

# EXERCÍCIOS SELECIONADOS

CAP. 5 : 6, 7, 11, 12, 13, 15, 23,  
29, 26, 32, 46, 57, 63, 65

CAP. 6 : 10, 19, 23, 24, 25, 32, 33,  
37, 41, 45, 53, 59

CAP. 7: 1, 9, 6, 11, 13, 15, 18, 23,

25

BONS

ESTUDOS!

11

Como não é possível atarraxar uma porca em uma haste a não ser nas extremidades, o projeto foi modificado. Em vez de duas hastes foram usadas seis, duas presas ao teto e quatro ligando passarelas vizinhas (Fig. 5-29b). Qual é agora a massa total sustentada por duas porcas que estão (c) na passarela de baixo, (d) no lado de cima da passarela de cima e (e) no lado de baixo da passarela de cima? Foi este projeto modificado que causou a tragédia.

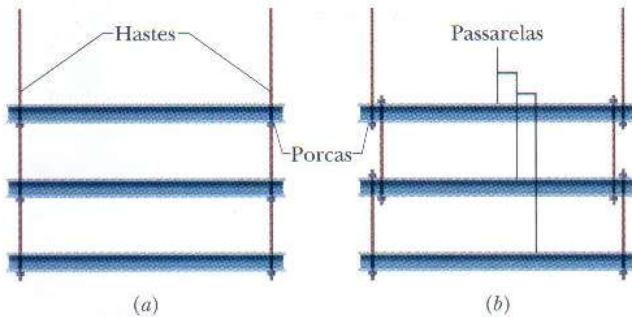


FIG. 5-29 Pergunta 11.

**12** A Fig. 5-30 mostra três blocos sendo empurrados sobre um piso sem atrito por uma força horizontal  $\vec{F}$ . Que massa total é acelerada para a direita (a) pela força  $\vec{F}$ , (b) pela força  $\vec{F}_{21}$  exercida pelo bloco 1 sobre o bloco 2 e (c) pela força  $\vec{F}_{32}$  exercida pelo bloco 2 sobre o bloco 3? (d) Ordene os blocos de acordo com o módulo da aceleração, começando pelo maior. (e) Ordene as forças  $\vec{F}$ ,  $\vec{F}_{21}$  e  $\vec{F}_{32}$  de acordo com o módulo, começando pelo maior. (Aquecimento para o Problema 53.)

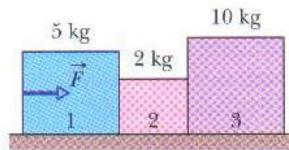


FIG. 5-30 Pergunta 12.

## PROBLEMAS

• - • • O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

### seção 5-6 A Segunda Lei de Newton

**•1** Se um corpo-padrão de 1 kg tem uma aceleração de  $2,00 \text{ m/s}^2$  a  $20,0^\circ$  com o semi-eixo  $x$  positivo, quais são (a) a componente  $x$  e (b) a componente  $y$  da força resultante a que o corpo está submetido e (c) qual é a força resultante em termos dos vetores unitários?

**•2** Duas forças horizontais agem sobre um bloco de madeira de 2,0 kg que pode deslizar sem atrito na bancada de uma cozinha, situada em um plano  $xy$ . Uma das forças é  $\vec{F}_1 = (3,0 \text{ N})\hat{i} + (4,0 \text{ N})\hat{j}$ . Determine a aceleração do bloco em termos dos vetores unitários se a outra força é (a)  $\vec{F}_2 = (-3,0 \text{ N})\hat{i} + (-4,0 \text{ N})\hat{j}$ , (b)  $\vec{F}_2 = (-3,0 \text{ N})\hat{i} + (4,0 \text{ N})\hat{j}$  e (c)  $\vec{F}_2 = (3,0 \text{ N})\hat{i} + (-4,0 \text{ N})\hat{j}$ .

**•3** Apenas duas forças horizontais atuam em um corpo de 3,0 kg que pode se mover em um piso sem atrito. Uma força é de 9,0 N e aponta para o leste; a outra é de 8,0 N e atua a  $62^\circ$  ao norte do oeste. Qual é o módulo da aceleração do corpo?

**•4** Um objeto de 2,00 kg está sujeito a três forças, que lhe imprimem uma aceleração  $\vec{a} = -(8,00 \text{ m/s}^2)\hat{i} + (6,00 \text{ m/s}^2)\hat{j}$ . Se duas das três forças são  $\vec{F}_1 = (30,0 \text{ N})\hat{i} + (16,0 \text{ N})\hat{j}$  e  $\vec{F}_2 = -(12,0 \text{ N})\hat{i} + (8,00 \text{ N})\hat{j}$ , determine a terceira força.

**•5** Duas forças agem sobre a caixa de 2,00 kg vista de cima na Fig. 5-31, mas apenas uma é mostrada. Para  $F_1 = 20,0 \text{ N}$ ,  $a = 12,0 \text{ m/s}^2$  e  $\theta = 30,0^\circ$ , determine a segunda força (a) em termos dos vetores unitários e como um (b) módulo e (c) um ângulo em relação ao semi-eixo  $x$  positivo.

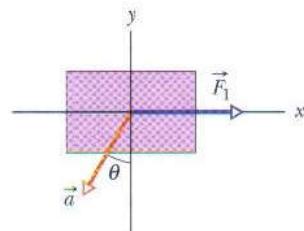


FIG. 5-31 Problema 5.

**••6** Sob a ação de duas forças, uma partícula se move com velocidade constante  $\vec{v} = (3 \text{ m/s})\hat{i} - (4 \text{ m/s})\hat{j}$ . Uma das forças é  $\vec{F}_1 = (2 \text{ N})\hat{i} + (-6 \text{ N})\hat{j}$ . Qual é a outra?

**••7** Três astronautas, impulsionados por mochilas a jato, empurram e guiam um asteroide de 120 kg em direção a uma base de manutenção, exercendo as forças mostradas na Fig. 5-32, com  $F_1 = 32 \text{ N}$ ,  $F_2 = 55 \text{ N}$ ,  $F_3 = 41 \text{ N}$ ,  $\theta_1 = 30^\circ$  e  $\theta_3 = 60^\circ$ . Determine a aceleração do asteroide (a) em termos dos vetores unitários e como um (b) módulo e (c) um ângulo em relação ao semi-eixo  $x$  positivo.

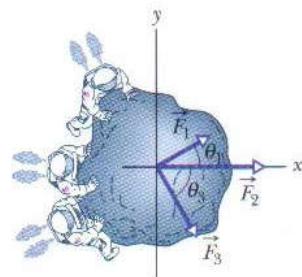


FIG. 5-32 Problema 7.

**••8** Em um cabo-de-guerra bidimensional, Alexandre, Bárbara e Carlos puxam horizontalmente um pneu de automóvel nas orientações mostradas na vista superior da Fig. 5-33. Apesar dos esforços da trinca, o pneu permanece no mesmo lugar. Alexandre puxa com uma força  $\vec{F}_A$  de módulo 220 N e Carlos puxa com uma força  $\vec{F}_C$  de módulo 170 N. Observe que a orientação de  $\vec{F}_C$  não é dada. Qual é o módulo da força  $\vec{F}_B$  exercida por Bárbara?

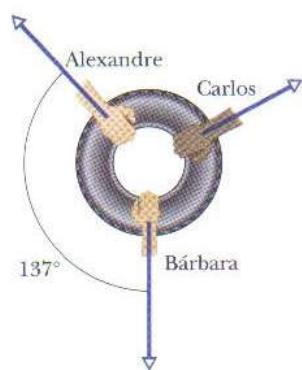


FIG. 5-33 Problema 8.

**••9** Uma partícula de 2,0 kg se move ao longo de um eixo  $x$  sob a ação de uma força variável. A posição da partícula é dada por  $x = 3,0 \text{ m} + (4,0 \text{ m/s})t + ct^2 - (2,0 \text{ m/s}^3)t^3$ , com  $x$  em metros e  $t$  em segundos. O fator  $c$  é uma constante. No instante  $t = 3,0 \text{ s}$  a força que age sobre a partícula tem um módulo de 36 N e aponta no sentido negativo do eixo  $x$ . Qual é o valor de  $c$ ?

**••10** Uma partícula de 0,150 kg se move ao longo de um eixo  $x$  de acordo com a equação  $x(t) = -13,00 + 2,00t + 4,00t^2 - 3,00t^3$ , com  $x$  em metros e  $t$  em segundos. Em termos dos vetores unitários, qual é a força resultante a que está submetida a partícula no instante  $t = 3,40 \text{ s}$ ?

**••11** Uma partícula de 0,340 kg se move no plano  $xy$  de acordo com as equações  $x(t) = -15,00 + 2,00t - 4,00t^3$  e  $y(t) = 25,00 + 7,00t - 9,00t^2$ , com  $x$  e  $y$  em metros e  $t$  em segundos. No instante  $t = 0,700 \text{ s}$ , quais são (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação ao semi-eixo  $x$  positivo) da força resultante a que está submetida a partícula e (c) qual é o ângulo da direção de movimento da partícula?

**••12** Duas forças horizontais  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  agem sobre um disco de 4,0 kg que desliza sem atrito sobre o gelo, no qual foi desenhado um sistema de coordenadas  $xy$ . A força  $\vec{F}_1$  aponta no sentido positivo do eixo  $x$  e tem um módulo de 7,0 N. A força  $\vec{F}_2$  tem um módulo de 9,0 N. A Fig. 5-34 mostra a componente  $v_x$  da velocidade do disco em função do tempo  $t$ . Qual é o ângulo entre as orientações constantes das forças  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$ ?

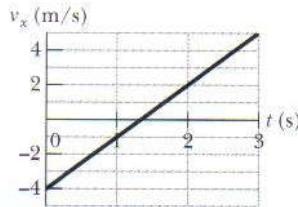


FIG. 5-34 Problema 12.

### seção 5-7 Algumas Forças Especiais

**•13** (a) Um salame de 11,0 kg está pendurado por uma corda em uma balança de mola, que está presa ao teto por outra corda (Fig. 5-35a). Qual é a leitura da balança, cuja escala está em unidades de peso? (b) Na Fig. 5-35b o salame está suspenso por uma corda que passa por uma roldana e está preso a uma balança de mola. A extremidade oposta da balança está presa a uma parede por outra corda. Qual é a leitura da balança? (c) Na Fig. 5-35c a parede foi substituída por um segundo salame de 11,0 kg e o sistema está em repouso. Qual é a leitura da balança?

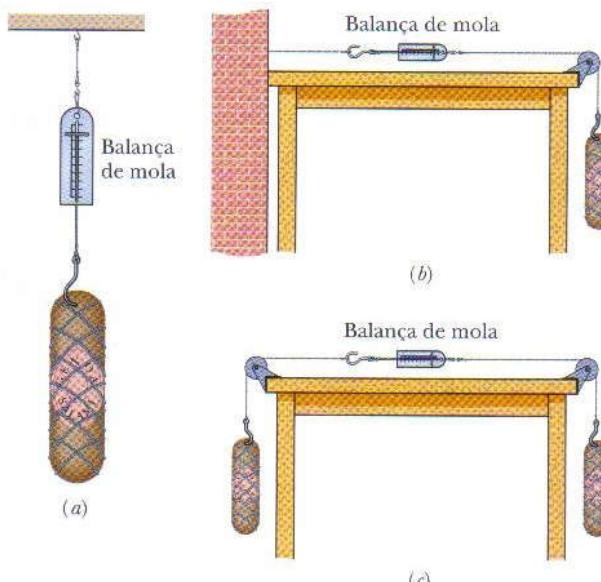


FIG. 5-35 Problema 13.

**•14** Um bloco com um peso de 3,0 N está em repouso em uma superfície horizontal. Uma força para cima de 1,0 N é aplicada ao corpo através de uma mola vertical. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido da força exercida pelo bloco sobre a superfície horizontal?

**•15** A Fig. 5-36 mostra um arranjo no qual quatro discos estão suspensos por cordas. A corda mais comprida, no alto, passa por uma polia sem atrito e exerce uma força de 98 N sobre a parede à qual está presa. As tensões nas cordas mais curtas são  $T_1 = 58,8 \text{ N}$ ,  $T_2 = 49,0 \text{ N}$  e  $T_3 = 9,8 \text{ N}$ . Quais são as massas (a) do disco  $A$ , (b) do disco  $B$ , (c) do disco  $C$  e (d) do disco  $D$ ?

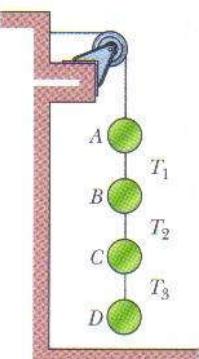


FIG. 5-36 Problema 15.

**•16** Alguns insetos podem se deslocar pendurados em gravetos. Suponha que um desses insetos tenha massa  $m$  e esteja pendurado em um graveto horizontal, como mostra a Fig. 5-37, com um ângulo  $\theta = 40^\circ$ . As seis pernas do inseto estão sob a mesma tensão e as seções das pernas mais próximas do corpo são horizontais. (a) Qual é a razão entre a tensão em cada tibia (parte dianteira da perna) e o peso do inseto? (b) Se o inseto estica um pouco as pernas, a tensão em cada tibia aumenta, diminui ou continua a mesma?



FIG. 5-37 Problema 16.

### seção 5-9 Aplicando as Leis de Newton

**•17** Um homem está sentado em um brinquedo de parque de diversões no qual uma cabina é acelerada para baixo, no sentido negativo do eixo  $y$ , com uma aceleração cujo módulo é  $1,24g$ , com  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$ . Uma moeda de 0,567 g repousa no joelho do homem. Depois que a cabina começa a se mover e em termos dos vetores unitários, qual é a aceleração da moeda (a) em relação ao solo e (b) em relação ao homem? (c) Quantos tempo a moeda leva para chegar ao teto da cabina, 2,20 m acima do joelho? Em termos dos vetores unitários, qual é (d) a força a que está submetida a moeda e (e) a força aparente a que está submetida a moeda do ponto de vista do homem?

**•18** Tarzan, que pesa 820 N, salta de um rochedo na ponta de um cipó de 20,0 m que está preso ao galho de uma árvore e faz inicialmente um ângulo de  $22,0^\circ$  com a vertical. Suponha que um eixo  $x$  é traçado horizontalmente a partir da borda do rochedo e que um eixo  $y$  é traçado verticalmente para cima. Imediatamente após Tarzan pular da encosta a tensão no cipó é 760 N. Neste instante, quais são (a) a força do cipó sobre Tarzan em termos dos vetores unitários, a força resultante sobre Tarzan (b) em termos dos vetores unitários e como (c) módulo e (d) ângulo em relação ao sentido positivo do eixo  $x$ ? Quais são (e) o módulo e (f) o ângulo da aceleração de Tarzan nesse instante?

**•19** Na Fig. 5-38, a massa do bloco é 8,5 kg e o ângulo  $\theta$  é  $30^\circ$ . Determine (a) a

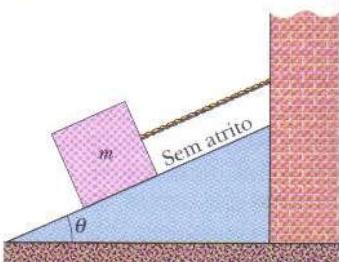


FIG. 5-38 Problema 19.

tensão na corda e (b) a força normal que age sobre o bloco. (c) Determine o módulo da aceleração do bloco se a corda for cortada.

- 20 Existem duas forças horizontais atuando na caixa de 2,0 kg, mas a vista superior da Fig. 5-39 mostra apenas uma (de módulo  $F_1 = 20 \text{ N}$ ). A caixa se move ao longo do eixo  $x$ . Para cada um dos valores da aceleração  $a_x$  da caixa, determine a segunda força em termos dos vetores unitários: (a)  $10 \text{ m/s}^2$ , (b)  $20 \text{ m/s}^2$ , (c) 0, (d)  $-10 \text{ m/s}^2$  e (e)  $-20 \text{ m/s}^2$ .



FIG. 5-39 Problema 20.

- 21 Uma força horizontal constante  $\vec{F}_x$  empurra um pacote dos correios de 2,00 kg sobre um piso sem atrito onde um sistema de coordenadas  $xy$  foi desenhado. A Fig. 5-40 mostra as componentes  $x$  e  $y$  da velocidade do pacote em função do tempo  $t$ . Quais são (a) o módulo e (b) a orientação de  $\vec{F}_x$ ?

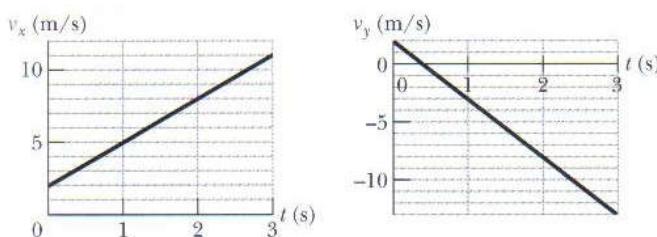


FIG. 5-40 Problema 21.

- 22 Em 4 de abril de 1974 John Massis, da Bélgica, conseguiu puxar dois vagões de passageiros mordendo um freio preso por uma corda aos vagões e se inclinando para trás com as pernas apoiadas nos dormentes da ferrovia. Os vagões pesavam 700 kN (cerca de 80 toneladas). Suponha que ele tenha puxado com uma força constante de módulo 2,5 vezes maior que o seu peso e ângulo  $\theta$  de  $30^\circ$  com a horizontal. Sua massa era de 80 kg, e ele fez os vagões se deslocarem de 1,0 m. Desprezando as forças de atrito, determine a velocidade dos vagões quando Massis parou de puxar.

- 23 *Propulsão solar.* Um “veleiro solar” é uma nave espacial com uma grande vela que é empurrada pela luz do sol. Embora esse empurrão seja fraco em circunstâncias normais, ele pode ser suficiente para afastar a nave do sol em uma viagem gratuita, mas muito lenta. Suponha que a espaçonave tenha uma massa de 900 kg e receba um empurrão de 20 N. (a) Qual é o módulo da aceleração resultante? Se a nave parte do repouso, (b) que distância percorre em um dia e (c) qual é a velocidade no final do dia?

- 24 A tensão para a qual uma linha de pescar arrebenta é chamada de “resistência” da linha. Qual é a resistência mínima necessária para que a linha faça parar um salmão de 85 N de peso em 11 cm se o peixe está inicialmente se deslocando a 2,8 m/s? Considere uma desaceleração constante.

- 25 Um trenó-foguete de 500 kg pode ser acelerado por uma força constante do repouso até 1600 km/h em 1,8 s. Qual é o módulo da força?

- 26 Um carro a 53 km/h se choca com um pilar de uma ponte. Um passageiro do carro se desloca para a frente de uma distância de 65 cm (em relação à estrada) até ser imobilizado por um airbag inflado. Qual é o módulo da força (suposta constante) que atua sobre o tronco do passageiro, que tem uma massa de 41 kg?

- 27 Um bombeiro que pesa 712 N escorrega por um poste vertical com uma aceleração de  $3,00 \text{ m/s}^2$ , dirigida para baixo. Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da força vertical exercida pelo poste sobre o bombeiro e (c) o módulo e (d) a orientação da força vertical exercida pelo bombeiro sobre o poste?

- 28 Os ventos violentos de um tornado podem fazer com que pequenos objetos fiquem encravados em árvores, paredes de edifícios e até mesmo placas de sinalização de metal. Em uma simulação de laboratório um palito comum de madeira foi disparado por um canhão pneumático em um galho de carvalho. A massa do palito era 0,13 g, sua velocidade antes de penetrar no galho era 220 m/s e a profundidade de penetração foi 15 mm. Se o palito sofreu uma desaceleração constante, qual foi o módulo da força exercida pelo galho sobre o palito?

- 29 Um elétron com uma velocidade de  $1,2 \times 10^7 \text{ m/s}$  penetra horizontalmente em uma região onde está sujeito a uma força vertical constante de  $4,5 \times 10^{-16} \text{ N}$ . A massa do elétron é  $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ . Determine a deflexão vertical sofrida pelo elétron enquanto percorre uma distância horizontal de 30 mm.

- 30 Um carro que pesa  $1,30 \times 10^4 \text{ N}$  está se movendo a 40 km/h quando os freios são aplicados, fazendo o carro parar depois de percorrer 15 m. Supondo que a força aplicada pelo freio é constante, determine (a) o módulo da força e (b) o tempo necessário para o carro parar. Se a velocidade inicial for dobrada e o carro experimentar a mesma força durante a frenagem, por que fatores são multiplicados (c) a distância até o carro parar e (d) o tempo necessário para o carro parar? (Isto poderia ser uma lição sobre o perigo de dirigir em altas velocidades.)

- 31 A velocidade de uma partícula de 3,00 kg é dada por  $\vec{v} = (8,00\hat{i} + 3,00t^2\hat{j}) \text{ m/s}$ , com o tempo  $t$  em segundos. No instante em que a força resultante que age sobre a partícula tem um módulo de 35,0 N, quais são as orientações (em relação ao sentido positivo do eixo  $x$ ) (a) da força resultante e (b) do movimento da partícula?

- 32 Na Fig. 5-41, um caixote de massa  $m = 100 \text{ kg}$  é empurrado por uma força horizontal  $\vec{F}$  que o faz subir uma rampa sem atrito ( $\theta = 30,0^\circ$ ) com velocidade constante. Quais são os módulos de (a) de  $\vec{F}$  e (b) da força que a rampa exerce sobre o caixote?

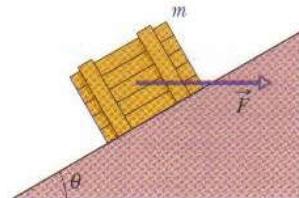


FIG. 5-41 Problema 32.

- 33 Uma moça de 40 kg e um trenó de 8,4 kg estão sobre a superfície sem atrito de um lago congelado, separados por uma distância de 15 m, mas unidos por uma corda de massa desprezível. A moça exerce uma força horizontal de 5,2 N sobre a corda. Quais são os módulos das acelerações (a) do trenó e (b) da moça? (c) A que distância da posição inicial da moça eles se tocam?

- 34 A Fig. 5-42 mostra uma vista superior de um disco de 0,0250 kg sobre uma mesa sem atrito e duas das três forças que agem sobre o disco. A força  $\vec{F}_1$  tem um módulo de 6,00 N e um ângulo  $\theta_1 = 30,0^\circ$ . A força  $\vec{F}_2$  tem um módulo de 7,00 N e um ângulo  $\theta_2 = 30,0^\circ$ . Em termos dos vetores unitários, qual é a terceira força se o disco (a) está em repouso, (b) tem uma velocidade constante  $\vec{v} = (13,0\hat{i} - 14,0\hat{j}) \text{ m/s}$  e (c) tem uma velocidade variável  $\vec{v} = (13,0t\hat{i} - 14,0t\hat{j}) \text{ m/s}^2$ , onde  $t$  é o tempo?

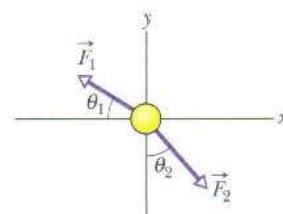


FIG. 5-42 Problema 34.

**••35** Um bloco começa a subir um plano inclinado sem atrito com uma velocidade inicial  $v_0 = 3,50 \text{ m/s}$ . O ângulo do plano inclinado é  $\theta = 32,0^\circ$ . (a) Que distância vertical o bloco consegue subir? (b) Quanto tempo o bloco leva para atingir esta altura? (c) Qual é a velocidade do bloco ao chegar de volta ao ponto de partida?

**••36** Um esquiador de 40 kg desce uma rampa sem atrito que faz um ângulo de  $10^\circ$  com a horizontal. Suponha que o esquiador se desloca no sentido negativo de um eixo  $x$  orientado ao longo da rampa. O vento exerce uma força sobre o esquiador de componente  $F_x$ . Quanto vale  $F_x$  se o módulo da velocidade do esquiador (a) é constante, (b) aumenta a uma taxa de  $1,0 \text{ m/s}^2$  e (c) aumenta a uma taxa de  $2,0 \text{ m/s}^2$ ?

**••37** Uma esfera com uma massa de  $3,0 \times 10^{-4} \text{ kg}$  está suspensa por uma corda. Uma brisa horizontal constante empurra a esfera de tal forma que a corda faz um ângulo de  $37^\circ$  com a vertical. Determine (a) a força da brisa sobre a bola e (b) a tensão da corda.

**••38** Uma caixa com uma massa de  $5,00 \text{ kg}$  sobe uma rampa sem atrito que faz um ângulo  $\theta$  com a horizontal. A Fig. 5-43 mostra, em função do tempo  $t$ , a componente  $v_x$  da velocidade da caixa ao longo de um eixo  $x$  orientado para cima ao longo da rampa. Qual é o módulo da força normal que a rampa exerce sobre a caixa?

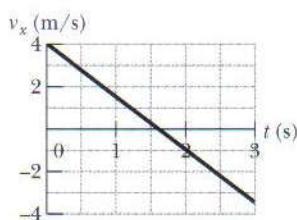


FIG. 5-43 Problema 38.

**••39** Um elevador e sua carga têm uma massa total de  $1600 \text{ kg}$ . Determine a tensão do cabo de sustentação quando o elevador, que estava descendo a  $12 \text{ m/s}$ , é levado ao repouso com aceleração constante em uma distância de  $42 \text{ m}$ .

**••40** Um esquiador de  $50 \text{ kg}$  é puxado para o alto de uma encosta segurando um cabo que se move paralelamente à encosta, que faz um ângulo de  $8,0^\circ$  com a horizontal. Qual é o módulo  $F_{\text{cabo}}$  da força que o cabo exerce sobre o esquiador se (a) o módulo  $v$  da velocidade do esquiador é constante e igual a  $2,0 \text{ m/s}$  e (b)  $v$  aumenta a uma taxa de  $0,10 \text{ m/s}^2$ ?

**••41** Um elevador que pesa  $27,8 \text{ kN}$  move-se para cima. Qual é a tensão no cabo do elevador se a velocidade (a) está aumentando a uma taxa de  $1,22 \text{ m/s}^2$  e (b) está diminuindo a uma taxa de  $1,22 \text{ m/s}^2$ ?

**••42** Uma lâmpada está pendurada verticalmente por um fio em um elevador que desce com uma desaceleração de  $2,4 \text{ m/s}^2$ . (a) Se a tensão do fio é  $89 \text{ N}$ , qual é a massa da lâmpada? (b) Qual é a tensão no fio quando o elevador sobe com uma aceleração de  $2,4 \text{ m/s}^2$ ?

**••43** Usando um cabo que arrebentará se a tensão exceder  $387 \text{ N}$ , você precisa baixar uma caixa de telhas velhas com um peso de  $449 \text{ N}$  a partir de um ponto a  $6,1 \text{ m}$  acima do chão. (a) Qual é o módulo da aceleração da caixa que coloca o cabo na iminência de arrebentar? (b) Com esta aceleração, qual é a velocidade da caixa ao atingir o chão?

**••44** Um elevador é puxado para cima por um cabo. A cabine e seu único ocupante têm uma massa total de  $2000 \text{ kg}$ . Quando o ocupante deixa cair uma moeda, sua aceleração em relação à cabine é de  $8,00 \text{ m/s}^2$  para baixo. Qual é a tensão do cabo?

**••45** Na Fig. 5-44, uma corrente composta por cinco elos, cada um com massa  $0,100 \text{ kg}$ , é erguida verticalmente com uma ace-

leração constante de módulo  $a = 2,50 \text{ m/s}^2$ . Determine o módulo (a) da força sobre o elo 1 exercida pelo elo 2, (b) da força sobre o elo 2 exercida pelo elo 3, (c) da força sobre o elo 3 exercida pelo elo 4 e (d) da força sobre o elo 4 exercida pelo elo 5. Determine o módulo (e) da força  $\vec{F}$  sobre o elo 5 exercida pela pessoa que está levantando a corrente e (f) a força resultante que acelera cada elo.

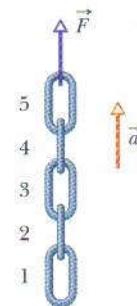


FIG. 5-44 Problema 45.

**••46** Na Fig. 5-45 os elevadores  $A$  e  $B$  estão ligados por um cabo e podem ser levantados ou baixados por outro cabo que está acima do elevador  $A$ . A massa do elevador  $A$  é de  $1700 \text{ kg}$ ; a massa do elevador  $B$  é de  $1300 \text{ kg}$ . O piso do elevador  $A$  sustenta uma caixa de gatária de  $12 \text{ kg}$ . A tensão do cabo que liga os elevadores é  $1,91 \times 10^4 \text{ N}$ . Qual é o módulo da força normal que o piso do elevador  $A$  exerce sobre a caixa?

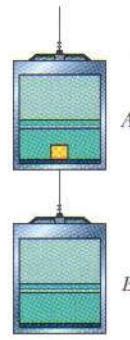


FIG. 5-45 Problema 46.

**••47** Na Fig. 5-46, um bloco de massa  $m = 5,00 \text{ kg}$  é puxado ao longo de um piso horizontal sem atrito por uma corda que exerce uma força de módulo  $F = 12,0 \text{ N}$  e ângulo  $\theta = 25,0^\circ$ . (a) Qual é o módulo da aceleração do bloco? (b) O módulo da força  $F$  é aumentado lentamente. Qual é o seu valor imediatamente antes de o bloco perder contato com o piso? (c) Qual é o módulo da aceleração do bloco na situação do item (b)?

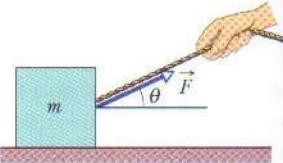


FIG. 5-46 Problemas 47 e 62.

**••48** No passado, cavalos puxavam barcaças em canais da forma mostrada na Fig. 5-47. Suponha que o cavalo puxe o cabo com uma força de módulo  $7900 \text{ N}$  e ângulo  $\theta = 18^\circ$  em relação à direção do movimento da barcaça, que se desloca no sentido positivo de um eixo  $x$ . A massa da barcaça é de  $9500 \text{ kg}$  e o módulo de sua aceleração é  $0,12 \text{ m/s}^2$ . Quais são (a) o módulo e (b) a orientação (em relação ao sentido positivo do eixo  $x$ ) da força exercida pela água sobre a barcaça?

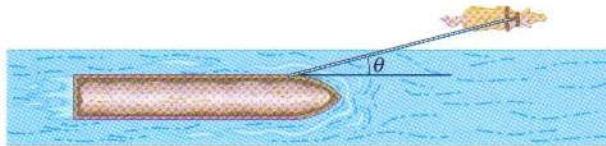


FIG. 5-47 Problema 48.

**••49** A família Zacchini ficou famosa pelos números de circo em que um membro da família era disparado de um canhão com a ajuda de elásticos ou ar comprimido. Em uma versão do número, Emanuel Zacchini foi disparado por cima de três rodas gigantes e aterrissou em uma rede, na mesma altura que a boca do canhão, a  $69 \text{ m}$  de distância. Ele foi impulsionado dentro do cano por uma distância de  $5,2 \text{ m}$  e lançado com um ângulo de  $53^\circ$ . Se sua massa era de  $85 \text{ kg}$  e ele sofreu uma aceleração constante no interior do cano, qual foi o módulo da força responsável pelo lançamento?

(Sugestão: Trate o lançamento como se acontecesse ao longo de uma rampa de  $53^\circ$ . Despreze a resistência do ar.)

- 50** A Fig. 5-48 mostra quatro pinguins que estão sendo puxados sobre gelo muito escorregadio (sem atrito) por um zelador. As massas de três pinguins e a tensão em duas das cordas são  $m_1 = 12 \text{ kg}$ ,  $m_3 = 15 \text{ kg}$ ,  $m_4 = 20 \text{ kg}$ ,  $T_2 = 111 \text{ N}$  e  $T_4 = 222 \text{ N}$ . Determine a massa do pinguim  $m_2$ , que não é dada.

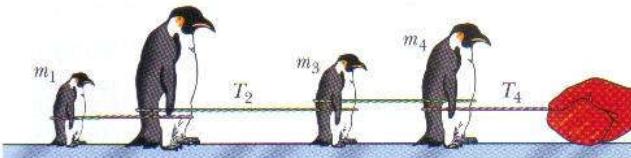


FIG. 5-48 Problema 50.

- 51** Na Fig. 5-49, três blocos conectados são puxados para a direita sobre uma mesa horizontal sem atrito por uma força de módulo  $T_3 = 65,0 \text{ N}$ . Se  $m_1 = 12,0 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 24,0 \text{ kg}$  e  $m_3 = 31,0 \text{ kg}$ , calcule (a) o módulo da aceleração do sistema, (b) a tensão  $T_1$  e (c) a tensão  $T_2$ .

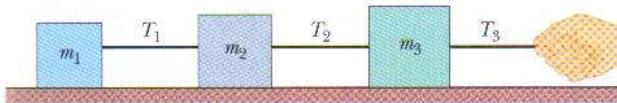


FIG. 5-49 Problema 51.

- 52** Na Fig. 5-50a, uma força horizontal constante  $\vec{F}_a$  é aplicada ao bloco  $A$ , que empurra um bloco  $B$  com uma força de  $20,0 \text{ N}$  dirigida horizontalmente para a direita. Na Fig. 5-50b, a mesma força  $\vec{F}_a$  é aplicada ao bloco  $B$ ; desta vez, o bloco  $A$  empurra o bloco  $B$  com uma força de  $10,0 \text{ N}$  dirigida horizontalmente para a esquerda. Os blocos têm uma massa total de  $12,0 \text{ kg}$ . Quais são os módulos (a) da aceleração na Fig. 5-50a e (b) da força  $\vec{F}_a$ ?

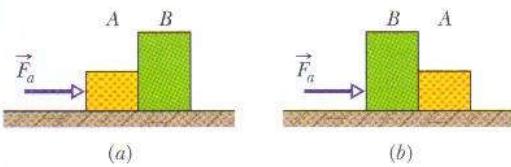


FIG. 5-50 Problema 52.

- 53** Dois blocos estão em contato em uma mesa sem atrito. Uma força horizontal é aplicada ao bloco maior, como mostra a Fig. 5-51. (a) Se  $m_1 = 2,3 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 1,2 \text{ kg}$  e  $F = 3,2 \text{ N}$ , determine o módulo da força entre os dois blocos. (b) Mostre que se uma força de mesmo módulo  $F$  for aplicada ao menor dos blocos no sentido oposto, o módulo da força entre os blocos será  $2,1 \text{ N}$ , que não é o mesmo valor calculado no item (a). (c) Explique a razão da diferença.

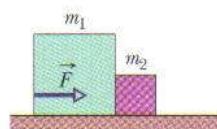


FIG. 5-51 Problema 53.

- 54** Na Fig. 5-52, três caixas são conectadas por cordas, uma das quais passa por uma polia de atrito e massa desprezível. As massas são  $m_A = 30,0 \text{ kg}$ ,  $m_B = 40,0 \text{ kg}$  e  $m_C = 10,0 \text{ kg}$ . Quando o conjunto é liberado a partir do repouso, (a) qual é a tensão da

corda que liga  $B$  a  $C$  e (b) que distância  $A$  percorre nos primeiros  $0,250 \text{ s}$  (supondo que não atinge a polia)?

- 55** A Fig. 5-53 mostra dois blocos ligados por uma corda (de massa desprezível) que passa por uma polia sem atrito (também de massa desprezível). O conjunto é conhecido como *máquina de Atwood*. Um bloco tem massa  $m_1 = 1,3 \text{ kg}$ ; o outro tem massa  $m_2 = 2,8 \text{ kg}$ . Quais são (a) o módulo da aceleração dos blocos e (b) a tensão na corda?

- 56** No arremesso de peso, muitos atletas preferem lançar o peso com um ângulo menor que o teórico (cerca de  $42^\circ$ ) para o qual a distância é máxima para um peso arremessado com a mesma velocidade e da mesma altura. Uma razão tem a ver com a velocidade que o atleta pode imprimir ao peso durante a fase de aceleração do arremesso. Suponha que um peso de  $7,260 \text{ kg}$  é acelerado ao longo de uma trajetória reta com  $1,650 \text{ m}$  de comprimento por uma força constante de módulo  $380,0 \text{ N}$ , começando com uma velocidade de  $2,500 \text{ m/s}$  (devido ao movimento preparatório do atleta). Qual é a velocidade do peso no final da fase de aceleração se o ângulo entre a trajetória e a horizontal é (a)  $30,00^\circ$  e (b)  $42,00^\circ$ ? (Sugestão: Trate o movimento como se fosse ao longo de uma rampa com o ângulo dado.) (c) Qual é a redução percentual da velocidade de lançamento se o atleta aumenta o ângulo de  $30,00^\circ$  para  $42,00^\circ$ ?

- 57** Um macaco de  $10 \text{ kg}$  sobe em uma árvore por uma corda de massa desprezível que passa por um galho sem atrito e está presa na outra extremidade em uma caixa de  $15 \text{ kg}$ , inicialmente em repouso no solo Fig. 5-54. (a) Qual é o módulo da menor aceleração que o macaco deve ter para levantar a caixa do solo? Se, após a caixa ter sido erguida, o macaco pára de subir e se agarra à corda, quais são (b) o módulo e (c) a orientação da aceleração do macaco e (d) a tensão da corda?

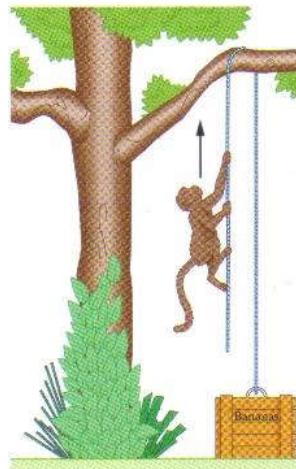


FIG. 5-54 Problema 57.

- 58** Um homem de  $85 \text{ kg}$  desce de uma altura de  $10,0 \text{ m}$  em relação ao solo segurando em uma corda que passa por uma roldana sem atrito e está presa na outra extremidade a um saco de areia de  $65 \text{ kg}$ . Com que velocidade o homem atinge o solo se ele parou de repouso?

- 59** Um bloco de massa  $m_1 = 3,70 \text{ kg}$  sobre um plano sem atrito inclinado, de ângulo  $\theta = 30,0^\circ$ , está preso por uma corda de massa desprezível, que passa por uma polia de massa e atrito desprezíveis, a um outro bloco de massa  $m_2 = 2,30 \text{ kg}$  (Fig. 5-55). Quais são (a) o módulo

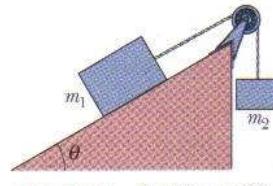


FIG. 5-55 Problema 59.

da aceleração de cada bloco, (b) a orientação da aceleração do bloco que está pendurado e (c) a tensão da corda?

- 60** A Fig. 5-56 mostra um homem sentado em uma cadeira presa a uma corda de massa desprezível que passa por uma polia de massa e atrito desprezíveis e desce de volta às mãos do homem. A massa total do homem e da cadeira é 95,0 kg. Qual o módulo da força com a qual o homem deve puxar a corda para que a cadeira suba (a) com velocidade constante e (b) com uma aceleração para cima de  $1,30 \text{ m/s}^2$ ? (Sugestão: Um diagrama de corpo livre pode ajudar bastante.)

Se no lado direito a corda se estende até o solo e é puxada por outra pessoa, qual o módulo da força com a qual essa pessoa deve puxar a corda para que o homem suba (c) com velocidade constante e (d) com uma aceleração para cima de  $1,30 \text{ m/s}^2$ ? Qual é o módulo da força que a polia exerce sobre o teto (e) no item a, (f) no item b, (g) no item c e (h) no item d?

- 61** Um balão de ar quente de massa  $M$  desce verticalmente com uma aceleração para baixo de módulo  $a$ . Que massa (lastro) deve ser jogada para fora para que o balão tenha uma aceleração para cima de módulo  $a$ ? Suponha que a força vertical para cima do ar quente sobre o balão não muda com a perda de massa.

- 62** A Fig. 5-46 mostra um bloco de 5,00 kg sendo puxado em um piso sem atrito por uma corda que aplica uma força de módulo constante de 20,0 N e um ângulo  $\theta(t)$  que varia com o tempo. Quando o ângulo  $\theta$  chega a  $25^\circ$ , qual é a taxa de variação da aceleração do bloco se (a)  $\theta(t) = (2,00 \times 10^{-2} \text{ graus/s})t$  e (b)  $\theta(t) = -(2,00 \times 10^{-2} \text{ graus/s})t$ ? (Sugestão: Transforme os graus em radianos.)

- 63** A Fig. 5-53 mostra uma máquina de Atwood, na qual dois recipientes estão ligados por uma corda (de massa desprezível) que passa por uma polia sem atrito (também de massa desprezível). No instante  $t = 0$  o recipiente 1 tem uma massa de 1,30 kg e o recipiente 2 tem uma massa de 2,80 kg, mas o recipiente 1 está perdendo massa (por causa de um vazamento) a uma taxa constante de 0,200 kg/s. Com que taxa o módulo da aceleração dos recipientes está variando (a) em  $t = 0$  e (b) em  $t = 3,00 \text{ s}$ ? (c) Em que instante a aceleração atinge o valor máximo?

- 64** Um arremessador de peso lança um peso de 7,260 kg empurrando-o ao longo de uma linha reta com 1,650 m de comprimento e um ângulo de  $34,10^\circ$  com a horizontal, acelerando o peso até a velocidade de lançamento de 2,500 m/s (que se deve ao movimento preparatório do atleta). O peso deixa a mão do arremessador a uma altura de 2,110 m e com um ângulo de  $34,10^\circ$ , e percorre uma distância horizontal de 15,90 m. Qual é o módulo da força média que o atleta exerce sobre o peso durante a fase de aceleração? (Sugestão: Trate o movimento durante a fase de aceleração como se fosse ao longo de uma rampa com o ângulo dado).

- 65** A Fig. 5-57 mostra três blocos ligados por cordas que passam por polias sem atrito. O bloco  $B$  está sobre uma mesa sem atrito;



FIG. 5-56 Problema 60.

as massas são  $m_A = 6,00 \text{ kg}$ ,  $m_B = 8,00 \text{ kg}$  e  $m_C = 10,0 \text{ kg}$ . Quando os blocos são liberados qual é a tensão da corda da direita?

- 66** A Fig. 5-58 mostra uma caixa de massa  $m_2 = 1,0 \text{ kg}$  sobre um plano inclinado sem atrito de ângulo  $\theta = 30^\circ$ . Ela está ligada por uma corda de massa

desprezível a uma caixa de massa  $m_1 = 3,0 \text{ kg}$  sobre uma superfície horizontal sem atrito. A polia não tem atrito e sua massa é desprezível. (a) Se o módulo da força horizontal  $\vec{F}$  é 2,3 N, qual é a tensão da corda? (b) Qual é o maior valor que o módulo de  $\vec{F}$  pode ter sem que a corda fique frouxa?

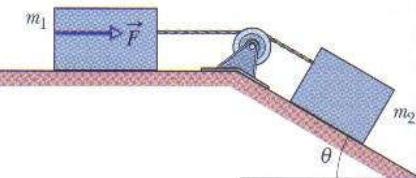


FIG. 5-58 Problema 66.

- 67** A Fig. 5-59 mostra, em função do tempo, a componente  $F_x$  da força que age sobre um bloco de gelo de 3,0 kg que pode se deslocar apenas ao longo do eixo  $x$ . Em  $t = 0$  o bloco está se movendo no sentido positivo do eixo, com

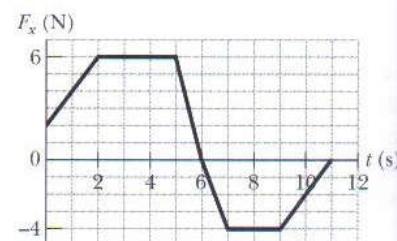


FIG. 5-59 Problema 67.

uma velocidade de 3,0 m/s. Quais são (a) o módulo de sua velocidade e (b) o sentido de seu movimento em  $t = 11 \text{ s}$ ?

- 68** A Fig. 5-60 mostra parte de um teleférico. A massa máxima permitida de cada cabina com passageiros é de 2800 kg. As cabinas, que estão penduradas em um cabo de sustentação, são puxadas por um segundo cabo ligado à torre de sustentação de cada cabina. Suponha que os cabos estão esticados e inclinados de um ângulo  $\theta = 35^\circ$ . Qual é a diferença entre as tensões de partes vizinhas do cabo que puxa as cabinas se as cabinas estão com a máxima massa permitida e estão sendo aceleradas para cima a  $0,81 \text{ m/s}^2$ ?

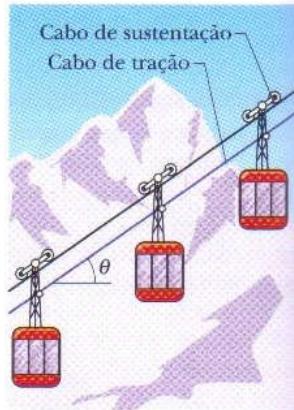


FIG. 5-60 Problema 68.

### Problemas Adicionais

- 69** *Cuidado com as unidades!* No curso de física os professores vão esperar que você use as unidades corretas ao resolver os problemas. Alguns estudantes não prestam atenção nas unidades, confiando que no final tudo vai dar certo. Este exemplo, baseado em fatos reais, pode servir de alerta para quem trata as unidades com displicência.

Em 23 de julho de 1983, o voo 143 da Air Canada estava sendo preparado para uma longa viagem de Montreal a Edmonton quando os tripulantes pediram ao pessoal de terra para calcular a quantidade de combustível que já estava disponível nos tanques. Os tripulantes sabiam que o avião precisava começar a viagem com 22.300 quilogramas de combustível. O valor estava especificado em quilogramas porque o Canadá havia mudado recentemente para o sistema métrico; até então, o combustível era medido em libras. O pessoal de terra, que só podia medir o combustível em litros, respondeu que havia 7682 litros

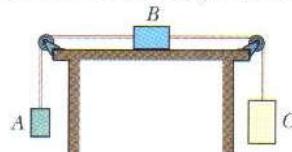


FIG. 5-57 Problema 65.

nos tanques. Para poder calcular que quantidade precisava ser acrescentada, os tripulantes perguntaram ao pessoal de terra qual era o fator de conversão de litros para quilos de combustível. A resposta foi 1,77, número que os tripulantes usaram (1,77 kg de querosene de aviação correspondendo a 1 L). (a) Quantos quilogramas de combustível a tripulação achou que havia nos tanques? (Neste problema, suponha que todos os dados são exatos.) (b) Quantos litros a tripulação achou que tinham que ser acrescentados?

Infelizmente, a resposta do pessoal de terra se baseou em hábitos anteriores à implantação do sistema métrico: 1,77 era o fator de conversão de litros para *libras* de combustível (1,77 lb correspondendo a 1 L). (c) Quantos quilos de combustível havia realmente nos tanques? (Exceto no caso do fator de 1,77, use quatro algarismos significativos em todos os cálculos.) (d) Quantos litros adicionais de combustível eram realmente necessários? (e) Quando o avião partiu de Montreal, que porcentagem do combustível necessário estava levando?

A caminho de Edmonton, a uma altitude de 7,9 quilômetros, o combustível acabou e o avião começou a cair. Embora o avião estivesse sem energia, o piloto conseguiu fazer o avião descer planando. Como o aeroporto operacional mais próximo estava longe demais para ser alcançado dessa forma, o piloto dirigiu o avião para um aeroporto antigo, já desativado.

Infelizmente, esse aeroporto tinha sido convertido para corridas de automóveis, e havia uma barreira de aço atravessando a pista. Por sorte, no momento da aterrissagem o trem de pouso da frente quebrou, fazendo o nariz do avião tocar na pista. O atrito reduziu a velocidade do avião, fazendo com que parasse a poucos metros da barreira de aço, sob os olhares petrificados dos pilotos de corrida e dos espectadores. Todos os passageiros e tripulantes escaparam incólumes. A moral da história é a seguinte: tome cuidado com as unidades.

**70** As duas únicas forças que agem sobre um corpo têm módulos de 20 N e 35 N e direções que diferem de  $80^\circ$ . A aceleração resultante tem um módulo de  $20 \text{ m/s}^2$ . Qual é a massa do corpo?

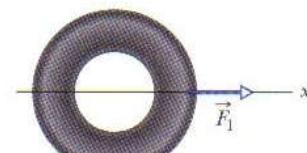


FIG. 5-61 Problema 71.

**71** A Fig. 5-61 é uma vista superior de um pneu de 12 kg que está sendo puxado por três cordas horizontais. A força de uma das cordas ( $F_1 = 50 \text{ N}$ ) está indicada. As outras duas forças devem ser orientadas de tal forma que o módulo  $a$  da aceleração do pneu seja o menor possível. Qual é o menor valor de  $a$  se (a)  $F_2 = 30 \text{ N}, F_3 = 20 \text{ N}$ ; (b)  $F_2 = 30 \text{ N}, F_3 = 10 \text{ N}$ ; (c)  $F_2 = F_3 = 30 \text{ N}$ ?

**72** Um bloco de massa  $M$  é puxado ao longo de uma superfície horizontal sem atrito por uma corda de massa  $m$ , como mostra a Fig. 5-62. Uma força horizontal  $\vec{F}$  age sobre uma das extremidades da corda. (a) Mostre que a corda deve ficar frouxa, mesmo que imperceptivelmente. Supondo que a curvatura da corda seja desprezível, determine (b) a aceleração da corda e do bloco, (c) a força da corda sobre o bloco e (d) a tensão na corda no seu ponto médio.

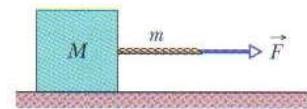


FIG. 5-62 Problema 72.

**73** Um operário arrasta uma caixa no piso de uma fábrica, puxando-a por uma corda. O operário exerce uma força de módulo  $F = 450 \text{ N}$  sobre a corda, que está inclinada de um ângulo  $\theta = 38^\circ$  em relação à horizontal, e o chão exerce uma força horizontal de

módulo  $f = 125 \text{ N}$  que se opõe ao movimento. Calcule o módulo da aceleração da caixa (a) se sua massa é 310 kg e (b) se seu peso é 310 N.

**74** Três forças atuam sobre uma partícula que se move com velocidade constante  $\vec{v} = (2 \text{ m/s})\hat{i} - (7 \text{ m/s})\hat{j}$ . Duas das forças são  $\vec{F}_1 = (2 \text{ N})\hat{i} + (3 \text{ N})\hat{j} + (-2 \text{ N})\hat{k}$  e  $\vec{F}_2 = (-5 \text{ N})\hat{i} + (8 \text{ N})\hat{j} + (-2 \text{ N})\hat{k}$ . Qual é a terceira força?

**75** Um artista de circo de 52 kg deve descer escorregando por uma corda que arrebentará se a tensão exceder 425 N. (a) O que acontece se o artista fica parado, pendurado na corda? (b) Para que módulo de aceleração a corda está prestes a arrebentar?

**76** Um homem de 80 kg salta para um pátio de concreto de uma janela 0,50 m acima do pátio. Ele não dobra os joelhos para amortecer o impacto com o chão, levando 2,0 cm para parar. (a) Qual é a aceleração média desde o instante em que seus pés tocam o pátio até o instante em que ele pára? (b) Qual é o módulo da força média que o pátio exerce sobre o homem?

**77** Na Fig. 5-63, o bloco  $A$  de 4,0 kg e o bloco  $B$  de 6,0 kg estão conectados por uma corda de massa desprezível. A força  $\vec{F}_A = (12 \text{ N})\hat{i}$  atua sobre o bloco  $A$ ; a força  $\vec{F}_B = (24 \text{ N})\hat{i}$  atua sobre o bloco  $B$ . Qual é a tensão na corda?

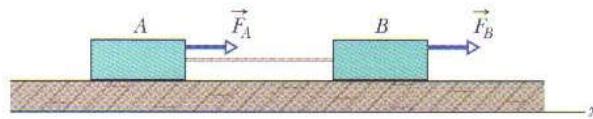


FIG. 5-63 Problema 77.

**78** Na vista superior da Fig. 5-64, cinco forças puxam uma caixa de massa  $m = 4,0 \text{ kg}$ . Os módulos das forças são  $F_1 = 11 \text{ N}, F_2 = 17 \text{ N}, F_3 = 3,0 \text{ N}, F_4 = 14 \text{ N}$  e  $F_5 = 5,0 \text{ N}$ ; o ângulo  $\theta_4$  é  $30^\circ$ . Determine a aceleração da caixa (a) em termos dos vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo  $x$ .

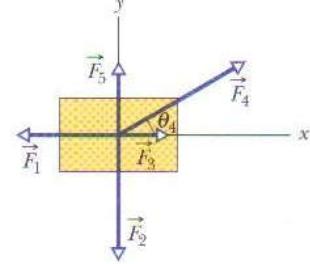


FIG. 5-64 Problema 78.

**79** Uma certa força dá a um objeto de massa  $m_1$  uma aceleração de  $12,0 \text{ m/s}^2$  e a um objeto de massa  $m_2$  uma aceleração de  $3,30 \text{ m/s}^2$ . Que aceleração essa mesma força daria a um objeto de massa (a)  $m_2 - m_1$  e (b)  $m_2 + m_1$ ?

**80** Imagine uma espaçonave prestes a aterrissar na superfície de Calisto, uma das luas de Júpiter. Se o motor fornece uma força para cima (empuxo) de 3260 N, a espaçonave desce com velocidade constante; se o motor fornece apenas 2200 N, a espaçonave desce com uma aceleração de  $0,39 \text{ m/s}^2$ . (a) Qual é o peso da espaçonave nas vizinhanças da superfície de Calisto? (b) Qual é a massa da aeronave? (c) Qual é o módulo da aceleração em queda livre próximo à superfície de Calisto?

**81** Um objeto está pendurado em uma balança de mola presa ao teto de um elevador. A balança indica 65 N quando o elevador está parado. Qual é a leitura da balança quando o elevador está subindo (a) com velocidade constante de  $7,6 \text{ m/s}$  e (b) com uma velocidade de  $7,6 \text{ m/s}$  e uma desaceleração de  $2,4 \text{ m/s}^2$ ?

**82** Na Fig. 5-66, uma força  $\vec{F}$  de módulo 12 N é aplicada a uma caixa de massa  $m_2 = 1,0 \text{ kg}$ . A força é dirigida para cima, paralelamente a um plano inclinado de ângulo  $\theta = 37^\circ$ . A caixa está ligada

por uma corda a outra caixa de massa  $m_1 = 3,0 \text{ kg}$ , situada sobre o piso. O plano inclinado, o piso e a polia não têm atrito e as massas da polia e da corda são desprezíveis. Qual é a tensão da corda?

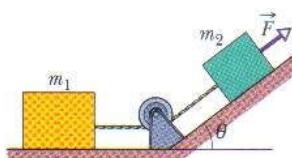


FIG. 5-65 Problema 82.

**83** Uma certa partícula tem um peso de  $22 \text{ N}$  em um ponto onde  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Quais são (a) o peso e (b) a massa da partícula em um ponto onde  $g = 4,9 \text{ m/s}^2$ ? Quais são (c) o peso e (d) a massa da partícula se ela é deslocada para um ponto do espaço onde  $g = 0$ ?

**84** Calcule o peso de um astronauta de  $75 \text{ kg}$  (a) na Terra, (b) em Marte, onde  $g = 3,7 \text{ m/s}^2$ , e (c) no espaço sideral, onde  $g = 0$ . (d) Qual é a massa do astronauta em cada um desses lugares?

**85** Uma turbina a jato de  $1400 \text{ kg}$  é presa à fuselagem de um avião comercial por apenas três parafusos (esta é a prática comum). Suponha que cada parafuso suporta um terço da carga. (a) Calcule a força a que cada parafuso é submetido enquanto o avião está parado na pista, aguardando permissão para decolar. (b) Durante o voo, o avião encontra uma turbulência que provoca uma aceleração brusca para cima de  $2,6 \text{ m/s}^2$ . Calcule a força a que é submetido cada parafuso durante essa aceleração.

**86** Uma pessoa de  $80 \text{ kg}$  salta de pára-quedas e experimenta uma aceleração para baixo de  $2,5 \text{ m/s}^2$ . A massa do pára-quedas é de  $5,0 \text{ kg}$ . (a) Qual é a força para cima que o ar exerce sobre o pára-quedas? (b) Qual é a força que a pessoa exerce sobre o pára-quedas?

**87** Suponha que na Fig. 5-13 as massas dos blocos são  $2,0 \text{ kg}$  e  $4,0 \text{ kg}$ . (a) Qual dessas massas deve ser a do bloco pendurado para que a aceleração seja a maior possível? Quais são nesse caso (b) o módulo da aceleração e (c) a tensão da corda?

**88** Você puxa um pequeno refrigerador com uma força constante  $\vec{F}$  em um piso encerado (sem atrito), com  $\vec{F}$  na horizontal (caso 1) ou com  $\vec{F}$  inclinada para cima de um ângulo  $\theta$  (caso 2). (a) Qual é a razão entre a velocidade do refrigerador no caso 2 e a velocidade no caso 1 se você o puxa por um certo tempo  $t$ ? (b) Qual é essa razão se você o puxa ao longo de uma certa distância  $d$ ?

**89** Uma espaçonave decola verticalmente da Lua, onde  $g = 1,6 \text{ m/s}^2$ . Se a nave tem uma aceleração vertical para cima de  $1,0 \text{ m/s}^2$  na decolagem, qual é o módulo da força exercida pela nave sobre o piloto, que pesa  $735 \text{ N}$  na Terra?

**90** Calcule a aceleração inicial para cima de um foguete de massa  $1,3 \times 10^4 \text{ kg}$  se a força inicial para cima produzida pelos motores (empuxo) é  $2,6 \times 10^5 \text{ N}$ . Não despreze a força gravitacional a que o foguete está submetido.

**91** A Fig. 5-66a mostra um móbil pendurado no teto; ele é composto por duas peças de metal ( $m_1 = 3,5 \text{ kg}$  e  $m_2 = 4,5 \text{ kg}$ ), ligadas por cordas de massa desprezível. Qual é a tensão (a) da corda de baixo e (b) da corda de cima? A Fig. 5-66b mostra um móbil composto de três peças metálicas. Duas das massas são  $m_3 = 4,8 \text{ kg}$  e  $m_5 = 5,5 \text{ kg}$ . A tensão da corda de cima é  $199 \text{ N}$ . Qual é a tensão (c) da corda de baixo e (d) da corda do meio?

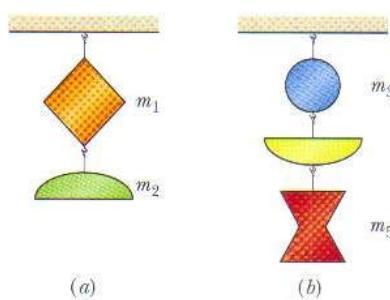


FIG. 5-66 Problema 91.

**92** Se a massa-padrão de  $1 \text{ kg}$  é acelerada por apenas duas forças,  $\vec{F}_1 = (3,0 \text{ N})\hat{i} + (4,0 \text{ N})\hat{j}$  e  $\vec{F}_2 = (-2,0 \text{ N})\hat{i} + (-6,0 \text{ N})\hat{j}$ , qual é a força resultante  $\vec{F}_{\text{res}}$  (a) em termos dos vetores unitários e em termos (b) do módulo e (c) do ângulo em relação ao sentido positivo do eixo  $x$ ? Quais são (d) o módulo e (e) o ângulo de  $\vec{a}$ ?

**93** Para capturar um nêutron livre, um núcleo deve fazê-lo parar em uma distância menor que o diâmetro do núcleo através da *interação forte*. Essa força, que é responsável pela estabilidade do núcleo atômico, é praticamente nula fora do núcleo. Suponha que um nêutron livre, com uma velocidade inicial de  $1,4 \times 10^7 \text{ m/s}$ , seja capturado por um núcleo com um diâmetro  $d = 1,0 \times 10^{-14} \text{ m}$ . Supondo que a interação forte a que está sujeito o nêutron seja constante, determine o módulo dessa força. A massa do nêutron é de  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

**94** Um helicóptero de  $15\,000 \text{ kg}$  levanta um caminhão de  $4500 \text{ kg}$  com uma aceleração para cima de  $1,4 \text{ m/s}^2$ . Calcule (a) a força resultante exercida pelo ar sobre a hélice do helicóptero e (b) a tensão do cabo que sustenta o caminhão.

**95** Uma motocicleta e seu piloto de  $60,0 \text{ kg}$  aceleram a  $3,0 \text{ m/s}^2$  para subir uma rampa inclinada de  $10^\circ$  em relação à horizontal. Quais são os módulos (a) da força resultante a que é submetido o piloto e (b) da força que a motocicleta exerce sobre o piloto?

**96** Uma nave interestelar tem uma massa de  $1,20 \times 10^6 \text{ kg}$  e está inicialmente em repouso em relação a um sistema estelar. (a) Que aceleração constante é necessária para levar a nave até a velocidade de  $0,10c$  (onde  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$  é a velocidade da luz) em relação ao sistema estelar em  $3,0$  dias? (b) Qual é o valor desta aceleração em unidades de  $g$ ? (c) Que força é necessária para esta aceleração? (d) Se os motores são desligados quando a velocidade de  $0,10c$  é atingida (fazendo com que a velocidade permaneça constante desse momento em diante), quanto tempo leva para a nave (do início ao fim) viajar  $5,0$  meses-luz, a distância percorrida pela luz em  $5,0$  meses?

**97** Por esporte, um tatu de  $12 \text{ kg}$  escorrega em um grande lago gelado, plano e sem atrito. A velocidade inicial do tatu é de  $5,0 \text{ m/s}$  no sentido positivo do eixo  $x$ . Considere a posição inicial do tatu sobre o gelo como a origem. Ele escorrega sobre o gelo ao mesmo tempo em que é empurrado pelo vento com uma força de  $17 \text{ N}$  no sentido positivo do eixo  $y$ . Em termos dos vetores unitários, quais são (a) o vetor velocidade e (b) o vetor posição do animal depois de deslizar por  $3,0 \text{ s}$ ?

**98** Um homem de  $50 \text{ kg}$  está em um elevador que parte do repouso no andar térreo de um edifício em  $t = 0$  e chega ao andar mais alto após  $10 \text{ s}$ . A aceleração do elevador em função do tempo é mostrada na Fig. 5-67, onde valores positivos da aceleração significam que ela aponta para cima. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido (para cima ou para baixo) da força máxima exercida sobre o homem pelo piso do elevador, (c) o módulo e (d) o sentido da força mínima exercida sobre o homem pelo piso do

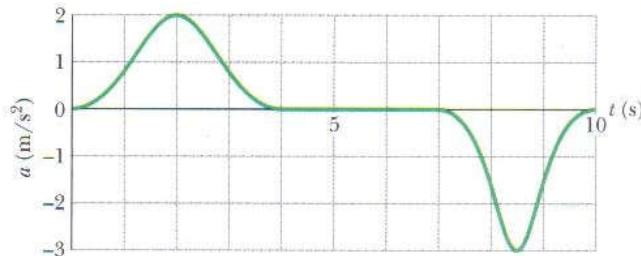


FIG. 5-67 Problema 98.

elevador e (e) o módulo e (f) o sentido da força máxima exercida pelo homem sobre o piso do elevador?

**99** A Fig. 5-68 mostra uma caixa de dinheiro sujo (massa  $m_1 = 3,0 \text{ kg}$ ) sobre um plano inclinado sem atrito de ângulo  $\theta_1 = 30^\circ$ . A caixa está ligada por uma corda de massa desprezível a uma caixa de dinheiro lavado (massa  $m_2 = 2,0 \text{ kg}$ ) situada sobre um plano inclinado sem atrito de ângulo  $\theta_2 = 60^\circ$ . A polia não tem atrito e sua massa é desprezível. Qual é a tensão da corda?

**100** Suponha que uma massa-padrão de 1 kg sofre uma aceleração de  $4,00 \text{ m/s}^2$  a  $160^\circ$  com o sentido positivo do eixo  $x$  ao ser submetida a duas forças; uma delas é  $\vec{F}_1 = (2,50 \text{ N})\hat{i} + (4,60 \text{ N})\hat{j}$ . Qual é a outra força (a) em termos dos vetores unitários e em termos (b) do módulo e (c) do ângulo?

**101** Na Fig. 5-69, uma lata de antioxidantes ( $m_1 = 1,0 \text{ kg}$ ) sobre um plano inclinado sem atrito está ligada a uma lata de presuntada ( $m_2 = 2,0 \text{ kg}$ ). A polia tem massa e atrito desprezíveis.

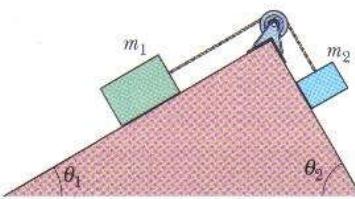


FIG. 5-68 Problema 99.

Uma força vertical para cima de módulo  $F = 6,0 \text{ N}$  atua sobre a lata de presuntada, que tem uma aceleração para baixo de  $5,5 \text{ m/s}^2$ . Determine (a) a tensão da corda e (b) o ângulo  $\beta$ .

**102** Um foguete e sua carga têm uma massa total de  $5,0 \times 10^4 \text{ kg}$ . Qual é o módulo da força produzida pelo motor do foguete (empuxo) quando este está (a) “pairando” sobre a plataforma de lançamento imediatamente após a ignição e (b) acelerando para cima a  $20 \text{ m/s}^2$ ?

**103** Uma motocicleta com  $2,0 \text{ kN}$  de peso acelera de 0 a  $88,5 \text{ km/h}$  em  $6,0 \text{ s}$ . Quais são os módulos (a) da aceleração constante e (b) da força resultante responsável pela aceleração?

**104** Um elétron inicialmente estacionário (massa  $= 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ) sofre uma aceleração constante ao longo de  $1,5 \text{ cm}$ , atingindo a velocidade de  $6,0 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Determine (a) o módulo da força responsável pela aceleração do elétron e (b) o peso do elétron.

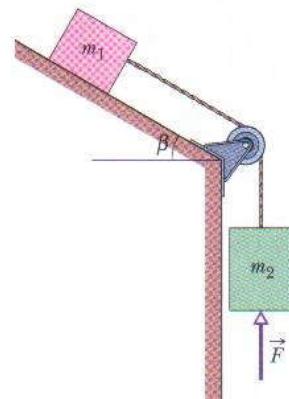


FIG. 5-69 Problema 101.

**9** Uma pessoa que está andando de roda-gigante passa pelas seguintes posições: (1) ponto mais alto da roda, (2) ponto mais baixo da roda; (3) ponto médio da roda. Se a roda está girando com velocidade angular constante, ordene as três posições, em ordem decrescente, de acordo (a) com o módulo da aceleração centrípeta da pessoa; (b) com o módulo da força centrípeta resultante a que a pessoa está sujeita e (c) com o módulo da força normal a que a pessoa está sujeita.

**10** Em 1987, para comemorar o dia de Halloween, dois pára-quedistas trocaram uma abóbora entre si enquanto estavam em queda livre, a oeste de Chicago. A brincadeira foi muito divertida até que o homem que estava com a abóbora abriu o pára-quedas. A abóbora foi arrancada de suas mãos, despencou 0,5 km,

atravessou o telhado de uma casa, bateu no chão da cozinha e se espalhou por toda a cozinha recém-reformada. O que fez o pára-quedista deixar cair a abóbora, do ponto de vista do pára-quedista e do ponto de vista da abóbora? 

**11** A Fig. 6-18 mostra a trajetória de um carrinho de parque de diversões que passa, com velocidade escalar constante, por cinco arcos circulares de raios  $R_0$ ,  $2R_0$  e  $3R_0$ . Ordene os arcos, de acordo com o módulo da força centrípeta que age sobre o carrinho ao passar pelos arcos, começando pelo maior.

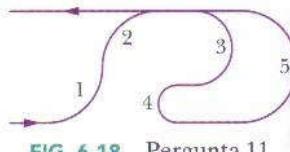


FIG. 6-18 Pergunta 11.

## PROBLEMAS

• • • O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema

 Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

### seção 6-3 Propriedades do Atrito

**•1** Uma cômoda com uma massa de 45 kg, incluindo as gavetas e as roupas, está em repouso sobre o piso. (a) Se o coeficiente de atrito estático entre a cômoda e o piso é 0,45, qual é o módulo da menor força horizontal necessária para fazer a cômoda entrar em movimento? (b) Se as gavetas e as roupas, com uma massa total de 17 kg, são removidas antes de empurrar a cômoda, qual é o novo módulo mínimo?

**•2** As misteriosas pedras que migram. Na remota Racetrack Playa, no Vale da Morte, Califórnia, as pedras às vezes deixam rastros no chão do deserto, como se estivessem migrando (Fig. 6-19). Há muitos anos que os cientistas tentam explicar como as pedras se movem. Uma possível explicação é que, durante uma tempestade ocasional, os fortes ventos arrastam as pedras no solo amolecido pela chuva. Quando o solo seca, os rastros deixados pelas pedras são endurecidos pelo calor. Segundo medições realizadas no local, o coeficiente de atrito cinético entre as pedras e o solo úmido do deserto é aproximadamente 0,80. Qual é a força horizontal necessária para manter em movimento uma pedra de 20 kg (uma massa típica) depois que uma rajada de vento a coloca em movimento? (A história continua no Problema 39.) 

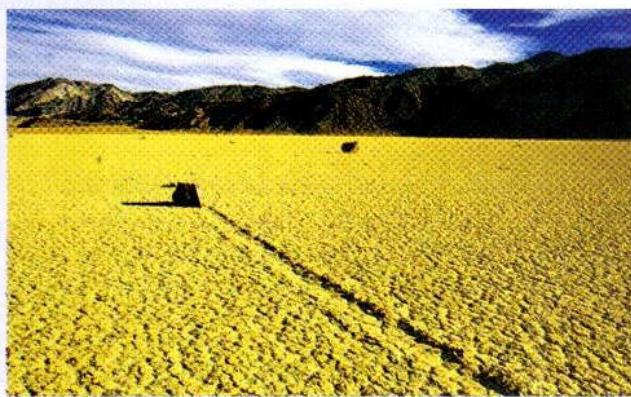


FIG. 6-19 Problema 2. O que fez a pedra se mover? (Jerry Schad/Photo Researchers)

**•3** Uma pessoa empurra horizontalmente um caixote de 55 kg com uma força de 220 N para deslocá-lo em um piso plano. O coeficiente de atrito cinético é 0,35. (a) Qual é o módulo da força de atrito? (b) Qual é o módulo da aceleração do caixote?

**•4** Um jogador de beisebol de massa  $m = 79$  kg, deslizando para chegar à segunda base, é retardado por uma força de atrito de módulo 470 N. Qual é o coeficiente de atrito cinético  $\mu_k$  entre o jogador e o chão?

**•5** O piso de um vagão de trem está carregado de caixas soltas cujo coeficiente de atrito estático com o piso é 0,25. Se o trem está se movendo inicialmente com uma velocidade de 48 km/h, qual é a menor distância na qual o trem pode ser parado com aceleração constante sem que as caixas deslizem no piso?

**•6** Um porco brincalhão escorrega em uma certa rampa com uma inclinação de  $35^\circ$  e leva o dobro do tempo que levaria se não houvesse atrito. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o porco e a rampa?

**•7** Um bloco de 3,5 kg é empurrado ao longo de um piso horizontal por uma força  $\vec{F}$  de módulo 15 N que faz um ângulo  $\theta = 40^\circ$  com a horizontal (Fig. 6-20). O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso é 0,25. Calcule (a) o módulo da força de atrito que o piso exerce sobre o bloco e (b) o módulo da aceleração do bloco.

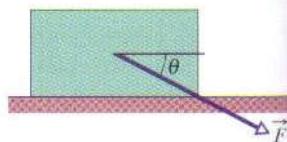


FIG. 6-20

Problemas 7 e 24.

**•8** Em um jogo de shuffleboard improvisado, estudantes enlouquecidos pelos exames finais usam uma vassoura para movimentar um livro de cálculo no corredor do dormitório. Se o livro de 3,5 kg adquire uma velocidade de 1,60 m/s ao ser empurrado pela vassoura, a partir do repouso, com uma força horizontal de 25 N, por uma distância de 0,90 m, qual é o coeficiente de atrito cinético entre o livro e o piso?

**•9** Um bloco de 2,5 kg está inicialmente em repouso em uma superfície horizontal. Uma força horizontal  $\vec{F}$  de módulo 6,0 N e uma força vertical  $\vec{P}$  são aplicadas ao bloco (Fig. 6-21). Os coeficientes de atrito entre o bloco e a superfície são  $\mu_s = 0,40$  e  $\mu_k$

$= 0,25$ . Determine o módulo da força de atrito que age sobre o bloco se o módulo de  $\vec{P}$  é (a) 8,0 N, (b) 10 N e (c) 12 N.

•10 Por volta de 1915 Henry Sincosky, de Filadélfia, pendrou-se no caibro de um telhado, apertando-o com os polegares de um lado e os outros dedos do outro lado (Fig. 6-22). A massa de Sincosky era de 79 kg. Se o coeficiente de atrito estático entre as mãos e o caibro era de 0,70, qual foi, no mínimo, o módulo da força normal exercida sobre o caibro pelos polegares ou os dedos do lado oposto? (Depois de se pendurar, Sincosky ergueu o corpo e deslocou-se ao longo do caibro, trocando de mão. Se você não dá valor ao feito de Sincosky, tente repetir a proeza.)

•11 Um operário empurra um engradado de 35 kg com uma força horizontal de módulo 110 N. O coeficiente de atrito estático entre o engradado e o piso é 0,37. (a) Qual é o valor de  $f_{s,\max}$  nessas circunstâncias? (b) O engradado se move? (c) Qual é a força de atrito que o piso exerce sobre o engradado? (d) Suponha que um segundo operário, no intuito de ajudar, puxe o engradado para cima. Qual é o menor puxão vertical que permite ao primeiro operário mover o engradado com o empurrão de 110 N? (e) Se, em vez disso, o segundo operário tenta ajudar puxando horizontalmente o engradado, qual é o menor puxão que coloca o engradado em movimento?

•12 A Fig. 6-23 mostra a seção transversal de uma estrada na encosta de uma montanha. A reta  $AA'$  representa um plano de estratificação ao longo do qual pode ocorrer um deslizamento. O bloco  $B$ , situado acima da estrada, está separado do resto da montanha por uma grande fenda (chamada junta), de modo que somente o atrito entre o bloco e o plano de estratificação evita o deslizamento. A massa do bloco é  $1,8 \times 10^7$  kg, o ângulo de mergulho  $\theta$  do plano de estratificação é  $24^\circ$  e o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano é 0,63. (a) Mostre que o bloco não desliza. (b) A água penetra na junta e se expande após congelar, exercendo sobre o bloco uma força  $\vec{F}$  paralela a  $AA'$ . Qual é o valor mínimo do módulo  $F$  da força para o qual haverá um deslizamento?

•13 Um caixote de 68 kg é arrastado sobre um piso, puxado por uma corda inclinada  $15^\circ$  acima da horizontal. (a) Se o coeficiente de atrito estático é 0,50, qual é o valor mínimo do módulo da força para que o caixote comece a se mover? (b) Se  $\mu_s = 0,35$ , qual é o módulo da aceleração inicial do caixote?

•14 A Fig. 6-24 mostra um bloco inicialmente estacionário de massa  $m$  sobre um piso. Uma força de módulo  $0,500mg$  é aplicada com um ângulo  $\theta = 20^\circ$  para cima. Qual é o módulo da ace-

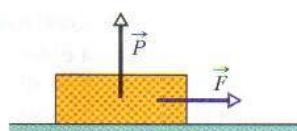


FIG. 6-21 Problema 9.

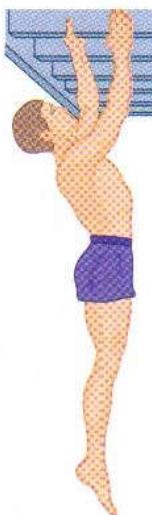


FIG. 6-22 Problema 10.

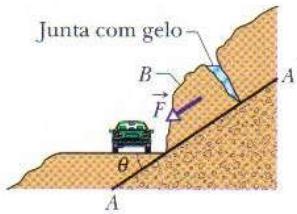


FIG. 6-23 Problema 12.

leração do bloco se (a)  $\mu_s = 0,600$  e  $\mu_k = 0,500$  e (b)  $\mu_s = 0,400$  e  $\mu_k = 0,300$ ?

•15 O coeficiente de atrito estático entre o Teflon e ovos mexidos é cerca de 0,04. Qual é o menor ângulo com a horizontal que faz com que os ovos deslizem no fundo de uma frigideira revestida com Teflon?

•16 Você depõe como *perito* em um caso envolvendo um acidente no qual um carro  $A$  bateu na traseira de um carro  $B$  que estava parado em um sinal vermelho no meio de uma ladeira (Fig. 6-25). Você descobre que a inclinação da ladeira é  $\theta = 12^\circ$ , que os carros estavam separados por uma distância  $d = 24,0$  m quando o motorista do carro  $A$  freou bruscamente, travando as rodas (o carro não dispunha de freios ABS), e que a velocidade do carro  $A$  no momento em que o motorista pisou no freio era  $v_0 = 18$  m/s. Com que velocidade o carro  $A$  bateu no carro  $B$  se o coeficiente de atrito cinético era (a) 0,60 (estrada seca) e (b) 0,10 (estrada coberta de folhas molhadas)?



FIG. 6-25 Problema 16.

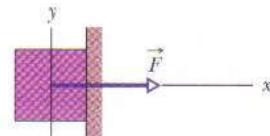


FIG. 6-26 Problema 17.

•17 Uma força horizontal  $\vec{F}$  de 12 N empurra um bloco de 5,0 N de peso contra uma parede vertical (Fig. 6-26). O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é 0,60 e o coeficiente de atrito cinético é 0,40. Suponha que o bloco não esteja se movendo inicialmente. (a) O bloco vai se mover? (b) Qual é a força que a parede exerce sobre o bloco em termos dos vetores unitários?

•18 Um bloco de 4,10 kg é empurrado sobre um piso pela aplicação de uma força horizontal constante de módulo 40,0 N. A Fig. 6-27 mostra velocidade do bloco  $v$  em função do tempo  $t$  quando o bloco se desloca sobre o piso ao longo de um eixo  $x$ . A escala vertical do gráfico é definida por  $v_s = 5,0$  m/s. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o piso?

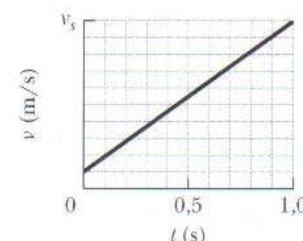


FIG. 6-27 Problema 18.

•19 Uma caixa de areia, inicialmente estacionária, vai ser puxada em um piso por meio de um cabo no qual a tensão não deve exceder 1100 N. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o piso é de 0,35. (a) Qual deve ser o ângulo entre o cabo e a horizontal para que se consiga puxar a maior quantidade possível de areia e (b) qual é o peso da areia e da caixa nessa situação?

•20 Um trenó com um pingüim, pesando 80 N, está em repouso sobre uma ladeira de ângulo  $\theta = 20^\circ$  com a horizontal (Fig. 6-28). Entre o trenó e a ladeira o coeficiente de atrito estático é

0,25 e o coeficiente de atrito cinético é 0,15. (a) Qual é o menor módulo da força  $\vec{F}$ , paralela ao plano, que impede o trenó de deslizar ladeira abaixo? (b) Qual é o menor módulo  $F$  que faz o trenó começar a subir a ladeira? (c) Qual é o valor de  $F$  que faz o trenó subir a ladeira com velocidade constante?

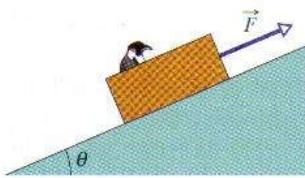


FIG. 6-28 Problemas 20 e 26.

••21 Na Fig. 6-29, uma força  $\vec{P}$  atua sobre um bloco com 45 N de peso. O bloco está inicialmente em repouso sobre um plano inclinado de ângulo  $\theta = 15^\circ$  com a horizontal. O sentido positivo do eixo  $x$  é para cima ao longo do plano. Os coeficientes de atrito entre o bloco e o plano são  $\mu_s = 0,50$  e  $\mu_k = 0,34$ . Em termos dos vetores unitários, qual é a força de atrito exercida pelo plano sobre o bloco quando  $\vec{P}$  é igual a (a)  $(-5,0 \text{ N})\hat{i}$ , (b)  $(-8,0 \text{ N})\hat{i}$  e (c)  $(-15,0 \text{ N})\hat{i}$ ?

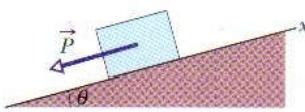


FIG. 6-29 Problema 21.

••22 Na Fig. 6-30, uma caixa de cereal Cheerios (massa  $m_C = 1,0 \text{ kg}$ ) e uma caixa de cereal Wheaties (massa  $m_W = 3,0 \text{ kg}$ ) são aceleradas sobre uma superfície horizontal por uma força horizontal  $\vec{F}$  aplicada à caixa de cereal Cheerios. O módulo da força de atrito que age sobre a caixa de Cheerios é de 2,0 N, e o módulo da força de atrito que age sobre a caixa de Wheaties é de 4,0 N. Se o módulo de  $\vec{F}$  é de 12 N, qual é o módulo da força que a caixa de Cheerios exerce sobre a caixa de Wheaties?

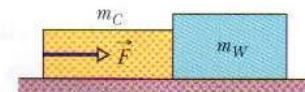


FIG. 6-30 Problema 22.

••23 O bloco  $B$  da Fig. 6-31 pesa 711 N. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a mesa é de 0,25; o ângulo  $\theta$  é de  $30^\circ$ ; suponha que o trecho da corda entre o bloco  $B$  e o nó é horizontal. Determine o peso máximo do bloco  $A$  para o qual o sistema permanece em repouso.

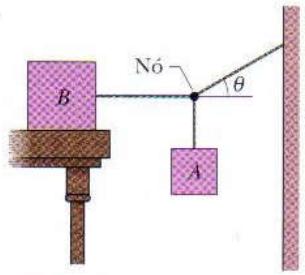


FIG. 6-31 Problema 23.

••24 Um bloco é empurrado sobre um piso horizontal por uma força constante que é aplicada fazendo um ângulo  $\theta$  para baixo (Fig. 6-20). A Fig. 6-32 mostra o módulo da aceleração  $a$  em função do coeficiente de atrito cinético  $\mu_k$  entre o bloco e o piso. Se  $a_1 = 3,0 \text{ m/s}^2$ ,  $\mu_{k2} = 0,20$  e  $\mu_{k3} = 0,40$ , qual é o valor de  $\theta$ ?

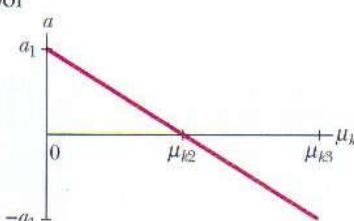


FIG. 6-32 Problema 24.

••25 Quando os três blocos da Fig. 6-33 são liberados a partir do repouso, aceleram com um módulo de  $0,500 \text{ m/s}^2$ . O bloco 1 tem massa  $M$ , o bloco 2 tem massa  $2M$  e o bloco 3 tem massa  $2M$ . Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco 2 e a mesa?

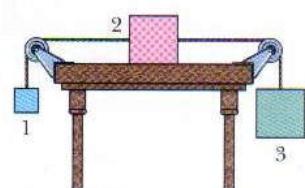


FIG. 6-33 Problema 25.

••26 Na Fig. 6-28, um trenó é sustentado em um plano inclinado por uma corda que o puxa para cima paralelamente ao plano. O trenó está na iminência de começar a subir. A Fig. 6-34 mostra o módulo  $F$  da força aplicada à corda em função do coeficiente de atrito estático  $\mu_s$  entre o trenó e o plano. Se  $F_1 = 2,0 \text{ N}$ ,  $F_2 = 2,0 \text{ N}$  e  $\mu_2 = 0,50$ , qual é o valor do ângulo  $\theta$  do plano inclinado?

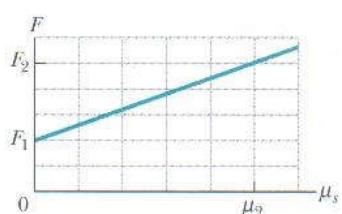


FIG. 6-34 Problema 26.

••27 Dois blocos, com 3,6 N e 7,2 N de peso, estão ligados por uma corda sem massa e deslizam para baixo em um plano inclinado de  $30^\circ$ . O coeficiente de atrito cinético entre o bloco mais leve e o bloco é de 0,10, e o coeficiente de atrito cinético entre o bloco mais pesado e o bloco é de 0,20. Suponha que o bloco mais leve desce na frente, determine (a) o módulo da aceleração dos blocos e (b) a tensão da corda.

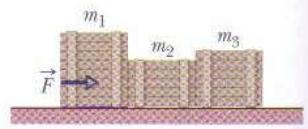


FIG. 6-35 Problema 28.

••28 A Fig. 6-35 mostra três caixotes sendo empurrados sobre um piso de concreto por uma força horizontal  $\vec{F}$  de módulo 440 N. As massas dos caixotes são  $m_1 = 30,0 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 10,0 \text{ kg}$  e  $m_3 = 20,0 \text{ kg}$ . O coeficiente de atrito cinético entre o piso e cada um dos caixotes é de 0,700. (a) Qual é o módulo  $F_{32}$  da força exercida sobre o bloco 3 pelo bloco 2? (b) Se os caixotes deslizassem sobre um piso polido, cujo coeficiente de atrito cinético fosse menor que 0,700, o módulo  $F_{32}$  seria maior, menor ou igual ao seu valor quando o coeficiente de atrito era 0,700?

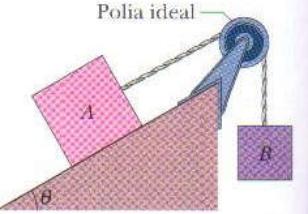
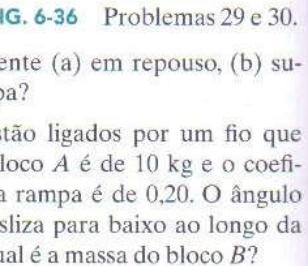


FIG. 6-36 Problemas 29 e 30.

••29 O bloco  $A$  da Fig. 6-36 pesa 102 N, e o bloco  $B$  pesa 32 N. Os coeficientes de atrito entre  $A$  e a rampa são  $\mu_s = 0,56$  e  $\mu_k = 0,25$ . O ângulo  $\theta$  é igual a  $40^\circ$ . Suponha que o eixo  $x$  é paralelo à rampa, com o sentido positivo para cima. Em termos dos vetores unitários, qual é a aceleração de  $A$  se  $A$  está inicialmente (a) em repouso, (b) subindo a rampa e (c) descendo a rampa?



••30 Na Fig. 6-36, dois blocos estão ligados por um fio que passa por uma polia. A massa do bloco  $A$  é de 10 kg e o coeficiente de atrito cinético entre  $A$  e a rampa é de 0,20. O ângulo  $\theta$  da rampa é de  $30^\circ$ . O bloco  $A$  desliza para baixo ao longo da rampa com velocidade constante. Qual é a massa do bloco  $B$ ?

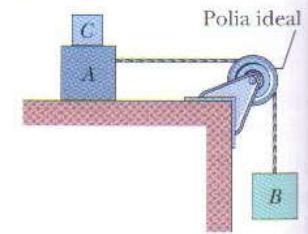
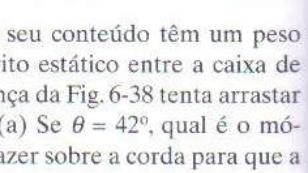


FIG. 6-37 Problema 31.

••31 Na Fig. 6-37, os blocos  $A$  e  $B$  pesam 44 N e 22 N, respectivamente. (a) Determine o menor peso do bloco  $C$  que evita que o bloco  $A$  deslize, se  $\mu_s$  entre  $A$  e a mesa é 0,20. (b) O bloco  $C$  é removido bruscamente de cima do bloco  $A$ . Qual é a aceleração do bloco  $A$  se  $\mu_k$  entre  $A$  e a mesa é 0,15?



••32 Uma caixa de brinquedos e seu conteúdo têm um peso total de 180 N. O coeficiente de atrito estático entre a caixa de brinquedos e o piso é de 0,42. A criança da Fig. 6-38 tenta arrastar a caixa puxando-a por uma corda. (a) Se  $\theta = 42^\circ$ , qual é o módulo da força  $\vec{F}$  que a criança deve fazer sobre a corda para que a

caixa esteja na iminência de se mover? (b) Escreva uma expressão para o menor valor do módulo de  $\vec{F}$  necessário para que a caixa se move em função do ângulo  $\theta$ . Determine (c) o valor de  $\theta$  para o qual  $F$  é mínimo e (d) o valor desse módulo mínimo.

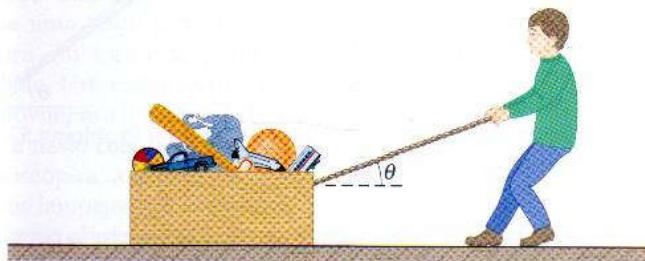


FIG. 6-38 Problema 32.

••33 Os dois blocos ( $m = 16 \text{ kg}$  e  $M = 88 \text{ kg}$ ) da Fig. 6-39 não estão ligados. O coeficiente de atrito estático entre os blocos é  $\mu_s = 0,38$ , mas não há atrito na superfície abaixo do bloco maior. Qual é o menor valor do módulo da força horizontal  $\vec{F}$  para o qual o bloco menor não escorregue para baixo ao longo do bloco maior?

••34 Na Fig. 6-40, uma prancha de massa  $m_1 = 40 \text{ kg}$  repousa em um piso sem atrito e um bloco de massa  $m_2 = 10 \text{ kg}$  repousa sobre a prancha. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a prancha é de 0,60, e o coeficiente de atrito cinético é de 0,40. O bloco é puxado por uma força horizontal  $\vec{F}$  de módulo 100 N. Em termos dos vetores unitários, quais são as acelerações (a) do bloco e (b) da prancha?

••35 Um barco de 1000 kg está navegando a 90 km/h quando o motor é desligado. O módulo da força de atrito  $\vec{f}_k$  entre o barco e a água é proporcional à velocidade  $v$  do barco:  $f_k = 70v$ , onde  $v$  está em metros por segundo e  $f_k$  em newtons. Determine o tempo necessário para o barco reduzir a velocidade para 45 km/h.

#### seção 6-4 Força de Arrasto e Velocidade Terminal

•36 A velocidade terminal de um pára-quedista é de 160 km/h na posição de águia e 310 km/h na posição de mergulho de cabeça. Supondo que o coeficiente de arrasto  $C$  do pára-quedista não mude de uma posição para outra, determine a razão entre a área da seção reta efetiva  $A$  na posição de menor velocidade e a área na posição de maior velocidade.

•37 Calcule a razão entre a força de arrasto experimentada por um avião a jato voando a 1000 km/h a uma altitude de 10 km e a força de arrasto experimentada por um avião a hélice voando com metade da velocidade e a metade da altitude. A densidade do ar é de  $0,38 \text{ kg/m}^3$  a 10 km e  $0,67 \text{ kg/m}^3$  a 5,0 km. Suponha que os aviões possuem a mesma área de seção reta efetiva e o mesmo coeficiente de arrasto  $C$ .

•38 Ao descer uma encosta, um esquiador é freado pela força de arrasto que o ar exerce sobre o seu corpo e pela força de atrito cinético que a neve exerce sobre os esquis. (a) Suponha que o ângulo da encosta é  $\theta = 40,0^\circ$ , que a neve é seca, com um coeficiente de atrito cinético  $\mu_k = 0,0400$ , que a massa do esquiador e seu equipamento é  $m = 85,0 \text{ kg}$ , que a área da seção reta do es-

quiador (agachado) é  $A = 1,30 \text{ m}^2$ , que o coeficiente de arrasto é  $C = 0,150$  e que a massa específica do ar é  $1,20 \text{ kg/m}^3$ . (a) Qual é a velocidade terminal? (b) Se o esquiador pode fazer o coeficiente de arrasto  $C$  sofrer uma pequena variação  $dC$  alterando, por exemplo, a posição das mãos, qual é a variação correspondente da velocidade terminal?

••39 Continuação do Problema 2. Suponha agora que a Eq. 6-14 forneça o módulo da força de arrasto que age sobre uma pedra típica de 20 kg, que apresenta ao vento uma área de seção reta vertical de  $0,040 \text{ m}^2$  e tem um coeficiente de arrasto  $C$  de 0,80. Tome a massa específica do ar como sendo de  $1,21 \text{ kg/m}^3$  e o coeficiente de atrito cinético como sendo de 0,80. (a) Em quilômetros por hora, que velocidade  $V$  de um vento paralelo ao solo é necessária para manter a pedra em movimento depois que ela comece a se mover? Como a velocidade do vento perto do solo é reduzida pela presença do solo, a velocidade do vento informada nos boletins meteorológicos é freqüentemente medida a uma altura de 10 m. Suponha que a velocidade do vento a esta altura seja 2,00 vezes maior que junto ao solo. (b) Para a resposta do item (a), que velocidade do vento deveria ser informada nos boletins meteorológicos? (c) Este valor é razoável para um vento de alta velocidade durante uma tempestade? (A história continua com o Problema 61.)

••40 Suponha que a Eq. 6-14 forneça a força de arrasto a que estão sujeitos um piloto e seu assento de ejeção imediatamente após terem sido ejetados de um avião voando horizontalmente a 1300 km/h. Suponha também que a massa do assento seja igual à massa do piloto e que o coeficiente de arrasto seja o mesmo de um pára-quedista. Fazendo uma estimativa razoável para a massa do piloto e usando o valor apropriado de  $v_t$  da Tabela 6-1, estime o módulo (a) da força de arrasto sobre o conjunto piloto + assento e (b) da desaceleração horizontal (em termos de  $g$ ), do conjunto, ambos imediatamente após a ejeção. [O resultado do item (a) deve servir de alerta para os projetistas: o assento precisa dispor de um anteparo para desviar o vento da cabeça do piloto.]

#### seção 6-5 Movimento Circular Uniforme

•41 Qual é o menor raio de uma curva sem compensação (plana) que permite que um ciclista a 29 km/h faça a curva sem derrapar se o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a pista é de 0,32?

•42 Durante uma corrida de trenós nas Olimpíadas de Inverno, a equipe jamaicana fez uma curva de 7,6 m de raio com uma velocidade de 96,6 km/h. Qual foi a sua aceleração em unidades de  $g$ ?

•43 Um gato está cochilando em um carrossel parado, a uma distância de 5,4 m do centro. O brinquedo é ligado e logo atinge a velocidade normal de funcionamento, na qual completa uma volta a cada 6,0 s. Qual deve ser, no mínimo, o coeficiente de atrito estático entre o gato e o carrossel para que o gato permaneça no mesmo lugar, sem escorregar?

•44 Suponha que o coeficiente de atrito estático entre a estrada e os pneus de um carro é de 0,60 e que o carro não tem sustentação negativa. Que velocidade deixa o carro na iminência de derrapar quando ele faz uma curva não-compensada com 30,5 m de raio?

••45 Um viciado em movimentos circulares, com 80 kg de massa, está andando em uma roda-gigante que descreve uma circunferência vertical de 10 m de raio a uma velocidade escalar constante de 6,1 m/s. (a) Qual é o período do movimento? Qual é o módulo da força normal exercida pelo assento sobre o viciado

quando ambos passam (b) pelo ponto mais alto da trajetória circular e (c) pelo ponto mais baixo?

**••46** Um carro de montanha-russa tem uma massa de 1200 kg quando está lotado. Quando o carro passa pelo alto de uma elevação circular com 18 m de raio sua velocidade escalar se mantém constante. Nesse instante, quais são (a) o módulo  $F_N$  e (b) o sentido (para cima ou para baixo) da força normal exercida pelo trilho sobre o carro se a velocidade do carro é  $v = 11 \text{ m/s}$ ? Quais são (c)  $F_H$  e (d) o sentido da força normal se  $v = 14 \text{ m/s}$ ?

**••47** Na Fig. 6-41, um carro passa com velocidade constante por uma elevação circular e por uma depressão circular de mesmo raio. No alto da elevação a força normal exercida sobre o motorista pelo assento do carro é zero. A massa do motorista é de 70,0 kg. Qual é o módulo da força normal exercida pelo assento sobre o motorista quando o carro passa pelo fundo do vale?

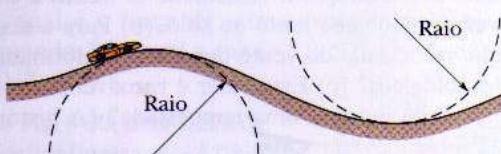


FIG. 6-41 Problema 47.

**••48** Uma policial de 55,0 kg, que está perseguindo um suspeito de carro, faz uma curva circular de 300 m de raio a uma velocidade escalar constante de 80 km/h. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação à vertical) da força resultante que a policial exerce sobre o assento do carro. (Sugestão: Considere as forças horizontais e verticais.)

**••49** Um estudante que pesa 667 N está sentado, com as costas eretas, em uma roda-gigante em movimento. No ponto mais alto o módulo da força normal  $\bar{F}_N$  exercida pelo assento sobre o estudante é de 556 N. (a) O estudante se sente mais leve ou mais pesado neste ponto? (b) Qual é o módulo de  $\bar{F}_N$  no ponto mais baixo? Se a velocidade da roda-gigante é duplicada, qual é o módulo  $F_N$  da força normal (c) no ponto mais alto e (d) no ponto mais baixo?

**••50** Em um brinquedo de parque de diversão (“Kamikaze”), um carro se move em uma circunferência vertical na extremidade de uma haste rígida de massa desprezível. O peso do carro com os passageiros é de 5,0 kN, e o raio da circunferência é de 10 m. No ponto mais alto da circunferência, quais são (a) o módulo  $F_H$  e (b) o sentido (para cima ou para baixo) da força exercida pela haste sobre o carro se a velocidade do carro é  $v = 5,0 \text{ m/s}$ ? Quais são (c)  $F_N$  e (d) o sentido se  $v = 12 \text{ m/s}$ ?

**••51** Um bonde antigo dobra uma esquina fazendo uma curva plana com 9,1 m de raio a 16 km/h. Qual é o ângulo que as alças de mão penduradas no teto fazem com a vertical?

**••52** Ao projetar brinquedos para parques de diversão que envolvem movimentos circulares, os engenheiros mecânicos devem levar em conta o fato de que pequenas variações de certos parâmetros podem alterar significativamente a força resultante experimentada pelos passageiros. Considere um passageiro de massa  $m$  que descreve uma trajetória circular de raio  $r$  com velocidade  $v$ . Determine a variação  $dF$  do módulo da força resultante para (a) uma variação do raio  $r$  da trajetória, sem que  $v$  varie; (b) uma variação  $dv$  da velocidade, sem que  $r$  varie; (c) uma variação  $dT$  do período, sem que  $r$  varie.

**••53** Um avião está voando em uma circunferência horizontal com uma velocidade de 480 km/h (Fig. 6-42). Se as asas estão inclinadas de um ângulo  $\theta = 40^\circ$  com a horizontal, qual é o raio da circunferência? Suponha que a força necessária para manter o avião nessa trajetória resulte inteiramente de uma “sustentação aerodinâmica” perpendicular à superfície das asas.

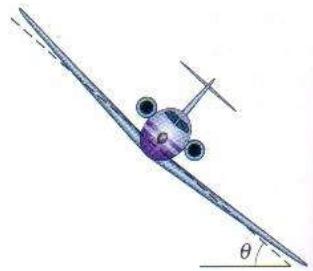


FIG. 6-42 Problema 53.

**••54** Um passageiro de 85,0 kg descreve uma trajetória circular de raio  $r = 3,50 \text{ m}$  em movimento circular uniforme. (a) A Fig. 6-43a mostra um gráfico do módulo  $F$  da força centrípeta em função da velocidade  $v$  do passageiro. Qual é a inclinação do gráfico para  $v = 8,30 \text{ m/s}$ ? (b) A Fig. 6-43b mostra um gráfico do módulo  $F$  da força em função de  $T$ , o período do movimento. Qual é a inclinação do gráfico para  $T = 2,50 \text{ s}$ ?

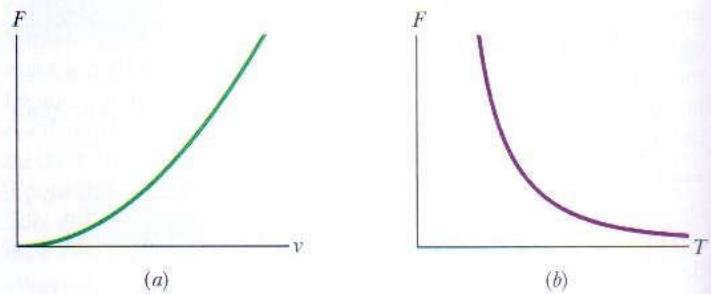


FIG. 6-43 Problema 54.

**••55** Um disco de metal de massa  $m = 1,50 \text{ kg}$  descreve uma circunferência de raio  $r = 20,0 \text{ cm}$  sobre uma mesa sem atrito, enquanto permanece ligado a um cilindro de massa  $M = 2,50 \text{ kg}$  pendurado por um fio que passa por um furo no centro da mesa (Fig. 6-44). Que velocidade do disco mantém o cilindro em repouso?

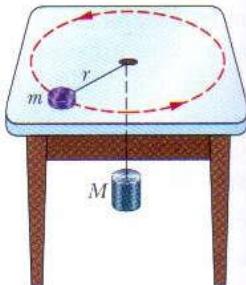


FIG. 6-44 Problema 55.

**••56** *Frear ou desviar?* A Fig. 6-45 mostra uma vista superior de um carro que se aproxima de um muro. Suponha que o motorista comece a frear quando a distância entre o carro e o muro é  $d = 107 \text{ m}$ , que a massa do carro é  $m = 1400 \text{ kg}$ , que sua velocidade inicial é  $v_0 = 35 \text{ m/s}$  e que o coeficiente de atrito estático é  $\mu_s = 0,50$ . Suponha também que o peso do carro está distribuído igualmente pelas quatro rodas, mesmo durante a frenagem. (a) Qual é o valor mínimo do módulo do atrito estático (entre os pneus e o piso) para que o carro pare antes de se chocar com o muro? (b) Qual é o valor máximo possível do atrito estático  $f_{s,\max}$ ? (c) Se o coeficiente de atrito cinético entre os pneus (das rodas travadas) e o piso é  $\mu_k = 0,40$ , com que velocidade o carro se choca com o muro? Para evitar o choque, o motorista pode tentar se desviar do muro, como mostra a figura. (d) Qual é o módulo da força de atrito necessária

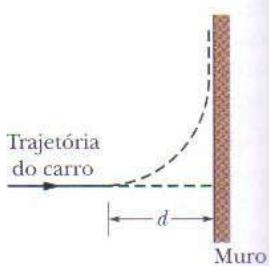


FIG. 6-45 Problema 56.

para fazer o carro descrever uma trajetória circular de raio  $d$  e velocidade  $v_0$ ? (e) A força calculada no item (d) é menor que  $f_{s,\text{máx}}$ , o que tornaria o plano viável?

**••57** Um parafuso está enroscado em uma das extremidades de uma haste fina horizontal que gira em torno da outra extremidade. Um engenheiro monitora o movimento iluminando o parafuso e a haste com uma lâmpada estroboscópica, ajustando a freqüência dos lampejos até o parafuso parecer estar nas mesmas oito posições a cada rotação completa da haste (Fig. 6-46). A freqüência dos lampejos é 2000 por segundo; a massa do parafuso é 30 g e a haste tem 3,5 cm de comprimento. Qual é o módulo da força exercida pela haste sobre o parafuso?

**••58** Uma curva circular compensada de uma rodovia foi planejada para uma velocidade de 60 km/h. O raio da curva é de 200 m. Em um dia chuvoso a velocidade dos carros diminui para 40 km/h. Qual é o menor coeficiente de atrito entre os pneus e a estrada para que os carros façam a curva sem derrapar? (Suponha que os carros não possuem sustentação negativa.)

**••59** Na Fig. 6-47, uma bola de 1,34 kg é ligada por meio de dois fios de massa desprezível, cada um com comprimento  $L = 1,70$  m, a uma haste vertical giratória. Os fios estão amarrados à haste a uma distância  $d = 1,70$  m um do outro e estão esticados. A tensão do fio de cima é de 35 N. Determine (a) a tensão do fio de baixo; (b) o módulo da força resultante  $\vec{F}_{\text{res}}$  a que está sujeita a bola; (c) a velocidade escalar da bola; (d) a orientação de  $\vec{F}_{\text{res}}$ .

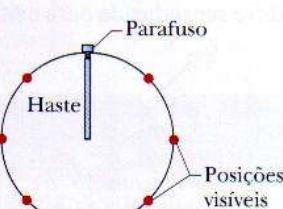


FIG. 6-46 Problema 57.

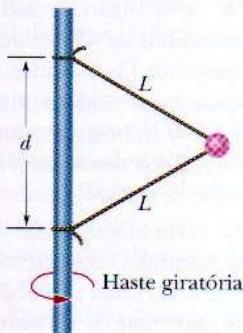


FIG. 6-47 Problema 59.

### Problemas Adicionais

**60** A Fig. 6-48 mostra um *pêndulo cônicos*, no qual um peso (pequeno objeto na extremidade inferior da corda) se move em uma circunferência horizontal com velocidade constante. (A corda descreve um cone quando o peso gira.) O peso tem uma massa de 0,040 kg, a corda tem um comprimento  $L = 0,90$  m e massa desprezível, e o peso descreve uma circunferência de 0,94 m. Determine (a) a tensão da corda e (b) o período do movimento.

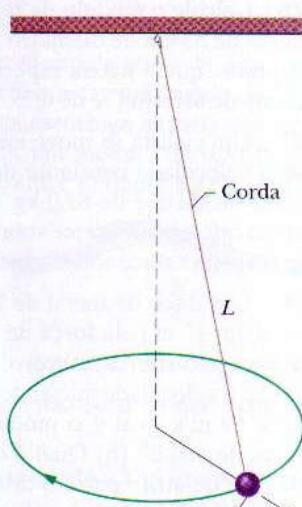


FIG. 6-48 Problema 60.

**61** Continuação dos Problemas 2 e 39. Uma outra explicação é que as pedras se movem apenas quando a água que cai na região durante uma tempestade congela, formando uma fina camada de gelo. As pedras ficam presas no gelo. Quando o vento sopra, o gelo e as pedras são arrastados e as pedras deixam as trilhas. O módulo da força de arrasto do ar sobre essa "vela de gelo" é dado por  $D_{\text{gelo}} = 4C_{\text{gelo}}\rho A_{\text{gelo}}v^2$ , onde  $C_{\text{gelo}}$  é o coeficiente de arrasto ( $2,0 \times 10^{-3}$ ),  $\rho$  a massa específica

do ar ( $1,21 \text{ kg/m}^3$ ),  $A_{\text{gelo}}$  a área horizontal da camada de gelo e  $v$  a velocidade do vento.

Suponha o seguinte: A camada de gelo mede 400 m por 500 m por 4,0 mm e tem um coeficiente de atrito cinético 0,10 com o solo e uma massa específica de  $917 \text{ kg/m}^3$ . Suponha ainda que 100 pedras idênticas à do Problema 2 estão aprisionadas no gelo. Para manter o movimento da camada, quais são as velocidades do vento necessárias (a) nas proximidades da camada e (b) a uma altura de 10 m? (c) Esses valores são razoáveis para ventos fortes durante uma tempestade?

**62** Projetando uma curva de uma rodovia. Se um carro entra muito depressa em uma curva, tende a derrapar. No caso de uma curva compensada, a força de atrito age sobre um carro em alta velocidade no sentido de se opor à tendência do carro de derrapar para fora da estrada; a força aponta para o lado mais baixo da pista (o lado para o qual a água escoaria). Considere uma curva circular de raio  $R = 200$  m e um ângulo de compensação  $\theta$ , na qual o coeficiente de atrito estático entre os pneus e o pavimento é  $\mu_s$ . Um carro (sem sustentação negativa) começa a fazer a curva, como mostra a Fig. 6-13. (a) Escreva uma expressão para a velocidade do carro  $v_{\text{máx}}$  que o coloca na iminência de derrapar. (b) No mesmo gráfico, plote  $v_{\text{máx}}$  em função de  $\theta$  para o intervalo de  $0^\circ$  a  $50^\circ$ , primeiro para  $\mu_s = 0,60$  (pista seca) e depois para  $\mu_s = 0,050$  (pista molhada). Calcule  $v_{\text{máx}}$ , em km/h, para um ângulo de compensação  $\theta = 10^\circ$  e para (c)  $\mu_s = 0,60$  e (d)  $\mu_s = 0,050$ . (Agora você pode entender por que ocorrem acidentes nas curvas das estradas quando os motoristas não percebem que a estrada está molhada e continuam dirigindo na velocidade normal.)

**63** Na Fig. 6-49, o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano inclinado é de 0,20 e o ângulo  $\theta$  é de  $60^\circ$ . Quais são (a) o módulo  $a$  e (b) o sentido (para cima ou para baixo ao longo do plano) da aceleração do bloco se ele está escorregando para baixo? Quais são (c) o módulo  $a$  e (d) o sentido da aceleração se o bloco está escorregando para cima?



FIG. 6-49 Problema 63.

**64** Na Fig. 6-50, o bloco 1, de massa  $m_1 = 2,0 \text{ kg}$ , e o bloco 2, de massa  $m_2 = 3,0 \text{ kg}$ , estão ligados por um fio de massa desprezível e são inicialmente mantidos em repouso. O bloco 2 está sobre uma superfície sem atrito com uma inclinação  $\theta = 30^\circ$ . O coeficiente de atrito cinético entre o bloco 1 e a superfície horizontal é de 0,25. A polia tem massa e atrito desprezíveis. Uma vez soltos, os blocos entram em movimento. Qual é a tensão do fio?

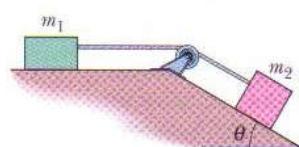


FIG. 6-50 Problema 64.

**65** Um bloco de massa  $m_a = 4,0 \text{ kg}$  é colocado em cima de um outro bloco de massa  $m_b = 5,0 \text{ kg}$ . Para fazer o bloco de cima deslizar sobre o de baixo enquanto este é mantido fixo é preciso aplicar ao bloco de cima uma força horizontal de no mínimo 12 N. O conjunto de blocos é colocado sobre uma mesa horizontal sem atrito (Fig. 6-51). Determine o módulo (a) da maior força horizontal  $\vec{F}$  que pode ser aplicada ao bloco de baixo sem que os blocos deixem de se mover juntos e (b) a aceleração resultante dos blocos.

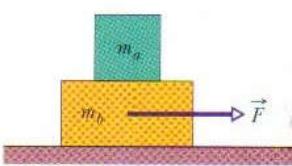


FIG. 6-51 Problema 65.

**66** Uma caixa de enlatados escorrega em uma rampa do nível da rua até o subsolo de um armazém com uma aceleração de  $0,75 \text{ m/s}^2$  dirigida para baixo ao longo da rampa. A rampa faz um ângulo de  $40^\circ$  com a horizontal. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a rampa?

**67** Um bloco de aço de  $8,00 \text{ kg}$  repousa sobre uma mesa horizontal. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a mesa é  $0,450$ . Uma força é aplicada ao bloco. Com três algarismos significativos, qual é o módulo dessa força se ela coloca o bloco na iminência de deslizar quando a força é dirigida (a) horizontalmente, (b) para cima, formando um ângulo de  $60,0^\circ$  com a horizontal e (c) para baixo, formando um ângulo de  $60,0^\circ$  com a horizontal?

**68** Na Fig. 6-52, uma caixa com formigas vermelhas (massa total  $m_1 = 1,65 \text{ kg}$ ) e uma caixa com formigas pretas (massa total  $m_2 = 3,30 \text{ kg}$ ) deslizam para baixo em um plano inclinado, ligadas por uma haste sem massa paralela ao plano. O ângulo de inclinação é  $\theta = 30^\circ$ . O coeficiente de atrito cinético entre a caixa com formigas vermelhas e a rampa é  $\mu_1 = 0,226$ ; entre a caixa com formigas pretas e a rampa é  $\mu_2 = 0,113$ . Calcule (a) a tensão da haste e (b) o módulo da aceleração comum das duas caixas. (c) Como as respostas dos itens (a) e (b) mudariam se as posições das caixas fossem invertidas?

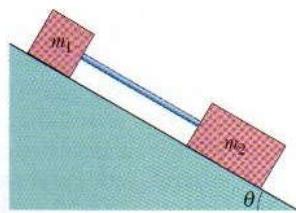


FIG. 6-52 Problema 68.

**69** Na Fig. 6-53, um caixote escorrega para baixo em uma vala cujos lados fazem um ângulo reto. O coeficiente de atrito cinético entre o caixote e a vala é  $\mu_k$ . Qual é a aceleração do caixote em termos de  $\mu_k$ ,  $\theta$  e  $g$ ?

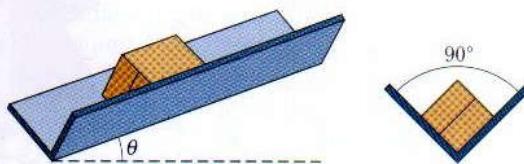


FIG. 6-53 Problema 69.

**70** Uma estudante pretende determinar os coeficientes de atrito estático e atrito cinético entre uma caixa e uma tábua. Ela coloca a caixa sobre a tábua e levanta lentamente uma das extremidades da tábua. Quando o ângulo de inclinação em relação à horizontal chega a  $30^\circ$ , a caixa começa a escorregar e percorre  $2,5 \text{ m}$  ao longo da tábua em  $4,0 \text{ s}$ , com aceleração constante. Quais são (a) o coeficiente de atrito estático e (b) o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a tábua?

**71** Uma locomotiva acelera um trem de  $25$  vagões em uma linha férrea plana. Cada vagão possui uma massa de  $5,0 \times 10^4 \text{ kg}$  e está sujeito a uma força de atrito  $f = 250v$ , onde a velocidade  $v$  está em metros por segundo e a força  $f$  está em newtons. No instante em que a velocidade do trem é de  $30 \text{ km/h}$ , o módulo da aceleração é  $0,20 \text{ m/s}^2$ . (a) Qual é a tensão no engate entre o primeiro vagão e a locomotiva? (b) Se esta tensão é igual à força máxima que a locomotiva pode exercer sobre o trem, qual é o maior acidente que a linha férrea pode ter para que a locomotiva consiga puxar o trem a  $30 \text{ km/h}$ ?

**72** Uma casa é construída no alto de uma colina, perto de uma encosta com uma inclinação  $\theta = 45^\circ$  (Fig. 6-54). Um estudo de engenharia indica que o ângulo do declive deve ser reduzido por-

que as camadas superiores do solo podem deslizar sobre as camadas inferiores. Se o coeficiente de atrito estático entre duas dessas camadas é  $0,5$ , qual é o menor ângulo  $\phi$  de que a inclinação atual deve ser reduzida para evitar deslizamentos?

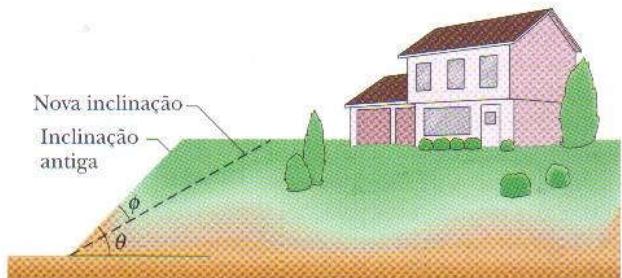


FIG. 6-54 Problema 72.

**73** Qual é a velocidade terminal de uma bola esférica de  $6,00 \text{ kg}$  que possui um raio de  $3,00 \text{ cm}$  e um coeficiente de arrasto de  $1,60$ ? A massa específica do ar no local onde a bola está caindo é  $1,20 \text{ kg/m}^3$ .

**74** Um vagão de um trem de alta velocidade faz uma curva horizontal de  $470 \text{ m}$  de raio, sem compensação, com velocidade constante. Os módulos das componentes horizontal e vertical da força que o vagão exerce sobre um passageiro de  $51,0 \text{ kg}$  são  $210 \text{ N}$  e  $500 \text{ N}$ , respectivamente. (a) Qual é o módulo da força resultante (de todas as forças) sobre o passageiro? (b) Qual é a velocidade do vagão?

**75** Um bloco de aço de  $11 \text{ kg}$  está em repouso sobre uma mesa horizontal. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a mesa é  $0,52$ . (a) Qual é o módulo da força horizontal que coloca o bloco na iminência de se mover? (b) Qual é o módulo de uma força que, atuando a  $60^\circ$  acima da horizontal, coloca o bloco na iminência de se mover? (c) Se a força atua a  $60^\circ$  abaixo da horizontal, qual o valor máximo do seu módulo para que o bloco não se mova?

**76** Calcule o módulo da força de arrasto a que está sujeito um míssil de  $53 \text{ cm}$  de diâmetro voando a  $250 \text{ m/s}$  em baixa altitude. Suponha que a massa específica do ar é de  $1,2 \text{ kg/m}^3$  e o coeficiente de arrasto  $C$  é de  $0,75$ .

**77** Um ciclista se move em um círculo de  $25,0 \text{ m}$  de raio com uma velocidade constante de  $9,00 \text{ m/s}$ . A massa do conjunto ciclista-bicicleta é de  $85,0 \text{ kg}$ . Calcule os módulos (a) da força de atrito que a pista exerce sobre a bicicleta e (b) da força resultante que a pista exerce sobre a bicicleta.

**78** Um disco de metal de  $110 \text{ g}$  que desliza sobre o gelo é parado em  $15 \text{ m}$  pela força de atrito que o gelo exerce sobre o disco. (a) Se a velocidade inicial do disco é de  $60 \text{ m/s}$ , qual é o módulo da força de atrito? (b) Qual é o coeficiente de atrito entre o disco e o gelo?

**79** Na Fig. 6-55, uma alpinista de  $49 \text{ kg}$  está subindo uma “chaminé”. O coeficiente de atrito estático entre os sapatos e a pedra é  $1,2$ ; entre as costas e a pedra é  $0,80$ . A moça reduziu a força que está fazendo contra a pedra até se encontrar na



FIG. 6-55 Problema 79.

iminência de escorregar. (a) Desenhe um diagrama de corpo livre da moça. (b) Qual é o módulo da força que a moça exerce contra a pedra? (c) que fração do peso da moça é sustentada pelo atrito dos sapatos?

**80** Uma pedra de 5,00 kg é deslocada em contato com o teto horizontal de uma caverna (Fig. 6-56). Se o coeficiente de atrito cinético é de 0,65 e a força aplicada à pedra faz um ângulo  $\theta = 70^\circ$  para cima com a horizontal, qual deve ser o módulo para que a pedra se move com velocidade constante?

**81** O bloco *A* da Fig. 6-57 possui massa  $m_A = 4,0$  kg e o bloco *B* possui massa  $m_B = 2,0$  kg. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco *B* e o plano horizontal é  $\mu_k = 0,50$ . O ângulo do plano inclinado sem atrito é  $\theta = 30^\circ$ . A polia serve apenas para mudar a direção do fio que liga os blocos. O fio possui massa desprezível. Determine (a) a tensão do fio e (b) o módulo da aceleração dos blocos.

**82** Um esqui adere à neve quando é simplesmente deixado sobre ela. Quando o esqui se desloca sobre a neve, porém, o atrito o aquece e derrete parcialmente a neve, reduzindo o coeficiente de atrito cinético e facilitando o deslizamento. Encerar o esqui torna-o repelente à água e reduz ainda mais o atrito com a camada de água. Uma loja anuncia que um novo tipo de esqui de plástico é especialmente repelente à água e que, em um declive moderado de 200 m nos Alpes, um esquiador reduziu o tempo de descida de 61 s com esquis convencionais para 42 s com os novos esquis. Determine o módulo da aceleração média do esquiador (a) com os esquis convencionais e (b) com os novos esquis. Supondo uma inclinação de  $3,0^\circ$ , calcule o coeficiente de atrito cinético (c) para os esquis convencionais e (d) para os novos esquis.

**83** Brincando nas vizinhanças do canteiro de obras de uma estrada, uma criança cai em uma encosta que faz um ângulo de  $35^\circ$  com a horizontal. Enquanto a criança escorrega encosta *abaixo*, sofre uma aceleração *para cima* com um módulo de  $0,50 \text{ m/s}^2$ . Qual é o coeficiente de atrito cinético entre a criança e a encosta?

**84** Na Fig. 6-58, um carro (sem sustentação negativa) dirigido por um dublê passa pelo alto de um morro cuja seção transversal pode ser aproximada por uma circunferência de raio  $R = 250$  m. Qual é a maior velocidade para a qual o carro não perde contato com a estrada no alto do morro?

**85** Um carro com 10,7 kN de peso, viajando a  $13,4 \text{ m/s}$  sem sustentação negativa, tenta fazer uma curva não-compensada com um raio de 61,0 m. (a) Qual é o módulo da força de atrito entre os pneus e a estrada necessária para manter o carro em uma trajetória circular? (b) Se o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a estrada é de 0,350, o carro consegue fazer a curva sem derrapar?

**86** Uma força de 100 N, que faz um ângulo  $\theta$  para cima com um piso horizontal, é aplicada a uma cadeira de 25,0 kg em repouso

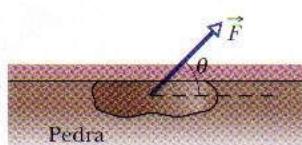


FIG. 6-56 Problema 80.

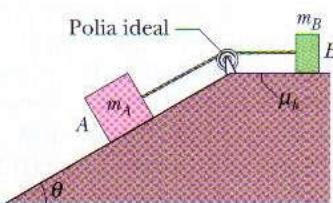


FIG. 6-57 Problema 81.

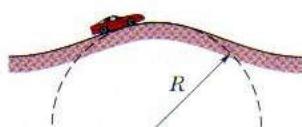


FIG. 6-58 Problema 84.

sobre o piso. Se  $\theta = 0^\circ$ , determine (a) a componente horizontal  $F_h$  da força aplicada e (b) o módulo  $F_N$  da força normal exercida pelo piso sobre a cadeira. Se  $\theta = 30,0^\circ$ , determine (c)  $F_h$  e (d)  $F_N$ . Se  $\theta = 60,0^\circ$ , determine (e)  $F_h$  e (f)  $F_N$ . Suponha que o coeficiente de atrito estático entre a cadeira e o piso é de 0,420. A cadeira escorrega ou permanece em repouso se  $\theta$  é (g)  $0^\circ$ , (h)  $30,0^\circ$  e (i)  $60,0^\circ$ ?

**87** Um estudante, enlouquecido pelos exames finais, usa uma força  $\vec{P}$  de módulo 80 N e ângulo  $\theta = 70^\circ$  para empurrar um bloco de 5,0 kg no teto do seu quarto (Fig. 6-59). Se o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o teto é de 0,40, qual é o módulo da aceleração do bloco?

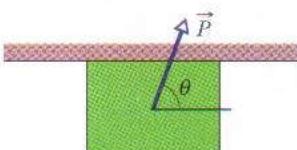


FIG. 6-59 Problema 87.

**88** Uma certa corda pode suportar uma tensão máxima de 40 N sem se partir. Uma criança amarra uma pedra de 0,37 kg em uma das extremidades da corda e, segurando a outra extremidade, faz a pedra girar em uma circunferência vertical de 0,91 m de raio, aumentando lentamente a velocidade até a corda arrebentar. (a) Em que ponto da trajetória está a pedra quando a corda arrebenta? (b) Qual é a velocidade da pedra quando a corda arrebenta?

**89** Você precisa empurrar um caixote até um atracadouro. O caixote pesa 165 N. O coeficiente de atrito estático entre o caixote e o piso é de 0,510, e o coeficiente de atrito cinético é de 0,32. Sua força sobre o caixote é horizontal. (a) Qual deve ser o módulo da força que você aplica ao caixote para que ele comece a se mover? (b) Qual deve ser o módulo da força que você aplica ao caixote depois que está em movimento para que se move com velocidade constante? (c) Se, em vez disso, o módulo da força tiver o valor calculado em (a), qual será o módulo da aceleração do caixote?

**90** Uma criança com 140 N de peso está sentada no alto de um escorregador que faz um ângulo de  $25^\circ$  com a horizontal. A criança se mantém no mesmo lugar segurando os lados do escorregador. Quando solta as mãos, a criança adquire uma aceleração constante de  $0,86 \text{ m/s}^2$  (dirigida para baixo, naturalmente). Qual é o coeficiente de atrito cinético entre a criança e o escorregador? (b) Que valores máximo e mínimo do coeficiente de atrito estático entre a criança e o escorregador são compatíveis com as informações do enunciado?

**91** Um pequeno armário com 556 N de peso está em repouso. O coeficiente de atrito estático entre o armário e o piso é 0,68 e o coeficiente de atrito cinético é de 0,56. Em quatro diferentes tentativas para deslocá-lo ele é empurrado com forças horizontais de módulos (a) 222 N, (b) 334 N, (c) 445 N e (d) 556 N. Para cada tentativa, calcule o módulo da força de atrito exercida sobre ele pelo piso. (Em cada tentativa, o armário está inicialmente em repouso.) (e) Em quais das tentativas o armário se move?

**92** Um menino com uma atiradeira coloca uma pedra (0,250 kg) na bolsa (0,010 kg) da atiradeira e faz girar a pedra e a bolsa em uma circunferência vertical de raio 0,650 m. O elástico entre a bolsa e a mão do menino tem massa desprezível e arrebentará se a tensão exceder 33,0 N. Suponha que o menino aumente aos poucos a velocidade da pedra. (a) O elástico vai arrebentar no ponto mais baixo da circunferência ou no ponto mais alto? (b) Para que valor da velocidade da pedra o elástico vai arrebentar?

**93** Um trenó para quatro pessoas (massa total = 630 kg) desce um trecho reto no alto de uma encosta. O trecho reto tem 80,0 m de comprimento e uma inclinação constante de  $10,2^\circ$  com a hori-

zontal. Suponha que o efeito combinado do atrito e do arrasto do ar produz sobre o trenó uma força constante de 62,0 N para cima, paralela à encosta. Responda às perguntas a seguir usando três algarismos significativos. (a) Se a velocidade do trenó no início da reta é de 6,20 m/s, quanto tempo o trenó leva para chegar ao final da reta? (b) Suponha que os ocupantes reduzam os efeitos do atrito e do arrasto do ar para 42,0 N. Para a mesma velocidade inicial, quanto tempo o trenó agora leva para descer o trecho reto?

**94** Na Fig. 6-60, uma força  $\vec{F}$  é aplicada a um caixote de massa  $m$  que repousa sobre um piso; o coeficiente de atrito estático entre o caixote e o piso é  $\mu_s$ . O ângulo  $\theta$  é inicialmente  $0^\circ$ , mas é gradualmente aumentado, de modo que o vetor força gira no sentido horário da figura. Durante a rotação, a intensidade da força é continuamente ajustada, de modo que o caixote permanece sempre na iminência de escorregar. Para  $\mu_s = 0,70$ , (a) plote a razão  $F/mg$  em função de  $\theta$  e (b) determine o ângulo  $\theta_{\text{inf}}$  para o qual a razão se torna infinita. (c) Se o piso é lubrificado, o valor de  $\theta_{\text{inf}}$  aumenta, diminui ou permanece inalterado? (d) Qual é o valor de  $\theta_{\text{inf}}$  para  $\mu_s = 0,60$ ?

**95** Durante a tarde, um carro é estacionado em uma ladeira que faz um ângulo de  $35,0^\circ$  com a horizontal. Nesse momento, o coeficiente de atrito estático entre os pneus e o asfalto é de 0,725. Quando anotece começo a nevar e o coeficiente de atrito diminui, tanto por causa da neve como por causa das mudanças químicas do asfalto causadas pela queda de temperatura. Qual deve ser a redução percentual do coeficiente de atrito para que o carro comece a escorregar ladeira abaixo?

**96** Na Fig. 6-61, o bloco 1 de massa  $m_1 = 2,0 \text{ kg}$  e o bloco 2 de massa  $m_2 = 1,0 \text{ kg}$  estão ligados por um fio de massa desprezível. O bloco 2 é empurrado por uma força  $\vec{F}$  de módulo 20 N que faz um ângulo  $\theta = 35^\circ$  com a horizontal. O coeficiente de atrito cinético entre cada bloco e a horizontal é de 0,20. Qual é a tensão do fio?

**97** Na Fig. 6-62, um faxineiro caprichoso limpa o piso aplicando ao cabo do esfregão uma força  $\vec{F}$ . O cabo faz um ângulo  $\theta$  com a vertical, e  $\mu_s$  e  $\mu_k$  são os coeficientes de atrito estático e cinético entre o esfregão e o piso. Ignore a massa do cabo e suponha que toda a massa  $m$  do esfregão está concentrada no pano de chão. (a) Se o pano de chão se move ao longo do piso com velocidade constante, qual é o valor de  $F$ ? (b) Mostre que se  $\theta$  for menor que um certo valor  $\theta_0$ , a força  $\vec{F}$  (ainda orientada ao longo do cabo) será insuficiente para fazer o pano de chão se mover. Determine  $\theta_0$ .

**98** Uma curva circular em uma rodovia é projetada para uma velocidade máxima de 60 km/h. Suponha que os carros não possuem sustentação negativa. (a) Se o raio da curva é 150 m, qual é o ângulo de compensação correto? (b) Se a curva não fosse compensada, qual deveria ser o menor coeficiente de atrito entre os

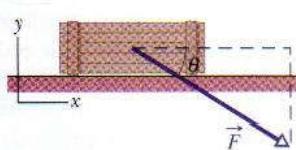


FIG. 6-60 Problema 94.

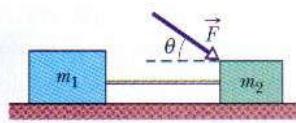


FIG. 6-61 Problema 96.

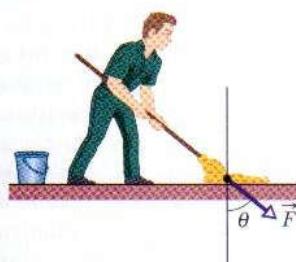


FIG. 6-62 Problema 97.

pneus e o piso para que os carros não derrapassem ao entrar na curva a 60 km/h?

**99** Um bloco escorrega para baixo com velocidade constante em um plano inclinado de ângulo  $\theta$ . Em seguida, o bloco é lançado para cima no mesmo plano com velocidade inicial  $v_0$ . (a) Que distância o bloco sobe até parar? (b) Depois de parar, o bloco torna a escorregar para baixo? Justifique sua resposta.

**100** Na Fig. 6-63, um bloco com 22 N de peso é mantido em repouso contra uma parede vertical por uma força horizontal  $\vec{F}$  de módulo 60 N. O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é de 0,55 e o coeficiente de atrito cinético é de 0,38.

Em seis experimentos uma segunda força  $\vec{P}$  é aplicada ao bloco, paralelamente à parede, com os seguintes módulos e sentidos: (a) 34 N, para cima, (b) 12 N, para cima, (c) 48 N, para cima, (d) 62 N, para cima, (e) 10 N, para baixo e (f) 18 N, para baixo. Em cada experimento, qual é o módulo da força de atrito sobre o bloco? Em que experimentos o bloco se move (g) para cima e (h) para baixo? (i) Em que experimentos a força de atrito é para baixo?

**101** Quando uma pequena moeda de 2,0 g é colocada a uma distância de 5,0 cm do centro de um prato giratório horizontal que executa três rotações completas em 3,14 s, a moeda não escorrega. Determine (a) a velocidade escalar da moeda, (b) o módulo e (c) o sentido (radialmente para dentro ou para fora) da aceleração da moeda e (d) o módulo e (e) o sentido (para dentro ou para fora) da força de atrito sobre a moeda. A moeda fica na iminência de escorregar quando é colocada a uma distância de 10 cm do centro. (f) Qual é o coeficiente de atrito estático entre a moeda e o prato giratório?

**102** Uma criança coloca uma cesta de piquenique na borda de um carrossel com 4,6 m de raio que dá uma volta completa a cada 30 s. (a) Qual é a velocidade de um ponto da borda? (b) Qual é o menor valor do coeficiente de atrito estático entre a cesta e o carrossel para que a cesta não saia do lugar?

**103** Uma caixa de 1,5 kg está em repouso sobre uma superfície quando, em  $t = 0$ , uma força horizontal  $\vec{F} = (1,8t)\hat{i} \text{ N}$  (com  $t$  em segundos) é aplicada à caixa. A aceleração da caixa em função do tempo  $t$  é dada por  $\vec{a} = 0$  para  $0 \leq t \leq 2,8 \text{ s}$  e  $\vec{a} = (1,2t - 2,4)\hat{i} \text{ m/s}^2$  para  $t > 2,8 \text{ s}$ . (a) Qual é o coeficiente de atrito estático entre a caixa e a superfície? (b) Qual é o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície?

**104** Um baú com 220 N de peso repousa sobre o piso. O coeficiente de atrito estático entre o baú e o piso é de 0,41 e o coeficiente de atrito cinético é de 0,32. (a) Qual é o módulo da menor força horizontal com a qual uma pessoa deve empurrar o baú para colocá-lo em movimento? (b) Depois que o baú está em movimento, qual o módulo da força horizontal que uma pessoa deve aplicar para mantê-lo em movimento com velocidade constante? (c) Se a pessoa continuar a empurrá-lo com a força usada para iniciar o movimento, qual será o módulo da aceleração do baú?

**105** Um operário aplica uma força constante de módulo 85 N a uma caixa de 40 kg que está inicialmente em repouso sobre o piso horizontal de um armazém. Após a caixa ter percorrido uma distância de 1,4 m, sua velocidade é de 1,0 m/s. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e o piso?

**106** Imagine que o quilograma-padrão seja colocado no equador terrestre, onde se move em uma circunferência de raio 6,40 ×

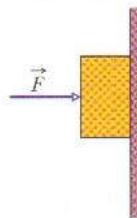


FIG. 6-63 Problema 100.

$10^6$  m (raio da Terra) com uma velocidade escalar constante de 465 m/s devido à rotação da Terra. (a) Qual é o módulo da força centrípeta que age sobre o quilograma-padrão durante a rotação? Imagine que o quilograma-padrão está pendurado em uma balança de mola nesse local e que ele pesaria exatamente 9,80 N se a Terra não girasse. (b) Qual é a leitura da balança de mola, ou seja, qual é o módulo da força exercida pelo quilograma-padrão sobre a balança de mola?

**107** Quando um bloco de 40 N desliza para baixo em um plano inclinado de  $25^\circ$  com a horizontal, sua aceleração é de  $0,80 \text{ m/s}^2$ , dirigida para cima ao longo do plano. Qual é o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano?

**108** Bagagens são transportadas de um local a outro de um aeroporto por uma esteira. Em um certo local a esteira tem uma inclinação de  $2,5^\circ$  com a horizontal. Suponha que para ângulo tão pequeno as malas não escorreguem. Determine o módulo da força de atrito exercida pela esteira sobre uma caixa de 69 N de peso quando a caixa está na parte inclinada da esteira e a velo-

cidade da esteira é (a) nula e constante, (b)  $0,65 \text{ m/s}$  e constante, (c)  $0,65$  e aumentando a uma taxa de  $0,20 \text{ m/s}^2$ , (d)  $0,65 \text{ m/s}$  e diminuindo a uma taxa de  $0,20 \text{ m/s}^2$  e (e)  $0,65 \text{ m/s}$  e aumentando a uma taxa de  $0,57 \text{ m/s}^2$ . (f) Para quais dessas cinco situações a força de atrito é dirigida para baixo ao longo da rampa?

**109** Na Fig. 6-64 um bloco de 5,0 kg é lançado para cima ao longo de um plano inclinado de ângulo  $\theta = 37^\circ$ , enquanto uma força horizontal  $\vec{F}$  de módulo 50 N atua sobre ele. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano é de 0,30. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido (para cima ou para baixo no plano) da aceleração do bloco? A velocidade inicial do bloco é de  $4,0 \text{ m/s}$ . (c) Que distância o bloco sobe no plano? (d) Quando o bloco atinge o ponto mais alto, ele permanece em repouso ou escorrega de volta?

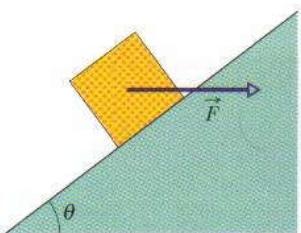
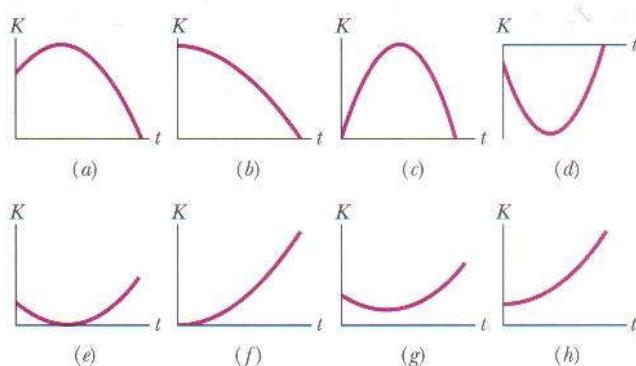


FIG. 6-64 Problema 109.

**9** Uma mola *A* é mais rígida que uma mola *B* ( $k_A > k_B$ ). A força elástica de que mola realiza mais trabalho se as molas são comprimidas (a) de uma mesma distância e (b) por uma mesma força?

**10** Uma gota de um líquido viscoso é arremessada ou deixada cair a partir do repouso da borda de um precipício. Qual dos gráficos na Fig. 7-23 poderia mostrar como a energia cinética da gota varia durante a queda?

FIG. 7-23 Pergunta 10.



## PROBLEMAS

• - •• O número de pontos indica o grau de dificuldade do problema



Informações adicionais disponíveis em *O Circo Voador da Física*, de Jearl Walker, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

### seção 7-3 Energia Cinética

**•1** Em 10 de agosto de 1972 um grande meteorito atravessou a atmosfera sobre o oeste dos Estados Unidos e do Canadá como uma pedra que ricocheteia na água. A bola de fogo resultante foi tão forte que pôde ser vista à luz do dia, e era mais intensa que o rastro deixado por um meteorito comum. A massa do meteorito era aproximadamente de  $4 \times 10^6$  kg; sua velocidade, cerca de 15 km/s. Se tivesse entrado verticalmente na atmosfera terrestre ele teria atingido a superfície da Terra com aproximadamente a mesma velocidade. (a) Calcule a perda de energia cinética do meteorito (em joules) que estaria associada ao impacto vertical. (b) Expressse a energia como um múltiplo da energia explosiva de 1 megaton de TNT, que é  $4,2 \times 10^{15}$  J. (c) A energia associada à explosão da bomba atômica de Hiroshima foi equivalente a 13 quilotons de TNT. A quantas bombas de Hiroshima o impacto do meteorito seria equivalente?

**•2** Se um foguete Saturno V e uma espaçonave Apollo acoplada a ele tinham uma massa total de  $2,9 \times 10^5$  kg, qual era a energia cinética quando atingiram uma velocidade de 11,2 km/s?

**•3** Um próton (massa  $m = 1,67 \times 10^{-27}$  kg) está sendo acelerado em linha reta a  $3,6 \times 10^{15}$  m/s<sup>2</sup> em um acelerador de partículas. Se o próton tem uma velocidade inicial de  $2,4 \times 10^7$  m/s e se desloca 3,5 cm, determine (a) sua velocidade e (b) o aumento em sua energia cinética.

**•4** Uma força  $\vec{F}_a$  é aplicada a uma conta quando esta se move em linha reta, sofrendo um deslocamento de 5,0 cm. O módulo de  $\vec{F}_a$  é mantido constante, mas o ângulo  $\phi$  entre  $\vec{F}_a$  e o deslocamento da conta pode ser escolhido. A Fig. 7-24 mostra o trabalho  $W$  realizado por  $\vec{F}_a$  sobre a conta para valores de  $\phi$  dentro de um certo intervalo;  $W_0 = 25$  J. Qual é o trabalho realizado por  $\vec{F}_a$  se  $\phi$  é igual a (a)  $64^\circ$  e (b)  $147^\circ$ ?

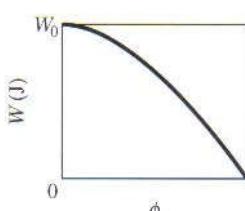


FIG. 7-24 Problema 4.

**••5** Em uma corrida, um pai tem metade da energia cinética do filho, que tem metade da massa do pai. Aumentando sua velocidade em 1,0 m/s, o pai passa a ter a mesma energia cinética do filho. Quais são as velocidades escalares iniciais (a) do pai e (b) do filho?

**••6** Uma conta com uma massa de  $1,8 \times 10^{-2}$  kg está se movendo no sentido positivo do eixo *x*. A partir do instante *t* = 0, em que a conta está passando pela posição *x* = 0 com uma velocidade de 12 m/s, uma força constante passa a agir sobre a conta. A Fig. 7-25 indica a posição da conta nos instantes  $t_0 = 0$ ,  $t_1 = 1,0$ ,  $t_2 = 2,0$  e  $t_3 = 3,0$  s. A conta pára momentaneamente em *t* = 3,0 s. Qual é a energia cinética da conta em *t* = 10 s?

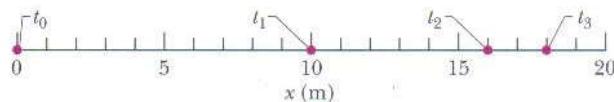


FIG. 7-25 Problema 6.

### seção 7-5 Trabalho e Energia Cinética

**•7** A única força que age sobre uma lata de 2,0 kg que está se movendo em um plano *xy* tem um módulo de 5,0 N. Inicialmente, a lata tem uma velocidade de 4,0 m/s no sentido positivo do eixo *x*; em um instante posterior, a velocidade passa a ser 6,0 m/s no sentido positivo do eixo *y*. Qual é o trabalho realizado sobre a lata pela força de 5,0 N nesse intervalo de tempo?

**•8** Uma moeda desliza sobre um plano sem atrito em um sistema de coordenadas *xy*, da origem até o ponto de coordenadas (3,0 m; 4,0 m), sob o efeito de uma força constante. A força tem um módulo de 2,0 N e faz um ângulo de  $100^\circ$  no sentido anti-horário com o semi-eixo *x* positivo. Qual é o trabalho realizado pela força sobre a moeda durante esse deslocamento?

**•9** Um corpo de 3,0 kg está em repouso sobre um colchão de ar horizontal de atrito desprezível quando uma força horizontal  $\vec{F}$  no sentido positivo de um eixo *x* ao longo do colchão é aplicada ao corpo. A Fig. 7-26 mostra um gráfico estroboscópico da posição do corpo quando ele se move para a direita. A força  $\vec{F}$  é aplicada ao corpo em *t* = 0, e o gráfico mostra a posição da partícula a intervalos de 0,50 s. Qual é o trabalho realizado sobre o corpo pela força  $\vec{F}$  no intervalo de *t* = 0 a *t* = 2,0 s?

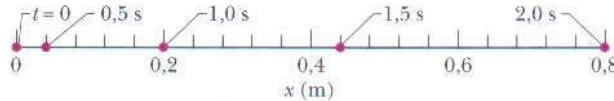


FIG. 7-26 Problema 9.

**•10** Um bloco de gelo flutuante é colhido por uma correnteza que aplica ao bloco uma força  $\vec{F} = (210 \text{ m})\hat{i} - (150 \text{ m})\hat{j}$ , fazendo com que ele sofra um deslocamento  $\vec{d} = (15 \text{ m})\hat{i} - (12 \text{ m})\hat{j}$ . Qual é o trabalho realizado pela força sobre o bloco durante esse deslocamento?

**•11** Um trenó e seu ocupante, com uma massa total de 85 kg, descem uma encosta e atingem um trecho horizontal retílineo com uma velocidade inicial de 37 m/s. Se uma força desacelera o trenó até o repouso a uma taxa constante de  $2,0 \text{ m/s}^2$ , (a) qual é o módulo  $F$  da força, (b) que distância  $d$  o trenó percorre até parar e (c) que trabalho  $W$  é realizado pela força sobre o trenó? Quais são os valores de (d)  $F$ , (e)  $d$  e (f)  $W$  se a taxa de desaceleração é de  $4,0 \text{ m/s}^2$ ?

**•12** Um objeto de 8,0 kg está se movendo no sentido positivo de um eixo  $x$ . Quando passa por  $x = 0$ , uma força constante dirigida ao longo do eixo passa a atuar sobre ele. A Fig. 7-27 mostra a energia cinética  $K$  em função da posição  $x$  quando o objeto se desloca de  $x = 0$  a  $x = 5,0 \text{ m}$ ;  $K_0 = 30,0 \text{ J}$ . A força continua a agir. Qual é a velocidade do objeto quando ele passa de volta por  $x = -3,0 \text{ m}$ ?

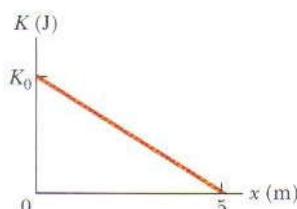


FIG. 7-27 Problema 12.

**•13** A Fig. 7-28 mostra três forças aplicadas a um baú que se desloca 3,00 m para a esquerda sobre um piso sem atrito. Os módulos das forças são  $F_1 = 5,00 \text{ N}$ ,  $F_2 = 9,00 \text{ N}$ , e  $F_3 = 3,00 \text{ N}$ ; o ângulo indicado é  $\theta = 60^\circ$ . Nesse deslocamento, (a) qual é o trabalho total realizado sobre o baú pelas três forças e (b) a energia cinética do baú aumenta ou diminui?

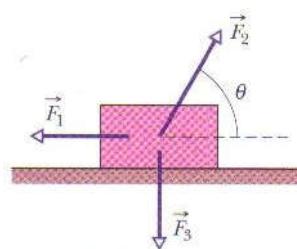


FIG. 7-28 Problema 13.

**•14** Uma lata de parafusos e porcas é empurrada por 2,00 m ao longo de um eixo  $x$  por uma vassoura ao longo de um piso sujo de óleo (sem atrito) de uma oficina de automóveis. A Fig. 7-29 mostra o trabalho  $W$  realizado sobre a lata pela força horizontal constante da vassoura em função da posição  $x$  da lata. A escala vertical do gráfico é definida por  $W_s = 6,0 \text{ J}$ . (a) Qual é o módulo da força? (b) Se a lata tivesse uma energia cinética inicial de 3,00 J, movendo-se no sentido positivo do eixo  $x$ , qual seria a energia cinética ao final do deslocamento de 2,00 m?

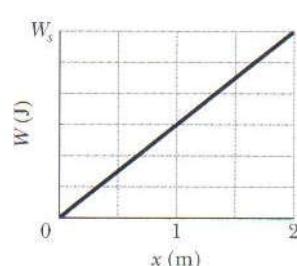


FIG. 7-29 Problema 14.

**•15** Uma força de 12,0 N e orientação fixa realiza trabalho sobre uma partícula que sofre um deslocamento  $\vec{d} = (2,00\hat{i} - 4,00\hat{j} + 3,00\hat{k}) \text{ m}$ . Qual é o ângulo entre a força e o deslocamento se a variação da energia cinética da partícula é (a)  $+30,0 \text{ J}$  e (b)  $-30,0 \text{ J}$ ?

**•16** A Fig. 7-30 mostra uma vista superior de três forças horizontais atuando sobre uma caixa que estava inicialmente em repouso e passou a se mover sobre um piso sem atrito. Os módulos

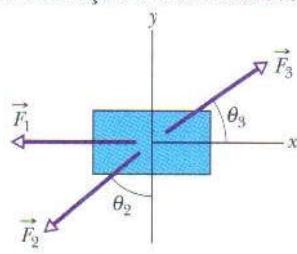


FIG. 7-30 Problema 16.

das forças são  $F_1 = 3,00 \text{ N}$ ,  $F_2 = 4,00 \text{ N}$  e  $F_3 = 10,0 \text{ N}$ , e os ângulos indicados são  $\theta_2 = 50,0^\circ$  e  $\theta_3 = 35,0^\circ$ . Qual é o trabalho total realizado sobre a caixa pelas três forças nos primeiros 4,00 m de deslocamento?

### seção 7-6 Trabalho Realizado pela Força Gravitacional

**•17** Um helicóptero levanta verticalmente uma astronauta de 72 kg 15 m acima da superfície do oceano, por meio de um cabo. A aceleração da astronauta é  $g/10$ . Qual é o trabalho realizado sobre a astronauta (a) pela força do helicóptero e (b) pela força gravitacional? Imediatamente antes de a astronauta chegar ao helicóptero, quais são (c) sua energia cinética e (d) sua velocidade?

**•18** (a) Em 1975, o teto do velódromo de Montreal, com um peso de 360 kN, foi levantado 10 cm para que pudesse ser centralizado. Que trabalho foi realizado sobre o teto pelas forças que o ergueram? (b) Em 1960, uma mulher de Tampa, na Flórida, levantou uma das extremidades de um carro que havia caído sobre seu filho quando um macaco quebrou. Se a aflição a levou a levantar 4000 N (cerca de 1/4 do peso do carro) por uma distância de 5,0 cm, que trabalho sua força realizou sobre o carro? ~~■~~

**•19** Uma corda é usada para baixar verticalmente um bloco de massa  $M$ , inicialmente em repouso, com uma aceleração constante para baixo de  $g/4$ . Após o bloco descer uma distância  $d$ , determine (a) o trabalho realizado pela força da corda sobre o bloco, (b) o trabalho realizado pela força gravitacional sobre o bloco, (c) a energia cinética do bloco, (d) a velocidade do bloco.

**•20** Na Fig. 7-31, uma força horizontal  $\vec{F}_a$  de módulo 20,0 N é aplicada a um livro de psicologia de 3,00 kg enquanto o livro escorrega por uma distância  $d = 0,500 \text{ m}$  ao longo de uma rampa de inclinação  $\theta = 30,0^\circ$ , subindo sem atrito. (a) Nesse deslocamento, qual é o trabalho total realizado sobre o livro por  $\vec{F}_a$ , pela força gravitacional e pela força normal? (b) Se o livro tem energia cinética nula no início do deslocamento, qual é sua energia cinética no final?

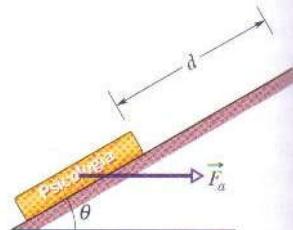


FIG. 7-31 Problema 20.

**•21** Na Fig. 7-32, uma força constante  $\vec{F}_a$  de módulo 82,0 N é aplicada a uma caixa de sapatos de 3,00 kg a um ângulo  $\phi = 53,0^\circ$ , fazendo com que a caixa se move para cima ao longo de uma rampa sem atrito com velocidade constante. Qual é o trabalho realizado sobre a caixa por  $\vec{F}_a$  após ela ter subido uma distância vertical  $h = 0,150 \text{ m}$ ?

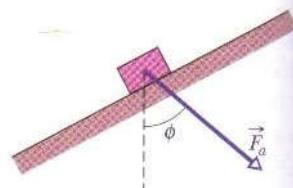


FIG. 7-32 Problema 21.

**•22** Um bloco é lançado para cima em uma rampa sem atrito, ao longo de um eixo  $x$  que aponta para cima. A Fig. 7-33 mostra a energia cinética do bloco em função da posição  $x$ ; a escala vertical do gráfico é definida por  $K_s = 40,0 \text{ J}$ . Se a velocidade inicial do bloco é de 4,00 m/s, qual é a força normal que age sobre o bloco?

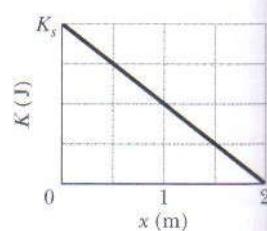


FIG. 7-33 Problema 22.

- 23** Na Fig. 7-34 um bloco de gelo escorrega para baixo em uma rampa sem atrito com  $\theta = 50^\circ$  enquanto um operário puxa o bloco (através de uma corda) com uma força  $\vec{F}_r$  que tem um módulo de 50 N e aponta para cima ao longo da rampa. Quando o bloco desliza uma distância  $d = 0,50$  m ao longo da rampa, sua energia cinética aumenta 80 J. Quão maior seria a energia cinética se o bloco não estivesse sendo puxado por uma corda?

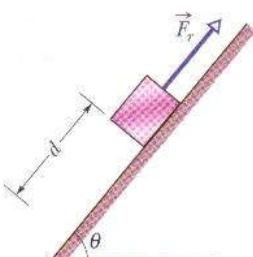


FIG. 7-34 Problema 23.

- 24** Uma equipe especializada em resgate em cavernas levanta um espeleólogo ferido com o auxílio de um cabo ligado a um motor. O levantamento é realizado em três estágios, cada um requerendo uma distância vertical de 10,0 m: (a) o espeleólogo está inicialmente em repouso e é acelerado até uma velocidade de 5,00 m/s; (b) ele é levantado com velocidade constante de 5,00 m/s; (c) finalmente, é desacelerado até o repouso. Qual é o trabalho realizado sobre o espeleólogo de 80,0 kg pela força que o levanta em cada estágio?

- 25** Na Fig. 7-35, um bloco de queijo de 0,250 kg está sobre o piso de um elevador de 900 kg que está sendo puxado para cima por um cabo, primeiro por uma distância  $d_1 = 2,40$  m e depois por uma distância  $d_2 = 10,5$  m. (a) No deslocamento  $d_1$ , se a força normal exercida sobre o bloco pelo piso do elevador tem um módulo constante  $F_N = 3,00$  N, qual é o trabalho realizado pela força do cabo sobre o elevador? (b) No deslocamento  $d_2$ , se o trabalho realizado sobre o elevador pela força (constante) do cabo é 92,61 kJ, qual é o módulo de  $\vec{F}_N$ ?



FIG. 7-35 Problema 25.

### seção 7-7 Trabalho Realizado por uma Força Elástica

- 26** Durante o semestre de primavera do MIT, os estudantes de dois dormitórios vizinhos travam batalhas com grandes catapultas feitas com meias elásticas montadas nas molduras das janelas. Uma bola de aniversário cheia de corante é colocada em uma bolsa presa na meia, que é esticada até a extremidade do quarto. Suponha que a meia esticada obedeça à lei de Hooke com uma constante elástica de 100 N/m. Se a meia é esticada 5,00 m e liberada, que trabalho a força elástica da meia realiza sobre a bola quando a meia volta ao comprimento normal?

- 27** Uma mola e um bloco são montados como na Fig. 7-11. Quando o bloco é puxado para o ponto  $x = +4,0$  cm devemos aplicar uma força de 360 N para mantê-lo nessa posição. Puxamos o bloco para o ponto  $x = 11$  cm e o liberamos. Qual é o trabalho realizado pela mola sobre o bloco quando este se desloca de  $x_i = +5,0$  cm para (a)  $x = +3,0$  cm, (b)  $x = -3,0$  cm, (c)  $x = -5,0$  cm e (d)  $x = -9,0$  cm?

- 28** Na Fig. 7-11 devemos aplicar uma força de módulo 80 N para manter o bloco em repouso em  $x = -2,0$  cm. A partir dessa posição, deslocamos o bloco lentamente de tal modo que nossa força realiza um trabalho de +4,0 J sobre o sistema massa-mola; a partir daí, o bloco permanece em repouso. Qual é a posição do bloco? (Sugestão: Existem duas respostas possíveis.)

- 29** A única força que age sobre um corpo de 2,0 kg enquanto ele se move no semi-eixo positivo de um eixo  $x$  tem uma componente  $F_x = -6x$  N, com  $x$  em metros. A velocidade do corpo em  $x = 3,0$  m é 8,0 m/s. (a) Qual é a velocidade do corpo em  $x = 4,0$  m? (b) Para que valor positivo de  $x$  o corpo tem uma velocidade de 5,0 m/s?

- 30** A Fig. 7-36 mostra a força elástica  $F_x$  em função da posição  $x$  para o sistema massa-mola da Fig. 7-11. A escala vertical do gráfico é definida por  $F_s = 160,0$  N. Puxamos o bloco até  $x = 12$  cm e o liberamos. Qual é o trabalho realizado pela mola sobre o bloco enquanto se desloca de  $x_i = +8,0$  cm para (a)  $x = +5,0$  cm, (b)  $x = -5,0$  cm, (c)  $x = -8,0$  cm e (d)  $x = -10,0$  cm?

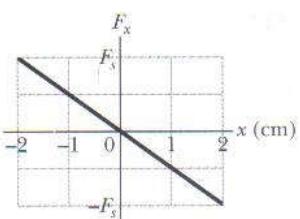


FIG. 7-36 Problema 30.

- 31** No arranjo da Fig. 7-11, puxamos gradualmente o bloco de  $x = 0$  até  $x = +3,0$  cm, onde fica em repouso. A Fig. 7-37 mostra o trabalho que nossa força realiza sobre o bloco. A escala vertical do gráfico é definida por  $W_s = 1,0$  J. Em seguida, puxamos o bloco até  $x = +5,0$  cm e o liberamos a partir do repouso. Qual é o trabalho realizado pela mola sobre o bloco quando este se desloca de  $x_i = +5,0$  cm até (a)  $x = +4,0$  cm, (b)  $x = -2,0$  cm e (c)  $x = -5,0$  cm?

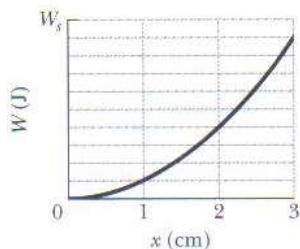


FIG. 7-37 Problema 31.

- 32** Na Fig. 7-11a, um bloco de massa  $m$  repousa em uma superfície horizontal sem atrito e está preso a uma mola horizontal (de constante elástica  $k$ ) cuja outra extremidade é mantida fixa. O bloco está em repouso na posição onde a mola está relaxada ( $x = 0$ ) quando uma força  $\vec{F}$  no sentido positivo do eixo  $x$  é aplicada. A Fig. 7-38 mostra o gráfico da energia cinética do bloco em função da posição  $x$  após a aplicação da força. A escala vertical do gráfico é definida por  $K_s = 4,0$  J. (a) Qual é o módulo de  $\vec{F}$ ? (b) Qual é o valor de  $k$ ?

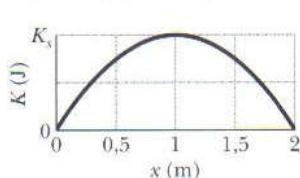


FIG. 7-38 Problema 32.

- 33** O bloco na Fig. 7-11a está sobre uma superfície horizontal sem atrito, e a constante elástica é 50 N/m. Inicialmente a mola está relaxada e o bloco está parado no ponto  $x = 0$ . Uma força com módulo constante de 3,0 N é aplicada ao bloco, puxando-o no sentido positivo do eixo  $x$  e alongando a mola até o bloco parar. Quando este ponto é atingido, quais são (a) a posição do bloco, (b) o trabalho realizado sobre o bloco pela força aplicada e (c) o trabalho realizado sobre o bloco pela força elástica? Durante o deslocamento do bloco, quais são (d) a posição do bloco na qual a energia cinética é máxima e (e) o valor desta energia cinética máxima?

### seção 7-8 Trabalho Realizado por uma Força Variável Genérica

- 34** Um bloco de 5,0 kg se move em uma linha reta sobre uma superfície horizontal sem atrito sob a influência de uma força que varia com a posição, como mostra a Fig. 7-39. A escala vertical do gráfico é definida por  $F_s = 10,0$  J. Qual é o trabalho realizado pela força enquanto o bloco se desloca da origem até  $x = 8,0$  cm?

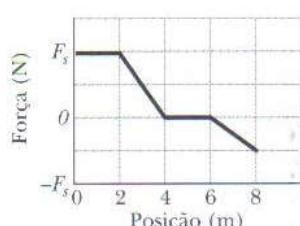


FIG. 7-39 Problema 34.

- 35** A força a que uma partícula está submetida aponta ao longo de um eixo  $x$  e é dada por  $F = F_0(x/x_0 - 1)$ . Determine o

trabalho realizado pela força ao mover a partícula de  $x = 0$  a  $x = 2x_0$  (a) a partir do gráfico de  $F(x)$  e (b) integrando  $F(x)$ .

- 36** Um tijolo de 10 kg se move ao longo de um eixo  $x$ . A Fig. 7-37 mostra a aceleração do bloco em função da posição. A escala vertical do gráfico é definida por  $a_s = 20,0 \text{ m/s}^2$ . Qual é o trabalho total realizado sobre o tijolo pela força responsável pela aceleração quando o bloco se desloca de  $x = 0$  a  $x = 8,0 \text{ m}$ ?

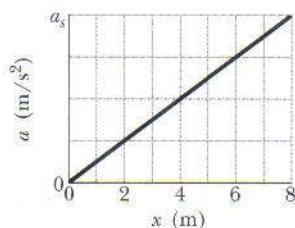


FIG. 7-40 Problema 36.

- 37** Uma única força atua sobre um objeto de 3,0 kg que se comporta como uma partícula, de tal forma que a posição do objeto em função do tempo é dada por  $x = 3,0t - 4,0t^2 + 1,0t^3$ , com  $x$  em metros e  $t$  em segundos. Determine o trabalho realizado pela força sobre o objeto de  $t = 0$  a  $t = 4,0 \text{ s}$ .

- 38** Uma lata de sardinha é deslocada ao longo de um eixo  $x$ , de  $x = 0,25 \text{ m}$  até  $x = 1,25 \text{ m}$ , por uma força cujo módulo é dado por  $F = e^{-4x^2}$ , com  $x$  em metros e  $F$  em newtons. Qual é o trabalho realizado pela força sobre a lata?

- 39** A Fig. 7-41 mostra a aceleração de uma partícula de 2,00 kg sob a ação de uma força  $F_a$  que desloca a partícula ao longo de um eixo  $x$ , a partir do repouso, de  $x = 0$  a  $x = 9,0 \text{ m}$ . A escala vertical do gráfico é definida por  $a_s = 6,0 \text{ m/s}^2$ . Qual é o trabalho realizado pela força sobre a partícula até a partícula atingir o ponto (a)  $x = 4,0 \text{ m}$ , (b)  $x = 7,0 \text{ m}$  e (c)  $x = 9,0 \text{ m}$ ? Quais são o módulo e o sentido da velocidade da partícula quando ela atinge o ponto (d)  $x = 4,0 \text{ m}$ , (b)  $x = 7,0 \text{ m}$  e (e)  $x = 9,0 \text{ m}$ ?

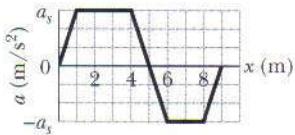


FIG. 7-41 Problema 39.

- 40** Um bloco de 1,5 kg está em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito quando uma força ao longo de um eixo  $x$  é aplicada ao bloco. A força é dada por  $\vec{F}(x) = (2,5 - x^2)\hat{i} \text{ N}$ , onde  $x$  está em metros e a posição inicial do bloco é  $x = 0$ . (a) Qual é a energia cinética do bloco ao passar pelo ponto  $x = 2,0 \text{ m}$ ? (b) Qual é a energia cinética máxima do bloco entre  $x = 0$  e  $x = 2,0 \text{ m}$ ?

- 41** Uma força  $\vec{F} = (cx - 3,00x^2)\hat{i}$  age sobre uma partícula enquanto a partícula se desloca ao longo de um eixo  $x$ , com  $\vec{F}$  em newtons,  $x$  em metros e  $c$  uma constante. Em  $x = 0$ , a energia cinética da partícula é 20,0 J; em  $x = 3,00 \text{ m}$ , é 11,0 J. Determine o valor de  $c$ .

- 42** A Fig. 7-42 mostra uma corda presa a um carrinho que pode deslizar sobre um trilho horizontal sem atrito ao longo de um eixo  $x$ . A extremidade esquerda da corda é puxada através de uma polia de massa e atrito desprezíveis a uma altura  $h = 1,20 \text{ m}$  em relação ao ponto onde está presa no carrinho, fazendo o carrinho deslizar de  $x_1 = 3,00 \text{ m}$  até  $x_2 = 1,00 \text{ m}$ . Durante o deslocamento, a tensão da corda se mantém constante e igual a 25,0 N. Qual é a variação da energia cinética do carrinho durante o deslocamento?

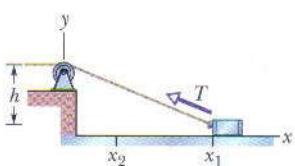


FIG. 7-42 Problema 42.

### seção 7-9 Potência

- 43** Um bloco de 100 kg é puxado com velocidade constante de 5,0 m/s através de um piso horizontal por uma força de 122 N

que faz um ângulo de  $37^\circ$  acima da horizontal. Qual é a taxa com a qual a força realiza trabalho sobre o bloco?

- 44** Um elevador carregado tem uma massa de  $3,0 \times 10^3 \text{ kg}$  e sobe 210 m em 23 s, com velocidade constante. Qual é a taxa média com a qual a força do cabo do elevador realiza trabalho sobre o elevador?

- 45** Uma força de 5,0 N age sobre um corpo de 15 kg inicialmente em repouso. Calcule o trabalho realizado pela força (a) no primeiro, (b) no segundo e (c) no terceiro segundo, assim como (d) a potência instantânea da força no fim do terceiro segundo.

- 46** Um esquiador é puxado por uma corda para o alto de uma encosta que faz um ângulo de  $12^\circ$  com a horizontal. A corda se move paralelamente à encosta com uma velocidade constante de 1,0 m/s. A força da corda realiza 900 J de trabalho sobre o esquiador quando este percorre uma distância de 8,0 m encosta acima. (a) Se a velocidade constante da corda tivesse sido 2,0 m/s, que trabalho a força da corda teria realizado sobre o esquiador para o mesmo deslocamento? A que taxa a força da corda realiza trabalho sobre o esquiador quando a corda se desloca com uma velocidade de (b) 1,0 m/s e (c) 2,0 m/s?

- 47** Um elevador de carga totalmente carregado tem uma massa total de 1200 kg, que deve içar 54 m em 3,0 min, iniciando e terminando a subida em repouso. O contrapeso do elevador tem uma massa de apenas 950 kg e, portanto, o motor do elevador deve ajudar. Que potência média é exigida da força que o motor exerce sobre o elevador através do cabo?

- 48** (a) Em um certo instante, um objeto que se comporta como uma partícula sofre a ação de uma força  $\vec{F} = (4,0 \text{ N})\hat{i} - (2,0 \text{ N})\hat{j} + (9,0 \text{ N})\hat{k}$  quando sua velocidade é  $\vec{v} = -(2,0 \text{ m/s})\hat{i} + (4,0 \text{ m/s})\hat{k}$ . Qual é a taxa instantânea com a qual a força realiza trabalho sobre o objeto? (b) Em outro instante, a velocidade tem apenas a componente  $y$ . Se a força não muda e a potência instantânea é  $-12 \text{ W}$ , qual é a velocidade do objeto nesse instante?

- 49** Uma máquina transporta um pacote de 4,0 kg de uma posição inicial  $\vec{d}_i = (0,50 \text{ m})\hat{i} + (0,75 \text{ m})\hat{j} + (0,20 \text{ m})\hat{k}$  em  $t = 0$  até uma posição final  $\vec{d}_f = (7,50 \text{ m})\hat{i} + (12,0 \text{ m})\hat{j} + (7,20 \text{ m})\hat{k}$  em  $t = 12 \text{ s}$ . A força constante aplicada pela máquina ao pacote é  $\vec{F} = (2,00 \text{ N})\hat{i} + (4,00 \text{ N})\hat{j} + (6,00 \text{ N})\hat{k}$ . Para esse deslocamento, determine (a) o trabalho realizado pela força da máquina sobre o pacote e (b) a potência média dessa força.

- 50** Uma concha de 0,30 kg escorrega sobre uma superfície horizontal sem atrito presa a uma das extremidades de uma mola horizontal ( $k = 500 \text{ N/m}$ ) cuja outra extremidade é mantida fixa. A concha possui uma energia cinética de 10 J ao passar pela posição de equilíbrio (o ponto em que a força elástica da mola é zero). (a) Com que taxa a mola está realizando trabalho sobre a concha quando esta passa pela posição de equilíbrio? (b) Com que taxa a mola está realizando trabalho sobre a concha quando a mola está comprimida de 0,10 m e a concha está se afastando da posição de equilíbrio?

- 51** Uma força  $\vec{F} = (3,00 \text{ N})\hat{i} + (7,00 \text{ N})\hat{j} + (7,00 \text{ N})\hat{k}$  age sobre um objeto de 2,00 kg que se move de uma posição inicial  $\vec{d}_i = (3,00 \text{ m})\hat{i} - (2,00 \text{ m})\hat{j} + (5,00 \text{ m})\hat{k}$  para uma posição final  $\vec{d}_f = -(5,00 \text{ m})\hat{i} + (4,00 \text{ m})\hat{j} + (7,00 \text{ m})\hat{k}$  em 4,00 s. Determine (a) o trabalho realizado pela força sobre o objeto no intervalo de 4,00 s, (b) a potência média desenvolvida pela força nesse intervalo e (c) o ângulo entre os vetores  $\vec{d}_i$  e  $\vec{d}_f$ .

**3.** (a) todos iguais; (b) 1 e 2 (o foguete é disparado para cima), 3 e 4 (o foguete é disparado para baixo!) **5.** diminui **7.** (a) todas iguais; (b) todas iguais; (c) 3, 2, 1; (d) 3, 2, 1 **9.** (a) 0; (b) 350 km/h; (c) 350 km/h; (d) igual (a componente vertical do movimento seria a mesma) **11.** (a)  $90^\circ$  e  $270^\circ$ ; (b)  $0^\circ$  e  $180^\circ$ ; (c)  $90^\circ$  e  $270^\circ$  **13.** 2, 1 e 4, 3 **PR** **1.**  $(-2,0 \text{ m})\hat{i} + (6,0 \text{ m})\hat{j} - (10 \text{ m})\hat{k}$  **3.** (a) 6,2 m **5.**  $(-0,70 \text{ m/s})\hat{i} + (1,4 \text{ m/s})\hat{j} - (0,40 \text{ m/s})\hat{k}$  **7.** (a) 7,59 km/h; (b)  $22,5^\circ$  a leste do norte **9.** (a) 0,83 cm/s; (b)  $0^\circ$ ; (c) 0,11 m/s; (d)  $-63^\circ$  **11.** (a)  $(8 \text{ m/s}^2)\hat{r}\hat{j} + (1 \text{ m/s})\hat{k}$ ; (b)  $(8 \text{ m/s}^2)\hat{j}$  **13.** (a)  $(6,00 \text{ m})\hat{i} - (106 \text{ m})\hat{j}$ ; (b)  $(19,0 \text{ m/s})\hat{i} - (224 \text{ m/s})\hat{j}$ ; (c)  $(24,0 \text{ m/s}^2)\hat{i} - (336 \text{ m/s}^2)\hat{j}$ ; (d)  $-85,2^\circ$  **15.**  $(32 \text{ m/s})\hat{i}$  **17.** (a)  $(-1,50 \text{ m/s})\hat{j}$ ; (b)  $(4,50 \text{ m})\hat{i} - (2,25 \text{ m})\hat{j}$  **19.** (a)  $(72,0 \text{ m})\hat{i} + (90,7 \text{ m})\hat{j}$ ; (b)  $49,5^\circ$  **21.** (a) 3,03 s; (b) 758 m; (c) 29,7 m/s **23.** 43,1 m/s (155 km/h) **25.** (a) 18 cm; (b) 1,9 m **27.** (a) 10,0 s; (b) 897 m **29.** (a) 1,60 m; (b) 6,86 m; (c) 2,86 m **31.** (a) 202 m/s; (b) 806 m; (c) 161 m/s; (d)  $-171 \text{ m/s}$  **33.** 3,35 m **35.** 78,5° **37.** (a) 11 m; (b) 23 m; (c) 17 m/s; (d)  $63^\circ$  **39.** 4,84 cm **41.** (a) 32,3 m; (b) 21,9 m/s; (c)  $40,4^\circ$  **43.** (a) na rampa; (b) 5,82 m; (c)  $31,0^\circ$  **45.** 64,8° **47.** (a) sim; (b) 2,56 m **49.** (a)  $2,3^\circ$ ; (b) 1,4 m; (c)  $18^\circ$  **51.** (a)  $31^\circ$ ; (b)  $63^\circ$  **53.** no terceiro **55.** (a) 75,0 m; (b) 31,9 m/s; (c) 66,9°; (d) 25,5 m **57.** (a) 12 s; (b) 4,1 m/s<sup>2</sup>; (c) para baixo; (d) 4,1 m/s<sup>2</sup>; (e) para cima **59.** (a)  $1,3 \times 10^5 \text{ m/s}$ ; (b)  $7,9 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ ; (c) aumentam **61.** (a) 7,32 m; (b) para oeste; (c) para o norte **63.**  $(3,00 \text{ m/s}^2)\hat{i} + (6,00 \text{ m/s}^2)\hat{j}$  **65.** 2,92 m **67.** 160 m/s<sup>2</sup> **69.** (a) 13 m/s<sup>2</sup>; (b) para leste; (c) 13 m/s<sup>2</sup>; (d) para leste **71.** 1,67 **73.** (a) 38 nós; (b)  $1,5^\circ$  a leste do norte; (c) 4,2 h; (d)  $1,5^\circ$  a oeste do sul **75.** 60° **77.** 32 m/s **79.** (a)  $(80 \text{ km/h})\hat{i} - (60 \text{ km/h})\hat{j}$ ; (b)  $0^\circ$ ; (c) não **81.** (a)  $(-32 \text{ km/h})\hat{i} - (46 \text{ km/h})\hat{j}$ ; (b)  $[(2,5 \text{ km}) - (32 \text{ km/h})r]\hat{i} + [(4,0 \text{ km}) - (46 \text{ km/h})r]\hat{j}$ ; (c) 0,084 h; (d)  $2 \times 10^2 \text{ m}$  **83.** (a) 2,7 km; (b)  $76^\circ$  no sentido horário **85.** 2,64 m **87.** (a) 2,5 m; (b) 0,82 m; (c) 9,8 m/s<sup>2</sup>; (d) 9,8 m/s<sup>2</sup> **89.** (a)  $-30^\circ$ ; (b) 69 min; (c) 80 min; (d) 80 min; (e)  $0^\circ$ ; (f) 60 min **91.** (a) 62 ms; (b)  $4,8 \times 10^2 \text{ m/s}$  **93.** (a)  $6,7 \times 10^6 \text{ m/s}$ ; (b)  $1,4 \times 10^{-7} \text{ s}$  **95.** (a) 4,2 m,  $45^\circ$ ; (b) 5,5 m,  $68^\circ$ ; (c) 6,0 m,  $90^\circ$ ; (d) 4,2 m,  $135^\circ$ ; (e) 0,85 m/s,  $135^\circ$ ; (f) 0,94 m/s,  $90^\circ$ ; (g) 0,94 m/s,  $180^\circ$ ; (h) 0,30 m/s<sup>2</sup>,  $180^\circ$ ; (i) 0,30 m/s<sup>2</sup>,  $270^\circ$  **97.** (a) 6,79 km/h; (b)  $6,96^\circ$  **99.** (a) 16 m/s; (b)  $23^\circ$ ; (c) acima; (d) 27 m/s; (e)  $57^\circ$ ; (f) abaixo **101.** (a) 24 m/s; (b)  $65^\circ$  **103.** (a) 1,5; (b) (36 m, 54 m) **105.** (a)  $0,034 \text{ m/s}^2$ ; (b) 84 min **107.** (a) 44 m; (b) 13 m; (c) 8,9 m **109.** (a)  $2,6 \times 10^2 \text{ m/s}$ ; (b) 45 s; (c) aumentaria **111.** (a) 45 m; (b) 22 m/s **113.** (a) 2,00 ns; (b) 2,00 mm; (c)  $1,00 \times 10^7 \text{ m/s}$ ; (d)  $2,00 \times 10^6 \text{ m/s}$  **115.** (a)  $4,6 \times 10^{12} \text{ m}$ ; (b)  $2,4 \times 10^5 \text{ s}$  **117.** 93° em relação à direção do movimento do vagão **119.** (a) 8,43 m; (b)  $-129^\circ$  **121.** (a) 63 km; (b)  $18^\circ$  ao sul do leste; (c) 0,70 km/h; (d)  $18^\circ$  ao sul do leste; (e) 1,6 km/h; (f) 1,2 km/h; (g)  $33^\circ$  ao norte do leste **123.**  $3 \times 10^1 \text{ m}$  **125.** (a) 14 m/s; (b) 14 m/s; (c)  $-10 \text{ m}$ ; (d)  $-4,9 \text{ m}$ ; (e)  $+10 \text{ m}$ ; (f)  $-4,9 \text{ m}$  **127.** 67 km/h **129.** (a)  $75^\circ$  a leste do sul; (b)  $30^\circ$  a leste do norte. Existe uma segunda solução, com o leste substituído por oeste nas duas respostas. **131.** (a) 11 m; (b) 45 m/s

## Capítulo 5

**T** **1.** c, d e e **2.** (a) e (b) 2 N, para a esquerda (a aceleração é zero nas duas situações) **3.** (a) igual; (b) maior (a aceleração é para cima e, portanto, a força resultante é para cima) **4.** (a) igual; (b) maior; (c) menor **5.** (a) aumentam; (b) sim; (c) permanecem os mesmos; (d) sim **P** **1.** aumentar **3.** (a) 2 e 4; (b) 2 e 4 **5.** (a) 2, 3, 4; (b) 1, 3, 4; (c) 1,  $+y$ ; 2,  $+x$ ; 3, quarto quadrante; 4, terceiro quadrante **7.** (a) 20 kg; (b) 18 kg; (c) 10 kg; (d) todas iguais; (e) 3,2,1 **9.** (a) aumenta a partir do valor inicial  $mg$ ; (b) diminui de  $mg$  até zero (e depois o bloco perde o contato com o piso) **11.** (a)  $M$ ; (b)  $M$ ; (c)  $M$ ; (d)  $2M$ ; (e)  $3M$

**PR** **1.** (a) 1,88 N; (b) 0,684 N; (c)  $(1,88 \text{ N})\hat{i} + (0,684 \text{ N})\hat{j}$  **3.**  $2,9 \text{ m/s}^2$  **5.** (a)  $(-32,0 \text{ N})\hat{i} - (20,8 \text{ N})\hat{j}$ ; (b) 38,2 N; (c)  $-147^\circ$  **7.** (a)  $(0,86 \text{ m/s}^2)\hat{i} - (0,16 \text{ m/s}^2)\hat{j}$ ; (b)  $0,88 \text{ m/s}^2$ ; (c)  $-11^\circ$  **9.**  $9,0 \text{ m/s}^2$  **11.** (a) 8,37 N; (b)  $-133^\circ$ ; (c)  $-125^\circ$  **13.** (a) 108 N; (b) 108 N; (c) 108 N **15.** (a) 4,0 kg; (b) 1,0 kg; (c) 4,0 kg; (d) 1,0 kg **17.** (a)  $-9,80 \text{ j m/s}^2$ ; (b)  $2,35 \text{ j m/s}^2$ ; (c) 1,37 s; (d)  $(-5,56 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{j}$ ; (e)  $(1,333 \times 10^{-3} \text{ N})\hat{j}$  **19.** (a) 42 N; (b) 72 N; (c)  $4,9 \text{ m/s}^2$  **21.** (a) 11,7 N; (b)  $-59,0^\circ$  **23.** (a) 0,022 m/s<sup>2</sup>; (b)  $8,3 \times 10^4 \text{ km}$ ; (c)  $1,9 \times 10^3 \text{ m/s}$  **25.**  $1,2 \times 10^5 \text{ N}$  **27.** (a) 494 N; (b) para cima; (c) 494 N; (d) para baixo **29.** 1,5 mm **31.** (a)  $46,7^\circ$ ; (b)  $28,0^\circ$  **33.** (a)  $0,62 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $0,13 \text{ m/s}^2$ ; (c) 2,6 m **35.** (a) 1,18 m; (b) 0,674 s; (c) 3,50 m/s **37.** (a)  $2,2 \times 10^{-3} \text{ N}$ ; (b)  $3,7 \times 10^{-3} \text{ N}$  **39.**  $1,8 \times 10^4 \text{ N}$  **41.** (a) 31,3 kN; (b) 24,3 kN **43.** (a)  $1,4 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $4,1 \text{ m/s}$  **45.** (a) 1,23 N; (b) 2,46 N; (c) 3,69 N; (d) 4,92 N; (e) 6,15 N; (f) 0,250 N **47.** (a)  $2,18 \text{ m/s}^2$ ; (b) 116 N; (c)  $21,0 \text{ m/s}^2$  **49.**  $6,4 \times 10^3 \text{ N}$  **51.** (a)  $0,970 \text{ m/s}^2$ ; (b) 11,6 N; (c) 34,9 N **53.** (a) 1,1 N **55.** (a)  $3,6 \text{ m/s}^2$ ; (b) 17 N **57.** (a) 4,9 m/s<sup>2</sup>; (b)  $2,0 \text{ m/s}^2$ ; (c) para cima; (d) 120 N **59.** (a)  $0,735 \text{ m/s}^2$ ; (b) para baixo; (c) 20,8 N **61.**  $2Ma/(a+g)$  **63.** (a)  $0,653 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $0,896 \text{ m/s}^3$ ; (c) 6,50 s **65.** 81,7 N **67.** (a) 8,0 m/s; (b)  $+x$  **69.** (a) 13 597 kg; (b) 4917 L; (c) 6172 kg; (d) 20,075 L; (e) 45% **71.** (a) 0; (b)  $0,83 \text{ m/s}^2$ ; (c) 0 **73.** (a)  $0,74 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $7,3 \text{ m/s}^2$  **75.** (a) a corda arrebenta; (b)  $1,6 \text{ m/s}^2$  **77.** 2,4 N **79.** (a)  $4,6 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $2,6 \text{ m/s}^2$  **81.** (a) 65 N; (b) 49 N **83.** (a) 11 N; (b) 2,2 kg; (c) 0; (d) 2,2 kg **85.** (a)  $4,6 \times 10^3 \text{ N}$ ; (b)  $5,8 \times 10^3 \text{ N}$  **87.** (a) 4 kg; (b) 6,5 m/s<sup>2</sup>; (c) 13 N **89.** 195 N **91.** (a) 44 N; (b) 78 N; (c) 54 N; (d) 152 N **93.** 16N **95.** (a)  $1,8 \times 10^2 \text{ N}$ ; (b)  $6,4 \times 10^2 \text{ N}$  **97.** (a)  $(5,0 \text{ m/s})\hat{i} + (4,3 \text{ m/s})\hat{j}$ ; (b)  $(15 \text{ m})\hat{i} + (6,4 \text{ m})\hat{j}$  **99.** 16 N **101.** (a) 2,6 N; (b)  $17^\circ$  **103.** (a)  $4,1 \text{ m/s}^2$ ; (b) 836 N

## Capítulo 6

**T** **1.** (a) zero (porque não há uma tentativa de deslizamento); (b) 5 N; (c) não; (d) sim; (e) 8 N **2.** (a) aponta para o centro da trajetória circular (a)  $\vec{a}$  aponta para baixo,  $\vec{F}_N$  aponta para cima; (b)  $\vec{a}$  e  $\vec{F}_N$  apontam para cima **P** **1.** (a) permanece o mesmo; (b) aumenta; (c) aumenta; (d) não **3.** (a) diminui; (b) diminui; (c) aumenta; (d) aumenta; (e) aumenta **5.** (a) para cima; (b) horizontal, na sua direção; (c) não varia; (d) aumenta; (e) aumenta **7.** A princípio,  $\vec{f}_s$  aponta para cima ao longo da rampa e seu módulo aumenta a partir de  $mg \sen \theta$  até atingir  $f_{s,\max}$ . Daí em diante a força se torna a força de atrito cinético, que aponta para cima ao longo da rampa e cujo módulo é  $f_k$  (um valor constante menor que  $f_{s,\max}$ ). **9.** (a) todas iguais; (b) todas iguais; (c) 2, 3, 1 **11.** Primeiro 4, depois 3 e depois 1, 2 e 5 empataidas

**PR** **1.** (a)  $2,0 \times 10^2 \text{ N}$ ; (b)  $1,2 \times 10^2 \text{ N}$  **3.** (a)  $1,9 \times 10^2 \text{ N}$ ; (b)  $0,56 \text{ m/s}^2$  **5.** 36 m **7.** (a) 11 N; (b)  $0,14 \text{ m/s}^2$  **9.** (a) 6,0 N; (b) 3,6 N; (c) 3,1 N **11.** (a)  $1,3 \times 10^2 \text{ N}$ ; (b) não; (c)  $1,1 \times 10^2 \text{ N}$ ; (d) 46 N; (e) 17 N **13.** (a)  $3,0 \times 10^2 \text{ N}$ ; (b)  $1,3 \text{ m/s}^2$  **15.** 2° **17.** (a) não; (b)  $(-12 \text{ N})\hat{i} + (5,0 \text{ N})\hat{j}$  **19.** (a)  $19^\circ$ ; (b) 3,3 kN **21.** (a)  $(17 \text{ N})\hat{i} + (20 \text{ N})\hat{i}$ ; (c)  $(15 \text{ N})\hat{i}$  **23.**  $1,0 \times 10^2 \text{ N}$  **25.** 0,37 **27.** (a)  $3,5 \text{ m/s}^2$ ; (b) 0,21 N **29.** (a) 0; (b)  $(-3,9 \text{ m/s}^2)\hat{i}$ ; (c)  $(-1,0 \text{ m/s}^2)\hat{i}$  **31.** (a) 66 N; (b)  $2,3 \text{ m/s}^2$  **33.**  $4,9 \times 10^2 \text{ N}$  **35.** 9,9 s **37.** 2,3 **39.** (a)  $3,2 \times 10^2 \text{ km/h}$ ; (b)  $6,5 \times 10^2 \text{ km/h}$ ; (c) não **41.** 21 m **43.** 0,60 **45.** (a) 10 s; (b)  $4,9 \times 10^2 \text{ N}$ ; (c)  $1,1 \times 10^3 \text{ N}$  **47.**  $1,37 \times 10^3 \text{ N}$  **49.** (a) mais leve; (b) 778 N; (c) 223 N; (d) 1,11 kN **51.** 12° **53.** 2,2 km **55.** 1,81 m/s **57.**  $2,6 \times 10^3 \text{ N}$  **59.** (a) 8,74 N; (b) 37,9 N; (c) 6,45 m/s; (d) na direção da haste **61.** (a) 69 km/h; (b) 139 km/h; (c) sim **63.** (a)  $7,5 \text{ m/s}^2$ ; (b) para baixo; (c)  $9,5 \text{ m/s}^2$ ; (d) para baixo **65.** (a) 27 N; (b)  $3,0 \text{ m/s}^2$  **67.** (a) 35,3 N; (b) 39,7 N; (c) 320 N **69.**  $g (\sen \theta - 2^{0,5} \mu_k \cos \theta)$  **71.** (a)  $3,0 \times 10^5 \text{ N}$ ; (b)  $1,2^\circ$  **73.** 147 m/s **75.** (a) 56 N; (b) 59 N;

- (c)  $1,1 \times 10^3$  N **77.** (a) 275 N; (b) 877 N **79.** (b) 240 N; (c) 0,60  
**81.** (a) 13 N; (b)  $1,6 \text{ m/s}^2$  **83.** 0,76 **85.** (a)  $3,21 \times 10^3$  N;  
(b) sim **87.**  $3,4 \text{ m/s}^2$  **89.** (a) 84,2 N; (b) 52,8 N; (c)  $1,87 \text{ m/s}^2$   
**91.** (a) 222 N; 334 N; (c) 311 N; (d) 311 N; (e) c, d **93.** (a) 6,80 s;  
(b) 6,76 s **95.** 3,4% **97.** (a)  $\mu_k mg / (\sin \theta - \mu_k \cos \theta)$ ;  
(b)  $\theta_0 = \tan^{-1} \mu_s$  **99.** (a)  $v_0^2 / (4g \sin \theta)$ ; (b) não **101.** (a) 30 cm/s;  
(b)  $180 \text{ cm/s}^2$ ; (c) para dentro; (d)  $3,6 \times 10^{-3}$  N; (e) para dentro;  
(f) 0,37 **103.** (a) 0,34; (b) 0,24 **105.** 0,18 **107.** 0,56  
**109.** (a)  $2,1 \text{ m/s}^2$ ; (b) para baixo; (c) 3,9 m; (d) permanece em  
repouso

### Capítulo 7

- T** **1.** (a) diminui; (b) permanece a mesma; (c) negativo, nulo  
**2.** (a) positivo; (b) negativo; (c) nulo **3.** nula  
**P** **1.** (a) positivo; (b) negativo; (c) negativo **3.** são todas  
iguais **5.** são todos iguais **7.** b (trabalho positivo), a (trabalho  
nulo), c (trabalho negativo), d (trabalho mais negativo)  
**9.** (a) A; (b) B **PR** **1.** (a)  $5 \times 10^{14}$  J; (b) 0,1 megaton de TNT;  
(c) 8 bombas **3.** (a)  $2,9 \times 10^7$  m/s; (b)  $2,1 \times 10^{-13}$  J **5.** (a) 2,4 m/s;  
(b) 4,8 m/s **7.** 20 J **9.** 0,96 J **11.** (a)  $1,7 \times 10^2$  N; (b)  $3,4 \times 10^2$  m;  
(c)  $-5,8 \times 10^4$  J; (d)  $3,4 \times 10^2$  N; (e)  $1,7 \times 10^2$  m; (f)  $-5,8 \times 10^4$  J  
**13.** (a) 1,50 J; (b) aumenta **15.** (a)  $62,3^\circ$ ; (b)  $118^\circ$  **17.** (a) 12 kJ;  
(b)  $-11 \text{ kJ}$ ; (c) 1,1 kJ; (d)  $5,4 \text{ m/s}$  **19.** (a)  $-3Mgd/4$ ; (b)  $Mgd$ ;  
(c)  $Mgd/4$ ; (d)  $(gd/2)^{0.5}$  **21.** 4,41 J **23.** 25 J **25.** (a) 25,9 kJ;  
(b) 2,45 N **27.** (a) 7,2 J; (b) 7,2 J; (c) 0; (d)  $-25 \text{ J}$  **29.** (a) 6,6  
m/s; (b) 4,7 m **31.** (a) 0,90 J; (b) 2,1 J; (c) 0 **33.** (a) 0,12 m;  
(b) 0,36 J; (c)  $-0,36 \text{ J}$ ; (d) 0,060 m; (e) 0,090 J **35.** (a) 0; (b) 0  
**37.**  $5,3 \times 10^2$  J **39.** (a) 42 J; (b) 30 J; (c) 12 J; (d) 6,5 m/s, eixo  $+x$ ;  
(e) 5,5 m/s, eixo  $+x$ ; (f) 3,5 m/s, eixo  $+x$  **41.**  $4,00 \text{ N/m}$  **43.**  $4,9 \times$   
 $10^2 \text{ W}$  **45.** (a) 0,83 J; (b) 2,5 J; (c) 4,2 J; (d) 5,0 W **47.**  $7,4 \times 10^2$   
W **49.** (a)  $1,0 \times 10^2$  J; (b) 8,4 W **51.** (a) 32,0 J; (b) 8,00 W;  
(c)  $78,2^\circ$  **53.** (a)  $1 \times 10^5$  megatons de TNT; (b)  $1 \times 10^7$  bombas  
**55.**  $-6 \text{ J}$  **57.** (a) 98 N; (b) 4,0 cm; (c) 3,9 J; (d)  $-3,9 \text{ J}$  **59.**  $-37 \text{ J}$   
**61.** 165 kW **63.** (a)  $1,8 \times 10^5 \text{ ft lb}$ ; (b) 0,55 hp **65.** (a) 797 N;  
(b) 0; (c)  $-1,55 \text{ kJ}$ ; (d) 0; (e) 1,55 kJ; (f) F varia durante o  
deslocamento **67.** (a) 1,20 J; (b) 1,10 m/s **69.** (a) 314 J;  
(b)  $-155 \text{ J}$ ; (c) 0; (d) 158 J **71.** (a) 23 mm; (b) 45 N **73.** 235 kW  
**75.** (a) 13 J; (b) 13 J **77.** (a) 0,6 J; (b) 0; (c)  $-0,6 \text{ J}$  **79.** (a) 6 J;  
(b) 6,0 J

### Capítulo 8

- T** **1.** não (em duas trajetórias de *a* a *b*, o trabalho é  $-60 \text{ J}$ ;  
na terceira, é  $60 \text{ J}$ ) **2.** 3, 1, 2 (veja a Eq. 8-6) **3.** (a) todas  
iguais; (b) todas iguais **4.** (a) CD, AB, BC (0) (com base nas  
inclinações); (b) o sentido positivo de *x* **5.** são todas iguais  
**P** **1.** (a) 12 J; (b)  $-2 \text{ J}$  **3.** (a) 3, 2, 1; (b) 1, 2, 3 **5.** 2, 1, 3  
**7.**  $+30 \text{ J}$  **9.** (a) aumenta; (b) diminui; (c) diminui; (d) permanece  
constante em AB e BC e diminui em CD **PR** **1.** (a) 167 J;  
(b)  $-167 \text{ J}$ ; (c) 196 J; (d) 29 J; (e) 167 J; (f)  $-167 \text{ J}$ ; (g) 296 J;  
(h) 129 J **3.** (a) 4,31 mJ; (b)  $-4,31 \text{ mJ}$ ; (c) 4,31 mJ; (d)  $-4,31 \text{ mJ}$ ;  
(e) todos aumentariam **5.** 89 N/cm **7.** (a) 13,1 J; (b)  $-13,1 \text{ J}$ ;  
(c) 13,1 J; (d) todos aumentam **9.** (a)  $2,6 \times 10^2 \text{ m}$ ; (b) permanece  
o mesmo; (c) diminui **11.** (a) 2,08 m/s; (b) 2,08 m/s;  
(c) aumentaria **13.** (a) 17,0 m/s; (b) 26,5 m/s; (c) 33,4 m/s;  
(d) 56,7 m; (e) continuariam as mesmas **15.** (a) 0,98 J;  
(b)  $-0,98 \text{ J}$ ; (c) 3,1 N/cm **17.** (a) 8,35 m/s; (b) 4,33 m/s; (c) 7,45  
m/s; (d) diminuem **19.** (a) 2,5 N; (b) 0,31 N; (c) 30 cm  
**21.** (a)  $4,85 \text{ m/s}$ ; (b)  $2,42 \text{ m/s}$  **23.**  $-3,2 \times 10^2 \text{ J}$  **25.** (a) não; (b)  
 $9,3 \times 10^2 \text{ N}$  **27.** (a) 784 N/m; (b) 62,7 J; (c) 62,7 J; (d) 80,0 cm  
**29.** (a) 39,2 J; (b) 39,2 J; (c) 4,00 m **31.** (a) 35 cm; (b) 1,7 m/s  
**33.** (a) 2,40 m/s; (b) 4,19 m/s **35.**  $-18 \text{ mJ}$  **37.** (a) 39,6 cm;  
(b) 3,64 cm **39.** (a) 2,1 m/s; (b) 10 N; (c)  $+x$ ; (d) 5,7 m;

- (e) 30 N; (f)  $-x$  **41.** (a)  $-3,7 \text{ J}$ ; (c) 1,3 m; (d) 9,1 m; (e) 2,2 J;  
(f) 4,0 m; (g)  $(4 - x) e^{-x/4}$ ; (h) 4,0 m **43.** (a) 5,6 J; (b) 3,5 J  
**45.** (a) 30,1 J; (b) 30,1 J; (c) 0,225 **47.** (a)  $-2,9 \text{ kJ}$ ; (b)  $3,9 \times 10^2 \text{ J}$ ;  
(c)  $2,1 \times 10^2 \text{ N}$  **49.** 0,53 J **51.** (a) 1,5 MJ; (b) 0,51 MJ; (c) 1,0 MJ;  
(d) 63 m/s **53.** 1,2 m **55.** (a) 67 J; (b) 67 J; (c) 46 cm  
**57.** (a)  $1,5 \times 10^{-2} \text{ N}$ ; (b)  $(3,8 \times 10^2) g$  **59.** (a)  $-0,90 \text{ J}$ ; (b) 0,46 J;  
(c) 1,0 m/s **61.** (a) 19,4 m; (b) 19,0 m/s **63.** 20 cm **65.** (a) 7,4  
m/s; (b) 90 cm; (c) 2,8 m; (d) 15 m **67.** (a) 10 m; (b) 49 N;  
(c) 4,1 m; (d)  $1,2 \times 10^2 \text{ N}$  **69.** 4,33 m/s **71.** (a) 5,5 m/s; (b) 5,4 m;  
(c) permanecem as mesmas **73.** (a) 109 J; (b) 60,3 J; (c) 68,2 J;  
(d) 41,0 J **75.** 3,7 J **77.** 15 J **79.** (a) 2,7 J; (b) 1,8 J; (c) 0,39 m  
**81.** 80 mJ **83.** (a) 7,0 J; (b) 22 J **85.** (a)  $7,4 \times 10^2 \text{ J}$ ; (b)  $2,4 \times 10^2 \text{ J}$   
**87.** 25 J **89.** 24 W **91.**  $-12 \text{ J}$  **93.** (a) 8,8 m/s; (b) 2,6 kJ;  
(c) 1,6 kW **95.** (a) 300 J; (b) 93,8 J; (c) 6,38 m **97.** 738 m  
**99.** (a)  $-0,80 \text{ J}$ ; (b)  $-0,80 \text{ J}$ ; (c)  $+1,1 \text{ J}$  **101.** (a)  $2,35 \times 10^3 \text{ J}$ ;  
(b) 352 J **103.** (a)  $-3,8 \text{ kJ}$ ; (b) 31 kN **105.** (a)  $2,1 \times 10^6 \text{ kg}$ ;  
(b)  $(100 + 1,5t)^{0.5} \text{ m/s}$ ; (c)  $(1,5 \times 10^6)/(100 + 1,5t)^{0.5} \text{ N}$ ; (d) 6,7 km  
**107.** (a) 5,6 J; (b) 12 J; (c) 13 J **109.** (a) 4,9 m/s; (b) 4,5 N; (c)  $71^\circ$ ;  
(d) permanece a mesma **111.** (a) 1,2 J; (b) 11 m/s; (c) não;  
(d) não **113.** 54% **115.** (a)  $2,7 \times 10^9 \text{ J}$ ; (b)  $2,7 \times 10^9 \text{ W}$ ; (c)  $2,4 \times$   
 $10^8$  dólares **117.** (a) 5,00 J; (b) 9,00 J; (c) 11,0 J; (d) 3,00 J; (e) 12,0  
J; (f) 2,00 J; (g) 13,0 J; (h) 1,00 J; (i) 13,0 J; (j) 1,00 J; (l) 11,0 J;  
(m) 10,8 m; (n) volta para *x* = 0 e pára. **119.** (a) 3,7 J; (b) 4,3 J;  
(c) 4,3 J **121.** (a) 4,8 N; (b)  $+x$ ; (c) 1,5 m; (d) 13,5 m; (e) 3,5 m/s  
**123.** (a) 24 kJ; (b)  $4,7 \times 10^2 \text{ N}$  **125.** (a) 3,0 mm; (b) 1,1 J; (d) sim;  
(e)  $\approx 40 \text{ J}$ ; (f) não **127.** (a) 6,0 kJ; (b)  $6,0 \times 10^2 \text{ W}$ ; (c)  $3,0 \times 10^2 \text{ W}$ ;  
(d)  $9,0 \times 10^2 \text{ W}$  **129.**  $3,1 \times 10^{11} \text{ W}$  **131.** 880 MW **133.** (a)  $v_0 =$   
 $(2gL)^{0.5}$ ; (b) 5 mg; (c)  $-mgL$ ; (d)  $-2mgL$  **135.** porque a força  
que você exerce sobre o repolho (para fazê-lo descer) realiza  
trabalho

### Capítulo 9

- T** **1.** (a) na origem; (b) no quarto quadrante; (c) no eixo *y*,  
abaixo da origem; (d) na origem; (e) no terceiro quadrante;  
(f) na origem **2.** (a)–(c) no centro de massa, ainda na origem  
(as forças são internas ao sistema e não podem deslocar o centro  
de massa) **3.** (Considere as inclinações e a Eq. 9-23). (a) 1,  
3 e depois 2 e 4 empata das (força nula); (b) 3 **4.** (a) mantém  
inalterado; (b) mantém inalterado (veja a Eq. 9-32); (c) diminui  
(Eq. 9-35) **5.** (a) nula; (b) positiva (inicial para baixo, final para  
cima); (c)  $+y$  **6.** (Não há força externa; *P* é conservado).  
(a) 0; (b) não; (c)  $-x$  **7.** (a)  $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ;  
(c)  $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  **8.** (a)  $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (c) 3 J  
**9.** (a)  $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (conservação da componente *x* do momento)  
(b)  $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  (conservação da componente *y* do momento)  
**P** **1.** (a) 2 N, para a direita; (b) 2 N, para a direita; (c) maior que  
2 N, para a direita **3.** (a) *x* sim, *y* não; (b) *x* sim, *y* não; (c) *x* não,  
*y* sim **5.** b, c, a **7.** (a) um estava em repouso; (b) 2; (c) 5; (d)  
igual (como o choque de duas bolas de sinuca) **9.** (a) *C*; (b) *B*;  
(c) 3 **11.** (a) *c*, a energia cinética não pode ser negativa; *d*,  
a energia cinética total não pode aumentar; (b) *a*; (c) *b*  
**PR** **1.** (a)  $-1,50 \text{ m}$ ; (b)  $-1,43 \text{ m}$  **3.** (a)  $-0,45 \text{ cm}$ ; (b)  $-2,0 \text{ cm}$   
**5.** (a) 0; (b)  $3,13 \times 10^{-11} \text{ m}$  **7.** (a)  $-6,5 \text{ cm}$ ; (b)  $8,3 \text{ cm}$ ; (c)  $1,4 \text{ cm}$   
**9.**  $(-4,0 \text{ m})\hat{i} + (4,0 \text{ m})\hat{j}$  **11.** (a) 28 cm; (b) 2,3 m/s  
**13.** (a)  $(2,35\hat{i} - 1,57\hat{j}) \text{ m/s}^2$ ; (b)  $(2,35\hat{i} - 1,57\hat{j})t \text{ m/s}$ , com *t*  
em segundos; (d) retilínea, fazendo um ângulo de  $34^\circ$  para  
baixo **15.** 53 m **17.** 4,2 m **19.** (a)  $7,5 \times 10^4 \text{ J}$ ; (b)  $3,8 \times 10^4$   
kg · m/s; (c)  $39^\circ$  ao sul do leste **21.** (a)  $5,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$   
**23.** (a) 67 m/s; (b)  $-x$ ; (c) 1,2 kN; (d)  $-x$  **25.**  $1,0 \times 10^3$  a  $1,2 \times 10^3$   
kg · m/s **27.** (a) 42 N · s; (b) 2,1 kN **29.** 5 N **31.** (a) 5,86 kg · m/s;  
(b)  $59,8^\circ$ ; (c) 2,93 kN; (d)  $59,8^\circ$  **33.** (a)  $2,39 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{s}$ ; (b)  $4,78 \times$   
 $10^5 \text{ N}$ ; (c)  $1,76 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{s}$ ; (d)  $3,52 \times 10^5 \text{ N}$  **35.** (a) 9,0 kg · m/s;

- (b) 3,0 kN; (c) 4,5 kN; (d) 20 m/s **37.**  $9,9 \times 10^2 \text{ N}$  **39.** 3,0 mm/s  
**41.** 55 cm **43.** (a)  $-(0,15 \text{ m/s})\hat{i}$ ; (b) 0,18 m **45.** (a) 14 m/s;  
(b)  $-45^\circ$  **47.** (a)  $(1,00\hat{i} - 0,167\hat{j}) \text{ km/s}$ ; (b) 3,23 MJ  
**49.**  $3,1 \times 10^2 \text{ m/s}$  **51.** (a) 33%; (b) 23%; (c) diminui **53.** (a) 721 m/s;  
(b) 937 m/s **55.** (a) 4,4 m/s; (b) 0,80 **57.** (a)  $+2,0 \text{ m/s}$ ; (b)  $-1,3 \text{ J}$ ;  
(c)  $+40 \text{ J}$ ; (d) o sistema recebeu energia de alguma fonte,  
como, por exemplo, uma pequena explosão **59.** 25 cm  
**61.** (a) 99 g; (b) 1,9 m/s; (c) 0,93 m/s **63.** (a) 1,2 kg; (b) 2,5 m/s  
**65.**  $-28 \text{ cm}$  **67.** (a) 3,00 m/s; (b) 6,00 m/s **69.** (a) 0,21 kg;  
(b) 7,2 m **71.** (a) 433 m/s; (b) 250 m/s **73.** (a)  $4,15 \times 10^5 \text{ m/s}$ ;  
(b)  $4,84 \times 10^5 \text{ m/s}$  **75.**  $120^\circ$  **77.** (a)  $1,57 \times 10^6 \text{ N}$ ; (b)  $1,35 \times 10^5$   
kg; (c) 2,08 km/s **79.** (a) 46 N; (b) nenhuma **81.** (a) 1,78 m/s;  
(b) menor; (c) menor; (d) maior **83.** (a) 1,92 m; (b) 0,640 m  
**85.** 28,8 N **87.** 1,10 m/s **89.** (a) 7290 m/s; (b) 8200 m/s; (c)  $1,271 \times 10^{10} \text{ J}$ ; (d)  $1,275 \times 10^{10} \text{ J}$  **91.** (a) 1,0 kg/m/s; (b)  $2,5 \times 10^2 \text{ J}$ ;  
(c) 10 N; (d) 1,7 kN; (e) porque a resposta do item (c) inclui o  
tempo entre as colisões **93.** (a)  $(7,4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{s})\hat{i} - (7,4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{s})\hat{j}$ ;  
(b)  $(-7,4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{s})\hat{i}$ ; (c)  $2,3 \times 10^3 \text{ N}$ ; (d)  $2,1 \times 10^4 \text{ N}$ ;  
(e)  $-45^\circ$  **95.** (a) 3,7 m/s; (b) 1,3 N · s; (c)  $1,8 \times 10^2 \text{ N}$   
**97.**  $1,18 \times 10^4 \text{ kg}$  **99.**  $+4,4 \text{ m/s}$  **101.** (a) 1,9 m/s; (b)  $-30^\circ$ ;  
(c) elástica **103.** (a) 6,9 m/s; (b)  $30^\circ$ ; (c) 6,9 m/s; (d)  $-30^\circ$ ; (e) 2,0  
m/s; (f)  $-180^\circ$  **105.** (a) 25 mm; (b) 26 mm; (c) para baixo;  
(d)  $1,6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$  **107.** (a) 0,745 mm; (b)  $153^\circ$ ; (c) 1,67 mJ  
**109.** (a)  $(2,67 \text{ m/s})\hat{i} + (-3,00 \text{ m/s})\hat{j}$ ; (b) 4,01 m/s; (c)  $48,4^\circ$   
**111.** 0,22% **113.** 190 m/s **115.** (a)  $4,6 \times 10^3 \text{ km}$ ; (b) 73%  
**117.** (a) 50 kg/s; (b)  $1,6 \times 10^2 \text{ kg/s}$  **119.** (a)  $-0,50 \text{ m}$ ; (b)  $-1,8 \text{ cm}$ ;  
(c) 0,50 m **121.** (a)  $0,800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ; (b)  $0,400 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  **123.** 29 J  
**125.**  $5,0 \times 10^6 \text{ N}$  **127.** (a) 1; (b)  $1,83 \times 10^3$ ; (c)  $1,83 \times 10^3$ ;  
(d) continuam as mesmas **129.** 5,0 kg **131.** 2,2 kg  
**133.** (a) 11,4 m/s; (b)  $95,1^\circ$  **135.** (a) 0; (b) 0; (c) 0

## Capítulo 10

- T** **1.** b e c **2.** (a) e (d) ( $\alpha = d^2\theta/dt^2$  deve ser constante)  
**3.** (a) sim; (b) não; (c) sim; (d) sim **4.** são todos iguais  
**5.** 1, 2, 4, 3 (veja a Eq. 10-36) **6.** (veja a Eq. 10-40) 1 e 3, 4,  
2 e 5 (zero) **7.** (a) para baixo na figura ( $\tau_{\text{res}} = 0$ ); (b) menor  
(considere os braços de alavanca) **P** **1.** (a) c, a, b e d  
empatados; (b) b, a e c, d **3.** c, a, b **5.** aumentar  
**7.** (a) diminuir; (b) horário; (c) anti-horário **9.** todas  
iguais **PR** **1.** 14 rev **3.** 11 rad/s **5.** (a) 4,0 rad/s; (b) 11,9  
rad/s **7.** (a) 4,0 m/s; (b) não **9.** (a) 30 s; (b)  $1,8 \times 10^3 \text{ rad}$   
**11.** (a) 3,00 s; (b) 18,9 rad **13.** 8,0 s **15.** (a) 44 rad; (b) 5,5 s;  
(c) 32 s; (d)  $-2,1 \text{ s}$ ; (e) 40 s **17.** (a)  $3,4 \times 10^2 \text{ s}$ ; (b)  $-4,5 \times 10^{-3}$   
rad/s<sup>2</sup>; (c) 98 s **19.**  $6,9 \times 10^{-13} \text{ rad/s}$  **21.** (a) 20,9 rad/s; (b) 12,5  
m/s; (c) 800 rev/min<sup>2</sup>; (d) 600 rev **23.** (a)  $2,50 \times 10^3 \text{ rad/s}$ ;  
(b)  $20,2 \text{ m/s}^2$ ; (c) 0 **25.** (a) 40 s; (b)  $2,0 \text{ rad/s}^2$  **27.** (a)  $3,8 \times 10^3$   
rad/s; (b)  $1,9 \times 10^2 \text{ m/s}$  **29.** (a)  $7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ; (b)  $3,5 \times 10^2 \text{ m/s}$ ;  
(c)  $7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ; (d)  $4,6 \times 10^2 \text{ m/s}$  **31.** (a)  $73 \text{ cm/s}^2$ ; (b) 0,075;  
(c) 0,11 **33.** 12,3 kg · m<sup>2</sup> **35.** 0,097 kg · m<sup>2</sup> **37.** (a) 1,1 kJ;  
(b) 9,7 kJ **39.** (a) 0,023 kg · m<sup>2</sup>; (b) 11 mJ **41.**  $4,7 \times 10^{-4}$   
kg · m<sup>2</sup> **43.** (a) 49 MJ; (b)  $1,0 \times 10^2 \text{ min}$  **45.** 4,6 N · m  
**47.**  $-3,85 \text{ Nm}$  **49.** (a) 28,2 rad/s<sup>2</sup>; (b) 338 N · m **51.** 0,140 N  
**53.**  $2,51 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$  **55.** (a) 6,00 cm/s<sup>2</sup>; (b) 4,87 N; (c) 4,54 N;  
(d)  $1,20 \text{ rad/s}^2$ ; (e) 0,0138 kg · m<sup>2</sup> **57.** (a)  $4,2 \times 10^2 \text{ rad/s}^2$ ;  
(b)  $5,0 \times 10^2 \text{ rad/s}^2$  **59.** (a) 19,8 kJ; (b) 1,32 kW **61.** 396 N · m  
**63.** 5,42 m/s **65.** 9,82 rad/s **67.** (a) 5,32 m/s<sup>2</sup>; (b) 8,43 m/s<sup>2</sup>;  
(c)  $41,8^\circ$  **69.** (a) 314 rad/s<sup>2</sup>; (b) 7,54 m/s<sup>2</sup>; (c) 14,0 N; (d) 4,36 N  
**71.**  $6,16 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  **73.** (a)  $1,57 \text{ m/s}^2$ ; (b) 4,55 N; (c) 4,94 N  
**75.** (a)  $4,81 \times 10^5 \text{ N}$ ; (b)  $1,12 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$ ; (c)  $1,25 \times 10^6 \text{ J}$  **77.** 30 rev

- 79.** 3,1 rad/s **81.** (a)  $0,791 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ; (b)  $1,79 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$  **83.** (a) 2,3  
rad/s<sup>2</sup>; (b)  $1,4 \text{ rad/s}^2$  **85.**  $1,4 \times 10^2 \text{ N} \cdot \text{m}$  **87.** 4,6 rad/s<sup>2</sup>  
**89.** (a)  $-67 \text{ rev/min}^2$ ; (b) 8,3 rev **93.** 0,054 kg · m<sup>2</sup>  
**95.** (a)  $5,92 \times 10^4 \text{ m/s}^2$ ; (b)  $4,39 \times 10^4 \text{ s}^{-2}$  **97.** 2,6 J **99.** (a) 0,32  
rad/s; (b)  $1,0 \times 10^2 \text{ km/h}$  **101.** (a)  $7,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ; (b) 7,2 m/s;  
(c)  $71^\circ$  **103.** (a)  $1,4 \times 10^2 \text{ rad}$ ; (b) 14 s **105.** (a)  $221 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ; (b)  
 $1,10 \times 10^4 \text{ J}$  **107.** 0,13 rad/s **109.**  $6,75 \times 10^{12} \text{ rad/s}$  **111.** (a)  $1,5 \times$   
 $10^2 \text{ cm/s}$ ; (b) 15 rad/s; (c) 15 rad/s; (d) 75 cm/s; (e) 3,0 rad/s  
**113.** 18 rad **115.** (a) 10 J; (b) 0,27 m
- Capítulo 11**
- T** **1.** (a) igual; (b) menor (considere a transferência  
de energia como de energia cinética de rotação para energia  
potencial gravitacional) **3.** (desenhe os vetores e use a regra  
da mão direita) (a)  $\pm z$ ; (b)  $\pm y$ ; (c)  $-x$  **4.** (veja a Eq. 11-21)  
(a) 1 e 3; 2 e 4,5 (zero); (b) 2 e 3 **5.** (veja as Eqs. 11-23 e 11-16)  
(a) 3, 1; 2 e 4 (zero); (b) 3 **6.** (a) todos iguais (mesmo  $\tau$ , mesmo  $t$   
e, portanto, mesmo  $\Delta L$ ); (b) esfera, disco, anel (ordem inversa de  
*I*) **7.** (a) diminui; (b) permanece o mesmo ( $\tau_{\text{res}} = 0$  e, portanto,  
*L* é conservado); (c) aumenta **P** **1.** (a) 1, 2, 3 (zero);  
(b) 1 e 2, 3; (c) 1 e 3, 2 **3.** (a) fica girando no mesmo lugar;  
(b) rola na sua direção; (c) rola para longe de você **5.** *a, b e c, e, d* (zero)  
**7.** *D, B e depois A e C empata* **9.** (a) permanece o mesmo;  
diminui, aumenta **PR** **1.** (a) 0; (b)  $(22 \text{ m/s})\hat{i}$ ; (c)  $(-22 \text{ m/s})\hat{i}$ ;  
(d) 0; (e)  $1,5 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ ; (f)  $1,5 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ ; (g)  $(22 \text{ m/s})\hat{i}$ ;  
(h)  $(44 \text{ m/s})\hat{i}$ ; (i) 0; (j) 0; (k)  $1,5 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ ; (l)  $1,5 \times 10^3 \text{ m/s}^2$   
**3.** 0,020 **5.**  $-3,15 \text{ J}$  **7.** (a)  $(-4,0 \text{ N})\hat{i}$ ; (b)  $0,60 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  **9.** (a) 63  
rad/s; (b) 4,0 m **11.** 4,8 m **13.** (a)  $-(0,11 \text{ m})\omega$ ; (b)  $-2,1 \text{ m/s}^2$ ;  
(c)  $-47 \text{ rad/s}^2$ ; (d) 1,2 s; (e) 8,6 m; (f) 6,1 m/s **15.** 0,50 **17.** (a) 13  
cm/s<sup>2</sup>; (b) 4,4 s; (c) 55 cm/s; (d) 18 mJ; (e) 1,4 J; (f) 27 rev/s  
**19.** (a)  $(6,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{j} + (8,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$ ; (b)  $(-22 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i}$  **21.**  $(-2,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i}$  **23.** (a)  $(50 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$ ; (b)  $90^\circ$  **25.** (a)  $(-1,5 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i} - (4,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{j} - (1,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$ ; (b)  $(-1,5 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i} - (4,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{j} - (1,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$  **27.** (a)  $9,8 \text{ kg m}^2/\text{s}$ ; (b)  $+z$  **29.** (a) 0; (b)  $(8,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i} + (8,0 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$  **31.** (a) 0; (b)  $-22,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; (c)  $-7,84 \text{ N} \cdot \text{m}$ ;  
(d)  $-7,84 \text{ N} \cdot \text{m}$  **33.** (a)  $(-1,7 \times 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s})\hat{k}$ ; (b)  $(+56 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$ ;  
(c)  $(+56 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2)\hat{k}$  **35.** (a)  $48 \text{ fm N} \cdot \text{m}$ ; (b) aumentando  
**37.** (a) 1,47 N · m; (b) 20,4 rad; (c)  $-29,9 \text{ J}$ ; (d) 19,9 W  
**39.** (a)  $4,6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ; (b)  $1,1 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; (c)  $3,9 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$   
**41.** (a)  $1,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ; (b)  $4,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  **43.** (a) 3,6 rev/s; (b) 3,0;  
(c) a força que o homem exerce sobre os tijolos converte energia  
interna do homem em energia cinética **45.** (a) 267 rev/min;  
(b) 0,667 **47.** (a) 750 rev/min; (b) 450 rev/min; (c) horário  
**49.** 0,17 rad/s **51.** (a) 1,5 m; (b) 0,93 rad/s; (c) 98 J; (d) 8,4 rad/s;  
(e)  $8,8 \times 10^2 \text{ J}$ ; (f) da energia interna das patinadoras **53.** 3,4 rad/s  
**55.**  $1,3 \times 10^3 \text{ m/s}$  **57.** 11,0 m/s **59.** (a) 18 rad/s; (b) 0,92  
**61.** 1,5 rad/s **63.** (a) 0,180 m; (b) horário **65.** 0,070 rad/s  
**67.** (a) 0,148 rad/s; (b) 0,0123; (c)  $181^\circ$  **69.** 0,041 rad/s **71.** 39,1 J  
**73.** (a)  $6,65 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; (b) não; (c) 0; (d) sim **75.** (a) 0,333;  
(b) 0,111 **77.** (a) 58,8 J; (b) 39,2 J **79.** (a) 0,81 mJ; (b) 0,29;  
(c)  $1,3 \times 10^2 \text{ N}$  **81.** (a)  $mR^2/2$ ; (b) um cilindro circular  
maciço **83.** a velocidade de rotação ficaria menor; o dia ficaria  
cerca de 0,8 s mais longo **85.** (a) 149 kg · m<sup>2</sup>; (b) 158 kg · m<sup>2</sup>/  
s; (c) 0,744 rad/s **87.** (a) 0; (b) 0; (c)  $-30r^2\hat{k} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; (d)  $-90r^2\hat{k}$   
N · m; (e)  $30r^2\hat{k} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ; (f)  $90r^2\hat{k} \text{ N} \cdot \text{m}$  **89.** (a) 61,7 J; (b) 3,43 m;  
(c) não **91.** (a) 12,7 rad/s; (b) horário **93.** (a)  $mvR/(I + MR^2)$ ;  
(b)  $mvR^2/(I + MR^2)$  **95.** (a) 1,6 m/s<sup>2</sup>; (b) 16 rad/s<sup>2</sup>; (c)  $(4,0 \text{ N})\hat{i}$   
97, 0,47 kg · m<sup>2</sup>/s