antinó de deslocamento na superfície da estrela. (a) Você esperaria que o centro da estrela fosse um nó ou um antinó? (b) Por analogia com um tubo com uma extremidade aberta, mostre que o período de pulsação T é dado por

$$T = \frac{4R}{v}$$

onde R é o raio de equilíbrio da estrela e v é a velocidade média do som na matéria da estrela. (c) Estrelas anãs brancas típicas são compostas de um material com um módulo de compressão de $1,33 \times 10^{22} \text{ Pa}$ e uma massa específica de 10^9 kg/m^3 . Elas possuem raios iguais a $9,0 \times 10^{-3}$ raios solares. Qual o período de pulsação aproximado de uma anã branca?

40P. O tubo A, que possui 1,2 m de comprimento e é aberto nas duas extremidades, vibra na sua terceira frequência harmônica mais baixa. Ele está cheio de ar para o qual a velocidade do som é de 343 m/s. O tubo B, que é fechado em uma extremidade, vibra na sua segunda frequência harmônica mais baixa. As frequências dos tubos A e B coincidem. (a) Se um eixo x se estende ao longo do interior do tubo A, com $x = 0$ em uma extremidade, onde ao longo do eixo x estão os nós de deslocamento? (b) Qual o comprimento do tubo B? (c) Qual a frequência harmônica mais baixa do tubo A?

41P. Uma corda de violino de 30,0 cm de comprimento, com massa específica linear de 0,650 g/m, é colocada próximo a um alto-falante que é alimentado por um oscilador de áudio de frequência variável. Descobre-se que a corda entra em oscilação apenas nas frequências de 880 e 1320 Hz quando se varia a frequência do oscilador em toda a faixa de 500 a 1500 Hz. Qual a tração na corda?

SEÇÃO 12.7 Batimentos

42E. A corda lá de um violino está um pouco mais esticada do que deveria. Quatro batimentos por segundo são ouvidos quando a corda é tocada junto com um diapasão que está vibrando precisamente na nota lá (440 Hz). Qual o período de oscilação da corda do violino?

43E. Um diapasão de frequência desconhecida produz três batimentos por segundo com um diapasão padrão de frequência igual a 384 Hz. A frequência de batimento diminui quando um pequeno pedaço de cera é colado em cima do primeiro diapasão. Qual a frequência deste diapasão?

44P. Você possui cinco diapasões que vibram com frequências próximas, mas diferentes. Qual (a) o número máximo e (b) o número mínimo de frequências de batimento diferentes que você pode produzir ouvindo dois diapasões de cada vez, dependendo de quais as frequências diferentes?

45P. Duas cordas de piano idênticas têm uma frequência fundamental de 600 Hz quando mantidas sob a mesma tração. Que fração de aumento na tração de uma corda levará à ocorrência de 6 batimentos/s quando as duas cordas vibrarem simultaneamente?

SEÇÃO 18.8 O Efeito Doppler

46E. O vigilante rodoviário B está perseguindo o motorista A em excesso de velocidade em um trecho reto de uma estrada. Os dois estão se movendo a 160 km/h. O vigilante rodoviário B, não conseguindo alcançar o infrator, soa a sua sirene novamente. Tome a velocidade do som no ar como sendo de 343 m/s e a frequência da fonte como sendo de 500 Hz. Qual a mudança Doppler na frequência ouvida pelo infrator A?

47E. O som alto e contínuo de 16000 Hz das turbinas em um motor a jato de uma aeronave movendo-se com uma velocidade de 200 m/s é ouvido em que frequência pelo piloto de uma segunda aeronave que está tentando ultrapassar a primeira a uma velocidade de 250 m/s?

48E. Uma ambulância com uma sirene emitindo um som alto e contínuo a 1600 Hz ultrapassa um ciclista pedalando uma bicicleta a 2,44 m/s. Após ser ultrapassado, o ciclista ouve uma frequência de 1590 Hz. Com que velocidade está se movendo a ambulância?

49P. Um apito com frequência de 540 Hz se move em um círculo de raio de 60,0 cm a uma velocidade angular de 15,0 rad/s. Qual (a) a frequência mais baixa e (b) a frequência mais alta escutadas por um ouvinte afastado de uma longa distância, em repouso em relação ao centro do círculo?

50P. Um detector de movimento estacionário envia ondas sonoras na frequência de 0,150 MHz em direção a um caminhão que se aproxima a uma velocidade de 45,0 m/s. Qual a frequência das ondas refletidas de volta para o detector?

51P. Um submarino francês e um submarino norte-americano movem-se em direção ao outro durante manobras em águas paradas no Atlântico Norte (Fig. 18.37). O submarino francês se move a 50,0 km/h e o submarino americano, a 70,0 km/h. O submarino francês envia um sinal de sonar (onda sonora na água) a 1000 Hz. As ondas de sonar se propagam a 5470 km/h. (a) Qual a frequência do sinal quando detectado pelo submarino norte-americano? (b) Qual a frequência detectada pelo submarino francês do sinal refletido de volta para ele pelo submarino norte-americano?

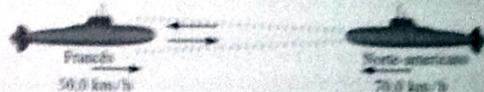


Fig. 18.37 Problema 51.

52P. Uma fonte sonora A e uma superfície refletora B movem-se em linha reta uma em direção à outra. Em relação ao ar, a velocidade da fonte A é de 29,9 m/s, a velocidade da superfície B é de 65,8 m/s e a velocidade do som é de 329 m/s. A fonte emite ondas na frequência de 1200 Hz quando medidas no referencial da fonte. No referencial do refletor, qual (a) a frequência e (b) o comprimento de onda das ondas sonoras que chegam? No referencial da fonte, qual (c) a frequência e (d) o comprimento de onda das ondas sonoras refletidas de volta para a fonte?

53P. Um alarme acústico contra roubos é formado por uma fonte emitindo ondas na frequência de 28,0 kHz. Qual a frequência de batimento entre as ondas da fonte e as ondas refletidas em um intruso caminhando a uma velocidade média de 0,350 m/s se afastando do alarme em linha reta?

54P. Um morcego está usando rapidamente um feixe em um lugar por muito tempo em uma caverna, navegando por meio da ecolocalização.

Suponha que a frequência de emissão sonora do morcego seja de 39000 Hz. Durante uma rápida arremetida em direção a uma superfície de parede plana, o morcego está se movendo a 0,025 da velocidade do som no ar. Que frequência o morcego escuta refletida pela parede?

55P. Uma menina está sentada próximo à janela aberta de um trem que está se movendo a uma velocidade de 10,00 m/s para o leste. O tio da menina está de pé próximo aos trilhos e vê o trem se afastar. O apito da locomotiva emite som na frequência de 500,0 Hz. O ar está parado. (a) Que frequência o tio ouve? (b) Que frequência a menina ouve? Um vento começa a soprar vindo do leste a 10,00 m/s. (c) Que frequência o tio ouve agora? (d) Que frequência a menina ouve agora?

56P. Uma sirene de 2000 Hz e um oficial da defesa civil estão ambos em repouso em relação ao solo. Que frequência o oficial ouve se o vento estiver soprando a 12 m/s (a) da fonte para o oficial e (b) do oficial para a fonte?

57P. Dois trens estão viajando um em direção ao outro a 30,5 m/s em relação ao solo. Um trem está soprando um apito a 500 Hz. (a) Que fre-

quência se ouve no outro trem com o ar parado? (b) Que frequência se ouve no outro trem se o vento estiver soprando a 30,5 m/s em direção ao apito e se afastando do ouvinte? (c) Que frequência se ouve se o sentido do vento for invertido?

SEÇÃO 18.9 Velocidades Supersônicas; Ondas de Choque

58E. Uma bala é disparada com a velocidade de 685 m/s. Determine o ângulo que o cone de choque faz com a linha do movimento da bala.

59P. Um avião a jato passa sobre você a uma altura de 5000 m e com uma velocidade de Mach 1,5. (a) Encontre o ângulo do cone de Mach. (b) Quanto tempo depois de o jato passar exatamente sobre a sua cabeça a onda de choque atinge você? Use 331 m/s para a velocidade do som.

60P. Um avião voa a 1,25 vezes a velocidade do som. Sua cauda vira e alcança um homem no chão 1,00 ms depois de o avião passar exatamente sobre a sua cabeça. Qual a altitude do avião? Suponha que a velocidade do som seja de 330 m/s.