

60 •• Uma corda, presa nas duas extremidades, possui ressonâncias sucessivas com comprimentos de onda de 0,54 m para o n -ésimo harmônico e de 0,48 m para o $(n + 1)$ -ésimo harmônico. (a) Que harmônicos são estes? (b) Qual é o comprimento da corda?

61 •• As cordas de um violino estão afinadas para as notas sol, ré, lá e mi, formando quintas sucessivas. Isto é, $f(\text{ré}) = 1,5f(\text{sol})$, $f(\text{lá}) = 1,5f(\text{ré}) = 440 \text{ Hz}$ e $f(\text{mi}) = 1,5f(\text{lá})$. A distância entre o cavalete da voluta e o cavalete do corpo do instrumento, os dois pontos fixos de cada corda, é 30,0 cm. A tração sobre a corda mi é de 90,0 N. (a) Qual é a massa específica linear da corda mi? (b) Para evitar distorções do instrumento ao longo do tempo, é importante que a tração em todas as cordas seja a mesma. Determine as massas específicas lineares das outras cordas.

62 •• Em um violoncelo, como na maioria dos instrumentos de corda, o posicionamento dos dedos pelo instrumentista determina as frequências fundamentais das cordas. Suponha que uma das cordas em um violoncelo esteja afinada para tocar um dó central (262 Hz) quando tocada em todo o seu comprimento. Qual é a fração desta corda que deve ser encurtada para tocar um mi (330 Hz)? E um sol (392 Hz)?

63 •• Para afinar um violino, primeiro você deve afinar a corda lá para a frequência correta de 440 Hz, e depois você toca, simultaneamente, esta e uma outra corda, e escuta os batimentos. Enquanto tocando as cordas lá e mi, você escuta uma frequência de batimento de 3,00 Hz e repara que a frequência de batimento aumenta se a tração na corda mi é aumentada. (A corda mi deve ser afinada em 660 Hz.) (a) Por que são produzidos batimentos quando estas duas cordas são tocadas simultaneamente? (b) Qual é a frequência de vibração da corda mi quando a frequência de batimento é de 3,00 Hz?

64 •• Uma corda de 2,00 m de comprimento, fixa em uma das extremidades e livre na outra (a extremidade livre está ligada a um cordão longo e leve), vibra em seu terceiro harmônico com uma amplitude máxima de 3,00 cm e uma frequência de 100 Hz. (a) Escreva a função de onda para esta vibração. (b) Escreva uma função para a energia cinética de um segmento da corda de comprimento dx , em um ponto distante x da extremidade fixa, como função do tempo t . Em que tempos esta energia cinética é máxima? Qual é o formato da corda nesses tempos? (c) Determine a energia cinética máxima da corda, integrando sua expressão da Parte (b) sobre o comprimento total da corda.

65 •• **RICO EM CONTEXTO** Um experimento comum de física, que trata de ressonâncias de ondas transversais em uma corda, é mostrado na Figura 16-34. Um peso é preso a uma extremidade de uma corda que passa por uma polia; a outra extremidade da corda é presa a um oscilador mecânico que se move, para cima e para baixo, com uma frequência f que permanece fixa durante a demonstração.

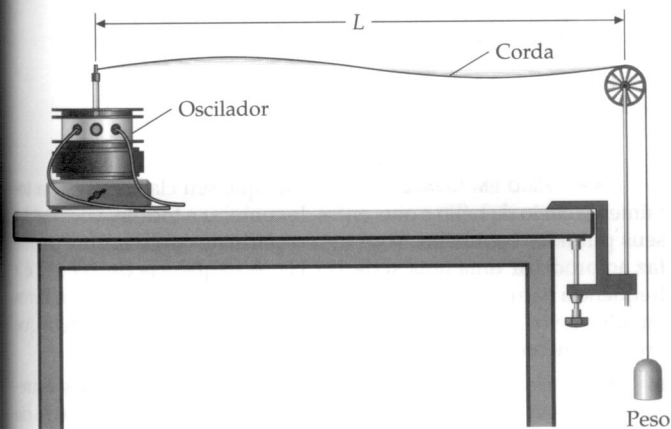


FIGURA 16-34 Problema 65

O comprimento L entre o oscilador e a polia é fixo, e a tração é igual à força gravitacional sobre o peso. Para certos valores de tração, a corda ressoa. Suponha que a corda nem seja distendida e nem comprimida, quando a tração varia. (a) Explique por que apenas certos valores discretos da tração resultam em ondas estacionárias na corda. (b) Você precisa aumentar ou diminuir a tensão para produzir uma onda estacionária com um antinó a mais? Explique. (c) Prove seu raciocínio da Parte (b), mostrando que os valores de tração F_{Tn} para o n -ésimo modo de onda estacionária são dados por $F_{Tn} = 4L^2 f^2 \mu / n^2$, e assim F_{Tn} é inversamente proporcional a n^2 . (d) Faça $L = 1,00 \text{ m}$, $f = 80,0 \text{ Hz}$ e $\mu = 0,750 \text{ g/m}$. Calcule a tração necessária para produzir cada um dos três primeiros modos (ondas estacionárias) na corda.

***ANÁLISE HARMÔNICA**

66 • Uma corda de violão é puxada pelo seu ponto médio. Um microfone em seu computador detecta o som e um programa do computador determina que a maior parte do som subsequente consiste em um tom de 100 Hz acompanhado de um bit de som com 300 Hz de tom. Quais são os dois modos de ondas estacionárias dominantes na corda?

***PACOTES DE ONDA**

67 •• Um diapasão, com frequência natural f_0 , começa a vibrar no tempo $t = 0$ e é parado após um intervalo de tempo Δt . A forma de onda do som, em algum tempo posterior, é mostrada (Figura 16-35) como função de x . Seja N uma estimativa do número de ciclos desta forma de onda. (a) Se Δx é o comprimento espacial deste pacote de ondas, qual é a faixa de números de onda Δk do pacote? (b) Estime o comprimento de onda médio λ em termos de N e de Δx . (c) Estime o número de onda médio k em termos de N e de Δx . (d) Se Δt é o tempo que leva para o pacote de ondas passar por um ponto no espaço, qual é a faixa de frequências angulares $\Delta \omega$ do pacote? (e) Expresse f_0 em termos de N e de Δt . (f) O número N é incerto em cerca de ± 1 ciclo. Use a Figura 16-35 para explicar por quê. (g) Mostre que a incerteza no comprimento de onda, devida à incerteza em N , é de $2\pi / \Delta x$.

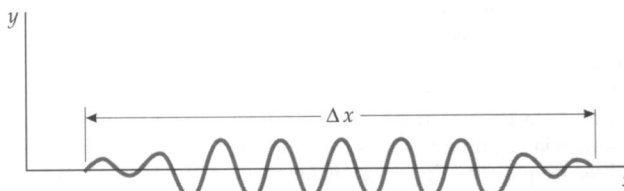


FIGURA 16-35 Problema 67

PROBLEMAS GERAIS

68 •• Uma corda de 35 m de comprimento possui uma massa específica linear de 0,0085 kg/m e sofre uma tração de 18 N. Determine as frequências dos quatro primeiros harmônicos (a) se a corda está fixa nas duas extremidades e (b) se a corda está fixa em uma extremidade e livre na outra. (Isto é, se a extremidade livre está ligada a um cordão longo de massa desprezível.)

69 •• **RICO EM CONTEXTO, APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Trabalhando para uma pequena mineradora de ouro, você se depara com um túnel de uma mina abandonada que, devido ao desmoronamento das escoras de madeira, parece muito perigoso para ser pessoalmente explorado. Para medir sua profundidade, você emprega um oscilador de áudio de frequência variável. Você verifica que ressonâncias sucessivas são produzidas nas frequências de 63,58 e 89,25 Hz. Estime a profundidade do túnel.

70 •• Uma corda de 5,00 m de comprimento, fixa em uma extremidade e ligada a um longo cordão de massa desprezível na outra

extremidade, está vibrando em seu quinto harmônico, que tem uma frequência de 400 Hz. A amplitude do movimento em cada antinó é de 3,00 cm. (a) Qual é o comprimento de onda desta onda? (b) Qual é o número de onda? (c) Qual é a frequência angular? (d) Escreva a função de onda para esta onda estacionária.

71 •• A função de onda para uma onda estacionária em uma corda é descrita por $y(x, t) = (0,020) \sin(4\pi x) \cos(60\pi t)$, onde y e x estão em metros e t está em segundos. Determine o deslocamento máximo e a velocidade máxima de um ponto da corda em (a) $x = 0,10$ m, (b) $x = 0,25$ m, (c) $x = 0,30$ m e (d) $x = 0,50$ m.

72 •• Uma corda de 2,5 m de comprimento, de 0,10 kg de massa, está fixa nas duas extremidades e sofre uma tração de 30 N. Quando o n -ésimo harmônico é excitado, há um nó a 0,50 m de uma das extremidades. (a) Quanto vale n ? (b) Quais são as frequências dos três primeiros harmônicos desta corda?

73 •• Um tubo de órgão, sob condições normais, tem uma frequência fundamental de 220 Hz. Ele é colocado em uma atmosfera de hexafluoreto sulfúrico (SF_6), às mesmas temperatura e pressão. A massa molar do ar é $29,0 \times 10^{-3}$ kg/mol e a massa molar do SF_6 é 146×10^{-3} kg/mol. Qual é a frequência fundamental do tubo quando na atmosfera de SF_6 ?

74 •• Durante uma demonstração em aula sobre ondas estacionárias, uma extremidade de uma corda é presa a um dispositivo que vibra a 60 Hz e produz ondas transversais com essa frequência na corda. A outra extremidade da corda passa por uma polia e a tração é variada pendurando-se pesos a essa extremidade. A corda tem nós localizados aproximadamente junto ao dispositivo e junto à polia. (a) Se a corda tem uma massa específica linear de 8,0 g/m e um comprimento de 2,5 m entre o dispositivo vibrador e a polia, qual deve ser a tração para que a corda vibre em seu modo fundamental? (b) Determine a tração necessária para que a corda vibre em seus segundo, terceiro e quarto harmônicos.

75 •• Três frequências de ressonância sucessivas de um tubo de órgão são 1310, 1834 e 2358 Hz. (a) O tubo está fechado em uma das pontas ou aberto nas duas pontas? (b) Qual é a frequência fundamental? (c) Qual é o comprimento efetivo do tubo?

76 •• Durante um experimento para estudar a rapidez do som no ar, usando um oscilador de áudio e um tubo aberto em uma ponta e fechado na outra, encontra-se uma particular frequência de ressonância com nós afastados de cerca de 6,94 cm. A frequência do oscilador é aumentada e verifica-se que a frequência de ressonância seguinte tem nós afastados de 5,40 cm. (a) Quais são as duas frequências de ressonância? (b) Qual é a frequência fundamental? (c) A que harmônicos correspondem estes dois modos? A rapidez do som é 343 m/s.

77 •• Uma onda estacionária em uma corda é representada pela função de onda $y(x, t) = (0,020) \sin(\frac{1}{2}\pi x) \cos(40\pi t)$, onde x e y estão em metros e t está em segundos. (a) Escreva funções de onda para duas ondas progressivas que, quando superpostas, produzem este padrão estacionário. Em cada caso, contemple o intervalo $-5,0$ m $< x < +5,0$ m. (b) Qual é a distância entre os nós da onda estacionária? (c) Qual é a rapidez máxima da corda em $x = 1,0$ m? (d) Qual é a máxima aceleração da corda em $x = 1,0$ m?

78 •• **PLANILHA ELETRÔNICA** Dois pulsos de onda progressivos em uma corda são representados pelas funções de onda

$$y_1(x, t) = \frac{0,020}{2,0 + (x - 2,0t)^2} \quad \text{e} \quad y_2(x, t) = \frac{-0,020}{2,0 + (x + 2,0t)^2}$$

onde x está em metros e t está em segundos. (a) Usando uma **planilha eletrônica** ou uma **calculadora gráfica**, faça gráficos separados de cada uma das funções de onda como função de x , em $t = 0$ e em $t = 1,0$ s, e descreva o comportamento de cada uma com o aumento do tempo. (b) Faça um gráfico da função de onda resultante em $t = -1,0$ s, em $t = 0,0$ s e em $t = 1,0$ s.

79 ••• Três ondas, que têm a mesma frequência, o mesmo comprimento de onda e a mesma amplitude, viajam ao longo do eixo x . As três ondas são descritas pelas seguintes funções de onda: $y_1(x, t) = (5,00 \text{ cm}) \sin(kx - \omega t - \frac{1}{3}\pi)$, $y_2(x, t) = (5,00 \text{ cm}) \sin(kx - \omega t)$ e $y_3(x, t) = (5,00 \text{ cm}) \sin(kx - \omega t + \frac{1}{3}\pi)$, onde x está em metros e t está em segundos. A função de onda resultante é dada por $y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \delta)$. Quais são os valores de A e de δ ?

80 ••• Uma onda de pressão harmônica, produzida por uma fonte distante, tem, na região onde você se encontra, frentes de onda planas e verticais. Faça o sentido $+x$ apontar para o leste e o sentido $+y$ apontar para o norte. A função de onda da onda é $p(x, y, t) = A \cos(k_x x + k_y y - \omega t)$. Mostre que o sentido de movimento da onda forma um ângulo $\theta = \tan^{-1}(k_y/k_x)$ com o sentido $+x$ e que a rapidez da onda é $v = \omega \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$.

81 •• A rapidez do som no ar é proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta T (Equação 15-5). (a) Mostre que, se a temperatura do ar varia de uma pequena quantidade, a variação relativa da frequência fundamental de um tubo de órgão é aproximadamente igual à metade da variação relativa da temperatura absoluta. Isto é, mostre que $\Delta f/f \approx \frac{1}{2} \Delta T/T$, onde f é a frequência à temperatura absoluta T e Δf é a variação da frequência quando a temperatura varia de ΔT . (Ignore qualquer variação no comprimento do tubo, por expansão térmica.) (b) Seja um tubo de órgão fechado em uma das pontas, com frequência fundamental de 200,0 Hz à temperatura de 20,00°C. Use o resultado aproximado da Parte (a) para determinar a frequência fundamental do tubo quando a temperatura é 30,00°C. (c) Compare seu resultado da Parte (b) com o que você obterá com cálculos exatos. (Ignore qualquer variação no comprimento do tubo por expansão térmica.)

82 •• O tubo da Figura 16-36 está cheio de gás natural [metano (CH_4)]. O tubo é pontilhado por uma linha de pequenos furos afastados de 1,00 cm ao longo de todo o seu comprimento de 2,20 m. Um alto-falante fecha uma das extremidades do tubo e um pedaço maciço de metal fecha a outra extremidade. Na fotografia, qual é a frequência que está sendo produzida? A rapidez do som em metano à baixa pressão e à temperatura ambiente é de cerca de 460 m/s.

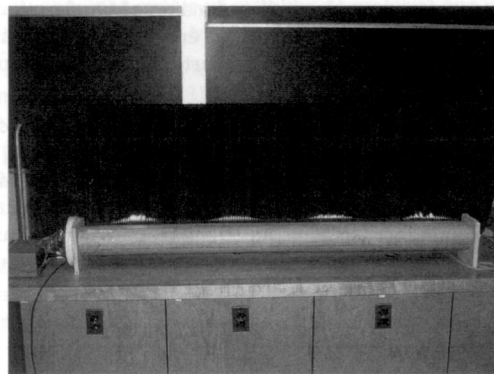


FIGURA 16-36 Problema 82 (University of Michigan Demonstration Laboratory.)

83 •• **RICO EM CONTEXTO** Suponha que seu clarinete esteja totalmente cheio de hélio e que, antes de começar a tocá-lo, você encha seus pulmões com hélio. Você toca o clarinete como normalmente faz ao produzir uma nota si de 277 Hz. A frequência de 277 Hz é a frequência natural de ressonância deste clarinete com todos os furos tapados pelos dedos e quando cheio de ar. Qual é a frequência que você realmente ouve?

84 ••• Um fio de 2,00 m de comprimento, fixo nas duas extremidades, está vibrando em seu modo fundamental. A tração no fio é de 40,0 N e a massa do fio é de 0,100 kg. A amplitude no meio do fio é de 2,00 cm. (a) Determine a máxima energia cinética do fio. (b)

Qual é a
transver
x está en
x o valo
maior?
dade de

85 ••
ticamente
soma de
a função

Escreva
usando
faixa de
de $n = 0$
que você
os cinco
Esta fun
a relação

86 •••
eletrônica