

exercida sobre o livro pela sua mão igual e oposta à força exercida sobre o livro pela Terra? j) É a força exercida sobre o livro pela Terra igual e oposta à força exercida sobre a Terra pelo livro? k) É a força exercida sobre o livro pela sua mão igual e oposta à força exercida sobre sua mão pelo livro? Finalmente, suponha que você retire subitamente sua mão enquanto o livro se move para cima. l) Quantas forças atuam agora sobre o livro? m) O livro está em equilíbrio?

**4.21** Uma garrafa é empurrada sobre uma mesa e escorrega para fora da extremidade da mesa. Não despreze a resistência do ar. a) Quais forças atuam sobre a garrafa enquanto ela cai da mesa até o chão? b) Quais são as reações dessas forças; ou seja, sobre quais corpos e por quais corpos as reações são exercidas?

**4.22** O piso de um elevador exerce uma força normal de 620 N de baixo para cima sobre um passageiro que pesa 650 N. Quais são as reações dessas duas forças? O passageiro está sendo acelerado? Em caso afirmativo, determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração.

**4.23** Uma estudante com massa de 45 kg pula de um trampolim elevado. Considerando a massa da Terra como  $6,0 \times 10^{24}$  kg, qual é a aceleração da Terra no sentido da estudante quando ela se acelera no sentido da Terra com  $9,8 \text{ m/s}^2$ ? Suponha que a força resultante sobre a Terra seja a força gravitacional que ela exerce sobre a Terra.

#### SEÇÃO 4.7 USO DAS LEIS DE NEWTON

**4.24** Uma astronauta está ligada por um cabo forte a uma nave espacial. A astronauta junto com sua roupa e equipamentos possui massa total de 105 kg, enquanto a massa do cabo é desprezível. A massa da espaçonave é igual a  $9,05 \times 10^4$  kg. A espaçonave está longe de qualquer corpo celeste, de modo que as forças gravitacionais externas sobre ela e sobre a astronauta são desprezíveis. Supomos também que a astronauta e a espaçonave estejam em repouso inicialmente em um sistema de referência inercial. A astronauta puxa o cabo com uma força de 80,0 N. a) Qual é a força que o cabo exerce sobre a astronauta? b) Visto que  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ , como pode um “cabo sem massa” ( $m = 0$ ) exercer uma força? c) Qual é a aceleração da astronauta? d) Qual é a força que o cabo exerce sobre a espaçonave? e) Qual é a aceleração da espaçonave?

**4.25** Um balde com água pesando 4,80 kg é acelerado de baixo para cima por uma corda de massa desprezível cuja tensão de ruptura é igual a 75,0 N. Calcule a aceleração máxima de baixo para cima que o balde pode ter sem que a corda se rompa.

**4.26** Um elevador de massa  $m$  está se deslocando de baixo para cima com uma aceleração de módulo  $|\vec{a}|$ . A massa do cabo de suporte é desprezível. Qual é a tensão no cabo de suporte a) se o elevador aumenta de velocidade enquanto sobe? b) se o elevador diminui de velocidade enquanto sobe?

**4.27** Duas caixas, uma de massa de 4,00 kg e outra de 6,00 kg, estão em repouso sobre a superfície sem atrito de um lago congelado, ligadas por uma corda leve (Figura 4.27). Uma mulher usando um tênis áspero (de modo que ela possa exercer tração sobre o solo) puxa horizontalmente a caixa de 6,00 kg com uma força  $F$  que produz uma aceleração de  $2,50 \text{ m/s}^2$ . a) Qual é o módulo da força  $F$ ? b) Qual é a tensão  $T$  na corda que conecta as duas caixas?

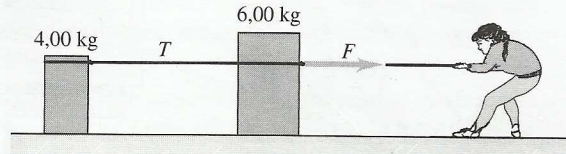


FIGURA 4.27 Exercícios 4.27 e 4.28.

**4.28** Considere a Figura 4.27. As caixas estão sobre uma superfície horizontal sem atrito. A mulher (ainda usando tênis especiais para tração) aplica uma força horizontal  $F = 50,0 \text{ N}$  sobre a caixa de 6,00 kg. As massas das cordas são desprezíveis. a) Faça um diagrama do corpo livre para a caixa de 4,00 kg, um diagrama do corpo livre para a caixa de 6,00 kg e um diagrama do corpo livre para a mulher. Para cada força, indique qual é o corpo que a exerce. b) Qual é o módulo da aceleração da caixa de 6,00 kg? c) Qual é a tensão  $T$  na corda que conecta as duas caixas?

**4.29** Uma pára-quedista confia na resistência do ar (principalmente por causa do seu pára-quedas) para diminuir sua velocidade durante a queda. Sabendo que sua massa, incluindo a do pára-quedas, é igual a 55,0 kg e que a resistência do ar exerce uma força de baixo para cima de 620 N sobre ela e seu pára-quedas, qual é sua aceleração?

**4.30** A posição de um helicóptero de treinamento de  $2,75 \times 10^5 \text{ N}$  é dada por  $\vec{r} = (0,020 \text{ m/s}^3)t^3 \hat{i} + (2,2 \text{ m/s})t \hat{j} - (0,060 \text{ m/s}^2)t^2 \hat{k}$ . Ache a força resultante sobre o helicóptero para  $t = 5,0 \text{ s}$ .

**4.31** Um objeto com massa  $m$  se move ao longo do eixo  $Ox$ . Sua posição em função do tempo é dada por  $x(t) = At - Bt^3$ , onde  $A$  e  $B$  são constantes. Calcule a força resultante sobre o objeto em função do tempo.

#### PROBLEMAS

**4.32** Uma bala de um rifle 22, se deslocando a 350 m/s, atinge um bloco de madeira, no qual ela penetra até uma profundidade de 0,130 m. A massa da bala é de 1,80 g. Suponha uma força retardadora constante. a) Qual é o tempo necessário para a bala parar? b) Qual é a força, em newtons, que a madeira exerce sobre a bala?

**4.33** Dois cavalos puxam horizontalmente cordas amarradas a um tronco de árvore. As duas forças  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  que eles exercem sobre o tronco são tais que a força resultante  $\vec{R}$  possui módulo igual ao de  $\vec{F}_1$  e faz um ângulo de  $90^\circ$  com  $\vec{F}_1$  (Figura 4.28). Seja  $F_1 = 1300 \text{ N}$  e  $R = 1300 \text{ N}$ . Determine o módulo, a direção e o sentido de  $\vec{F}_2$  (em relação a  $\vec{F}_1$ ).

**4.34** Uma pescadora orgulhosa suspende seu peixe em uma balança de molas presa no teto de um elevador. a) Se o elevador possui uma aceleração de baixo para cima igual a  $2,45 \text{ m/s}^2$  e o ponteiro da balança indica 50,0 N, qual é o peso verdadeiro do peixe? b) Em que circunstâncias o ponteiro da balança indicará 30,0 N? c) Qual será a leitura da balança se o cabo do elevador se romper?

**4.35** Dois adultos e uma criança desejam empurrar uma caixa apoiada sobre rodas no sentido  $x$  indicado na Figura 4.29. Os dois adultos empurram com forças  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  conforme mostra a figura. a) Determine o módulo, a direção e o sentido da menor força que a criança deve exercer. A força de atrito é desprezível. b) Se a

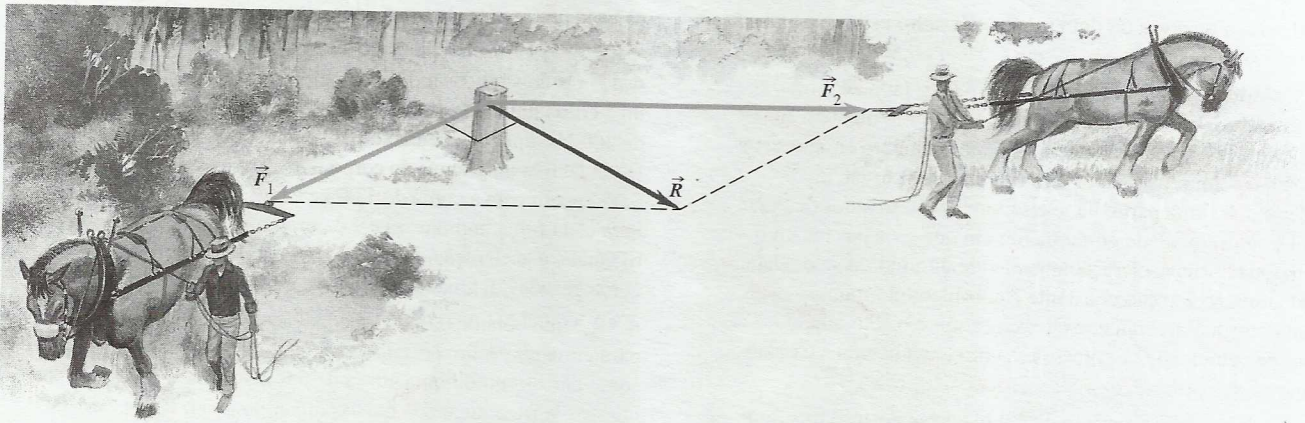


FIGURA 4.28 Problema 4.33.

criança exerce a menor força mencionada no item (a), a caixa se acelera a  $2,0 \text{ m/s}^2$  no sentido  $+x$ . Qual é o peso da caixa?

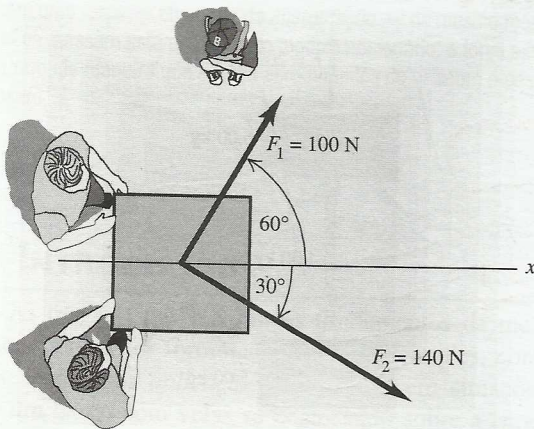


FIGURA 4.29 Problema 4.35.

**4.36** Os motores de um petroleiro enguiçaram e um vento com velocidade constante de  $1,5 \text{ m/s}$  está soprando sobre o petroleiro no sentido de um recife (Figura 4.30). Quando o petroleiro está a  $500 \text{ m}$  do recife, o vento cessa no mesmo instante em que o engenheiro consegue consertar os motores. O timoneiro fica espantado, de modo que a única escolha é acelerar no sentido contrário ao do recife. A massa total do petroleiro é de  $3,6 \times 10^7 \text{ kg}$ , e, devido à ação dos motores, uma força resultante horizontal de  $8,0 \times 10^4 \text{ N}$  é exercida sobre o petroleiro. O petroleiro colidirá contra o recife? Em caso afirmativo, verifique se o óleo será derramado. O casco do petroleiro resiste a um impacto com velocidade máxima de  $0,2 \text{ m/s}$ . Despreze a força de resistência da água sobre o casco do petroleiro.

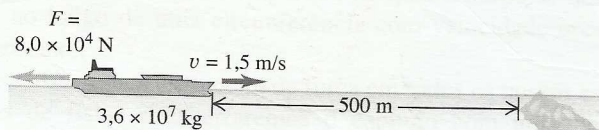


FIGURA 4.30 Problema 4.36.

**4.37 Um salto vertical recorde.** O jogador de basquete Darrell Griffith estabeleceu um recorde de salto vertical com um pulo de  $1,2 \text{ m}$ . (Isso significa que ele se moveu de baixo para cima  $1,2 \text{ m}$  depois que seus pés abandonaram o solo.) Se o peso de Griffith

era de  $890 \text{ N}$  e o tempo do salto antes de seus pés abandonarem o solo foi de  $0,300 \text{ s}$ , qual foi a força média que ele exerceu sobre o solo?

**4.38** Um anúncio afirma que um dado tipo de carro pode “parar em uma distância de 10 centavos”. Qual seria a força resultante efetiva necessária para fazer parar um carro de  $850 \text{ kg}$  que se desloca inicialmente a  $45,0 \text{ km/h}$  em uma distância igual ao diâmetro de uma moeda de 10 centavos, que é igual a  $1,8 \text{ cm}$ ?

**4.39** Para estudar os danos causados por colisões de aviões com pássaros, você projeta uma arma de teste que acelera objetos do tamanho de uma galinha de modo que o deslocamento do projétil ao longo do eixo do cano da arma é dado por  $x = (9,0 \times 10^3 \text{ m/s}^2)t^2 - (8,0 \times 10^4 \text{ m/s}^3)t^3$ . O objeto deixa a extremidade do cano no instante  $t = 0,025 \text{ s}$ . a) Qual o comprimento do cano da arma? b) Qual é a velocidade do objeto quando ele deixa a extremidade do cano da arma? c) Qual a força resultante sobre um objeto de massa de  $1,50 \text{ kg}$  para (i)  $t = 0$ ? (ii)  $t = 0,025 \text{ s}$ ?

**4.40** Uma espaçonave desce verticalmente nas proximidades da superfície de um planeta X. Uma força de propulsão de  $25,0 \text{ kN}$  de baixo para cima exercida pelos motores da espaçonave faz sua velocidade diminuir a uma taxa de  $1,20 \text{ m/s}^2$ , porém ele aumenta de velocidade a uma taxa de  $0,80 \text{ m/s}^2$  com uma propulsão vertical de  $10,0 \text{ kN}$ . Qual é o peso da espaçonave nas proximidades da superfície do planeta X?

**4.41** Um trem (a locomotiva mais quatro vagões) está aumentando de velocidade horizontalmente com uma aceleração de módulo  $|\vec{a}|$ . Se cada vagão possui massa  $m$  e atrito desprezível, qual é a) a força da locomotiva sobre o primeiro vagão? b) a força do primeiro vagão sobre o segundo vagão? c) a força do segundo vagão sobre o terceiro vagão? d) a força do terceiro vagão sobre o quarto vagão? e) Quais seriam as quatro forças anteriores se o trem estivesse diminuindo de velocidade com uma aceleração de módulo  $|\vec{a}|$ ? Sua resposta aos itens anteriores deve ser acompanhada de diagramas do corpo livre com dísticos claros.

**4.42** Um ginasta de massa  $m$  está subindo em uma corda vertical presa ao teto. O peso da corda pode ser desprezado. Calcule a tensão na corda quando o ginasta está a) subindo com velocidade constante; b) suspenso em repouso na corda; c) subindo e aumentando de velocidade com uma aceleração de módulo  $|\vec{a}|$ ; d) descendo e aumentando de velocidade com uma aceleração de módulo  $|\vec{a}|$ .

**4.43** Um elevador de carga com o cabo muito usado possui massa total de  $2200 \text{ kg}$  e o cabo pode suportar uma tensão máxima de  $28.000 \text{ N}$ . a) Qual a aceleração máxima do elevador de baixo para cima que o cabo pode suportar sem se romper?

b) Qual seria a resposta do item (a) se o elevador estivesse na Lua, onde  $g = 1,62 \text{ m/s}^2$ ?

**4.44 Caindo no solo.** Um homem de 75,0 kg pula de uma plataforma de 3,10 m de altura acima do solo. Ele mantém suas pernas esticadas à medida que cai, mas no momento em que seus pés tocam o solo, seus joelhos começam a se encurvar, e, considerando-o uma partícula, ele se move 0,60 m antes de parar.

a) Qual é sua velocidade no momento em que seus pés tocam o solo? b) Qual é sua aceleração quando ele diminui de velocidade, supondo uma aceleração constante e considerando-o uma partícula? c) Qual a força que ele exerce sobre o solo quando diminui de velocidade? Expresse essa força em newtons e como múltiplo de seu peso.

**4.45** A cabeça de um martelo de 4,9 N que se desloca de cima para baixo com velocidade de 3,2 m/s pára fazendo um prego penetrar 0,45 cm em uma placa de pinho. Além de seu peso, existe uma força de 15 N aplicada de cima para baixo sobre o martelo por uma pessoa que o está usando. Suponha que a aceleração da cabeça do martelo seja constante durante o contato com o prego. a) Faça um diagrama do corpo livre para a cabeça do martelo. Identifique a força de reação a cada uma das forças incluídas no diagrama. b) Determine a força  $\vec{F}$  de cima para baixo exercida pela cabeça do martelo durante o contato com o prego. c) Suponha que o prego esteja em contato com madeira dura e que a cabeça do martelo só se desloque 0,12 cm até parar. A força aplicada sobre o martelo é a mesma do item (b). Qual será então a força  $\vec{F}$  de cima para baixo exercida pela cabeça do martelo durante o contato com o prego?

**4.46** Um cabo uniforme de peso  $w$  fica pendurado verticalmente de cima para baixo, equilibrado por uma força  $w$  de baixo para cima aplicada em sua extremidade superior. Qual é a tensão no cabo a) em sua extremidade superior? b) em sua extremidade inferior? c) em seu ponto médio? Sua resposta para cada parte deve incluir um diagrama do corpo livre. (Sugestão: Para cada questão, isole a seção ou o ponto do cabo que você analisará.)

d) Faça um gráfico da tensão no cabo em função da distância à sua extremidade superior.

**4.47** Os dois blocos indicados na Figura 4.31 estão ligados por uma corda uniforme pesada com massa de 4,00 kg. Uma força de 200 N é aplicada de baixo para cima conforme indicado. a) Desenhe três diagramas do corpo livre, um para o bloco de 6,00 kg, um para a corda de 4,00 kg e outro para o bloco de 5,00 kg. Para cada força, indique qual é o corpo que exerce a referida força. b) Qual é a aceleração do sistema? c) Qual é a tensão no topo da corda pesada? d) Qual é a tensão no meio da corda pesada?

**4.48** Uma bola de 0,0900 kg é lançada verticalmente de baixo para cima no vácuo, portanto sem nenhuma força de arraste sobre ela, atingindo uma altura de 5,0 m. Quando a bola é lançada verticalmente de baixo para cima no ar, em vez do vácuo, sua altura máxima é de 3,8 m. Qual é a força média exercida pelo ar sobre a bola em seu movimento de baixo para cima?

\***4.49** Um objeto de massa  $m$  inicialmente em repouso é submetido a uma força dada por  $\vec{F} = k_1 \hat{i} + k_2 t^3 \hat{j}$ , onde  $k_1$  e  $k_2$  são constantes. Determine a velocidade  $\vec{v}(t)$  do objeto em função do tempo.

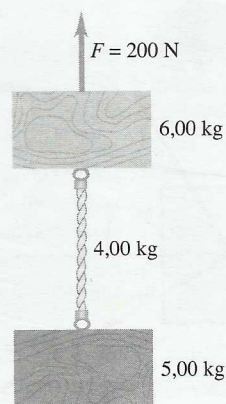


FIGURA 4.31 Problema 4.47.

## PROBLEMAS DESAFIADORES

\***4.50** Conhecendo-se  $F(t)$ , a força em função do tempo, para um movimento retilíneo, a segunda lei de Newton fornece  $a(t)$ , a aceleração em função do tempo. Podemos então integrar  $a(t)$  para obter  $v(t)$  e  $x(t)$ . Contudo, suponha que em vez disso você conheça  $F(v)$ . a) A força resultante sobre um corpo que se move ao longo do eixo  $Ox$  é igual a  $-Cv^2$ . Use a segunda lei de Newton escrita como  $\Sigma F = m dv/dt$  e faça duas integrações para mostrar que  $x - x_0 = (m/C) \ln(v_0/v)$ . b) Mostre que a segunda lei de Newton pode ser escrita como  $\Sigma F = mv dv/dx$ . Deduza a mesma expressão

obtida na parte (a) usando essa forma da segunda lei de Newton fazendo uma integração.

\***4.51** Um objeto de massa  $m$  está inicialmente em repouso na origem. No instante  $t = 0$ , aplica-se uma nova força  $\vec{F}(t)$  cujos componentes são

$$F_x(t) = k_1 + k_2 y, \quad F_y(t) = k_3 t,$$

onde  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  são constantes. Determine em função do tempo o vetor posição  $\vec{r}(t)$  e o vetor velocidade  $\vec{v}(t)$ .