

é capaz, no máximo, de prover energia às rodas de tração à taxa de 164 hp. Você verifica que a massa do carro (incluindo o equipamento de teste e o motorista embarcados) é 1220 kg. Enquanto viajando com a rapidez constante de 55,0 mi/h, seu computador de bordo acusa que o motor está desenvolvendo 13,5 hp. Em experimentos prévios, foi verificado que o coeficiente de atrito de rolamento no carro é 0,0150. Suponha uma força de arraste sobre o carro variando com o quadrado da rapidez. Isto é,  $F_a = Cv^2$ . (a) Qual é o valor da constante  $C$ ? (b) Considerando a potência de pico, qual é a rapidez máxima (com precisão de 1 mi/h) que você espera que o carro atinja? (Este problema pode ser resolvido a mão, analiticamente, mas ele pode ser resolvido mais fácil e rapidamente usando uma calculadora gráfica ou uma planilha eletrônica.)

56 •• **RICO EM CONTEXTO, CONCEITUAL** Dirigindo seu carro em uma estrada do interior, à noite, um cervo salta de dentro da mata e pára no meio da estrada, à sua frente. Isto ocorre exatamente quando você está saindo de uma zona de limite permitido de 55 mi/h para uma zona em que o limite é de 50 mi/h. A 50 mi/h, você freia fortemente, fazendo com que as rodas bloqueiem, e desliza até parar algumas polegadas em frente ao cervo assustado. Enquanto respira aliviado, você ouve o som da sirene de um carro de polícia. O policial começa a emitir uma multa por dirigir a 56 mi/h na zona de 50 mi/h. Devido à sua formação em física, você é capaz de usar as marcas da derrapagem que seu carro deixou atrás, de 25 m de comprimento, como uma evidência de que você não estava excedendo o limite. Qual é a evidência que você apresenta? Ao dar sua resposta, você precisará conhecer o coeficiente de atrito cinético entre os pneus do automóvel e o concreto seco (veja a Tabela 5-1).

## PROBLEMAS GERAIS

57 • **APROXIMAÇÃO** Em fevereiro de 2002, um total de 60,7 bilhões de kW · h de energia elétrica foi gerado por usinas nucleares nos Estados Unidos. Nesta época, a população dos Estados Unidos era de cerca de 287 milhões de pessoas. Se o americano médio tem uma massa de 60 kg e se 25 por cento de toda a energia produzida por todas as usinas nucleares fosse destinada para suprir energia para um único elevador gigante, estime a até que altura  $h$  toda a população do país poderia ser erguida pelo elevador. Suponha  $g$  constante ao longo de  $h$  em seus cálculos.

58 • **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Um dos mais potentes guindastes do mundo está em operação na Suíça. Ele pode, lentamente, elevar uma carga de 6000 t até uma altura de 12,0 m (1 t = 1000 kg). (a) Qual é o trabalho realizado pelo guindaste durante esta tarefa? (b) Se 1,00 min é o tempo para levantar essa carga a essa altura, com velocidade constante, e o guindaste tem uma eficiência de 20 por cento, encontre a potência (bruta) total do guindaste.

59 • Na Áustria, havia um teleférico de rampa de esqui de 5,6 km. Uma gôndola do teleférico levava cerca de 60 min para percorrer esta distância. Se houvesse 12 gôndolas subindo, cada uma com uma carga de 550 kg de massa, e 12 gôndolas vazias descendo, e o ângulo de inclinação fosse de 30°, estime a potência  $P$  da máquina necessária para operar o teleférico.

60 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Para completar seu mestrado em física, seu orientador exigiu que você projetasse um acelerador linear pequeno, capaz de emitir prótons, cada um com uma energia cinética de 10,0 keV. (A massa de um único próton é  $1,67 \times 10^{-27}$  kg.) Além disso,  $1,00 \times 10^9$  prótons por segundo devem alcançar o alvo na extremidade do acelerador de 1,50 m de comprimento. (a) Qual é a potência média a ser fornecida ao feixe de prótons? (b) Qual é a força (suposta constante) a ser aplicada a cada próton? (c) Qual é a rapidez atingida por cada próton, justo antes de alcançar o alvo, supondo que os prótons partem do repouso?

61 ••• As quatro cordas de um violino passam por uma cunha, conforme mostra a Figura 6-35. As cordas formam um ângulo de 72,0° com a normal ao plano do instrumento, em cada lado da cunha. A

força total normal resultante que pressiona a cunha contra o violino é de  $1,00 \times 10^3$  N. O comprimento das cordas, da cunha até o pino a que estão fixas, é de 32,6 cm. (a) Determine a tensão nas cordas, supondo que a tensão seja a mesma para cada uma. (b) Uma das cordas é dedilhada para fora, a uma distância de 4,00 mm, como mostrado. Faça um diagrama de corpo livre mostrando todas as forças atuando sobre o segmento de corda em contato com o dedo (não mostrado) e determine a força que traz o segmento de volta à sua posição de equilíbrio. Suponha que a tensão na corda permaneça constante durante o dedilhar. (c) Determine o trabalho realizado sobre a corda quando dedilhada até aquela distância. Lembre-se de que a força resultante que puxa a corda de volta à sua posição de equilíbrio varia à medida que a corda é puxada de volta, mas suponha que as magnitudes das forças de tensão permaneçam constantes.

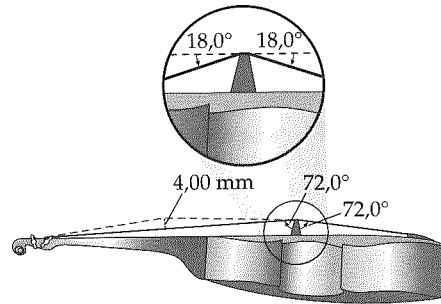


FIGURA 6-35 Problema 61

62 •• A magnitude de uma força única atuando sobre uma partícula de massa  $m$  é dada por  $F = bx^2$ , onde  $b$  é uma constante. A partícula parte do repouso. Após viajar uma distância  $L$ , determine (a) sua energia cinética, (b) sua rapidez.

63 •• Uma força horizontal única, com a orientação de  $+\hat{i}$ , atua sobre um carrinho de massa  $m$ . O carrinho parte do repouso em  $x = 0$ , e sua rapidez cresce com  $x$  como  $v = Cx$ , onde  $C$  é uma constante. (a) Encontre a força que atua sobre o carrinho, como função de  $x$ . (b) Encontre o trabalho realizado pela força ao levar o carrinho de  $x = 0$  até  $x = x_1$ .

64 ••• Uma força  $\vec{F} = (2,0 \text{ N/m}^2)x^2\hat{i}$  é aplicada sobre uma partícula inicialmente em repouso no plano  $xy$ . Encontre o trabalho realizado por esta força sobre a partícula e a rapidez final da partícula, quando ela se move em uma trajetória que é (a) uma linha reta do ponto (2,0 m; 2,0 m) até o ponto (2,0 m; 7,0 m) e (b) uma linha reta do ponto (2,0 m; 2,0 m) até o ponto (5,0 m; 6,0 m). A força dada é a única força trabalhando sobre a partícula.

65 •• Uma partícula de massa  $m$  se move ao longo do eixo  $x$ . Sua posição varia no tempo de acordo com  $x = 2t^3 - 4t^2$ , onde  $x$  está em metros e  $t$  está em segundos. Determine (a) a velocidade e a aceleração da partícula como funções de  $t$ , (b) a potência fornecida à partícula em função de  $t$  e (c) o trabalho realizado pela força resultante entre  $t = 0$  e  $t = t_1$ .

66 •• Uma partícula de 3,0 kg parte do repouso em  $x = 0,050$  m e se move ao longo do eixo  $x$  sob a influência de uma força  $F_x = 6,0 + 4,0x - 3,0x^2$ , onde  $F_x$  está em newtons e  $x$  está em metros. (a) Determine o trabalho realizado pela força enquanto a partícula se move de  $x = 0,050$  m até  $x = 3,0$  m. (b) Determine a potência fornecida à partícula quando ela passa pelo ponto  $x = 3,0$  m.

67 •• A energia cinética inicial imprimida a um projétil de 0,020 kg é 1200 J. (a) Supondo que ele é acelerado ao longo de um cano de rifle de 1,00 m, estime a potência média fornecida ao projétil durante o disparo. (b) Desprezando a resistência do ar, encontre o alcance deste projétil, quando disparado a um ângulo tal que o alcance seja igual à altura máxima atingida.

68 •• sobre um realizado os seguin +3,00 e m/s no s rar?

FIGURA

69 •• Figura 6- reita com em  $x = 4$

FIGURA

70 •• plano inc que a pu realizado x ao long de  $x$ . (c) D função de

FIGURA

•• A Figura 6-36 mostra, em função de  $x$ , a força  $F_x$  que atua sobre uma partícula de 0,500 kg. (a) Do gráfico, calcule o trabalho realizado pela força enquanto a partícula se move de  $x = 0,00$  até seguintes valores de  $x$ :  $-4,00$ ,  $-3,00$ ,  $-2,00$ ,  $-1,00$ ,  $+1,00$ ,  $+2,00$ ,  $+3,00$  e  $+4,00$ . (b) Se a partícula parte com uma velocidade de 2,00 m/s no sentido  $+x$ , até onde ela viajará ao longo deste eixo até parar?

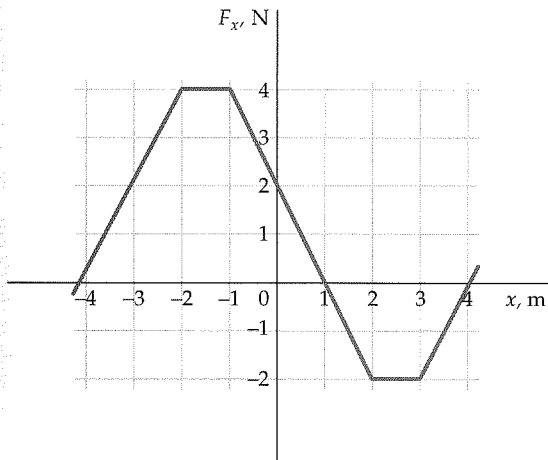


FIGURA 6-36 Problema 68

•• (a) Repita o Problema 68(a) para a força  $F_x$  mostrada na Figura 6-37. (b) Se o corpo parte da origem, movendo-se para a direita com uma energia cinética de 25,0 J, qual é sua energia cinética em  $x = 4,00$  m?

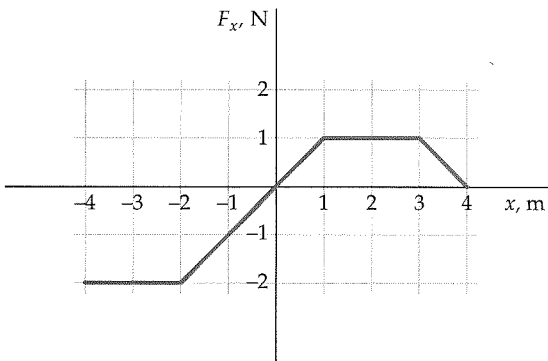


FIGURA 6-37 Problema 69

•• Uma caixa de massa  $M$  está em repouso na base de um plano inclinado sem atrito (Figura 6-38). A caixa está presa a um fio que a puxa com uma tensão constante  $T$ . (a) Determine o trabalho realizado pela tensão  $T$ , enquanto a caixa é puxada por uma distância  $x$  ao longo do plano. (b) Determine a rapidez da caixa como função de  $x$ . (c) Determine a potência desenvolvida pela tensão do fio como função de  $x$ .

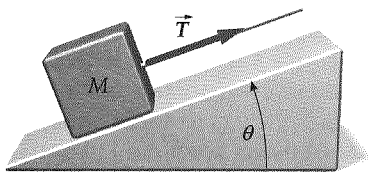


FIGURA 6-38 Problema 70

71 ••• Uma força atuando sobre uma partícula do plano  $xy$ , nas coordenadas  $(x, y)$ , é dada por  $\vec{F} = (F_0/r)(y\hat{i} - x\hat{j})$ , onde  $F_0$  é uma constante positiva e  $r$  é a distância da partícula à origem. (a) Mostre que a magnitude desta força é  $F_0$  e que sua orientação é perpendicular a  $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j}$ . (b) Encontre o trabalho realizado pela força sobre a partícula, quando esta completa uma volta em um círculo de 5,0 m de raio centrado na origem.

72 ••• Uma força atuando sobre uma partícula de 2,0 kg do plano  $xy$ , nas coordenadas  $(x, y)$ , é dada por  $\vec{F} = -(b/r^3)(x\hat{i} + y\hat{j})$ , onde  $b$  é uma constante positiva e  $r$  é a distância da partícula à origem. (a) Mostre que a magnitude da força é inversamente proporcional a  $r^2$  e que sua orientação é antiparalela (oposta) ao raio vetor  $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j}$ . (b) Se  $b = 3,0 \text{ N} \cdot \text{m}^2$ , encontre o trabalho realizado por esta força enquanto a partícula se move de  $(2,0 \text{ m}, 0,0 \text{ m})$  até  $(5,0 \text{ m}, 0,0 \text{ m})$  em um caminho reto. (c) Encontre o trabalho realizado pela força sobre a partícula quando esta completa uma volta em um círculo de 7,0 m de raio centrado na origem.

73 ••• Um bloco de massa  $m$ , sobre uma mesa horizontal sem atrito, é preso a uma mola que está fixa ao teto (Figura 6-39). A distância vertical entre o topo do bloco e o teto é  $y_0$ , e sua posição horizontal é  $x$ . Quando o bloco está em  $x = 0$ , a mola, cuja constante de força é  $k$ , está completamente frouxa. (a) Quanto vale  $F_x$ , a componente  $x$  da força da mola sobre o bloco, como função de  $x$ ? (b) Mostre que  $F_x$  é proporcional a  $x^3$  para valores de  $|x|$  suficientemente pequenos. (c) Se o bloco é largado do repouso em  $x = x_0$ , com  $|x_0| \ll y_0$ , qual é sua rapidez ao atingir  $x = 0$ ?

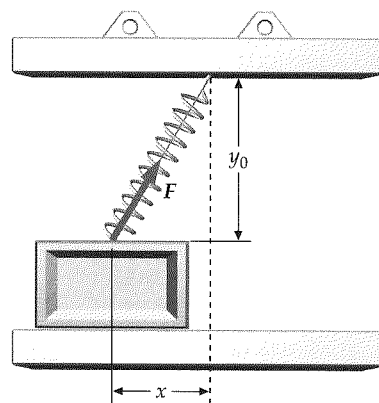


FIGURA 6-39 Problema 73

74 •• Dois cavalos puxam um grande caixote sobre o chão do celeiro, com uma rapidez constante, através de dois cabos de aço leves. Uma grande caixa de 250 kg de massa está dentro do caixote (Figura 6-40). Enquanto os cavalos puxam, os cabos estão paralelos ao piso horizontal. O coeficiente de atrito entre o caixote e o piso do celeiro é 0,25. (a) Qual é o trabalho realizado por cada cavalo se a caixa é deslocada de uma distância de 25 m? (b) Qual é a tensão em cada cabo se o ângulo entre cada um deles e o sentido do movimento do caixote é  $15^\circ$ ?

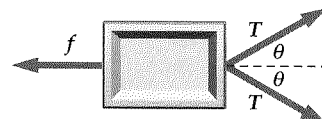


FIGURA 6-40 Problema 74

74 • Se um buraco negro e uma estrela "normal" orbitam um em torno do outro, gases da estrela normal capturados pelo buraco negro podem ter sua temperatura elevada em milhões de graus, por causa do aquecimento por atrito. Quando os gases são assim aquecidos, eles começam a irradiar luz na região de raios X do espectro eletromagnético (fótons de alta energia). Acredita-se que Cygnus X-1, a segunda mais intensa fonte conhecida de raios X do céu, é um desses sistemas binários; ele irradia com uma potência estimada de  $4 \times 10^{31}$  W. Se supomos que 1,0 por cento da massa capturada escapa como energia de raios X, com que taxa o buraco negro está ganhando massa?

75 • **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** Você está calculando as necessidades de combustível para uma pequena usina geradora de energia elétrica por fusão. Suponha uma conversão de 33 por cento em energia elétrica. Para a reação de fusão deutério-trítio (D-T) do Exemplo 7-18, calcule o número de reações por segundo necessárias para gerar 1,00 kW de potência elétrica.

76 • Use a Tabela 7-1 para calcular a energia necessária para remover um nêutron de uma partícula alfa em repouso, deixando um núcleo de hélio-3 em repouso mais um nêutron com 1,5 MeV de energia cinética.

77 • Um nêutron livre decai em um próton mais um elétron e um antineutrino do elétron [um antineutrino do elétron (símbolo  $\bar{\nu}_e$ ) é uma partícula elementar praticamente sem massa]:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ . Use a Tabela 7-1 para calcular a energia liberada por esta reação.

78 •• Em um tipo de reação de fusão nuclear, dois dêuterons se juntam para formar uma partícula alfa. (a) Qual é a energia liberada por esta reação? (b) Quantas reações deste tipo devem ocorrer, por segundo, para que se produza 1 kW de potência?

79 •• Uma grande usina nuclear produz 1000 MW de potência elétrica através de fissão nuclear. (a) De quantos quilogramas a massa do combustível nuclear é reduzida a cada ano? (Suponha uma eficiência de 33 por cento para a usina nuclear.) (b) Em uma usina de queima de carvão, cada quilograma de carvão libera 31 MJ de energia térmica quando queimado. Quantos quilos de carvão são necessários, a cada ano para a geração de 1000 MW? (Suponha uma eficiência de 38 por cento para a usina de carvão.)

## QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA

80 •• Uma massa, presa a uma extremidade de uma mola de constante de força igual a 1000 N/m, oscila com a frequência de 2,5 oscilações por segundo. (a) Determine o número quântico  $n$  do estado em que ela se encontra, se ela tem uma energia total de 10 J. (b) Qual é a energia de seu estado fundamental?

81 •• Repita o Problema 80, considerando agora um átomo em um sólido, vibrando com a frequência de  $1,00 \times 10^{14}$  oscilações por segundo e tendo uma energia total de 2,7 eV.

## PROBLEMAS GERAIS

82 • Um bloco de massa  $m$ , partindo do repouso, é puxado para cima, sobre um plano sem atrito, inclinado de um ângulo  $\theta$  com a horizontal, por um fio paralelo ao plano. A tensão no fio é  $T$ . Após percorrer uma distância  $L$ , a rapidez do bloco é  $v_f$ . Deduza uma expressão para o trabalho realizado pela força de tensão.

83 • Um bloco de massa  $m$  desliza com rapidez constante  $v$  para baixo sobre um plano inclinado de um ângulo  $\theta$  com a horizontal. Deduza uma expressão para a energia dissipada pelo atrito durante o intervalo de tempo  $\Delta t$ .

84 • Em física de partículas, a energia potencial associada a um par de quarks ligado pela força nuclear forte é, em um particu-

lar modelo teórico, escrita como a função  $U(r) = -(\alpha/r) + kr$ , onde  $k$  e  $\alpha$  são constantes positivas e  $r$  é a distância de separação entre os dois quarks.\* (a) Esboce o perfil geral da função energia potencial. (b) Qual é a forma geral da força que cada quark exerce sobre o outro? (c) Para os casos extremos de valores de  $r$  muito pequenos e muito grandes, a força toma qual forma simplificada?

85 • **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Você recebeu a incumbência de instalar o aproveitamento de energia solar na fazenda de seu avô. No local, uma média de 1,0 kW/m<sup>2</sup> atinge a superfície durante as horas do dia em um dia claro. Se isto pudesse ser convertido com 25 por cento de eficiência em energia elétrica, qual a área de coletores que você precisaria para fazer funcionar uma bomba de irrigação de 4,0 hp durante as horas claras do dia?

86 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** A energia radiante do Sol que atinge a órbita da Terra é de 1,35 kW/m<sup>2</sup>. (a) Mesmo quando o Sol está a pino e em condições secas e desérticas, 25 por cento desta energia é absorvida e/ou refletida pela atmosfera antes de atingir a superfície da Terra. Se a frequência média da radiação eletromagnética que vem do Sol é de  $5,5 \times 10^{14}$  Hz, quantos fótons por segundo incidem sobre um painel solar de 1,0 m<sup>2</sup>? (b) Suponha os painéis com uma alta eficiência de 10,0 por cento, na conversão de energia radiante em energia elétrica utilizável. Qual é o tamanho do painel solar necessário para suprir as necessidades de um carro de 5,0 hp movido a energia solar (supondo que o carro seja alimentado diretamente pelos painéis solares e não por baterias), durante uma corrida no Cairo, ao meio-dia do dia 21 de março? (c) Supondo uma eficiência mais realista de 3,3 por cento e painéis capazes de girar, de forma a estarem sempre perpendiculares à luz solar, qual o tamanho do conjunto de painéis solares necessário para suprir as necessidades da Estação Espacial Internacional, que exige continuamente cerca de 110 kW de potência elétrica?

87 •• Em 1964, depois que o automóvel a jato *Spirit of America*, de 1250 kg, perdeu seu pára-quadras e se descontrolou em uma corrida em Bonneville Salt Flats, no Utah (EUA), foram deixadas marcas de derrapagem de cerca de 8,00 km. (O fato mereceu menção no livro Guinness de recordes mundiais como a maior marca de derrapagem.) (a) Se o carro estava se movendo inicialmente com uma rapidez de cerca de 800 km/h e ainda viajava a 300 km/h quando ao ser arremessado em um lago salgado, estime o coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$ . (b) Qual era a energia cinética do carro, 60 s após a derrapagem ter começado?

88 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Um reboque para esquiadores está sendo desenhado, para uma nova área de prática de esquí. Ele deve ser capaz de puxar um máximo de 80 esquiadores em uma subida de 600 m, inclinada de 15° acima da horizontal, com uma rapidez de 2,50 m/s. O coeficiente de atrito cinético entre os esquis e a neve vale, tipicamente, 0,060. Como gerente das instalações, você encomendaria ao fabricante um motor com qual potência, se a massa média de um esquiador é 75,0 kg? Suponha que você deve estar preparado para qualquer emergência, encomendando uma potência 50 por cento maior do que o mínimo calculado.

89 •• **VÁRIOS PASSOS** Uma caixa de massa  $m$ , sobre o chão, está ligada a uma mola horizontal de constante de força  $k$  (Figura 7-52). O coeficiente de atrito cinético entre a caixa e o chão é  $\mu_c$ . A outra extremidade da mola está presa a uma parede. A mola está inicialmente frouxa. Se a caixa é afastada da parede de uma distância  $d_0$  e largada, ela desliza de volta. Suponha que a caixa não deslize tanto a ponto de as espiras da mola se tocarem. (a) Obtenha uma expressão para a distância  $d_1$  percorrida pela caixa antes de parar pela primeira vez.

\* Este é conhecido como o "potencial de Cornell", apresentado na publicação *Physical Review Letters*, e é de autoria dos prêmios Nobel de 2004 Gross, Wilczek e Politzer.

solo em um trecho inclinado de  $30^\circ$ . O ponto B está na crista de uma elevação, enquanto o ponto D está no nível do solo, no fundo de um vale. O raio de curvatura nestes dois pontos é de 20 m. O ponto F está no meio de uma curva horizontal de perfil inclinado, com um raio de curvatura de 30 m, e à mesma altura dos pontos A, E e G. No ponto A, a rapidez do carrinho é 12 m/s. (a) Se o carrinho tem justo as mínimas condições para vencer a barreira no ponto B, qual deve ser a altura do ponto B em relação ao solo? (b) Se o carrinho tem justo as mínimas condições para vencer a barreira no ponto B, qual deve ser a magnitude da força exercida pelo trilho sobre o carrinho neste ponto? (c) Qual será a aceleração do carrinho no ponto C? (d) Quais serão a magnitude e a orientação da força exercida pelo trilho sobre o carrinho no ponto D? (e) Quais serão a magnitude e a orientação da força exercida pelo trilho sobre o carrinho, no ponto F? (f) Em G, um força constante de frenagem é aplicada ao carrinho devendo fazer com que ele páre após 25 m. Qual é a magnitude que deve ter esta força?

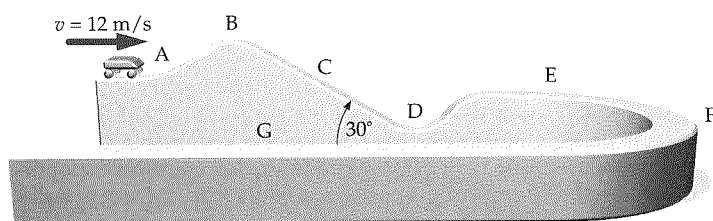


FIGURA 7-55 Problema 97

98 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** O cabo de um elevador de 2000 kg se rompeu e o elevador está se movendo para baixo com uma rapidez constante de 1,5 m/s. Um sistema de freamento de segurança, que funciona com atrito, evita que o elevador aumente a rapidez de descida. (a) Com que taxa o sistema de freamento está convertendo energia mecânica em energia térmica? (b) Enquanto o elevador se move para baixo a 1,5 m/s, o sistema de freamento falha e o elevador entra em queda livre por uma distância de 5,0 m até atingir uma grande mola de segurança com constante de força de  $1,5 \times 10^4$  N/m. Determine a compressão  $d$  sofrida pela mola até o elevador chegar ao repouso.

99 ••• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA, RICO EM CONTEXTO** Para medir a força combinada de atrito (atrito de rolamento mais arraste do ar) sobre um carro em movimento, uma equipe de engenheiros automobilísticos, da qual você faz parte, desliga o motor e deixa que o carro desça em ponto morto ladeiras de inclinações conhecidas. A equipe recolhe os seguintes dados: (1) Em uma ladeira de  $2,87^\circ$ , o carro desce com a rapidez constante de 20 m/s. (2) Em uma ladeira de  $5,74^\circ$ , a rapidez constante de descida é 30 m/s. A massa total do carro é 1000 kg. (a) Qual é a magnitude da força de atrito combinada a 20 m/s ( $F_{20}$ ) e a 30 m/s ( $F_{30}$ )? (b) Qual deve ser a potência desenvolvida pelo motor para se dirigir o carro em uma estrada plana com uma rapidez constante de 20 m/s ( $P_{20}$ ) e de 30 m/s ( $P_{30}$ )? (c) A potência máxima que o motor pode desenvolver é 40 kW. Qual é o maior ângulo de inclinação que permite o carro subir uma ladeira com uma rapidez constante de 20 m/s? (d) Suponha que o motor realize a mesma quantidade de trabalho útil, para cada litro de gasolina, não importando qual a rapidez. A 20 m/s, em uma estrada plana, o carro faz 12,7 km/L. Quantos quilômetros por litro ele faz viajando a 30 m/s?

100 •• **APLICAÇÃO EM ENGENHARIA** (a) Calcule a energia cinética de um carro de 1200 kg que se move a 50 km/h. (b) Se a força resistiva (atrito de rolamento e arraste do ar) é de 300 N quando a rapidez é de 50 km/h, qual é a menor energia necessária para deslocar o carro 300 m à rapidez constante de 50 km/h?

101 ••• Um pêndulo consiste em uma pequena bola de massa  $m$  presa a um fio de comprimento  $L$ . A bola é segurada lateralmente,

com o fio na horizontal (Figura 7-56). Então, ela é largada do repouso. No ponto mais baixo da trajetória, o fio se prende a um pequeno prego, a uma distância  $R$  acima desse ponto. Mostre que  $R$  deve ser menor do que  $2L/5$  para que o fio permaneça tenso enquanto a bola completa uma volta inteira em torno do prego.

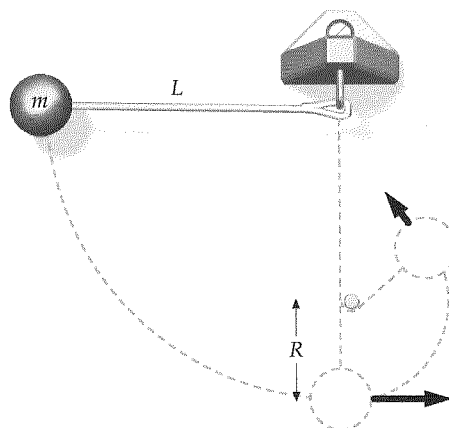


FIGURA 7-56 Problema 101

102 •• Uma embarcação esportiva de 285 kg é dirigida, na superfície de um lago, com a rapidez constante de 13,5 m/s, de encontro a uma rampa inclinada de  $25,0^\circ$  acima da horizontal. O coeficiente de atrito entre o casco da embarcação e a superfície da rampa é 0,150, e a extremidade mais elevada da rampa está 2,00 m acima da superfície da água. (a) Supondo que o motor é desligado quando a embarcação chega na rampa, qual é sua rapidez ao abandonar a rampa? (b) Qual é a rapidez da embarcação quando ela atinge novamente a água? Despreze a resistência do ar.

103 •• Uma tradicional experiência de laboratório de física básica, que trata da conservação da energia e das leis de Newton, é mostrada na Figura 7-57. Um carrinho deslizante é colocado sobre um trilho de ar e é preso por um fio que passa por uma polia sem atrito e sem massa, a um peso pendente. A massa do carrinho é  $M$ , enquanto a massa do objeto pendente é  $m$ . Quando o colchão de ar é formado, o trilho se torna praticamente sem atrito. Então, você larga o objeto pendente e mede a rapidez do carrinho depois de o objeto ter caído uma certa distância  $y$ . (a) Para mostrar que a rapidez medida é a prevista pela teoria, aplique conservação da energia mecânica e calcule a rapidez como função de  $y$ . (b) Para confirmar este cálculo, aplique a segunda e a terceira leis de Newton diretamente, esboçando um diagrama de corpo livre para cada uma das duas massas e aplicando as leis de Newton para determinar suas acelerações. Então, use a cinemática para calcular a rapidez do carrinho como função de  $y$ .

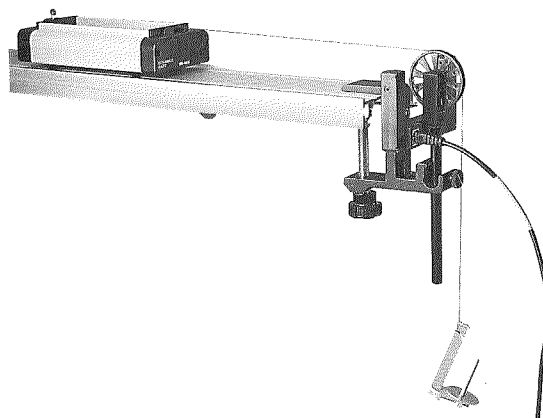


FIGURA 7-57 Problema 103