

tude de 4,5 cm. Sua energia mecânica total é 1,4 J. Qual é a constante de força da mola?

46 •• Um corpo de 3,0 kg, sobre uma superfície horizontal sem atrito, oscila preso a uma das extremidades de uma mola com uma amplitude de 8,0 cm. Sua aceleração máxima é 3,5 m/s<sup>2</sup>. Determine a energia mecânica total.

### MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES E MOLAS

47 • Um corpo de 2,4 kg, sobre uma superfície horizontal sem atrito, está preso a uma das extremidades de uma mola horizontal de constante de força  $k = 4,5 \text{ kN/m}$ . A mola é distendida de 10 cm a partir do equilíbrio e largada. Quais são (a) a frequência do movimento, (b) o período, (c) a amplitude, (d) a rapidez máxima e (e) a aceleração máxima? (f) Quando é que o corpo atinge pela primeira vez sua posição de equilíbrio? Neste instante, qual é a sua aceleração?

48 • Um corpo de 5,00 kg, sobre uma superfície horizontal sem atrito, está preso a uma das extremidades de uma mola horizontal de constante de força  $k = 700 \text{ N/m}$ . A mola é distendida de 8,00 cm a partir do equilíbrio e largada. Quais são (a) a frequência do movimento, (b) o período, (c) a amplitude, (d) a rapidez máxima e (e) a aceleração máxima? (f) Quando é que o corpo atinge pela primeira vez sua posição de equilíbrio? Neste instante, qual é a sua aceleração?

49 • Um corpo de 3,0 kg, sobre uma superfície horizontal sem atrito, oscila preso a uma das extremidades de uma mola horizontal com uma amplitude  $A = 10 \text{ cm}$  e uma frequência  $f = 2,4 \text{ Hz}$ . (a) Qual é a constante de força da mola? (b) Qual é o período do movimento? (c) Qual é a rapidez máxima do corpo? (d) Qual é a aceleração máxima do corpo?

50 • Uma pessoa de 85,0 kg entra em um carro de 2400 kg de massa, fazendo com que suas molas sejam comprimidas de 2,35 cm. Se uma oscilação vertical é iniciada e supondo ausência de amortecimento, qual é a frequência de vibração, sobre as molas, do carro e do passageiro?

51 • Um corpo de 4,50 kg oscila preso a uma mola horizontal com uma amplitude de 3,80 cm. A aceleração máxima do corpo é 26,0 m/s<sup>2</sup>. Determine (a) a constante de força da mola, (b) a frequência e (c) o período do movimento do corpo.

52 •• Um corpo de massa  $m$  está suspenso de uma mola vertical de constante de força igual a 1800 N/m. Quando o corpo é puxado até 2,50 cm abaixo do equilíbrio e largado do repouso, ele oscila com 5,50 Hz. (a) Determine  $m$ . (b) Determine de quanto a mola está distendida, quando o corpo está em equilíbrio. (c) Escreva expressões para o deslocamento  $x$ , a velocidade  $v_x$  e a aceleração  $a_x$  como funções do tempo  $t$ .

53 •• Um corpo está pendurado de uma das extremidades de uma mola vertical e é largado do repouso com a mola frouxa. Determine o período do movimento oscilatório que se estabelece, sabendo que o corpo cai 3,42 cm antes de atingir pela primeira vez o repouso.

54 •• Uma mala, de 20 kg de massa, está pendurada através de duas cordas elásticas, como mostra a Figura 14-27. Cada corda é distendida de 5,0 cm quando a mala está em equilíbrio. Se a mala é puxada um pouco para baixo e largada, qual será a frequência de sua oscilação?

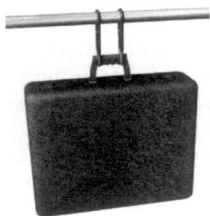


FIGURA 14-27 Problema 54

55 •• Um bloco de 0,120 kg está suspenso por uma mola. Quando uma pequena pedra de 30 g de massa é colocada sobre o bloco, a mola se distende de mais 5,0 cm. Com a pedra sobre o bloco, este oscila com uma amplitude de 12 cm. (a) Qual é a frequência do movimento? (b) Quanto tempo leva para o bloco se deslocar de seu ponto mais baixo até seu ponto mais alto? (c) Qual é a força resultante sobre a pedra quando ela está no ponto de deslocamento mais alto?

56 •• Em relação ao Problema 55, determine a amplitude máxima de oscilação para a qual a pedra permanecerá em contato com o bloco.

57 •• Um corpo, de 2,0 kg de massa, é preso à extremidade superior de uma mola cuja extremidade inferior está presa ao solo. O comprimento da mola frouxa é 8,0 cm, e o comprimento da mola quando o corpo está em equilíbrio é 5,0 cm. Quando o corpo está em repouso, em sua posição de equilíbrio, ele recebe uma forte e rápida martelada para baixo, o que lhe imprime uma rapidez inicial de 0,30 m/s. (a) Qual é a altura máxima, em relação ao solo, atingida pelo corpo? (b) Quanto tempo leva para o corpo atingir sua altura máxima pela primeira vez? (c) Em algum momento, a mola fica frouxa? Qual deve ser a rapidez inicial mínima dada ao corpo para que a mola, em algum momento, esteja frouxa?

58 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um cabo de guindaste possui uma área de seção reta de 1,5 cm<sup>2</sup> e um comprimento de 2,5 m. O módulo de Young do cabo é 150 GN/m<sup>2</sup>. Um bloco de motor de 950 kg é pendurado da extremidade do cabo. (a) De quanto se distende o cabo? (b) Se tratamos o cabo como uma mola simples, qual é a frequência de oscilação do bloco de motor na extremidade do cabo?

### SISTEMAS COM PÊNDULO SIMPLES

59 • Determine o comprimento de um pêndulo simples cuja frequência para pequenas amplitudes vale 0,75 Hz.

60 • Determine o comprimento de um pêndulo simples cujo período para pequenas amplitudes vale 5,0 s.

61 • Qual seria o período do pêndulo do Problema 60 se ele estivesse na Lua, onde a aceleração da gravidade vale um sexto do que vale na Terra?

62 • Se o período de um pêndulo simples de 70,0 cm de comprimento é 1,68 s, qual é o valor de  $g$  no local onde ele se encontra?

63 • Um pêndulo simples, montado no poço da escadaria de um edifício de 10 andares, consiste em um peso suspenso por um arame de 34,0 m. Qual é o período de oscilação?

64 •• Mostre que a energia total de um pêndulo simples oscilando com pequena amplitude  $\phi_0$  (em radianos) é  $E \approx \frac{1}{2} mgL\phi_0^2$ . Dica: Use a aproximação  $\cos \phi \approx 1 - \frac{1}{2} \phi^2$  para  $\phi$  pequeno.

65 ••• Um pêndulo simples, de comprimento  $L$ , está preso a um carrinho massivo que desce um plano inclinado, sem atrito, que forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal, como mostrado na Figura 14-28. Determine o período de pequenas oscilações para este pêndulo.

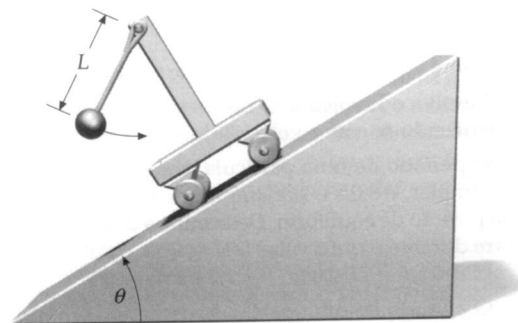


FIGURA 14-28 Problema 65

66 • comp mode pêndu ximaç deter ângul de co Deter  $\phi = 0$  dos a

\* PÊI

67 gira l pend a par harm

68 plano oscil

69 dista amp

I em pont

70 TUAL

quac 6,0 in

temp deve

cion para

71 furá dê-la míni

72 R = cent deve

2,50 tenh poss

73  $h_1$  e mes por Este  $h_1 +$

FIG

## OSCILAÇÕES AMORTECIDAS

76 • Um corpo de 2,00 kg oscila preso a uma mola, com uma amplitude inicial de 3,00 cm. A constante de força da mola é 400 N/m. Determine (a) o período e (b) a energia total inicial. (c) Se a energia diminui 1 por cento a cada período, determine a constante de amortecimento linear  $b$  e o fator  $Q$ .

77 •• Mostre que a razão entre as amplitudes de duas oscilações sucessivas é constante para um oscilador linearmente amortecido.

78 •• Um oscilador tem um período de 3,00 s. Sua amplitude diminui 5,00 por cento em cada ciclo. (a) De quanto diminui sua energia mecânica em cada ciclo? (b) Qual é a constante de tempo  $\tau$ ? (c) Qual é o fator  $Q$ ?

79 •• Um oscilador linearmente amortecido possui um fator  $Q$  igual a 20. (a) Qual é a fração de redução da energia, em cada ciclo? (b) Use a Equação 14-40 para determinar a diferença percentual entre  $\omega'$  e  $\omega_0$ . Dica: Use a aproximação  $(1+x)^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2}x$ , para  $x$  pequeno.

80 •• Um sistema massa-mola linearmente amortecido oscila a 200 Hz. A constante de tempo do sistema é 2,0 s. Em  $t = 0$ , a amplitude de oscilação é 6,0 cm e a energia do sistema oscilante é 60 J. (a) Quais são as amplitudes de oscilação em  $t = 2,0$  s e em  $t = 4,0$  s? (b) Quanta energia é dissipada no primeiro intervalo de 2 segundos e no segundo intervalo de 2 segundos?

81 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Sismólogos e geólogos constataram que a Terra vibra com um período de ressonância de 54 min e um fator  $Q$  de cerca de 400. Após um grande terremoto, a Terra continua vibrando por até 2 meses. (a) Determine a porcentagem de energia de vibração perdida em cada ciclo, devido às forças de amortecimento. (b) Mostre que, após  $n$  períodos, a energia de vibração é dada por  $E_n = (0,984)^n E_0$ , onde  $E_0$  é a energia original. (c) Se a energia de vibração original de um terremoto é  $E_0$ , quanto vale a energia após 2,0 dias?

82 ••• Um pêndulo, em seu laboratório de física, tem um comprimento de 75 cm e uma bolinha de 15 g de massa. Para iniciar o balanço da bolinha, você coloca um ventilador próximo à ela, soprando uma corrente horizontal de ar. Enquanto o ventilador está ligado, a bolinha fica em equilíbrio com o pêndulo deslocado de um ângulo de  $5,0^\circ$  com a vertical. O vento é soprado pelo ventilador a 7,0 m/s. Você desliga o ventilador e deixa que o pêndulo oscile. (a) Supondo que a força de arraste do ar seja da forma  $-bv$ , determine a constante de tempo de decaimento  $\tau$  deste pêndulo. (b) Quanto tempo levará para a amplitude do pêndulo chegar a  $1,0^\circ$ ?

83 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Você deve monitorar a viscosidade de óleos, em uma indústria, e determina a viscosidade de um óleo usando o seguinte método: A viscosidade de um fluido pode ser medida determinando-se o tempo de decaimento das oscilações para um oscilador de propriedades conhecidas e que esteja operando mergulhado no fluido. Desde que a rapidez do oscilador dentro do fluido seja relativamente pequena, de forma a evitar turbulência, a força de arraste do fluido sobre uma esfera é proporcional à rapidez  $v$  da esfera, em relação ao fluido:  $F_r = 6\pi a \eta v$ , onde  $\eta$  é a viscosidade do fluido e  $a$  é o raio da esfera. Assim, a constante  $b$  é dada por  $6\pi a \eta$ . Suponha que seu aparato consista em uma mola rija de constante de força igual a 350 N/cm e de uma esfera de ouro (6,00 cm de raio) pendurada na mola. (a) Qual é a viscosidade que você mede, para o óleo, se o tempo de decaimento para este sistema é 2,80 s? (b) Qual é o fator  $Q$  do sistema?

## OSCILAÇÕES FORÇADAS E RESSONÂNCIA

84 • Um oscilador linearmente amortecido perde 2,00 por cento de sua energia em cada ciclo. (a) Qual é o seu fator  $Q$ ? (b) Se sua

freqüência de ressonância é 300 Hz, qual é a largura da curva de ressonância  $\Delta\omega$  quando o oscilador é excitado?

85 • Determine a freqüência de ressonância para cada um dos três sistemas mostrados na Figura 14-33.

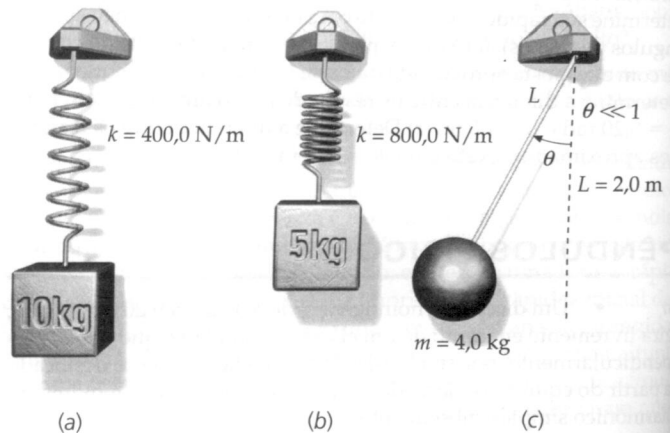


FIGURA 14-33 Problema 85

86 •• Um oscilador amortecido perde 3,50 por cento de sua energia a cada ciclo. (a) Quantos ciclos decorrem, até que metade de sua energia seja dissipada? (b) Qual é o seu fator  $Q$ ? (c) Se a freqüência natural é 100 Hz, qual é a largura da curva de ressonância quando o oscilador é excitado por uma força senoidal?

87 •• Um corpo de 2,00 kg oscila preso a uma mola que tem uma constante de força igual a 400 N/m. A constante de amortecimento linear vale  $b = 2,00$  kg/s. O sistema é excitado por uma força senoidal de valor máximo igual a 10,0 N e freqüência angular  $\omega = 10,0$  rad/s. (a) Qual é a amplitude das oscilações? (b) Se a freqüência de excitação varia, em que freqüência ocorrerá ressonância? (c) Qual é a amplitude de oscilação na ressonância? (d) Qual é a largura da curva de ressonância  $\Delta\omega$ ?

88 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Suponha que você tenha o mesmo aparato descrito no Problema 83, com a mesma esfera de ouro, agora pendurada em uma mola menos rija, com uma constante de força de apenas 35,0 N/cm. Você estudou a viscosidade do etileno glicol com este equipamento e encontrou uma viscosidade de 19,9 mPa  $\cdot$  s. Agora, você decide excitar este sistema com uma força externa oscilante. (a) Se a magnitude da força de excitação sobre o equipamento é de 0,110 N, e o equipamento é excitado em ressonância, qual será a amplitude da oscilação resultante? (b) Se o sistema não fosse excitado, mas largado oscilando, que porcentagem de sua energia seria perdida em cada ciclo?

## PROBLEMAS GERAIS

89 • **VÁRIOS PASSOS** O deslocamento de uma partícula a partir do equilíbrio é dado por  $x(t) = 0,40 \cos(3,0t + \pi/4)$ , com  $x$  em metros e  $t$  em segundos. (a) Determine a freqüência  $f$  e o período  $T$  deste movimento. (b) Encontre uma expressão para a velocidade da partícula como função do tempo. (c) Qual é a sua rapidez máxima?

90 • **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um astronauta chega a um novo planeta e utiliza um instrumento simples para determinar a aceleração da gravidade local. Antes de chegar, ele tinha registrado que o raio do planeta era de 7550 km. Se o seu pêndulo simples de 0,500 m de comprimento tem um período de 1,0 s, qual é a massa do planeta?

91 •• Um relógio de pêndulo marca a hora certa na superfície da Terra. Em qual caso o erro será maior: se o relógio for levado para uma mina de profundidade  $h$ , ou se ele for levantado até uma altura  $h$ ? Prove sua resposta e suponha  $h \ll R_T$ .

92  
com  
const  
const  
uma  
nas ar  
ausên  
se o p

FIGU

93  
cie ho  
de de  
ampli  
está ir  
é colo  
de atr  
o prin  
de  $A$ ,  
pela  
seja g

94

— su  
O co  
equi  
à cai  
oscil  
equi  
95  
vari  
a Te  
vez  
cuic  
va c  
apr  
da  
um  
cess

96  
pis  
des  
o p  
o b  
97  
14-  
é d  
ma  
x e  
qu  
98  
zo  
ap