

Quanto tempo leva para a água cair uma distância de $d/4$ do seu nível mais alto?

16P. Na Fig. 16.28, dois blocos ($m = 1,0$ kg e $M = 10$ kg) e uma mola ($k = 200$ N/m) estão dispostos sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa. O coeficiente de atrito estático entre os dois blocos é 0,40. Que amplitude do movimento harmônico simples do sistema blocos-mola deixa o bloco menor na iminência de deslizar sobre o bloco maior?

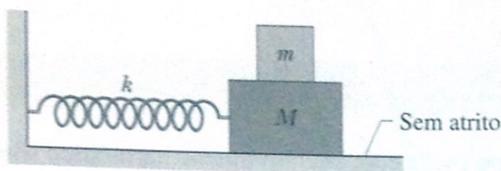


Fig. 16.28 Problema 16.

17P. Um bloco está sobre uma superfície horizontal (uma mesa vibradora) que se move para frente e para trás na horizontal, descrevendo um movimento harmônico simples de frequência igual a 2,0 Hz. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície é igual a 0,50. Qual a maior amplitude possível do MHS para que o bloco não escorregue na superfície?

18P. Um bloco se desloca em cima de um pistão que se move verticalmente, descrevendo um movimento harmônico simples. (a) Se o MHS possuir um período de 1,0 s, com que amplitude do movimento o bloco e o pistão se separarão? (b) Se o pistão possuir uma amplitude de 5,0 m, qual será a frequência máxima para a qual o bloco e o pistão estarão continuamente em contato?

19P. Um oscilador é formado por um bloco preso a uma mola ($k = 400$ N/m). Em algum instante t , a posição (medida a partir da posição de equilíbrio do sistema), a velocidade e a aceleração do bloco são $x = 0,100$ m, $v = -13,6$ m/s e $a = -123$ m/s². Calcule (a) a frequência de oscilação, (b) a massa do bloco e (c) a amplitude do movimento.

20P. Um oscilador harmônico simples é formado por um bloco de massa igual a 2,00 kg preso a uma mola com constante de mola 100 N/m. Quando $t = 1,00$ s, a posição e a velocidade do bloco são $x = 0,129$ m e $v = 3,415$ m/s. (a) Qual a amplitude das oscilações? Quais eram (b) a posição e (c) a velocidade do bloco em $t = 0$ s?

21P. Uma mola com massa desprezível está pendurada no teto com um pequeno objeto preso à sua extremidade inferior. O objeto inicialmente é mantido em repouso em uma posição y_i de modo que a mola esteja no seu comprimento de repouso. O objeto é então solto de y_i e oscila para cima e para baixo, com sua posição mais baixa estando 10 cm abaixo de y_i . (a) Qual a frequência da oscilação? (b) Qual a velocidade do objeto quando ele está 8,0 cm abaixo da posição inicial? (c) Um objeto com massa igual a 300 g é preso ao primeiro objeto e, depois disso, o sistema oscila com metade da frequência original. Qual a massa do primeiro objeto? (d) Em relação a y_i , onde está a nova posição de equilíbrio (repouso) com os dois objetos presos à mola?

22P. Duas partículas executam movimentos harmônicos simples de mesma amplitude e frequência ao longo de linhas paralelas próximas. Elas passam uma pela outra movendo-se em sentidos contrários cada vez que o deslocamento delas é metade da amplitude. Qual a diferença de fase entre elas?

23P. Duas partículas oscilam em movimento harmônico simples ao longo de um mesmo segmento de reta de comprimento A . Cada partícula possui um período de 1,5 s, mas elas diferem em fase de $\pi/6$ rad. (a) Qual a separação entre elas (em termos de A) 0,50 s após a partícula que está mais atrás deixar uma extremidade do segmento? (b) Neste caso, elas estão se movendo no mesmo sentido, uma em direção à outra ou

24P. Na Fig. 16.29, duas molas idênticas com constante de mola k estão presas a um bloco de massa m e a suportes fixos. Mostre que a frequência de oscilação do bloco na superfície sem atrito é

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k}{m}}$$

25P. Suponha que as duas molas na Fig. 16.29 possuem constantes de mola k_1 e k_2 diferentes. Mostre que a frequência f de oscilação do bloco neste caso é dada por

$$f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2},$$

onde f_1 e f_2 são as frequências nas quais o bloco oscilaria caso estivesse ligado apenas à mola 1 ou apenas à mola 2, respectivamente.

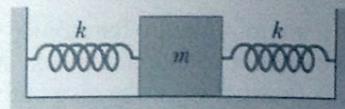


Fig. 16.29 Problemas 24 e 25.

26P. A extremidade de uma das hastes de um diapasão sujeita a um movimento harmônico simples na frequência de 1000 Hz possui uma amplitude de 0,40 mm. Encontre (a) a intensidade da aceleração máxima e (b) a velocidade escalar máxima da extremidade da haste. Encontre (c) a intensidade da aceleração e (d) a velocidade escalar da extremidade da haste quando a extremidade tiver um deslocamento de 0,20 mm.

27P. Na Fig. 16.30, duas molas são unidas e ligadas a um bloco de massa m . A superfície é perfeitamente lisa. Se as duas molas possuem constante de mola k , mostre que

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{2m}}$$

fornece a frequência de oscilação do bloco.

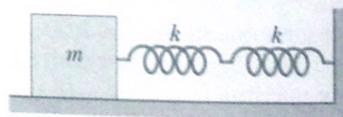
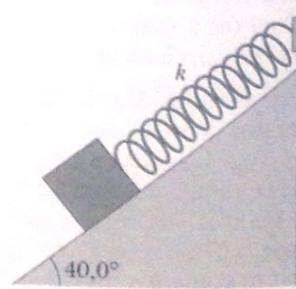


Fig. 16.30 Problema 27.

28P. Na Fig. 16.31, um bloco pesando 14,0 N, deslizando sem atrito sobre uma rampa de 40°, está ligado ao ponto mais alto da rampa por uma mola de massa desprezível com comprimento indeformado de 0,450 m e constante de mola igual a 120 N/m. (a) A que distância do ponto mais alto da rampa o bloco pára? (b) Se o bloco for puxado de leve para baixo da rampa e for solto, qual será o período das oscilações resultantes?



29P. Uma mola uniforme com comprimento indeformado L e constante de mola k é cortada em dois pedaços de comprimentos indeformados L_1 e L_2 , com $L_1 = nL_2$. Quais as constantes de mola correspondentes (a) k_1 e (b) k_2 , em termos de n e de k ? Se um bloco for preso à mola original, como na Fig. 16.5, ele oscila com frequência f . Se a mola for substituída pelo pedaço L_1 ou L_2 , a frequência correspondente será f_1 ou f_2 , respectivamente. Determine (c) f_1 e (d) f_2 em termos de f .

30P. Na Fig. 16.32, três vagões de minério de 10000 kg são mantidos em repouso sobre uma rampa de 30° na ferrovia de uma mina usando um cabo que é paralelo à rampa. O cabo se estica 15 cm imediatamente antes de o acoplamento entre os dois vagões inferiores se quebrar, soltando o vagão mais baixo. Supondo que o cabo obedece à lei de Hooke, determine (a) a frequência e (b) a amplitude das oscilações resultantes dos dois vagões que restaram.



Fig. 16.32 Problema 30.

SEÇÃO 16.4 Energia no Movimento Harmônico Simples

31E. Determine a energia mecânica de um sistema massa–mola tendo uma constante de mola de 1,3 N/cm e uma amplitude de oscilação de 2,4 cm.

32E. Um sistema bloco–mola em oscilação possui uma energia mecânica de 1,00 J, uma amplitude de 10,0 cm e uma velocidade escalar máxima de 1,20 m/s. Determine (a) a constante de mola, (b) a massa do bloco e (c) a frequência de oscilação.

33E. Um objeto de 5,00 kg sobre uma superfície horizontal sem atrito está preso a uma mola com constante de mola de 1000 N/m. O objeto é deslocado 50,0 cm na horizontal da posição de equilíbrio e recebe uma velocidade inicial de 10,0 m/s para trás no sentido da sua posição de equilíbrio. (a) Qual a frequência do movimento? Qual (b) a energia potencial inicial do sistema massa–mola, (c) a energia cinética inicial e (d) a amplitude da oscilação?

34E. Estica-se uma grande atiradeira (estilingue) (hipotética) de 1,50 m para lançar um projétil de 130 g com velocidade suficiente para escapar da Terra (11,2 km/s). Suponha que as tiras elásticas da atiradeira obedeçam à lei de Hooke. (a) Qual a constante de mola do dispositivo, se toda a energia potencial for convertida em energia cinética? (b) Suponha que uma pessoa média possa exercer uma força de 220 N. Quantas pessoas são necessárias para esticar as tiras elásticas?

35E. Uma mola vertical se alonga 9,6 cm quando um bloco de 1,3 kg é pendurado em sua extremidade. (a) Calcule a constante de mola. Depois, este bloco é deslocado outros 5,0 cm para baixo, sendo solto a partir do repouso. Encontre (b) o período, (c) a frequência, (d) a amplitude e (e) a velocidade máxima do MHS resultante.

36E. Um bloco de massa M , em repouso em cima de uma mesa horizontal sem atrito, está preso a um suporte rígido por uma mola com constante k . Uma bala de revólver com massa m e velocidade v atinge o bloco como mostrado na Fig. 16.33. A bala fica alojada no bloco. Determine (a) a velocidade escalar do bloco imediatamente após a colisão e (b) a amplitude do movimento harmônico simples resultante.

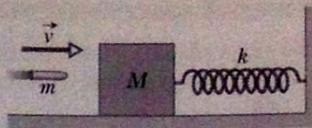


Fig. 16.33 Exercício 36.

37E. Quando o deslocamento no MHS é a metade da amplitude x_m , que parcela da energia total é (a) energia cinética e (b) energia potencial? (c) Para que deslocamento, em termos da amplitude, a energia do sistema está igualmente distribuída entre energia cinética e energia potencial?

38P. Uma partícula de 10 g está descrevendo um movimento harmônico simples com amplitude de $2,0 \times 10^{-3}$ m e uma aceleração máxima de módulo igual a $8,0 \times 10^3$ m/s². A constante de fase é $-\pi/3$ rad. (a) Escreva uma equação para a força que atua sobre a partícula em função do tempo. (b) Qual o período do movimento? (c) Qual a velocidade máxima da partícula? (d) Qual a energia mecânica total deste oscilador harmônico simples?

39P*. Um bloco de 4,0 kg está pendurado em uma mola com uma constante de mola de 500 N/m. Uma bala de revólver de 50 g é disparada e entra no bloco vinda de baixo na vertical com uma velocidade de 150 m/s e fica alojada no bloco. (a) Determine a amplitude do movimento harmônico simples resultante. (b) Que parcela da energia cinética original da bala se transfere para a energia mecânica do oscilador harmônico?

SEÇÃO 16.5 Um Oscilador Harmônico Simples Angular

40E. Um disco circular uniforme plano possui uma massa de 3,00 kg e um raio de 70,0 cm. Ele está suspenso em um plano horizontal por um fio vertical preso no seu centro. Se girarmos o disco 2,50 rad em torno do fio, é necessário um torque de 0,0600 N·m para manter essa orientação. Calcule (a) a inércia à rotação do disco em torno do fio,¹⁰ (b) a constante de torção e (c) a frequência angular deste pêndulo de torção quando ele é colocado para oscilar.¹¹

41P. A roda de um relógio¹² de pulso oscila com uma amplitude angular de π rad e um período de 0,500 s. Encontre (a) a velocidade angular máxima da roda, (b) a velocidade angular da roda quando o seu deslocamento for igual a $\pi/2$ rad e (c) o módulo da aceleração angular da roda quando o seu deslocamento for igual a $\pi/4$ rad.

SEÇÃO 16.6 Pêndulos

42E. Na Fig. 16.34, uma bola de demolição de 2500 kg oscila em torno da extremidade da lança de um guindaste. O comprimento do segmento de cabo que está balançando é igual a 17 m. (a) Determine o período de oscilação, supondo que o sistema possa ser tratado como um pêndulo simples. (b) O período depende da massa da bola?

43E. Qual o comprimento de um pêndulo simples que marca segundos completando uma oscilação completa da esquerda para a direita e de volta para a esquerda a cada 2,0 s?

44E. Uma trapezista sentada em um trapézio está balançando para frente e para trás com um período de 8,85 s. Se ela ficar em pé, elevando assim o centro de massa do sistema trapézio + trapezista de 35,0 cm, qual

¹⁰Na verdade, em torno do eixo geométrico que passa pelo fio. Como o fio possui um diâmetro muito pequeno, por simplicidade se fala no fio e não no eixo. (N.T.)

¹¹Por exemplo, simplesmente retirando este torque; isto corresponde a começar o MHS com velocidade angular nula e deslocamento angular inicial igual a 2,50 rad. Matematicamente, isto corresponde a resolver uma equação diferencial ordinária de segunda ordem no tempo com duas condições iniciais: um deslocamento inicial e uma velocidade inicial (N.T.)

¹²Ou volante de relógio. (N.T.)

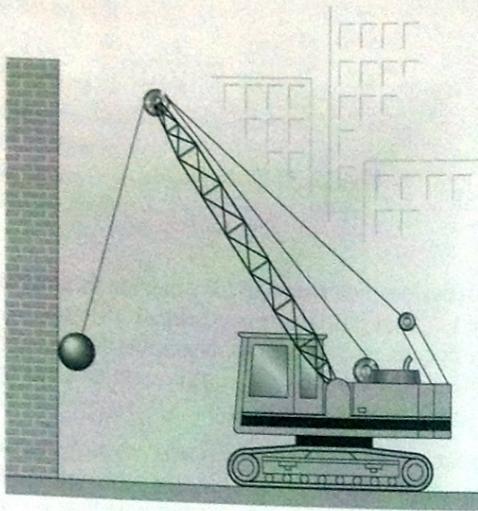


Fig. 16.34 Exercício 42.

será o novo período do sistema? Trate o trapézio + trapezista como um pêndulo simples.

45E. Um pêndulo físico é formado por uma régua de medição que está pivotada em um pequeno furo feito na régua a uma distância d da marca de 50 cm. O período de oscilação é de 2,5 s. Ache d .

46E. Na Fig. 16.35, um pêndulo físico é formado por um disco sólido uniforme (de massa M e raio R) suportado em um plano vertical por um pivô localizado a uma distância d do centro do disco. O disco é deslocado de um pequeno ângulo e solto. Encontre uma expressão para o período do movimento harmônico simples resultante.

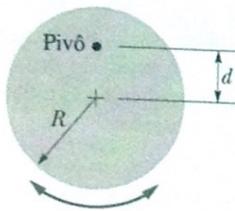


Fig. 16.35 Exercício 46.

47E. Um pêndulo é formado pivotando-se uma haste fina e longa de comprimento L e massa m em torno de um ponto sobre a haste que está a uma distância d acima do centro da haste. (a) Determine o período deste pêndulo em termos de d , L , m e g , supondo oscilações de pequena amplitude. O que acontece com o período se (b) d for reduzido, (c) L for aumentado ou (d) m for aumentado?

48E. Um disco circular uniforme cujo raio R é igual a 12,5 cm está pendurado como um pêndulo físico em um ponto da sua borda. (a) Qual o seu período? (b) A que distância radial $r < R$ existe um ponto de articulação (pivô) que fornece o mesmo período?

49E. O pêndulo da Fig. 16.36 é formado por um disco uniforme com 10,0 cm de raio e massa de 500 g preso a uma haste uniforme com comprimento de 500 mm e massa de 270 g. (a) Calcule a inércia à rotação do pêndulo em torno do pivô. (b) Qual a distância entre o pivô e o centro de massa do pêndulo? (c) Calcule o período de oscilação.

50E. (a) Se o pêndulo físico do Problema Resolvido 16.5 for invertido e pendurado no ponto P , qual será o seu período de oscilação? (b) O período neste caso será maior, menor ou igual ao valor anterior?

51E. No Problema Resolvido 16.5, vimos que um pêndulo físico possui um centro de oscilação à distância $2L/3$ do seu ponto de suspensão. Mostre que a distância entre o ponto de suspensão e o centro de oscilação

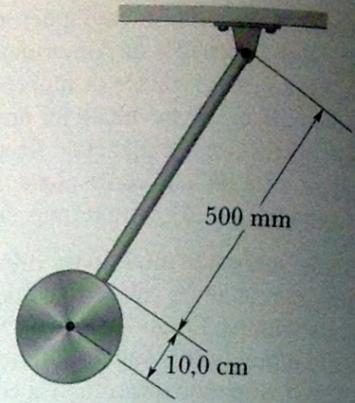


Fig. 16.36 Exercício 49.

ção para um pêndulo físico de qualquer forma é I/mh , onde I e h têm os significados atribuídos a eles na Eq. 16.29 e m é a massa do pêndulo.

52P. Uma vareta com comprimento L oscila como um pêndulo físico, pivotada em torno do ponto O na Fig. 16.37. (a) Deduza uma expressão para o período do pêndulo em termos de L e de x , a distância do pivô ao centro de massa do pêndulo. (b) Para que valor de x/L o período é mínimo? (c) Mostre que se $L = 1,00$ m e $g = 9,80$ m/s², este mínimo é igual a 1,53 s.

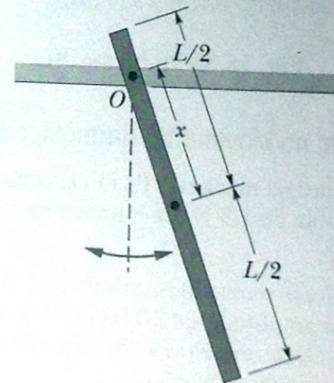


Fig. 16.37 Problema 52.

53P. Na vista superior da Fig. 16.38, uma haste longa e uniforme de comprimento L e massa m está livre para girar em um plano horizontal em torno de um eixo vertical que passa pelo seu centro. Uma mola com constante de força k está ligada horizontalmente entre uma extremidade da haste e uma parede fixa. Quando a haste está em equilíbrio, ela está paralela à parede. Qual o período das pequenas oscilações resultantes quando giramos ligeiramente a haste e depois a soltamos?

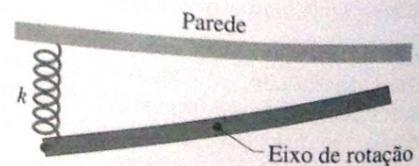


Fig. 16.38 Problema 53.

54P. Um pêndulo simples de comprimento L e massa m está pendurado em um carro que está viajando com velocidade escalar v constante

ao redor de um círculo de raio R . Se o pêndulo estiver sujeito a pequenas oscilações em uma direção radial em torno da sua posição de equilíbrio, qual será a sua frequência de oscilação?

58P. Qual a frequência de um pêndulo simples de 2,0 m de comprimento (a) em um quarto, (b) em um elevador acelerando para cima a uma taxa de $2,0 \text{ m/s}^2$ e (c) em queda livre?

58P. Para um pêndulo simples, determine a amplitude angular θ_m na qual o torque restaurador necessário para o movimento harmônico simples difere do torque restaurador real em 1,0%. (Veja as "Expansões Trigonômicas" no Apêndice E.)

57P. A bolinha de um pêndulo simples de comprimento R se desloca em um arco de círculo. (a) Considerando que a aceleração radial da bolinha quando ela passa pela sua posição de equilíbrio é a do movimento circular uniforme (v^2/R), mostre que a tração no fio nesta posição será $mg(1 + \theta_m^2)$ se a amplitude angular θ_m for pequena. (Veja as "Expansões Trigonômicas" no Apêndice E.) (b) A tração em outras posições da bolinha é maior, menor ou a mesma?

58P. Uma roda está livre para girar em torno do seu eixo fixo. Uma mola é presa a um dos seus raios a uma distância r do eixo, como mostrado na Fig. 16.39. (a) Supondo que a roda é um aro de massa m e raio R , obtenha a frequência angular de pequenas oscilações deste sistema em termos de m , R , r e da constante de mola k . Como fica o resultado se (b) $r = R$ e (c) $r = 0$?

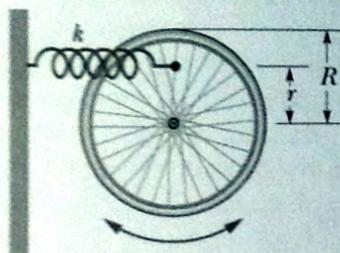


Fig. 16.39 Problema 58.

SEÇÃO 16.8 Movimento Harmônico Simples Amortecido

59E. No Problema Resolvido 16.7, qual a razão entre a amplitude das oscilações amortecidas após 20 oscilações completas e a amplitude inicial?

60E. A amplitude de um oscilador levemente amortecido diminui 3,0% a cada ciclo. Que parcela da energia mecânica do oscilador se perde em cada oscilação completa?

61E. Para o sistema mostrado na Fig. 16.15, o bloco possui uma massa de 1,50 kg e a constante de mola é igual a 8,00 N/m. A força de amortecimento é dada por $-b(dx/dt)$, onde $b = 230 \text{ g/s}$. Suponha que o bloco seja inicialmente puxado para baixo de uma distância de 12,0 cm e depois solto. (a) Calcule o tempo necessário para que a amplitude das oscilações resultantes caia para um terço do seu valor inicial. (b) Quantas oscilações são feitas pelo bloco neste tempo?

62P. Suponha que você esteja examinando as características de oscilação do sistema de suspensão de um automóvel de 2000 kg. A suspensão "cede" 10 cm quando o automóvel inteiro é colocado sobre ela. Além disso, a amplitude de oscilação diminui em 50% durante uma oscilação completa. Estime o valor (a) da constante de mola k e (b) da constante de amortecimento b para o sistema mola e amortecedor de uma roda, supondo que cada roda suporte 500 kg.

SEÇÃO 16.9 Oscilações Forçadas e Ressonância

63E. Para a Eq. 16.43, suponha que a amplitude x_m seja dada por

$$x_m = \frac{F_m}{[m^2(\omega_d^2 - \omega^2)^2 + b^2\omega_d^2]^{1/2}}$$

onde F_m é a amplitude (constante) da força externa oscilante exercida pelo suporte rígido sobre a mola na Fig. 16.15. Na ressonância, (a) qual a amplitude do deslocamento e (b) qual a amplitude da velocidade do objeto oscilante?

64P. Um carro de 1000 kg transportando quatro pessoas de 82 kg viaja por uma estrada de terra acidentada "semelhante a uma tábua de lavar roupas" com ondulações distantes 4,0 m uma da outra, que fazem com que o carro sacuda sobre a sua suspensão de mola. O carro sacode com amplitude máxima quando a sua velocidade é de 16 km/h. O carro pára e as quatro pessoas saem. De quanto a carroceria do carro se eleva sobre a sua suspensão devido a esta redução de massa?