9 Um avião que está voando horizontalmente com uma velocidade constante de 350 km/h, sobrevoando um terreno plano, deixa cair um fardo com suprimentos. Ignore o efeito do ar sobre o fardo. Quais são as componentes iniciais (a) vertical e (b) horizontal da velocidade inicial do fardo? (c) Qual é a componente horizontal da velocidade imediatamente antes de o fardo se chocar com o solo? (d) Se a velocidade do avião fosse de 450 km/h, o tempo de queda seria maior, menor ou igual?

10 Uma bola é chutada a partir do chão, em um terreno plano, com uma certa velocidade inicial. A Fig. 4-30 mostra o alcance R da bola em função do ângulo de lançamento θ_0. Ordene os três pontos identificados no gráfico por letras de acordo (a) com o tempo que a bola permanece no ar e (b) com a velocidade da bola na altura máxima, em ordem decrescente.

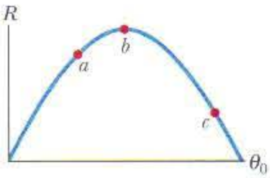


FIG. 4-30 Pergunta 10.

11 Na Fig. 4-31 a partícula P está em movimento circular uniforme em torno da origem de um sistema de coordenadas xy. (a) Para que valores de θ a componente vertical r_y do vetor posição possui maior módulo? (b) Para que valores de θ a componente vertical v_y da velocidade da partícula possui maior módulo? (c) Para que valores de θ a componente vertical a_y da aceleração da partícula possui maior módulo?

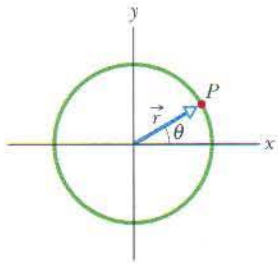


FIG. 4-31 Pergunta 11.

12 (a) É possível estar acelerando enquanto se viaja com velocidade escalar constante? É possível fazer uma curva (b) com aceleração nula e (c) com uma aceleração de módulo constante?

13 A Fig. 4-32 mostra quatro trilhos (semicírculos ou quartos de círculo) que podem ser usados por um trem que se move com velocidade escalar constante. Ordene os trilhos de acordo com o módulo da aceleração do trem no trecho curvo, em ordem decrescente.

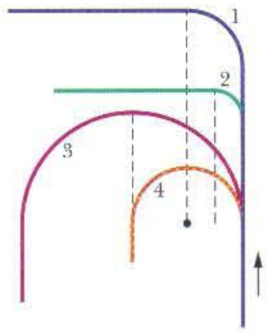


FIG. 4-32 Pergunta 13.

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 4-2 Posição e Deslocamento

•1 Um pósitron sofre um deslocamento $\Delta\vec{r} = 2{,}0\hat{i} - 3{,}0\hat{j} + 6{,}0\hat{k}$ e termina com o vetor posição $\vec{r} = 3{,}0\hat{j} - 4{,}0\hat{k}$, em metros. Qual era o vetor posição inicial do pósitron?

•2 Uma semente de melancia possui as seguintes coordenadas: $x = -5{,}0$ m, $y = 8{,}0$ m e $z = 0$ m. Determine o vetor posição da semente (a) na notação de vetores unitários e como (b) um módulo e (c) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo x. (d) Desenhe o vetor em um sistema de coordenadas dextrogiro. Se a semente é transportada até as coordenadas (3,00 m, 0 m, 0 m), determine seu deslocamento (e) na notação de vetores unitários e como (f) um módulo e (g) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo x.

•3 O vetor posição de um elétron é $\vec{r} = (5{,}0\text{ m})\hat{i} - (3{,}0\text{ m})\hat{j} + (2{,}0\text{ m})\hat{k}$. (a) Determine o módulo de $\vec{r}$. (b) Desenhe o vetor em um sistema de coordenadas dextrogiro.

••4 O ponteiro dos minutos de um relógio de parede mede 10 cm da ponta até o eixo de rotação. O módulo e o ângulo do vetor deslocamento da sua ponta devem ser determinados para três intervalos de tempo. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo associado ao deslocamento da ponta entre as posições correspondentes a quinze e trinta minutos depois da hora, (c) o módulo e (d) o ângulo correspondente à meia hora seguinte e (e) o módulo e (f) o ângulo correspondente à hora seguinte.

seção 4-3 Velocidade Média e Velocidade Instantânea

•5 O vetor posição de um íon é inicialmente $\vec{r} = 5{,}0\hat{i} - 6{,}0\hat{j} + 2{,}0\hat{k}$ e 10 s, depois passa a ser $\vec{r} = 2{,}0\hat{i} + 8{,}0\hat{j} - 2{,}0\hat{k}$, com todos os valores em metros. Na notação de vetores unitários, qual é a velocidade média $\vec{v}_{méd}$ durante os 10 s?

•6 A posição de um elétron é dada por $\vec{r} = 3{,}00t\hat{i} - 4{,}00t^2\hat{j} + 2{,}00\hat{k}$, com t em segundos e $\vec{r}$ em metros. (a) Qual é a velocidade $\vec{v}(t)$ do elétron na notação de vetores unitários? Quanto vale $\vec{v}(t)$ no instante $t = 2{,}00$ s (b) na notação de vetores unitários e como (c) um módulo e (d) um ângulo em relação ao sentido positivo do eixo x?

•7 Um trem com uma velocidade constante de 60,0 km/h se move na direção leste por 40,0 min, depois em uma direção que faz um ângulo de 50,0° a leste com a direção norte por 20,0 min e, finalmente, na direção oeste por mais 50,0 min. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade média do trem durante essa viagem?

••8 Um avião voa 483 km para leste, da cidade A para a cidade B, em 45,0 min, e depois 966 km para o sul, da cidade B para uma cidade C, em 1,5 h. Para a viagem inteira, determine (a) o módulo e (b) a direção do deslocamento do avião, (c) o módulo e (d) a direção da velocidade média e (e) a velocidade escalar média.

••9 A Fig. 4-33 mostra os movimentos de um esquilo em um terreno plano, do ponto A (no instante t = 0) para os pontos B (em t = 5,00 min), C (em t = 10,0 min) e, finalmente, D (em t = 15,0 min). Considere as velocidades médias do esquilo do ponto A para cada um dos outros três pontos. Entre essas velocidades médias determine (a) o módulo e (b) o ângulo da que possui o menor módulo e (c) o módulo e (d) o ângulo da que possui o maior módulo.

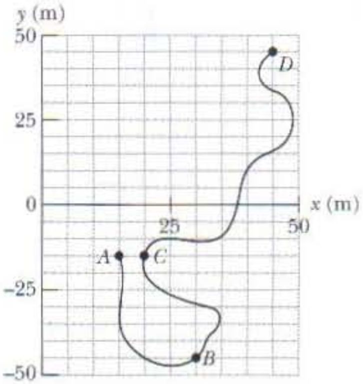


FIG. 4-33 Problema 9.

•••10 O vetor $\vec{r} = 5{,}00t\hat{\mathrm{i}} + (et + ft^2)\hat{\mathrm{j}}$ mostra a posição de uma partícula em função do tempo t. O vetor $\vec{r}$ está em metros, t está em segundos e os fatores e e f são constantes. A Fig. 4-34 mostra o ângulo θ da direção do movimento da partícula em função de t (θ é medido a partir do semi-eixo x positivo). Determine (a) e e (b) f, indicando suas unidades.

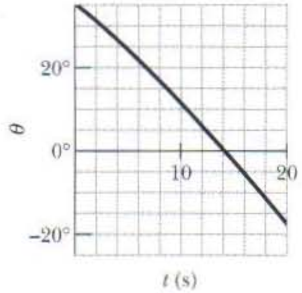


FIG. 4-34 Problema 10.

seção 4-4 Aceleração Média e Aceleração Instantânea

•11 Uma partícula se move de tal forma que sua posição (em metros) em função do tempo (em segundos) é dada por $\vec{r} = \hat{\mathrm{i}} + 4t^2\hat{\mathrm{j}} + t\hat{\mathrm{k}}$. Escreva expressões para (a) sua velocidade e (b) sua aceleração em função do tempo.

•12 A velocidade inicial de um próton é $\vec{v} = 4{,}0\hat{\mathrm{i}} - 2{,}0\hat{\mathrm{j}} + 3{,}0\hat{\mathrm{k}}$; 4,0 s mais tarde, passa a ser $\vec{v} = -2{,}0\hat{\mathrm{i}} - 2{,}0\hat{\mathrm{j}} + 5{,}0\hat{\mathrm{k}}$ (em metros por segundo). Para esses 4,0 s, determine quais são (a) a aceleração média do próton $\vec{a}_{\text{méd}}$ na notação de vetores unitários, (b) o módulo de $\vec{a}_{\text{méd}}$ e (c) o ângulo entre $\vec{a}_{\text{méd}}$ e o semi-eixo x positivo.

•13 A posição $\vec{r}$ de uma partícula que se move em um plano xy é dada por $\vec{r} = (2{,}00t^3 - 5{,}00t)\hat{\mathrm{i}} + (6{,}00 - 7{,}00t^4)\hat{\mathrm{j}}$ com $\vec{r}$ em metros e t em segundos. Na notação de vetores unitários, calcule (a) $\vec{r}$, (b) $\vec{v}$ e (c) $\vec{a}$ para t = 2,00 s. (d) Qual é o ângulo entre o sentido positivo do eixo x e uma reta tangente à trajetória da partícula em t = 2,00 s?

•14 Em um certo instante um ciclista está 40,0 m a leste do mastro de um parque, indo para o sul com uma velocidade de 10,0 m/s. Após 30,0 s o ciclista está 40,0 m ao norte do mastro, dirigindo-se para o leste com uma velocidade de 10,0 m/s. Para o ciclista, durante esse intervalo de 30,0 s quais são (a) o módulo e (b) a direção do deslocamento, (c) o módulo e (d) a direção da velocidade média e (e) o módulo e (f) a direção da aceleração média?

••15 Um carro se move sobre um plano xy com componentes da aceleração a_x = 4,0 m/s² e a_y = −2,0 m/s². A velocidade inicial tem componentes v_{0x} = 8,0 m/s e v_{0y} = 12 m/s. Na notação de vetores unitários, qual é a velocidade do carro quando atinge a maior coordenada y?

••16 Um vento moderado acelera um seixo sobre um plano horizontal xy com uma aceleração constante $\vec{a} = (5{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{\mathrm{i}} + (7{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{\mathrm{j}}$. No instante t = 0, a velocidade é $(4{,}00\ \text{m/s})\hat{\mathrm{i}}$. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade do seixo após ter se deslocado 12,0 m paralelamente ao eixo x?

••17 Uma partícula deixa a origem com uma velocidade inicial $\vec{v} = (3{,}00\hat{\mathrm{i}})$ m/s e uma aceleração constante $\vec{a} = (-1{,}00\hat{\mathrm{i}} - 0{,}500\hat{\mathrm{j}})$ m/s². Quando ela atinge o máximo valor de sua coordenada x, quais são (a) a sua velocidade e (b) o seu vetor posição?

••18 A velocidade $\vec{v}$ de uma partícula que se move no plano xy é dada por $\vec{v} = (6{,}0t - 4{,}0t^2)\hat{\mathrm{i}} + 8{,}0\hat{\mathrm{j}}$, com $\vec{v}$ em metros por segundo e t (> 0) em segundos. (a) Qual é a aceleração no instante t = 3,0 s? (b) Em que instante (se isso é possível) a aceleração é nula? (c) Em que instante (se isso é possível) a velocidade é nula? (d) Em que instante (se isso é possível) a velocidade escalar da partícula é igual a 10 m/s?

•••19 A aceleração de uma partícula que se move apenas em um plano horizontal xy é dada por $\vec{a} = 3t\hat{\mathrm{i}} + 4t\hat{\mathrm{j}}$, onde $\vec{a}$ está em metros por segundo ao quadrado e t em segundos. Em t = 0, o vetor posição $\vec{r} = (20{,}0\ \text{m})\hat{\mathrm{i}} + (40{,}0\ \text{m})\hat{\mathrm{j}}$ indica a localização da partícula, que nesse instante tem uma velocidade $\vec{v} = (5{,}00\ \text{m/s})\hat{\mathrm{i}} + (2{,}00\ \text{m/s})\hat{\mathrm{j}}$. Em t = 4,00 s, determine (a) o vetor posição em termos dos vetores unitários e (b) o ângulo entre a direção do movimento e o semi-eixo x positivo.

•••20 Na Fig. 4-35 a partícula A se move ao longo da reta y = 30 m com uma velocidade constante $\vec{v}$ de módulo 3,0 m/s e paralela ao eixo x. No instante em que a partícula A passa pelo eixo y a partícula B deixa a origem com velocidade inicial zero e aceleração constante $\vec{a}$ de módulo 0,40 m/s². Para que valor do ângulo θ entre $\vec{a}$ e o semi-eixo y positivo acontece uma colisão?

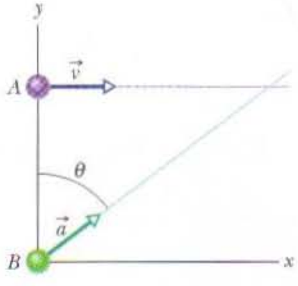


FIG. 4-35 Problema 20.

seção 4-6 Análise do Movimento de um Projétil

•21 Um projétil é disparado horizontalmente de uma arma que está 45,0 m acima de um terreno plano, emergindo da arma com uma velocidade de 250 m/s. (a) Por quanto tempo o projétil permanece no ar? (b) A que distância horizontal do ponto de disparo ele se choca com o solo? (c) Qual é o módulo da componente vertical da velocidade quando o projétil se choca com o solo?

•22 No Campeonato Mundial de Atletismo de 1991, em Tóquio, Mike Powell saltou 8,95 m, batendo por 5 cm um recorde de 23 anos para o salto em distância estabelecido por Bob Beamon. Suponha que a velocidade de Powell no início do salto era de 9,5 m/s (aproximadamente igual à de um velocista) e que g = 9,8 m/s² em Tóquio. Calcule a diferença entre o alcance de Powell e o máximo alcance possível para uma partícula lançada com a mesma velocidade.

•23 O recorde atual de salto de motocicleta é de 77,0 m, estabelecido por Jason Renie. Suponha que ele parta da rampa fazendo um ângulo de 12° com a horizontal e que as alturas no início e no final do salto sejam iguais. Determine a velocidade inicial, desprezando a resistência do ar.

•24 Uma pequena bola rola horizontalmente até a borda de uma mesa de 1,20 m de altura e cai no chão. A bola chega ao chão a uma distância horizontal de 1,52 m da borda da mesa. (a) Por quanto tempo a bola fica no ar? (b) Qual é a velocidade da bola no instante em que chega à borda da mesa?

•25 Um dardo é arremessado horizontalmente com uma velocidade inicial de 10 m/s em direção a um ponto P, o centro de um alvo de parede. Ele atinge um ponto Q do alvo, verticalmente abaixo de P, 0,19 s depois do arremesso. (a) Qual é a distância PQ? (b) A que distância do alvo foi arremessado o dardo?

•26 Na Fig. 4-36, uma pedra é lançada em um rochedo de altura h com uma velocidade inicial de 42,0 m/s e um ângulo $\theta_0 = 60{,}0°$ com a horizontal. A pedra cai em um ponto A, 5,50 s após o lançamento. Determine (a) a altura h do rochedo, (b) a velocidade da pedra imediatamente antes do impacto em A e (c) a máxima altura H alcançada acima do solo.

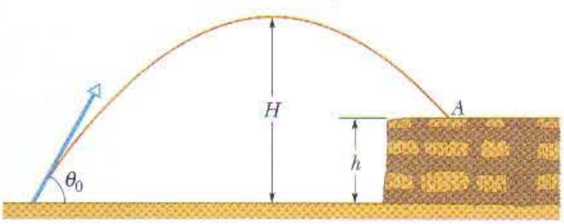


FIG. 4-36 Problema 26.

•27 Um certo avião tem uma velocidade de 290,0 km/h e está mergulhando com um ângulo θ = 30,0° abaixo da horizontal quando o piloto libera um chamariz (Fig. 4-37). A distância horizontal entre o ponto de lançamento e o ponto onde o chamariz se choca com o solo é d = 700 m. (a) Quanto tempo o chamariz passou no ar? (b) De que altura foi lançado?

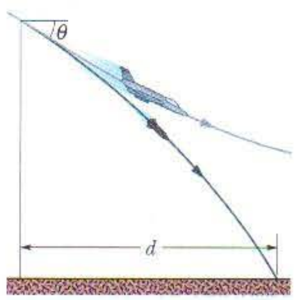


FIG. 4-37 Problema 27.

•28 Uma pedra é lançada de uma catapulta no instante t = 0, com uma velocidade inicial de módulo 20,0 m/s e um ângulo de 40,0° acima da horizontal. Quais são os módulos das componentes (a) horizontal e (b) vertical do deslocamento da pedra em relação à catapulta em t = 1,10 s? Repita os cálculos para as componentes (c) horizontal e (d) vertical em t = 1,80 s e para as componentes (e) horizontal e (f) vertical em t = 5,00 s.

••29 Um mergulhador salta com uma velocidade horizontal de 2,00 m/s de uma plataforma que está 10,0 m acima da superfície da água. (a) A que distância horizontal da borda da plataforma está o mergulhador 0,800 s após o início do salto? (b) A que distância vertical acima da superfície da água está o mergulhador nesse instante? (c) A que distância horizontal da borda da plataforma o mergulhador atinge a água?

••30 O trebuchet era uma máquina de arremesso construída para atacar as muralhas de um castelo durante um cerco. Uma grande pedra podia ser arremessada contra uma muralha para derrubá-la. A máquina não era instalada perto da muralha, porque os operadores seriam um alvo fácil para as flechas disparadas do alto das muralhas do castelo. Em vez disso, o trebuchet era posicionado de tal forma que a pedra atingia a muralha na parte descendente de sua trajetória. Suponha que uma pedra seja lançada com uma velocidade v_0 = 28,0 m/s e um ângulo θ_0 = 40,0°. Qual é a velocidade da pedra se ela atinge a muralha (a) no momento em que chega à altura máxima de sua trajetória parabólica e (b) depois de cair metade da altura máxima? (c) Qual é a diferença percentual entre as respostas dos itens (b) e (a)?

••31 Um avião, mergulhando com velocidade constante em um ângulo de 53,0° com a vertical, lança um projétil a uma altitude de 730 m. O projétil chega ao solo 5,00 s após o lançamento. (a) Qual é a velocidade do avião? (b) Que distância o projétil percorre horizontalmente durante o percurso? Quais são as componentes (c) horizontal e (d) vertical da velocidade do projétil no momento em que chega ao solo?

••32 Durante uma partida de tênis, um jogador saca a 23,6 m/s, com o centro da bola deixando a raquete horizontalmente a 2,37 m de altura em relação à quadra. A rede está a 12 m de distância e tem 0,90 m de altura. (a) A bola passa para o outro lado da quadra? (b) Quando a bola chega à rede, qual é a distância entre o centro da bola e o alto da rede? Suponha que, nas mesmas condições, a bola deixe a raquete fazendo um ângulo 5,00° abaixo da horizontal. Nesse caso, (c) a bola passa para o outro lado da quadra? (d) Quando a bola chega à rede, qual é a distância entre o centro da bola e o alto da rede?

••33 Em uma cortada, um jogador de voleibol golpeia a bola com força, de cima para baixo, em direção à quadra adversária. É difícil controlar o ângulo de uma cortada. Suponha que uma bola seja cortada de uma altura de 2,30 m, com uma velocidade inicial de 20,0 m/s e um ângulo para baixo de 18,00°. Se o ângulo para baixo diminuir para 8,00°, a que distância adicional a bola atingirá a quadra adversária?

••34 Uma bola de futebol é chutada a partir do chão com uma velocidade inicial de 19,5 m/s e um ângulo para cima de 45°. No mesmo instante um jogador a 55 m de distância, na direção do chute, começa a correr para receber a bola. Qual deve ser sua velocidade média para que alcance a bola imediatamente antes que toque o gramado?

••35 A velocidade de lançamento de um projétil é cinco vezes maior que a velocidade na altura máxima. Determine o ângulo de lançamento θ_0.

••36 Um arremessador de peso de nível olímpico é capaz de lançar o peso com uma velocidade inicial v_0 = 15,00 m/s de uma altura de 2,160 m. Que distância horizontal é coberta pelo peso se o ângulo de lançamento θ_0 é (a) 45,00° e (b) 42,00°? As respostas mostram que o ângulo de 45°, que maximiza o alcance dos projéteis, não maximiza a distância horizontal quando a altura inicial e a altura final são diferentes.

••37 Uma bola é lançada a partir do solo. Quando ela atinge uma altura de 9,1 m sua velocidade é $\vec{v} = (7{,}6\hat{\mathrm{i}} + 6{,}1\hat{\mathrm{j}})$ m/s, com $\hat{\mathrm{i}}$ horizontal e $\hat{\mathrm{j}}$ para cima. (a) Qual é a altura máxima atingida pela bola? (b) Qual é a distância horizontal coberta pela bola? Quais são (c) o módulo e (d) o ângulo (abaixo da horizontal) da velocidade da bola no instante em que atinge o solo?

••38 Você lança uma bola em direção a uma parede com uma velocidade de 25,0 m/s e um ângulo θ_0 = 40,0° acima da horizontal (Fig. 4-38). A parede está a uma distância d = 22,0 m do ponto de lançamento da bola. (a) A que distância acima do ponto de lançamento a bola atinge a parede? Quais são as componentes (b) horizontal e (c) vertical da velocidade da bola ao atingir a parede? (d) Ao atingir a parede, ela já passou pelo ponto mais alto da trajetória?

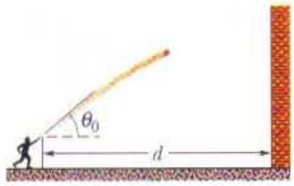


FIG. 4-38 Problema 38.

••39 Um rifle que atira balas a 460 m/s é apontado para um alvo situado a 45,7 m de distância. Se o centro do alvo está na mesma altura do rifle, para que altura acima do alvo o cano do rifle deve ser apontado para que a bala atinja o centro do alvo?

••40 Uma bola de beisebol deixa a mão do lançador horizontalmente com uma velocidade de 161 km/h. A distância até o rebatedor é 18,3 m. (a) Quanto tempo a bola leva para percorrer a primeira metade da distância? (b) E a segunda metade? (c) Que distância a bola cai livremente durante a primeira metade? (d) E durante a segunda metade? (e) Por que as respostas dos itens (c) e (d) não são iguais?

••41 Na Fig. 4-39 uma bola é jogada para a esquerda a partir da extremidade esquerda de um terraço, situado a uma altura h acima do solo. A bola chega ao solo 1,50 s depois, a uma distância d = 25,0 m do edifício e fazendo um ângulo θ = 60,0° com a horizontal. (a) Determine o valor de h. (*Sugestão:* Uma forma de resolver o problema é inverter o movimento, como se você estivesse vendo um filme de trás para a frente.) Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo em relação à horizontal com o qual a bola foi jogada?

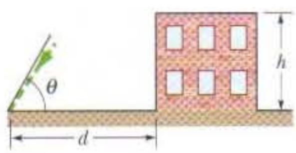


FIG. 4-39 Problema 41.

••42 Uma bola de golfe recebe uma tacada no chão. A velocidade da bola em função do tempo é mostrada na Fig. 4-40, onde t = 0 é o instante em que a bola foi golpeada. (a) Que distância a bola de golfe percorre na horizontal antes de voltar ao nível do solo? (b) Qual é a altura máxima atingida pela bola acima do solo?

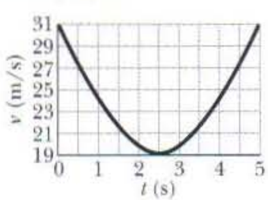


FIG. 4-40 Problema 42.

••43 Na Fig. 4-41 uma bola é lançada com uma velocidade de 10,0 m/s e um ângulo de 50,0° com a horizontal. O ponto de lançamento fica na base de uma rampa de comprimento horizontal d_1 = 6,00 m e altura d_2 = 3,60 m. No topo da rampa está localizado um platô. (a) A bola aterrissa na rampa ou no platô? No momento em que a bola aterrissa, quais são (b) o módulo e (c) o ângulo do deslocamento da bola em relação ao ponto de lançamento?

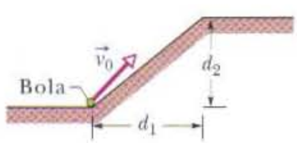


FIG. 4-41 Problema 43.

••44 Em 1939 ou 1940 Emanuel Zacchini levou seu número de bala humana a novas alturas. Depois de ser disparado por um canhão, passou por cima de três rodas-gigantes antes de cair em uma rede (Fig. 4-42). (a) Tratando Zacchini como uma partícula, determine a que distância vertical ele passou da primeira roda-gigante. (b) Se ele atingiu a altura máxima ao passar pela roda-gigante do meio, a que distância vertical passou dessa roda-gigante? (c) A que distância do canhão devia estar posicionado o centro da rede (desprezando a resistência do ar)?

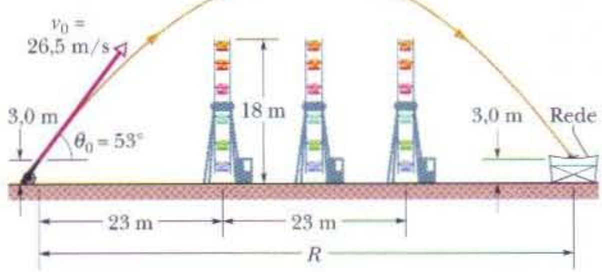


FIG. 4-42 Problema 44.

••45 Quando vê um inseto pousado em uma planta perto da superfície da água, o peixe-arqueiro coloca o focinho para fora e lança um jato de água na direção do inseto para derrubá-lo na água (Fig. 4-43). Embora o peixe veja o inseto na extremidade de um segmento de reta de comprimento d, que faz um ângulo ϕ com a superfície da água, o jato deve ser lançado com um ângulo diferente, θ_0, para que sua trajetória parabólica intercepte o inseto. Se ϕ = 36,0°, d = 0,900 m e a velocidade de lançamento é 3,56 m/s, qual deve ser o valor de θ_0 para que o jato esteja no ponto mais alto da trajetória quando atinge o inseto?

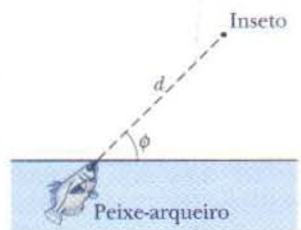


FIG. 4-43 Problema 45.

••46 Na Fig. 4-44 uma bola é arremessada para o alto de um edifício, caindo 4,00 s depois a uma altura h = 20,0 m acima da altura de lançamento. A trajetória da bola no final tem uma inclinação θ = 60° em relação à horizontal. (a) Determine a distância horizontal d coberta pela bola. (Veja a sugestão do Problema 41.) Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade inicial da bola?

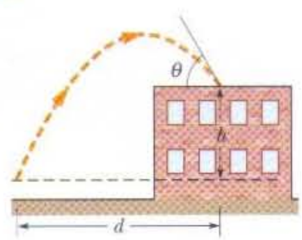


FIG. 4-44 Problema 46.

••47 Um rebatedor golpeia uma bola quando o centro da bola está a 1,22 m acima do solo. A bola deixa o taco do rebatedor fazendo um ângulo de 45° com o solo. Nesse lançamento a bola tem um alcance horizontal (distância até voltar à *altura de lançamento*) de 107 m. (a) A bola conseguirá passar por um alambrado de 7,32 m de altura que está a uma distância horizontal de 97,5 m do ponto de lançamento? (b) Qual é a distância entre o alto do alambrado e o centro da bola quando a mesma chega ao alambrado?

••48 Alguns jogadores de basquetebol parecem *flutuar* no ar durante um salto em direção à cesta. A ilusão depende em boa parte da capacidade de um jogador experiente de trocar rapidamente a bola de mão durante o salto, mas pode ser acentuada pelo fato de que o jogador percorre uma distância horizontal maior na parte superior do salto do que na parte inferior. Se um jogador salta com uma velocidade inicial v_0 = 7,00 m/s e um ângulo θ_0 = 35,0°, que porcentagem do alcance do salto o jogador passa na parte superior do salto (entre a altura máxima e metade da altura máxima)?

•••49 Os esquiadores experientes costumam dar um pequeno salto antes de chegar a uma encosta. Considere um salto no qual a velocidade inicial é $v_0 = 10$ m/s, o ângulo é $\theta_0 = 9{,}0°$, a pista antes do salto é aproximadamente plana e a encosta tem uma inclinação de 11,3°. A Fig. 4-45*a* mostra um *pré-salto* no qual o esquiador desce no início da encosta. A Fig. 4-45*b* mostra um salto que começa no momento em que o esquiador está chegando à encosta. Na Fig. 4-45*a* o esquiador desce aproximadamente na mesma altura em que começou o salto. (a) Qual é o ângulo ϕ entre a trajetória do esquiador e a encosta na situação da Fig. 4-45*a*? Na situação da Fig. 4-45*b* (b) o esquiador desce quantos metros abaixo da altura em que começou o salto e (c) qual é o valor de ϕ? (A queda maior e o maior valor de ϕ podem fazer o esquiador perder o equilíbrio.)

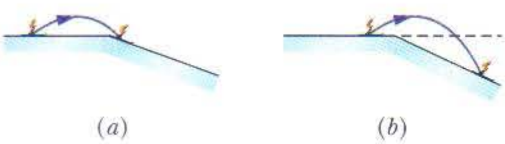


FIG. 4-45 Problema 49.

•••50 Uma bola é lançada a partir do solo em direção a uma parede situada a uma distância x (Fig. 4-46*a*). A Fig. 4-46*b* mostra a componente v_y da velocidade da bola ao chegar à parede em função da distância x. Qual é o ângulo de lançamento?

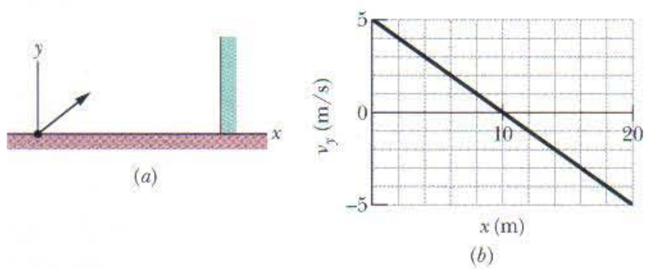


FIG. 4-46 Problema 50.

•••51 O chute de um jogador de futebol americano imprime à bola uma velocidade inicial de 25 m/s. Quais são (a) o menor e (b) o maior ângulo de elevação que ele pode imprimir à bola para marcar um *field goal** a partir de um ponto situado a 50 m da meta, cujo travessão está 3,44 m acima do gramado?

•••52 Uma bola é lançada a partir do solo com uma certa velocidade. A Fig. 4-47 mostra o alcance R em função ao ângulo de lançamento θ_0. O tempo de percurso depende do valor de θ_0; seja $t_{máx}$ o maior valor possível desse tempo. Qual é a menor velocidade que a bola possui durante o percurso se θ_0 é escolhido de tal forma que o tempo de percurso é $0{,}5t_{máx}$?

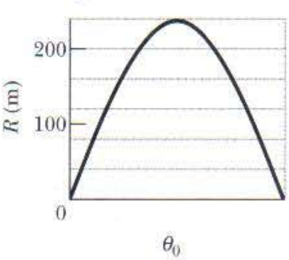


FIG. 4-47 Problema 52.

* Para marcar um *field goal* no futebol americano um jogador tem que fazer a bola passar por cima do travessão e entre as duas traves laterais. (N.T.)

•••53 Uma bola rola horizontalmente do alto de uma escada com uma velocidade de 1,52 m/s. Os degraus têm 20,3 cm de altura e 20,3 cm de largura. Em que degrau a bola bate primeiro?

•••54 Dois segundos após ter sido lançado a partir do solo, um projétil deslocou-se 40 m horizontalmente e 53 m verticalmente em relação ao ponto de lançamento. Quais são as componentes (a) horizontal e (b) vertical da velocidade inicial do projétil? (c) Qual é o deslocamento horizontal em relação ao ponto de lançamento no instante em que o projétil atinge a altura máxima em relação ao solo?

•••55 Na Fig. 4-48 uma bola de beisebol é golpeada a uma altura $h = 1{,}00$ m e apanhada na mesma altura. Deslocando-se paralelamente a um muro, ela passa pelo alto do muro 1,00 s após ter sido golpeada e, novamente, 4,00 s depois, quando está descendo, em posições separadas por uma distância $D = 50{,}0$ m. (a) Qual é a distância horizontal percorrida pela bola do instante em que foi golpeada até ser apanhada? Quais são (b) o módulo e (c) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade da bola imediatamente após ter sido golpeada? (d) Qual é a altura do muro?

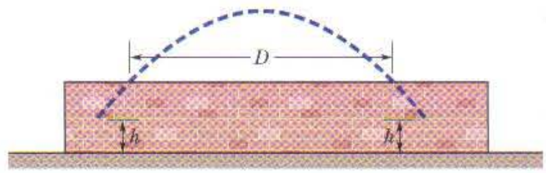


FIG. 4-48 Problema 55.

seção 4-7 Movimento Circular Uniforme

•56 Um viciado em aceleração centrípeta executa um movimento circular uniforme de período $T = 2{,}0$ s e raio $r = 3{,}00$ m. No instante t_1 sua aceleração é $\vec{a} = (6{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{i}} + (-4{,}00 \text{ m/s}^2)\hat{\text{j}}$. Nesse instante, quais são os valores de (a) $\vec{v}\cdot\vec{a}$ e (b) $\vec{r}\times\vec{a}$?

•57 Em um parque de diversões uma mulher passeia em uma roda-gigante com 15 m de raio, completando cinco voltas em torno do eixo horizontal a cada minuto. Quais são (a) o período do movimento, (b) o módulo e (c) o sentido de sua aceleração centrípeta no ponto mais alto, e (d) o módulo e (e) o sentido de sua aceleração centrípeta no ponto mais baixo?

•58 Qual é o módulo da aceleração de um velocista que corre a 10 m/s ao fazer uma curva com 25 m de raio?

•59 Quando uma grande estrela se torna uma *supernova* seu núcleo pode ser tão comprimido que ela se transforma em uma *estrela de nêutrons*, com um raio de cerca de 20 km. Se uma estrela de nêutrons completa uma revolução a cada segundo, (a) qual é o módulo da velocidade de uma partícula situada no equador da estrela e (b) qual é o módulo da aceleração centrípeta da partícula? (c) Se a estrela de nêutrons gira mais depressa, as respostas dos itens (a) e (b) aumentam, diminuem ou permanecem as mesmas?

•60 Um satélite se move em uma órbita circular, 640 km acima da superfície da Terra, com um período de 98,0 min. Quais são (a) a velocidade e (b) o módulo da aceleração centrípeta do satélite?

•61 Um carrossel de um parque de diversões gira em torno de um eixo vertical com velocidade angular constante. Um homem em pé na borda do carrossel tem uma velocidade escalar constante de 3,66 m/s e uma aceleração centrípeta $\vec{a}$ de módulo 1,83 m/s². O vetor posição $\vec{r}$ indica sua posição em relação ao eixo do carrossel. (a) Qual é o módulo de $\vec{r}$? Qual é o sentido de $\vec{r}$ quando $\vec{a}$ aponta (b) para leste e (c) para o sul?

•62 Um ventilador realiza 1200 revoluções por minuto. Considere um ponto situado na extremidade de uma das pás, que descreve uma circunferência com 0,15 m de raio. (a) Que distância este ponto percorre em uma revolução? Quais são (b) a velocidade do ponto e (c) o módulo de sua aceleração? (d) Qual é o período do movimento?

••63 Uma bolsa a 2,00 m do centro e uma carteira a 3,00 m do centro descrevem um movimento circular uniforme no piso de um carrossel. Elas estão na mesma linha radial. Em um certo instante, a aceleração da bolsa é $(2{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{j}$. Qual é a aceleração da carteira nesse instante, em termos dos vetores unitários?

••64 Uma partícula se move em uma trajetória circular em um sistema de coordenadas xy horizontal, com velocidade escalar constante. No instante $t_1 = 4{,}00$ s ela está no ponto (5,00 m, 6,00 m) com velocidade $(3{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$ e aceleração no sentido positivo de x. No instante $t_2 = 10{,}0$ s ela tem uma velocidade $(-3{,}00\ \text{m/s})\hat{i}$ e uma aceleração no sentido positivo de y. Quais são as coordenadas (a) x e (b) y do centro da trajetória circular se a diferença $t_2 - t_1$ é menor que um período?

••65 Em $t_1 = 2{,}00$ s, a aceleração de uma partícula em movimento circular no sentido anti-horário é $(6{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{j}$. Ela se move com velocidade escalar constante. Em $t_2 = 5{,}00$ s, sua aceleração é $(4{,}00\ \text{m/s}^2)\hat{i} + (-6{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$. Qual é o raio da trajetória da partícula se a diferença $t_2 - t_1$ é menor que um período?

••66 Uma partícula descreve um movimento circular uniforme em um plano horizontal xy. Em um certo instante ela passa pelo ponto de coordenadas (4,00 m, 4,00 m) com uma velocidade de $-5{,}00\hat{i}$ m/s e uma aceleração de $+12{,}5\hat{j}$ m/s. Quais são as coordenadas (a) x e (b) y do centro da trajetória circular?

•••67 Um menino faz uma pedra descrever uma circunferência horizontal com 1,5 m de raio 2,0 m acima do chão. A corda se parte e a pedra é arremessada horizontalmente, chegando ao solo depois de percorrer uma distância horizontal de 10 m. Qual era o módulo da aceleração centrípeta da pedra durante o movimento circular?

•••68 Um gato pula em um carrossel que está descrevendo um movimento circular uniforme. No instante $t_1 = 2{,}00$ s a velocidade do gato é $\vec{v}_1 = (3{,}00\ \text{m/s})\hat{i} + (4{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$, medida em um sistema de coordenadas horizontal xy. No instante $t_2 = 5{,}00$ s, a velocidade é $\vec{v}_2 = (-3{,}00\ \text{m/s})\hat{i} + (-4{,}00\ \text{m/s})\hat{j}$. Quais são (a) o módulo da aceleração centrípeta do gato e (b) a aceleração média do gato no intervalo de tempo $t_2 - t_1$, que é menor que um período?

seção 4-8 Movimento Relativo em Uma Dimensão

•69 Um cinegrafista está em uma picape que se move para oeste a 20 km/h enquanto filma um guepardo que também está se movendo para oeste 30 km/h mais depressa que a picape. De repente, o guepardo pára, dá meia-volta e passa a correr a 45 km/h para leste, de acordo com a estimativa de um membro da equipe, agora nervoso, de pé na margem da estrada, no caminho do guepardo. A mudança de velocidade do animal leva 2,0 s. Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da aceleração do animal em relação ao cinegrafista e (c) o módulo e (d) a orientação da aceleração do animal em relação ao membro nervoso da equipe?

•70 Um barco está navegando rio acima, no sentido positivo de um eixo x, a 14 km/h em relação à água do rio. A água do rio está correndo a 9,0 km/h em relação à margem. Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do barco em relação à margem? Uma criança no barco caminha da popa para a proa a 6,0 km/h em relação ao barco. Quais são (c) o módulo e (d) a orientação da velocidade da criança em relação à margem?

••71 Um homem de aparência suspeita corre o mais rápido que pode por uma esteira rolante, levando 2,5 s para ir de uma extremidade a outra. Os seguranças aparecem e o homem volta ao ponto de partida, correndo o mais rápido que pode, levando 10,0 s. Qual é a razão entre a velocidade do homem e a velocidade da esteira?

seção 4-9 Movimento Relativo em Duas Dimensões

•72 Um jogador de rúgbi corre com a bola em direção à meta do adversário no sentido positivo de um eixo x. De acordo com as regras do jogo, ele pode passar a bola a um companheiro de equipe desde que a velocidade da bola em relação ao campo não possua uma componente x positiva. Suponha que o jogador esteja correndo com uma velocidade de 4,0 m/s em relação ao campo quando passa a bola com uma velocidade $\vec{v}_{BJ}$ em relação a ele mesmo. Se o módulo de $\vec{v}_{BJ}$ é 6,0 m/s, qual é o menor ângulo que ela deve fazer com a direção x para que o passe seja válido?

••73 Dois navios, A e B, deixam o porto ao mesmo tempo. O navio A navega para noroeste a 24 nós e o navio B navega a 28 nós em uma direção 40° a oeste do sul. (1 nó = 1 milha marítima por hora; veja o Apêndice D.) Quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do navio A em relação ao navio B? (c) Após quanto tempo os navios estarão separados por 160 milhas marítimas? (d) Qual será o curso de B (orientação do vetor posição de B) em relação a A nesse instante?

••74 Um avião leve atinge uma velocidade do ar de 500 km/h. O piloto pretende chegar a um ponto 800 km ao norte, mas descobre que deve direcionar o avião 20,0° a leste do norte para atingir seu destino. O avião chega em 2,00 h. Quais eram (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do vento?

••75 A neve está caindo verticalmente com uma velocidade constante de 8,0 m/s. Com que ângulo, em relação à vertical, os flocos de neve parecem estar caindo do ponto de vista do motorista de um carro que viaja em uma estrada plana e retilínea a uma velocidade de 50 km/h?

••76 Depois de voar por 15 min em um vento de 42 km/h a um ângulo 20° ao sul do leste, o piloto de um avião sobrevoa uma cidade que está a 55 km ao norte do ponto de partida. Qual é a velocidade escalar do avião em relação ao ar?

••77 Um trem viaja para o sul a 30 m/s (em relação ao solo) em meio a uma chuva que é soprada para o sul pelo vento. As trajetórias das gotas de chuva fazem um ângulo de 70° com a vertical quando medidas por um observador estacionário no solo. Um observador no trem, entretanto, vê as gotas caírem exatamente na vertical. Determine a velocidade escalar das gotas de chuva em relação ao solo.

••78 Um rio de 200 m de largura corre para leste com uma velocidade constante de 2,0 m/s. Um barco com uma velocidade de 8,0 m/s em relação à água parte da margem sul em uma direção 30° a oeste do norte. Determine (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do barco em relação à margem. (c) Quanto tempo o barco leva para atravessar o rio?

••79 Duas rodovias se cruzam, como mostra a Fig. 4-49. No instante indicado, um carro de polícia P está a uma distância $d_P = 800$ m do cruzamento, movendo-se com uma velocidade escalar $v_P = 80$ km/h. O motorista M está a uma distância $d_M = 600$ m do cruzamento, movendo-se com uma velocidade escalar $v_M = 60$ km/h. (a) Qual é a velocidade do motorista em relação ao carro da polícia na notação de vetores unitários? (b) No instante mostrado na Fig. 4-49, qual é o ângulo entre a velocidade calculada no item (a) e a reta que liga os dois carros? (c) Se os carros mantêm suas velocidades, as respostas dos itens (a) e (b) mudam quando os carros se aproximam da interseção?

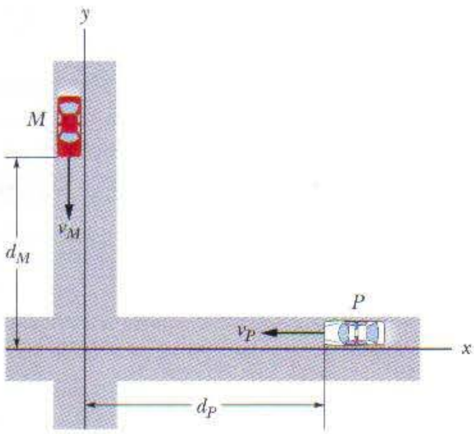


FIG. 4-49 Problema 79.

••80 Na vista superior da Fig. 4-50 os jipes P e B se movem em linha reta em um terreno plano e passam ao lado de um guarda de fronteira estacionário A. Em relação ao guarda, o jipe B se move com uma velocidade escalar constante de 20,0 m/s e um ângulo $\theta_2 = 30{,}0°$. Também em relação ao guarda, P acelerou a partir do repouso a uma taxa constante de 0,400 m/s^2 e um ângulo $\theta_1 = 60{,}0°$. Em um certo instante durante a aceleração, P possui uma velocidade escalar de 40,0 m/s. Nesse instante, quais são (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade de P em relação a B e (c) o módulo e a orientação da aceleração de P em relação a B?

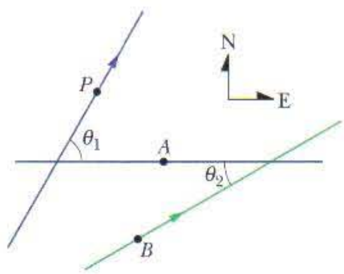


FIG. 4-50 Problema 80.

•••81 O navio A está 4,0 km ao norte e 2,5 km a leste do navio B. O navio A está viajando com uma velocidade de 22 km/h na direção sul; o navio B, com uma velocidade de 40,0 km/h em uma direção 37° ao norte do leste. (a) Qual é a velocidade de A em relação a B em termos dos vetores unitários, com $\hat{\mathrm{i}}$ apontando para o leste? (b) Escreva uma expressão (em termos de $\hat{\mathrm{i}}$ e $\hat{\mathrm{j}}$) para a posição de A em relação a B em função do tempo t, tomando $t = 0$ como o instante em que os dois navios estão nas posições aqui descritas. (c) Em que instante a separação entre os navios é mínima? (d) Qual é essa separação mínima?

•••82 Um rio de 200 m de largura corre com uma velocidade uniforme de 1,1 m/s através de uma floresta, na direção leste. Um explorador deseja sair de uma pequena clareira na margem sul e atravessar o rio em um barco a motor que se move com uma velocidade escalar constante de 4,0 m/s em relação à água. Existe uma outra clareira na margem norte, 82 m rio acima a partir de um ponto da margem sul, exatamente em frente à clareira. (a) Em que direção o barco deve ser apontado para viajar em linha reta e chegar à clareira da margem norte? (b) Quanto tempo o barco leva para atravessar o rio e chegar à clareira?

Problemas Adicionais

83 Você é seqüestrado por estudantes de ciência política (que estão aborrecidos porque você disse a eles que a ciência política não é uma ciência de verdade). Embora esteja vendado, você pode estimar a velocidade do carro dos seqüestradores (pelo ronco do motor), o tempo de viagem (contando mentalmente os segundos) e a orientação da viagem (pelas curvas que o carro fez). A partir dessas pistas você sabe que foi conduzido ao longo do seguinte percurso: 50 km/h por 2,0 min, curva de 90° para a direita, 20 km/h por 4,0 min, curva de 90° para a direita, 20 km/h por 60 s, curva de 90° para a esquerda, 50 km/h por 60 s, curva 90° para a direita, 20,0 km/h por 2,0 min, curva de 90° para a esquerda, 50 km/h por 30 s. Nesse ponto, (a) a que distância você se encontra do ponto de partida e (b) em que direção em relação à direção inicial você está?

84 *Cortina da morte.* Um grande asteróide metálico colide com a Terra e abre uma cratera no material rochoso abaixo do solo, lançando pedras para o alto. A tabela a seguir mostra cinco pares de velocidades e ângulos (em relação à horizontal) para essas pedras, com base em um modelo de formação de crateras. (Outras pedras, com velocidades e ângulos intermediários, também são lançadas.) Suponha que você está em $x = 20$ km quando o asteróide chega ao solo no instante $t = 0$ e na posição $x = 0$ (Fig. 4-51). (a) Em $t = 20$ s, quais são as coordenadas x e y das pedras, de A a E, que foram lançadas em sua direção? (b) Plote essas coordenadas em um gráfico e desenhe uma curva passando pelos pontos para incluir pedras com velocidades e ângulos intermediários. A curva deve dar uma idéia do que você veria ao olhar na direção das pedras e do que os dinossauros devem ter visto durante as colisões de asteróides com a Terra, no passado remoto.

Pedra	Velocidade (m/s)	Ângulo (graus)
A	520	14,0
B	630	16,0
C	750	18,0
D	870	20,0
E	1000	22,0

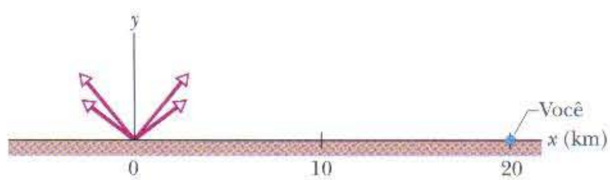


FIG. 4-51 Problema 84.

85 Na Fig. 4-52 uma bola de massa de modelar descreve um movimento circular uniforme, com um raio de 20,0 cm, na borda de uma roda que está girando no sentido anti-horário com um período de 5,00 ms. A bola se desprende da borda na posição correspondente a 5 horas (como se estivesse no mos-

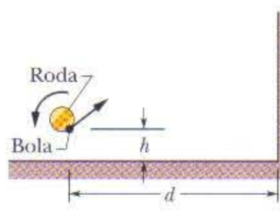


FIG. 4-52 Problema 85.

trador de um relógio). Ela deixa a borda a uma altura $h = 1{,}20$ m acima do chão e a uma distância $d = 2{,}50$ m de uma parede. Em que altura a bola bate na parede?

86 Uma partícula descreve um movimento circular uniforme em torno da origem de um sistema de coordenadas xy, movendo-se no sentido horário com um período de 7,00 s. Em um certo instante o vetor posição da partícula (em relação à origem) é $\vec{r} = (2{,}00\text{ m})\hat{\mathrm{i}} - (3{,}00\text{ m})\hat{\mathrm{j}}$. Qual é a velocidade da partícula nesse instante, em termos dos vetores unitários?

87 Na Fig. 4-53, uma bola é lançada verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade inicial $v_0 = 7{,}00$ m/s. Ao mesmo tempo um elevador de serviço começa a subir, a partir do solo, com uma velocidade constante $v_c = 3{,}00$ m/s. Qual é a altura máxima atingida pela bola (a) em relação ao solo e (b) em relação ao piso do elevador? Qual é a taxa de variação da velocidade da bola (c) em relação ao solo e (d) em relação ao piso do elevador?

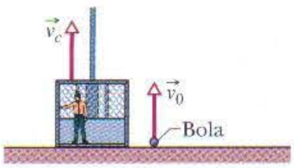


FIG. 4-53 Problema 87.

88 Na Fig. 4-54a, um trenó se move no sentido negativo do eixo x com uma velocidade escalar constante v_t, enquanto uma bola de gelo é atirada do trenó com uma velocidade $\vec{v}_0 = v_{0x}\hat{\mathrm{i}} + v_{0y}\hat{\mathrm{j}}$ em relação ao trenó. Quando a bola chega ao solo, seu deslocamento horizontal Δx_{bs} em relação ao solo (da posição inicial à posição final) é medido. A Fig. 4-54b mostra a variação de Δx_{bs} com v_t. Suponha que a bola chega ao solo na altura aproximada em que foi lançada. Quais são os valores (a) de v_{0x} e (b) de v_{0y}? O deslocamento da bola em relação ao trenó, Δx_{bt}, também pode ser medido. Suponha que a velocidade do trenó não muda depois que a bola é atirada. Quanto é Δx_{bt} para v_t igual a (c) 5,0 m/s e (d) 15 m/s?

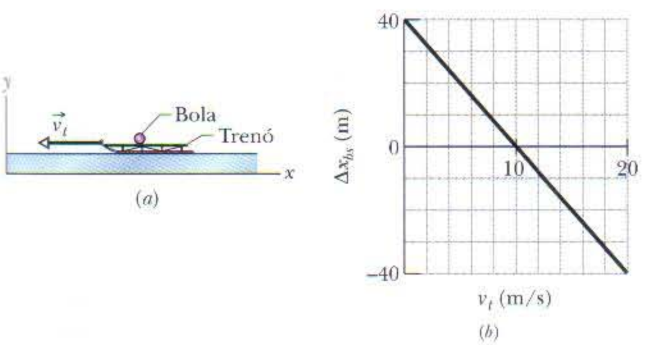


FIG. 4-54 Problema 88.

89 Uma mulher que é capaz de remar um barco a 6,4 km/h em águas paradas se prepara para atravessar um rio longo e retilíneo com 6,4 km de largura e uma correnteza de 3,2 km/h. Tome $\hat{\mathrm{i}}$ perpendicular ao rio e $\hat{\mathrm{j}}$ apontando rio abaixo. Se a mulher pretende remar até um ponto na outra margem diametralmente oposto ao ponto de partida, (a) para que ângulo em relação a $\hat{\mathrm{i}}$ deve apontar o barco e (b) quanto tempo leva para fazer a travessia? (c) Quanto tempo gastaria se, em vez disso, remasse 3,2 km *rio abaixo* e depois voltasse ao ponto de partida? (d) Quanto tempo gastaria se remasse 3,2 km *rio acima* e depois voltasse ao ponto de partida? (e) Para que ângulo deveria direcionar o barco para atravessar o rio no menor tempo possível? (f) Qual seria esse tempo?

90 Na Fig. 4-55, uma estação de radar detecta um avião que se aproxima, vindo do leste. Quando é observado pela primeira vez o avião está a uma distância $d_1 = 360$ m da estação e $\theta_1 = 40°$ acima do horizonte. O avião é rastreado durante uma variação angular $\Delta\theta = 123°$ no plano vertical leste-oeste; sua distância no final dessa variação é $d_2 = 790$ m. Determine (a) o módulo e (b) a orientação do deslocamento do avião durante este período.

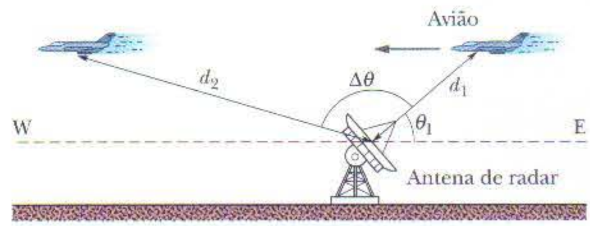


FIG. 4-55 Problema 90.

91 Um rifle é apontado horizontalmente para um alvo a 30 m de distância. A bala atinge o alvo 1,9 cm abaixo do ponto para onde o rifle foi apontado. Determine (a) o tempo de percurso da bala e (b) a velocidade escalar da bala ao sair do rifle.

92 Um trem francês de alta velocidade, conhecido como TGV (Train à Grande Vitesse), viaja a uma velocidade média de 216 km/h. (a) Se o trem faz uma curva a essa velocidade e o módulo da aceleração sentida pelos passageiros pode ser no máximo de $0{,}050g$, qual é o menor raio de curvatura dos trilhos que pode ser tolerado? (b) Com que velocidade o trem deve fazer uma curva com 1,00 km de raio para que a aceleração esteja no limite permitido?

93 Um campo magnético pode forçar uma partícula a descrever uma trajetória circular. Suponha que um elétron que está descrevendo uma circunferência sofra uma aceleração radial de módulo $3{,}0 \times 10^{14}$ m/s^2 sob o efeito de um certo campo magnético. (a) Qual é o módulo da velocidade do elétron se o raio da trajetória circular é de 15 cm? (b) Qual é o período do movimento?

94 O vetor posição de um próton é inicialmente $\vec{r} = 5{,}0\hat{\mathrm{i}} - 6{,}0\hat{\mathrm{j}} + 2{,}0\hat{\mathrm{k}}$ e depois se torna $\vec{r} = -2{,}0\hat{\mathrm{i}} + 6{,}0\hat{\mathrm{j}} + 2{,}0\hat{\mathrm{k}}$, com todos os valores em metros. (a) Qual é o vetor deslocamento do próton? (b) Esse vetor é paralelo a que plano?

95 Uma partícula P se move com velocidade escalar constante sobre uma circunferência de raio $r = 3{,}00$ m (Fig. 4-56) e completa uma revolução a cada 20,0 s. A partícula passa pelo ponto O no instante $t = 0$. Expresse os vetores a seguir na notação módulo-ângulo (ângulo em relação ao sentido positivo de x). Determine o vetor posição da partícula, em relação a O, nos instantes (a) $t = 5{,}00$ s, (b) $t = 7{,}50$ s e (c) $t = 10{,}0$ s. (d) Determine o deslocamento da partícula no intervalo de 5,00 s entre o fim do quinto segundo e o fim do décimo segundo. Para esse mesmo intervalo, determine (e) a velocidade média e a velocidade (f) no início e (g) no fim do intervalo. Em seguida, determine a aceleração (h) no início e (i) no fim do intervalo.

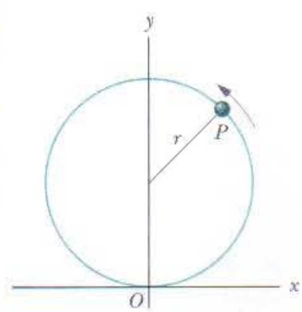


FIG. 4-56 Problema 95.

96 Um trenó a vela se move na superfície de um lago congelado com uma aceleração constante produzida pelo vento. Em um certo instante a velocidade do trenó é $6{,}30\hat{i} - 8{,}42\hat{j}$. Três segundos depois, devido a uma mudança do vento, o trenó se encontra momentaneamente em repouso. Qual é a aceleração média do trenó nesse intervalo de 3 s?

97 Em 3,50 h um balão se desloca 21,5 km para o norte, 9,70 km para leste e 2,88 km para cima em relação ao ponto de lançamento. Determine (a) o módulo da velocidade média do balão e (b) o ângulo que a velocidade média faz com a horizontal.

98 Uma bola é lançada horizontalmente de uma altura de 20 m e chega ao solo com uma velocidade três vezes maior que a inicial. Determine a velocidade inicial.

99 Um projétil é lançado com uma velocidade inicial de 30 m/s e um ângulo de 60° acima da horizontal. Determine (a) o módulo e (b) o ângulo da velocidade 2,0 s após o lançamento. (c) O ângulo do item (b) é acima ou abaixo da horizontal? Determine (d) o módulo e (e) o ângulo da velocidade 5,0 s após o lançamento. (f) O ângulo do item (e) é acima ou abaixo da horizontal?

100 Um aeroporto dispõe de uma esteira rolante para ajudar os passageiros a atravessar um longo corredor. Lauro não usa a esteira rolante e leva 150 s para atravessar o corredor. Cora, que fica parada na esteira rolante, cobre a mesma distância em 70 s. Marta prefere andar na esteira rolante. Quanto tempo leva Marta para atravessar o corredor? Suponha que Lauro e Marta caminhem com a mesma velocidade.

101 Um jogador de futebol americano chuta uma bola de tal forma que ela passa 4,5 s no ar e chega ao solo a 46 m do ponto de onde foi lançada. Se a bola deixa o pé do jogador 150 cm acima do solo, qual deve ser (a) o módulo e (b) o ângulo (em relação à horizontal) da velocidade inicial da bola?

102 No voleibol feminino o alto da rede está 2,24 m acima do piso e a quadra mede 9,0 m por 9,0 m de cada lado da rede. Ao dar um saque viagem, uma jogadora bate na bola quando ela está 3,0 m acima do piso e a uma distância horizontal de 8,0 m da rede. Se a velocidade inicial da bola é horizontal, determine (a) a menor velocidade escalar que a bola deve ter para ultrapassar a rede e (b) a máxima velocidade que ela pode ter para atingir o piso dentro dos limites da quadra do outro lado da rede.

103 A Fig. 4-57 mostra a trajetória retilínea de uma partícula em um sistema de coordenadas xy quando a partícula é acelerada a partir do repouso em um intervalo de tempo Δt_1. A aceleração é constante. As coordenadas do ponto A são (4,00 m, 6,00 m) e as do ponto B são (12,0 m, 18,0 m). (a) Qual é a razão a_y/a_x entre as componentes da aceleração? (b) Quais são as coordenadas da partícula se o movimento continua durante outro intervalo igual a Δt_1?

FIG. 4-57 Problema 103.

104 Um astronauta é posto em rotação em uma centrífuga horizontal com um raio de 5,0 m. (a) Qual é a velocidade escalar do astronauta se a aceleração centrípeta tem um módulo de 7,0g? (b) Quantas revoluções por minuto são necessárias para produzir essa aceleração? (c) Qual é o período do movimento?

105 (a) Qual é o módulo da aceleração centrípeta de um objeto no equador da Terra devido à rotação da Terra? (b) Qual deveria ser o período de rotação da Terra para que um objeto no equador tivesse uma aceleração centrípeta com um módulo de 9,8 m/s²?

106 Uma pessoa sobe uma escada rolante enguiçada, de 15 m de comprimento, em 90 s. Ficando parada na mesma escada rolante, depois de consertada, a pessoa sobe em 60 s. Quanto tempo a pessoa leva se subir a escada e ela estiver em movimento? A resposta depende do comprimento da escada?

107 Uma bola de beisebol é golpeada junto ao chão. A bola atinge a altura máxima 3,0 s após ter sido golpeada. Em seguida, 2,5 s após ter atingido a altura máxima, a bola passa rente a um alambrado que está a 97,5 m do ponto onde foi golpeada. Suponha que o solo é plano. (a) Qual é a altura máxima atingida pela bola? (b) Qual é a altura do alambrado? (c) A que distância do alambrado a bola atinge o chão?

108 O alcance de um projétil depende não só de v_0 e θ_0, mas também do valor g da aceleração em queda livre, que varia de lugar para lugar. Em 1936 Jesse Owens estabeleceu o recorde mundial de salto em distância de 8,09 m nos Jogos Olímpicos de Berlim, onde g = 9,8128 m/s². Supondo os mesmos valores de v_0 e θ_0, que distância o atleta teria pulado em 1956, nos Jogos Olímpicos de Melbourne, onde g = 9,7999 m/s²?

109 Durante as erupções vulcânicas, grandes pedaços de pedra podem ser lançados para fora do vulcão; esses projéteis são conhecidos como *bombas vulcânicas*. A Fig. 4-58 mostra uma seção transversal do monte Fuji, no Japão. (a) Com que velocidade inicial uma bomba teria que ser lançada, com um ângulo θ_0 = 35° em relação à horizontal, a partir da cratera A, para cair no ponto B, a uma distância vertical h = 3,30 km e a uma distância horizontal d = 9,40 km? Ignore o efeito do ar sobre o movimento da bomba. (b) Qual seria o tempo de percurso? (c) O efeito do ar aumentaria ou diminuiria a resposta do item (a)?

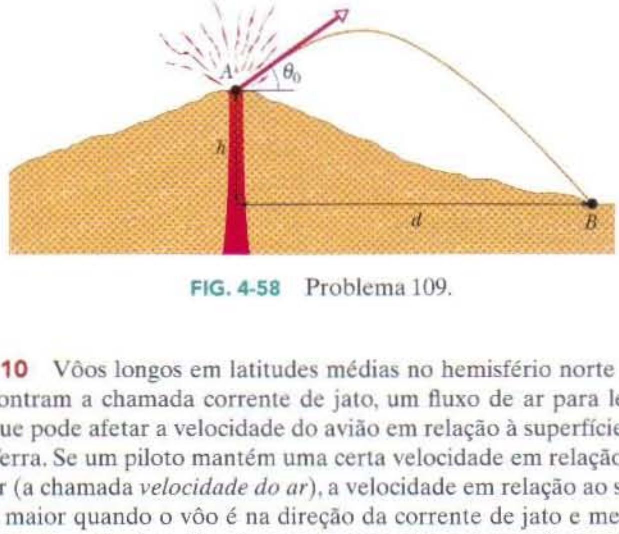


FIG. 4-58 Problema 109.

110 Vôos longos em latitudes médias no hemisfério norte encontram a chamada corrente de jato, um fluxo de ar para leste que pode afetar a velocidade do avião em relação à superfície da Terra. Se um piloto mantém uma certa velocidade em relação ao ar (a chamada *velocidade do ar*), a velocidade em relação ao solo é maior quando o vôo é na direção da corrente de jato e menor quando o vôo é na direção oposta. Suponha que um vôo de ida e volta esteja previsto entre duas cidades separadas por 4000 km, com o vôo de ida no sentido da corrente de jato e o vôo de volta no sentido oposto. O computador da empresa aérea recomenda uma velocidade do ar de 1000 km/h, para a qual a diferença entre as durações dos vôos de ida e de volta é de 70,0 min. Qual é a velocidade da corrente de jato que o computador usou nos cálculos?

111 Uma partícula parte da origem no instante $t = 0$ com uma velocidade de $8{,}0\hat{j}$ m/s e se move no plano xy com uma aceleração constante igual a $(4{,}0\hat{i} + 2{,}0\hat{j})$ m/s². Quando a coordenada x da partícula é 29 m, quais são (a) a coordenada y e (b) a velocidade escalar?

112 Um velocista correndo em uma pista circular possui uma velocidade escalar constante de 9,2 m/s e uma aceleração centrípeta de módulo 3,8 m/s². Quais são (a) o raio da pista e (b) o período do movimento circular?

113 Um elétron com uma velocidade horizontal inicial de módulo $1{,}00 \times 10^9$ cm/s penetra na região entre duas placas de metal horizontais eletricamente carregadas. Nessa região o elétron percorre uma distância horizontal de 2,00 cm e sofre uma aceleração constante para baixo de módulo $1{,}00 \times 10^{17}$ cm/s² devido às placas carregadas. Determine (a) o tempo que o elétron leva para percorrer os 2,00 cm; (b) a distância vertical que o elétron percorre durante esse tempo; os módulos da componente (c) horizontal e (d) vertical da velocidade quando o elétron sai da região entre as placas.

114 Um elevador sem teto está subindo com uma velocidade constante de 10 m/s. Um menino que está no elevador arremessa uma bola para cima, na vertical, de uma altura 2,0 m acima do piso do elevador, no instante em que o piso do elevador se encontra 28 m acima do solo. A velocidade inicial da bola em relação ao elevador é de 20 m/s. (a) Qual é a altura máxima acima do solo atingida pela bola? (b) Quanto tempo a bola leva para cair de volta no piso do elevador?

115 Suponha que uma sonda espacial seja capaz de suportar uma aceleração de no máximo $20g$. (a) Qual é o menor raio de curvatura que a nave pode suportar quando está se movendo a um décimo da velocidade da luz? (b) Quanto tempo a sonda levaria para completar uma curva de 90° nessas condições?

116 Com que velocidade inicial o jogador de basquetebol da Fig. 4-59 deve arremessar a bola, com um ângulo $\theta_0 = 55°$ acima da horizontal, para converter o lance livre? As distâncias horizontais são $d_1 = 1{,}0$ ft e $d_2 = 14$ ft e as alturas são $h_1 = 7{,}0$ ft e $h_2 = 10$ ft.

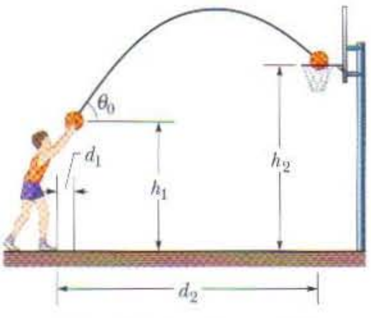


FIG. 4-59 Problema 116.

117 Um vagão de madeira está se movendo em uma linha férrea retilínea com velocidade v_1. Um franco-atirador dispara uma bala (com velocidade inicial v_2) contra o vagão, usando um rifle de alta potência. A bala atravessa as duas paredes laterais, e os furos de entrada e saída ficam à mesma distância das extremidades do vagão. De que direção, em relação à linha férrea, a bala foi disparada? Suponha que a bala não foi desviada ao penetrar no vagão, mas a velocidade diminuiu de 20%. Suponha ainda que $v_1 = 85$ km/h e $v_2 = 650$ m/s. (Por que não é preciso conhecer a largura do vagão?)

118 Você pretende atirar uma bola com uma velocidade escalar de 12,0 m/s em um alvo que está a uma altura $h = 5{,}00$ m acima do nível do qual você vai lançar a bola (Fig. 4-60). Você quer que a velocidade da bola seja horizontal no instante em que ela atinge o alvo. (a) Com que ângulo θ acima da horizontal você deve atirar a bola? (b) Qual é a distância horizontal do ponto de lançamento até o alvo? (c) Qual é a velocidade escalar da bola no momento em que atinge o alvo?

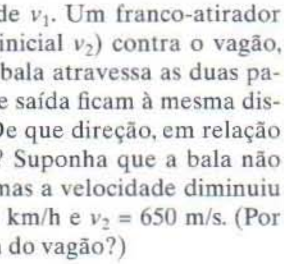


FIG. 4-60 Problema 118.

119 A Fig. 4-61 mostra a trajetória seguida por um bêbado em um terreno plano, de um ponto inicial i até um ponto final f. Os ângulos são $\theta_1 = 30{,}0°$, $\theta_2 = 50{,}0°$ e $\theta_3 = 80{,}0°$; as distâncias são $d_1 = 5{,}00$ m, $d_2 = 8{,}00$ m e $d_3 = 12{,}0$ m. Quais são (a) o módulo e (b) o ângulo do deslocamento do bêbado de i até f?

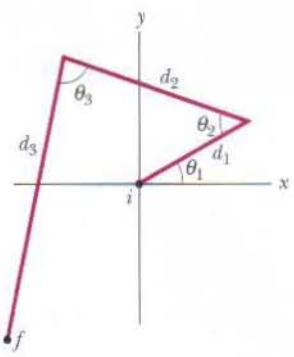


FIG. 4-61 Problema 119.

120 Um projétil é disparado com uma velocidade inicial $v_0 = 30{,}0$ m/s, a partir do solo, com o objetivo de atingir um alvo que está no solo a uma distância $R = 20{,}0$ m, como mostra a Fig. 4-62. Quais são (a) o menor e (b) o maior ângulo de lançamento que permitem que o projétil atinja o alvo?

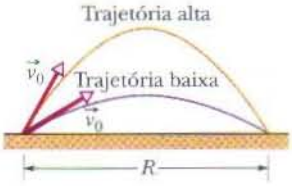


FIG. 4-62 Problema 120.

121 O oásis A está 90 km a oeste do oásis B. Um camelo parte de A e leva 50 h para caminhar 75 km 37° ao norte do leste. Em seguida, leva 35 h para caminhar 65 km para o sul e descansa por 5,0 h. Quais são (a) o módulo e (b) o sentido do deslocamento do camelo em relação a A até o ponto em que ele pára para descansar? Do instante em que o camelo parte do ponto A até o final do período de descanso, quais são (c) o módulo e (d) o sentido da velocidade média do camelo e (e) sua velocidade escalar média? A última vez que o camelo bebeu água foi em A; ele deve estar em B não mais do que 120 h após a partida para beber água novamente. Para que chegue a B no último momento, quais devem ser (f) o módulo e (g) o sentido da velocidade média após o período de descanso?

122 *Uma surpresa gráfica.* No instante $t = 0$, um burrito é lançado a partir de um terreno plano, com uma velocidade inicial de 16,0 m/s e um ângulo de lançamento θ_0. Imagine um vetor posição $\vec{r}$ que ligue o ponto de lançamento ao burrito durante toda a trajetória. Plote o módulo r do vetor posição em função do tempo para (a) $\theta_0 = 40{,}0°$ e (b) $\theta_0 = 80{,}0°$. Para $\theta_0 = 40{,}0°$, (c) em que instante r atinge o valor máximo, (d) qual é esse valor e a que distância (e) horizontal e (f) vertical está o burrito em relação ao ponto de lançamento? Para $\theta_0 = 80{,}0°$, (g) em que instante r atinge o valor máximo, (h) qual é esse valor e a que distância (i) horizontal e (j) vertical está o burrito em relação ao ponto de lançamento?

123 No Exemplo 4-7*b* uma bala é disparada por um canhão situado ao nível do mar com um ângulo de 45° com a horizontal e atinge uma distância de 686 m. Qual seria o aumento da distância atingida pela bala se o canhão estivesse a uma altura de 30 m?

124 (a) Se um elétron é lançado horizontalmente com uma velocidade de $3{,}0 \times 10^6$ m/s, qual a distância vertical percorrida pelo elétron ao percorrer uma distância horizontal de 1,0 m? (b) A distância calculada no item (a) aumenta, diminui ou permanece a mesma quando a velocidade inicial aumenta?

125 O módulo da velocidade de um projétil quando atinge a altura máxima é de 10 m/s. (a) Qual é o módulo da velocidade do projétil 1,0 s antes de atingir a altura máxima? (b) Qual é o módulo da velocidade do projétil 1,0 s depois de atingir a altura máxima? Se tomamos $x = 0$ e $y = 0$ como o ponto de altura máxima e consideramos como sentido positivo do eixo x o sentido da velocidade do projétil nesse ponto, quais são (c) a coordenada

x e (d) a coordenada y do projétil 1,0 s antes de atingir a altura máxima e (e) a coordenada x e (f) a coordenada y do projétil 1,0 s depois de atingir a altura máxima?

126 Um coelho assustado, que está se movendo a 6,0 m/s na direção leste, penetra em uma grande área plana de gelo com atrito desprezível. Enquanto o coelho desliza no gelo a força do vento faz com que ele adquira uma aceleração constante de 1,4 m/s^2 na direção norte. Escolha um sistema de coordenadas com a origem na posição inicial do coelho sobre o gelo e o sentido positivo do eixo x apontando para leste. Em termos dos vetores unitários, quais são (a) a velocidade e (b) a posição do coelho após ter deslizado por 3,0 s?

127 O piloto de um avião voa para leste em relação ao solo enquanto um vento sopra a 20 km/h na direção sul. Se a velocidade do avião na ausência de vento é 70 km/h, qual é a velocidade do avião em relação ao solo?

128 O lançador em uma partida de softball arremessa a bola de um ponto situado 3,0 pés acima do solo. Um gráfico estroboscópico da posição da bola é mostrado na Fig. 4-63, onde as leituras estão separadas por 0,25 s e a bola foi lançada em $t = 0$. (a) Qual é o módulo da velocidade inicial da bola? (b) Qual é o módulo da velocidade da bola no instante que atinge a altura máxima em relação ao solo? (c) Qual é essa altura máxima?

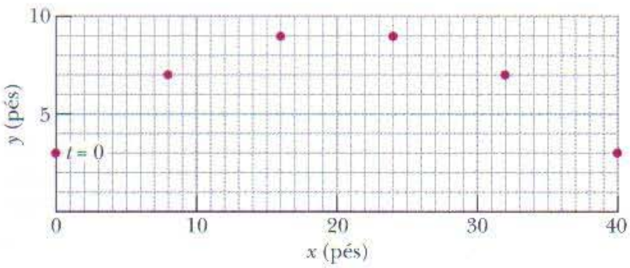


FIG. 4-63 Problema 128.

129 A polícia do estado americano de New Hampshire usa aviões para verificar se o limite de velocidade está sendo respeitado nas rodovias. Suponha que um dos aviões possui uma velocidade de cruzeiro de 135 mi/h no ar em repouso. Ele está voando para o norte, mantendo-se diretamente acima de uma rodovia norte-sul. Pelo rádio, um observador no solo informa ao piloto que está soprando um vento de 70,0 mi/h, mas se esquece de informar a direção e o sentido do vento. O piloto observa que, apesar do vento, o avião consegue voar 135 mi ao longo da rodovia em 1,00 h. Em outras palavras, a velocidade em relação ao solo é a mesma se não houvesse vento. (a) Qual é a direção do vento? (b) Qual é o curso do avião, ou seja, para que direção seu nariz está apontado?

130 A posição $\vec{r}$ de uma partícula que se move no plano xy é dada por $\vec{r} = 2t\hat{i} + 2\,\text{sen}[(\pi/4\text{ rad/s})t]\hat{j}$, onde $\vec{r}$ está em metros e t em segundos. (a) Calcule os valores das componentes x e y da posição da partícula para t = 0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 s e plote a trajetória da partícula no plano xy para o intervalo $0 \le t \le 4{,}0$ s. (b) Calcule os valores das componentes da velocidade da partícula para t = 1,0; 2,0 e 3,0 s. Mostre que a velocidade é tangente à trajetória da partícula e tem o mesmo sentido que o movimento da partícula em todos esses instantes traçando os vetores velocidade no gráfico da trajetória da partícula, plotado no item (a). (c) Calcule as componentes da aceleração da partícula nos instantes t = 1,0; 2,0 e 3,0 s.

131 Um golfista arremessa uma bola a partir de uma elevação, imprimindo à bola uma velocidade inicial de 43 m/s e um ângulo de 30° acima da horizontal. A bola atinge o campo a uma distância horizontal de 180 m do local do lançamento. Suponha que o campo seja plano. (a) Qual era a altura da elevação de onde foi arremessada a bola? (b) Qual era a velocidade da bola ao chegar ao campo?

132 Uma competição de atletismo é realizada em um planeta de um sistema solar distante. Um arremessador de peso lança o peso de um ponto 2,0 m acima do nível do solo. Um gráfico estroboscópico da posição do peso aparece na Fig. 4-64, onde as leituras foram tomadas a cada 0,50 s e o peso foi arremessado no instante $t = 0$. (a) Qual é a velocidade inicial do peso, em termos dos vetores unitários? (b) Qual é o módulo da aceleração em queda livre no planeta? (c) Quanto tempo após ter sido arremessado o peso toca o solo? (d) Se um arremesso de peso for feito na Terra nas mesmas condições, quanto tempo após o lançamento o peso tocará o solo?

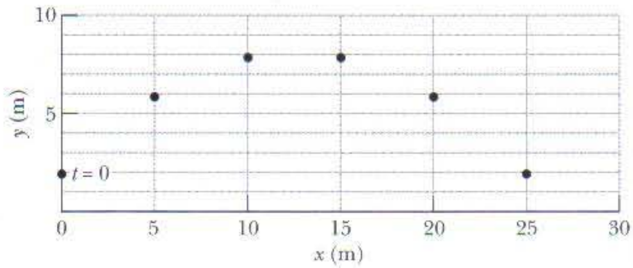
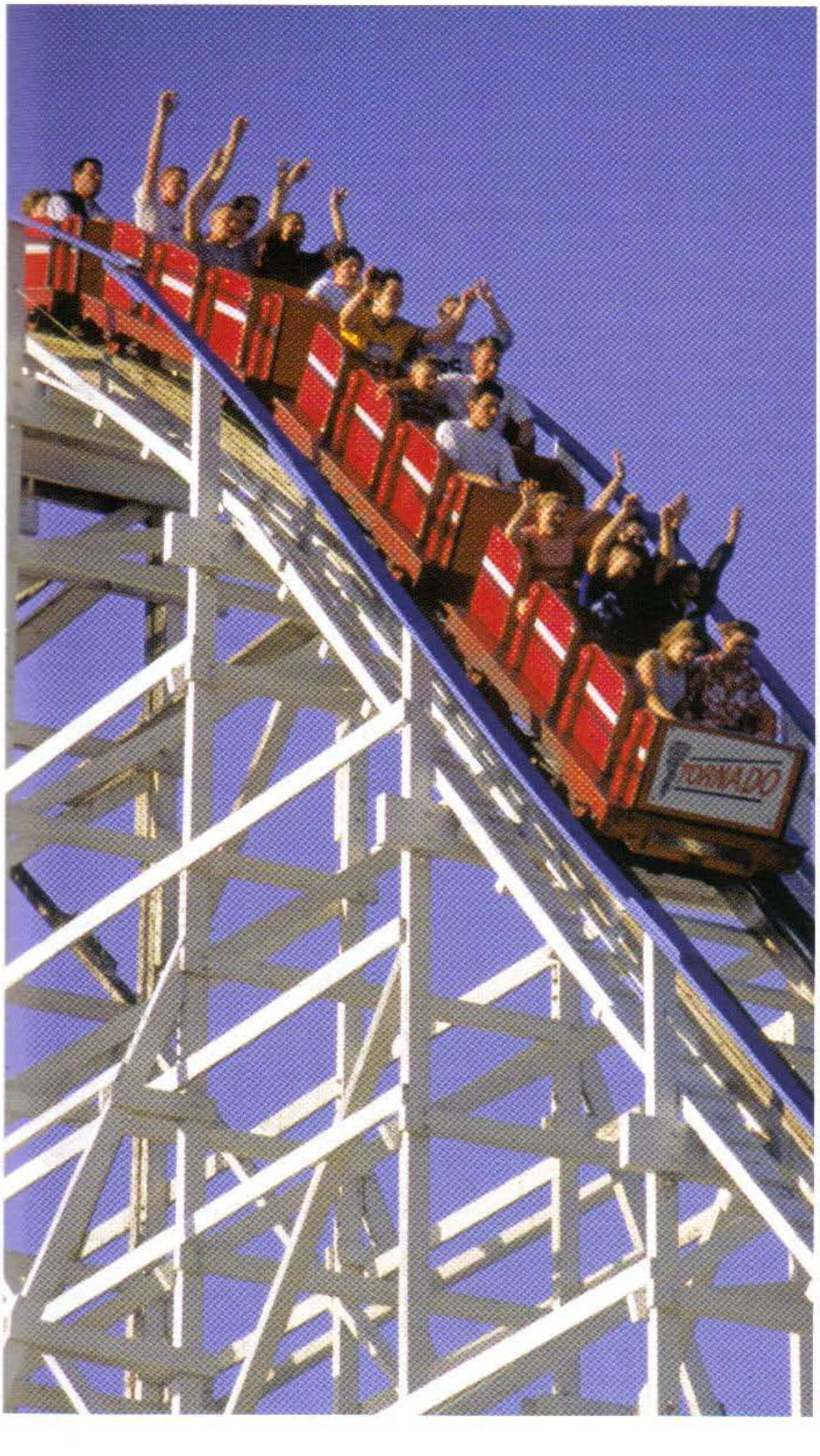


FIG. 4-64 Problema 132.

Força e Movimento — I

5



Blue Water Photo/Index Stock

Muitos entusiastas de montanhas-russas viajam no carro da frente porque querem ser os primeiros a "mergulhar no abismo". Outros, porém, garantem que viajar no último carro é muito mais emocionante. O brinquedo certamente está se movendo mais depressa quando o último carro começa a descer, puxado pelos carros da frente. Entretanto, parece haver um elemento mais sutil que aumenta a sensação de perigo quando o último carro está prestes a iniciar a descida.

Qual é o fator responsável pela sensação de perigo para alguém que está no último carro de uma montanha-russa?

A resposta está neste capítulo.

5-1 O QUE É FÍSICA?

Vimos que a física envolve o estudo dos movimentos dos objetos, como as acelerações, que são variações de velocidade. A física também envolve o estudo do que *causa* a aceleração dos objetos. A causa é sempre uma **força**, que pode ser definida, em termos coloquiais, como um empurrão ou um puxão exercido sobre um objeto. Dizemos que a força *age* sobre o objeto mudando sua velocidade. Por exemplo: na largada de um grande prêmio de Fórmula 1, uma força exercida pela pista sobre os pneus traseiros provoca a aceleração dos veículos. Quando um zagueiro segura o centroavante do time adversário, uma força exercida pelo defensor provoca a desaceleração do atacante. Quando um carro colide com um poste, uma força exercida pelo poste faz com que o carro pare bruscamente. As revistas de ciência, engenharia, direito e medicina estão repletas de artigos sobre as forças a que estão sujeitos os objetos, entre eles os seres humanos.

5-2 | Mecânica Newtoniana

A relação que existe entre uma força e a aceleração produzida por ela foi descoberta por Isaac Newton (1642–1727), e é o assunto deste capítulo. O estudo dessa relação, da forma como foi apresentada por Newton, é chamado de *mecânica newtoniana*. Vamos nos concentrar inicialmente nas três leis básicas de movimento da mecânica newtoniana.

A mecânica newtoniana não pode ser aplicada a todas as situações. Se as velocidades dos corpos envolvidos são muito altas, comparáveis com a velocidade da luz, a mecânica newtoniana deve ser substituída pela teoria da relatividade restrita de Einstein, que é válida para qualquer velocidade. Se as dimensões dos corpos envolvidos são muito pequenas, da ordem das dimensões atômicas (como, por exemplo, acontece com os elétrons de um átomo), a mecânica newtoniana deve ser substituída pela mecânica quântica. Atualmente, os físicos consideram a mecânica newtoniana como um caso especial dessas duas teorias mais abrangentes. Ainda assim, ela é um caso especial muito importante, já que pode ser aplicada ao estudo do movimento dos mais diversos objetos, desde objetos muito pequenos (quase de dimensões atômicas) até objetos muito grandes (galáxias e aglomerados de galáxias).

5-3 | A Primeira Lei de Newton

Antes de Newton formular sua mecânica pensava-se que uma certa influência, uma "força", era necessária para manter um corpo em movimento com velocidade constante, e que um corpo estava em seu "estado natural" apenas quando se encontrava em repouso. Para que um corpo se movesse com velocidade constante tinha que ser impulsionado de alguma forma, puxado ou empurrado; se não fosse assim, pararia "naturalmente".

Essas idéias pareciam razoáveis. Se você faz um disco de metal deslizar em uma superfície de madeira, ele realmente diminui de velocidade até parar. Para que continue a deslizar indefinidamente com velocidade constante deve ser empurrado ou puxado continuamente.

Por outro lado, se o disco for lançado em um rinque de patinação, percorrerá uma distância bem maior antes de parar. É possível imaginar superfícies mais escorregadias, nas quais o disco percorreria distâncias ainda maiores. No limite, podemos pensar em uma superfície extremamente escorregadia (conhecida como **superfície sem atrito**), na qual o disco não diminuiria de velocidade. (Podemos, de fato, chegar muito perto dessa situação fazendo o disco deslizar em uma mesa de ar, na qual é sustentado por uma corrente de ar.)

A partir dessas observações, podemos concluir que um corpo manterá seu estado de movimento com velocidade constante se nenhuma força agir sobre ele. Isso nos leva à primeira das três leis de Newton.

Primeira Lei de Newton Se nenhuma força atua sobre um corpo, sua velocidade não pode mudar, ou seja, o corpo não pode sofrer uma aceleração.

Em outras palavras, se o corpo está em repouso ele permanece em repouso. Se ele está em movimento, continua com a mesma velocidade (mesmo módulo *e* mesma orientação).

5-4 | Força

Vamos agora definir a unidade de força. Sabemos que uma força pode causar a aceleração de um corpo. Assim, definimos a unidade de força em termos da aceleração que uma força imprime a um corpo de referência, que tomamos como sendo o quilograma-padrão da Fig. 1-3. A esse corpo foi atribuída, exatamente e por definição, uma massa de 1 kg.

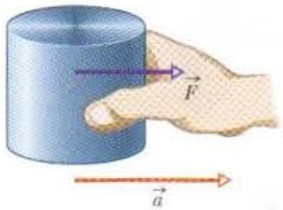


FIG. 5-1 Uma força $\vec{F}$ aplicada ao quilograma-padrão provoca uma aceleração $\vec{a}$.

Colocamos o corpo-padrão sobre uma mesa horizontal sem atrito e o puxamos para a direita (Fig. 5-1) até que, por tentativa e erro, ele adquira uma aceleração de 1 m/s^2. Declaramos então, a título de definição, que a força que estamos exercendo sobre o corpo-padrão tem um módulo de 1 newton (1 N).

Podemos exercer uma força de 2 N sobre nosso corpo-padrão, puxando-o até que a aceleração medida seja de 2 m/s^2, e assim por diante. Assim, em geral, se nosso corpo-padrão de massa igual a 1 kg tem uma aceleração de módulo a, sabemos que uma força F deve estar agindo sobre ele e que o módulo da força (em newtons) é igual ao módulo da aceleração (em metros por segundo quadrado).

Assim, uma força é medida pela aceleração que produz. Entretanto, a aceleração é uma grandeza vetorial, pois possui um módulo e uma orientação. A força também é uma grandeza vetorial? Podemos facilmente atribuir uma orientação a uma força (basta atribuir-lhe a orientação da aceleração), mas isso não é suficiente. Devemos provar experimentalmente que forças são grandezas vetoriais. Na realidade, isso foi feito: as forças são realmente grandezas vetoriais; elas têm um módulo e uma orientação, e se combinam de acordo com as regras vetoriais do Capítulo 3.

Isso significa que quando duas ou mais forças atuam sobre um corpo podemos calcular a **força total**, ou **força resultante**, somando vetorialmente as forças. Uma única força com o módulo e a orientação da força resultante tem o mesmo efeito sobre um corpo que todas as forças agindo simultaneamente. Esse fato é chamado de **princípio de superposição para forças**. O mundo seria muito estranho se, por exemplo, você e outra pessoa puxassem o corpo-padrão na mesma orientação, cada um com uma força de 1 N, e a força resultante fosse 14 N.

Neste livro as forças são quase sempre representadas por um símbolo como $\vec{F}$, e as forças resultantes por um símbolo como $\vec{F}_{res}$. Assim como acontece com outros vetores, uma força ou uma força resultante pode ter componentes em relação a um sistema de coordenadas. Quando as forças atuam apenas em uma direção, possuem apenas uma componente. Nesse caso, podemos dispensar a seta sobre os símbolos das forças e usar apenas sinais para indicar os sentidos das forças ao longo do único eixo.

Um enunciado mais rigoroso da Primeira Lei de Newton da Seção 5-3, baseado na idéia de força *resultante*, é o seguinte:

Primeira Lei de Newton: Se nenhuma força *resultante* atua sobre um corpo ($\vec{F}_{res} = 0$), sua velocidade não pode mudar, ou seja, o corpo não pode sofrer uma aceleração.

Assim, um corpo pode estar submetido a várias forças, mas se a resultante dessas forças for zero o corpo não sofre uma aceleração.

Referenciais Inerciais

A primeira lei de Newton não se aplica a todos os referenciais, mas podemos sempre encontrar referenciais nos quais essa lei (assim como o resto da mecânica newtoniana) é verdadeira. Esses referenciais são chamados de **referenciais inerciais**.

Referencial inercial é um referencial para o qual as leis de Newton são válidas.

Assim, por exemplo, podemos supor que o solo é um referencial inercial, desde que possamos desprezar os movimentos astronômicos da Terra (como sua rotação).

Esta hipótese é válida se, digamos, fazemos deslizar um disco metálico em uma pista *curta* de gelo (supondo que a resistência que o gelo oferece ao movimento é tão pequena que pode ser desprezada); descobrimos que o movimento do disco obedece às leis de Newton. Suponha, porém, que o disco deslize sobre uma *longa* pista de gelo a partir do pólo norte (Fig. 5-2*a*). Se observarmos o disco a partir de um referencial estacionário no espaço, constataremos que o disco se move para o sul ao longo de uma trajetória retilínea, já que a rotação da Terra em torno do pólo norte simplesmente faz o gelo escorregar por baixo do disco. Entretanto, se observamos o disco de um ponto do solo, que acompanha a rotação da Terra, a trajetória do disco não é uma reta. Como a velocidade do solo sob o disco, dirigida para leste, aumenta com a distância entre o disco e o pólo, do nosso ponto de observação fixo no solo o disco parece sofrer um desvio para oeste (Fig. 5-2*b*). Esta deflexão aparente não é causada por uma força, como exigem as leis de Newton, mas pelo fato de que observamos o disco a partir de um referencial em rotação. Nesta situação, o solo é um **referencial não-inercial**.

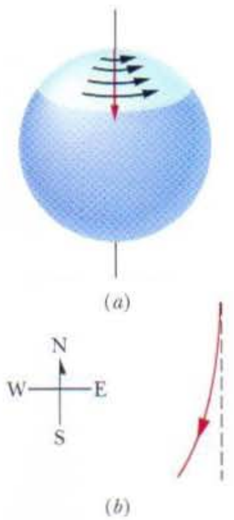
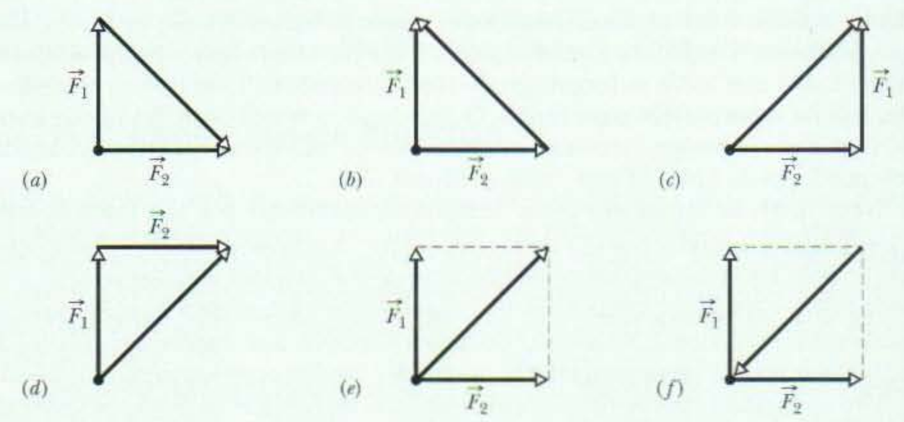


FIG. 5-2 (*a*) A trajetória de um disco que escorrega a partir do pólo norte, do ponto de vista de um observador estacionário no espaço. A Terra gira para leste. (*b*) A trajetória do disco do ponto de vista de um observador no solo.

Neste livro supomos quase sempre que o solo é um referencial inercial e que as forças e acelerações são medidas nesse referencial. Quando as medidas são executadas, digamos, em um elevador acelerado em relação ao solo, que é um referencial não-inercial, os resultados podem ser surpreendentes. Uma situação desse tipo será discutida no Exemplo 5-8.

TESTE 1 Quais dos seis arranjos da figura mostram corretamente a soma vetorial das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ para obter um terceiro vetor que representa a força resultante $\vec{F}_{res}$?



5-5 | Massa

A experiência nos diz que uma dada força produz acelerações de módulos diferentes em corpos diferentes. Coloque no chão uma bola de futebol e uma bola de boliche, e chute as duas. Mesmo que você não faça isso de verdade, sabe qual será o resultado: a bola de futebol receberá uma aceleração muito maior que a bola de boliche. As duas acelerações são diferentes porque a massa da bola de futebol é diferente da massa da bola de boliche; mas o que, exatamente, é massa?

Podemos explicar como medir a massa imaginando uma série de experimentos em um referencial inercial. No primeiro experimento exercemos uma força sobre um corpo-padrão, cuja massa m_0 é definida com sendo de 1,0 kg. Suponha que o corpo-padrão sofra uma aceleração de 1,0 m/s^2. Podemos dizer então que a força que atua sobre esse corpo é 1,0 N.

Em seguida aplicamos a mesma força (precisaríamos nos certificar, de alguma forma, de que a força é a mesma) a um segundo corpo, o corpo X, cuja massa não é conhecida. Suponha que descobrimos que esse corpo sofre uma aceleração de 0,25 m/s^2. Sabemos que uma bola de futebol, que possui uma *massa menor*, adquire uma *aceleração maior* do que uma bola de boliche, quando a mesma força (chute) é aplicada a ambas. Vamos então fazer a seguinte conjectura: a razão entre as massas de dois corpos é igual ao inverso da razão entre as acelerações que eles adquirem quando submetidos à mesma força. Para o corpo X e o corpo-padrão, isso significa que

$$\frac{m_X}{m_0} = \frac{a_0}{a_X}.$$

Explicitando m_X, obtemos

$$m_X = m_0 \frac{a_0}{a_X} = (1{,}0 \text{ kg}) \frac{1{,}0 \text{ m/s}^2}{0{,}25 \text{ m/s}^2} = 4{,}0 \text{ kg}.$$

Nossa conjectura será útil, evidentemente, apenas se continuar válida quando mudarmos a força aplicada para outros valores. Por exemplo: se aplicamos uma força de 8,0 N a um corpo-padrão, obtemos uma aceleração de 8,0 m/s^2. Quando a força de 8,0 N é aplicada ao corpo X obtemos uma aceleração de 2,0 m/s^2. Nossa conjectura nos dá, portanto,

$$m_X = m_0 \frac{a_0}{a_X} = (1{,}0 \text{ kg}) \frac{8{,}0 \text{ m/s}^2}{2{,}0 \text{ m/s}^2} = 4{,}0 \text{ kg},$$

o que é compatível com nosso primeiro experimento. Muitos experimentos que fornecem resultados semelhantes indicam que nossa conjectura é uma forma confiável de atribuir uma massa a um dado corpo.

Nossos experimentos indicam que massa é uma propriedade *intrínseca* de um corpo, ou seja, uma característica que resulta automaticamente da existência do corpo. Eles também indicam que massa é uma grandeza escalar. Contudo, a pergunta intrigante permanece: O que, exatamente, é massa?

Como a palavra *massa* é usada na vida cotidiana, devemos ter uma noção intuitiva de massa, talvez algo que podemos sentir fisicamente. Seria ela o tamanho, o peso ou a densidade do corpo? A resposta é negativa, embora algumas vezes essas características sejam confundidas com a massa. Podemos apenas dizer que *a massa de um corpo é a propriedade que relaciona uma força que age sobre o corpo à aceleração resultante*. A massa não tem uma definição mais coloquial; você pode ter uma sensação física da massa apenas quando tenta acelerar um corpo, como ao chutar uma bola de futebol ou uma bola de boliche.

5-6 | A Segunda Lei de Newton

Todas as definições, experimentos e observações que discutimos até aqui podem ser resumidos em uma única sentença:

Segunda Lei de Newton: A força resultante que age sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo pela sua aceleração.

Em termos matemáticos,

$$\vec{F}_{res} = m\vec{a} \qquad \text{(segunda lei de Newton).} \qquad (5\text{-}1)$$

Esta equação é simples, mas devemos usá-la com cautela. Primeiro, devemos escolher o corpo ao qual vamos aplicá-la; $\vec{F}_{res}$ deve ser a soma vetorial de *todas* as forças que atuam sobre *esse* corpo. Apenas as forças que atuam sobre *esse* corpo devem ser incluídas na soma vetorial, não as forças que agem sobre outros corpos envolvidos na mesma situação. Por exemplo, se você disputa a bola com vários adversários em um jogo de futebol, a força resultante que age sobre *você* é a soma vetorial de todos os empurrões e puxões que *você* recebe. Ela não inclui um empurrão ou puxão que você dá em outro jogador.

Como outras equações vetoriais, a Eq. 5-1 é equivalente a três equações para as componentes, uma para cada eixo de um sistema de coordenadas xyz:

$$F_{\text{res},x} = ma_x, \quad F_{\text{res},y} = ma_y \quad \text{e} \quad F_{\text{res},z} = ma_z. \tag{5-2}$$

TABELA 5-1

Unidades da Segunda Lei de Newton (Eqs. 5-1 e 5-2)

Sistema	Força	Massa	Aceleração
SI	newton (N)	quilograma (kg)	m/s^2
CGS[a]	dina	grama (g)	cm/s^2
Britânico[b]	libra (lb)	slug	ft/s^2

[a] 1 dina = 1 $g \cdot cm/s^2$.
[b] 1 libra = 1 $slug \cdot ft/s^2$.

Cada uma dessas equações relaciona a componente da força resultante em relação a um eixo à aceleração ao longo do mesmo eixo. Por exemplo, a primeira equação nos diz que a soma de todas as componentes das forças em relação ao eixo x produz a componente a_x da aceleração do corpo, mas não produz uma aceleração nas direções y e z. Sendo assim, a componente a_x da aceleração é causada apenas pelas componentes das forças em relação ao eixo x. Generalizando,

A componente da aceleração em relação a um dado eixo é causada *apenas* pela soma das componentes das forças em relação a *esse* eixo, e não por componentes de forças em relação a qualquer outro eixo.

A Equação 5-1 nos diz que se a força resultante que age sobre um corpo é nula, a aceleração do corpo $\vec{a} = 0$. Se o corpo está em repouso, permanece em repouso; se está em movimento, continua a se mover com velocidade constante. Em tais casos, as forças que agem sobre o corpo se *compensam*, e dizemos que o corpo está em *equilíbrio*. Freqüentemente dizemos que as forças se *cancelam*, mas o termo "cancelar" pode ser mal interpretado. Ele *não* significa que as forças deixaram de existir (cancelar forças não é como cancelar uma reserva em um restaurante). As forças continuam a agir sobre o corpo.

Em unidades do SI, a Eq. 5-1 nos diz que

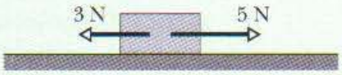
$$1\ \text{N} = (1\ \text{kg})(1\ \text{m/s}^2) = 1\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2. \tag{5-3}$$

Algumas unidades de força em outros sistemas de unidades aparecem na Tabela 5-1 e no Apêndice D.

Para resolver problemas que envolvem a segunda lei de Newton freqüentemente desenhamos um **diagrama de corpo livre**, no qual o único corpo mostrado é aquele para o qual estamos somando as forças. Um esboço do próprio corpo é preferido por alguns professores, mas para poupar espaço nestes capítulos muitas vezes representaremos o corpo por um ponto. Além disso, as forças que agem sobre o corpo serão representadas por setas com a origem no ponto. Um sistema de coordenadas é normalmente incluído, e a aceleração do corpo é algumas vezes mostrada através de outra seta (acompanhada por um símbolo adequado para mostrar que se trata de uma aceleração).

Um **sistema** é formado por um ou mais corpos, e qualquer força exercida sobre os corpos do sistema por corpos fora do sistema é chamada de **força externa**. Se os corpos pertencentes a um sistema estão rigidamente ligados uns aos outros, podemos tratar o sistema como um único corpo, e a força resultante $\vec{F}_{res}$ a que está submetido este corpo é a soma vetorial das forças externas. (Não incluímos as **forças internas**, ou seja, as forças entre dois corpos pertencentes ao sistema.) Assim, por exemplo, uma locomotiva e um vagão formam um sistema. Se, digamos, um reboque puxa a locomotiva, a força exercida pelo reboque age sobre o sistema locomotiva-vagão. Como acontece no caso de um só corpo, podemos relacionar a força resultante externa que age sobre um sistema à aceleração do sistema através da segunda lei de Newton, $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$, onde m é a massa total do sistema.

TESTE 2 A figura mostra duas forças horizontais atuando em um bloco apoiado em um piso sem atrito. Se uma terceira força horizontal $\vec{F}_3$ também age sobre o bloco, determine o módulo e a orientação de $\vec{F}_3$ se o bloco está (a) em repouso e (b) se movendo para a esquerda com uma velocidade constante de 5 m/s.



Exemplo 5-1

Nas Figs. 5.3*a* a *c*, uma ou duas forças agem sobre um disco metálico que se move sobre o gelo sem atrito ao longo do eixo x, em um movimento unidimensional. A massa do disco é $m = 0{,}20$ kg. As forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ atuam ao longo do eixo x e têm módulos $F_1 = 4{,}0$ N e $F_2 = 2{,}0$ N. A força $\vec{F}_3$ faz um ângulo $\theta = 30°$ com o eixo x e tem um módulo $F_3 = 1{,}0$ N. Qual é a aceleração do disco em cada situação?

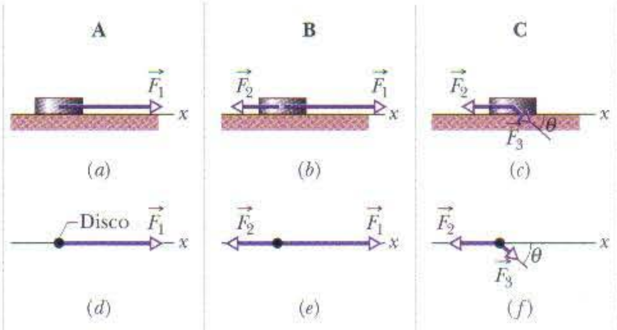


FIG. 5-3 (*a*)–(*c*) Em três situações, forças atuam sobre um disco que se move ao longo do eixo x. (*d*)–(*f*) Diagramas de corpo livre.

IDÉIA-CHAVE Em cada situação podemos relacionar a aceleração $\vec{a}$ à força resultante $\vec{F}_{res}$ que age sobre o disco através da segunda lei de Newton, $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$. Entretanto, como o movimento ocorre apenas ao longo do eixo x, podemos simplificar cada situação escrevendo a segunda lei apenas para as componentes x:

$$F_{res,x} = ma_x. \tag{5-4}$$

Os diagramas de corpo livre para as três situações aparecem nas Figs. 5-3*d* a *f*, com o disco representado por um ponto.

Situação A: Para a situação da Fig. 5-3*d*, em que existe apenas uma força horizontal, temos, de acordo com a Eq. 5-4,

$$F_1 = ma_x,$$

o que, para os dados do problema, nos dá

$$a_x = \frac{F_1}{m} = \frac{4{,}0\text{ N}}{0{,}20\text{ kg}} = 20\text{ m/s}^2. \quad \text{(Resposta)}$$

A resposta positiva indica que a aceleração ocorre no sentido positivo do eixo x.

Situação B: Na Fig. 5-3*e* duas forças horizontais agem sobre o disco: $\vec{F}_1$, no sentido positivo do eixo x, e $\vec{F}_2$, no sentido negativo. De acordo com a Eq. 5-4,

$$F_1 - F_2 = ma_x,$$

o que, para os dados do problema, nos dá

$$a_x = \frac{F_1 - F_2}{m} = \frac{4{,}0\text{ N} - 2{,}0\text{ N}}{0{,}20\text{ kg}} = 10\text{ m/s}^2. \quad \text{(Resposta)}$$

Assim, a força resultante acelera o disco no sentido positivo do eixo x.

Situação C: Na Fig. 5-3*f* não é a força $\vec{F}_3$ que tem a direção da aceleração do disco, mas sim a componente $F_{3,x}$. (A força $\vec{F}_3$ é bidimensional, enquanto o movimento é unidimensional.) Assim, a Eq. 5-4 assume a forma

$$F_{3,x} - F_2 = ma_x. \tag{5-5}$$

De acordo com a figura, $F_{3,x} = F_3 \cos\theta$. Explicitando a aceleração e substituindo $F_{3,x}$ por seu valor, temos:

$$a_x = \frac{F_{3,x} - F_2}{m} = \frac{F_3 \cos\theta - F_2}{m}$$

$$= \frac{(1{,}0\text{ N})(\cos 30°) - 2{,}0\text{ N}}{0{,}20\text{ kg}} = -5{,}7\text{ m/s}^2. \quad \text{(Resposta)}$$

Assim, a força resultante acelera o disco no sentido negativo do eixo x.

Exemplo 5-2

Na vista superior da Fig. 5-4*a*, uma lata de biscoitos de 2,0 kg é acelerada a 3,0 m/s^2 na orientação definida por $\vec{a}$, em uma superfície horizontal sem atrito. A aceleração é causada por três forças horizontais, das quais apenas duas são mostradas: $\vec{F}_1$, de módulo 10 N, e $\vec{F}_2$, de módulo 20 N. Qual é a terceira força, $\vec{F}_3$, em termos dos vetores unitários e na notação módulo-ângulo?

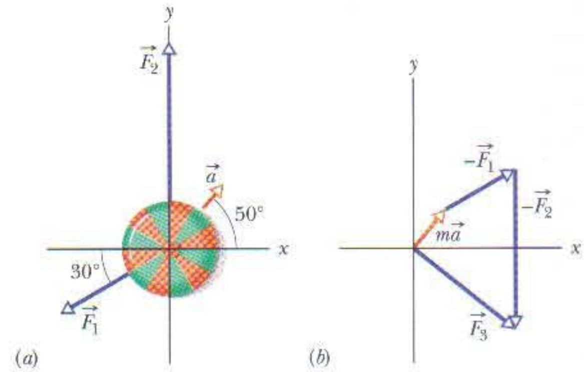


FIG. 5-4 (*a*) Vista superior de duas das três forças que agem sobre uma lata de biscoitos, produzindo uma aceleração $\vec{a}$. $\vec{F}_3$ não é mostrada. (*b*) Um arranjo de vetores $m\vec{a}$, $-\vec{F}_1$ e $-\vec{F}_2$ para determinar a força $\vec{F}_3$.

IDÉIA-CHAVE A força resultante $\vec{F}_{res}$ que age sobre a lata é a soma das três forças e está relacionada à aceleração $\vec{a}$ pela segunda lei de Newton ($\vec{F}_{res} = m\vec{a}$). Assim,

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}, \quad (5\text{-}6)$$

o que nos dá

$$\vec{F}_3 = m\vec{a} - \vec{F}_1 - \vec{F}_2 \quad (5\text{-}7)$$

Cálculos: Como se trata de um problema bidimensional, *não podemos* determinar $\vec{F}_3$ simplesmente substituindo os módulos das grandezas vetoriais no lado direito da Eq. 5-7. Devemos, em vez disso, somar vetorialmente $m\vec{a}$, $-\vec{F}_1$ e $-\vec{F}_2$, como mostra a Fig. 5-4*b*. Esta soma pode ser feita em uma calculadora, já que conhecemos tanto o módulo quanto o ângulo dos três vetores. Entretanto, vamos calcular o lado direito da Eq. 5-7 em termos das componentes, primeiro para o eixo x e depois para o eixo y.

Componentes x: Para o eixo x, temos:

$$\begin{aligned} F_{3,x} &= ma_x - F_{1,x} - F_{2,x} \\ &= m(a\cos 50°) - F_1\cos(-150°) - F_2\cos 90°. \end{aligned}$$

Substituindo os valores conhecidos, obtemos

$$\begin{aligned} F_{3,x} &= (2{,}0\text{ kg})(3{,}0\text{ m/s}^2)\cos 50° - (10\text{ N})\cos(-150°) \\ &\quad - (20\text{ N})\cos 90° \\ &= 12{,}5\text{ N}. \end{aligned}$$

Componentes y: Para o eixo y, temos:

$$\begin{aligned} F_{3,y} &= ma_y - F_{1,y} - F_{2,y} \\ &= m(a\,\text{sen}\,50°) - F_1\,\text{sen}(-150°) - F_2\,\text{sen}\,90° \\ &= (2{,}0\text{ kg})(3{,}0\text{ m/s}^2)\,\text{sen}\,50° - (10\text{ N})\,\text{sen}(-150°) \\ &\quad -(20\text{ N})\,\text{sen}\,90° \\ &= -10{,}4\text{ N}. \end{aligned}$$

Vetor: Em termos dos vetores unitários, temos:

$$\begin{aligned} \vec{F}_3 &= F_{3,x}\hat{\imath} + F_{3,y}\hat{\jmath} = (12{,}5\text{ N})\hat{\imath} - (10{,}4\text{ N})\hat{\jmath} \\ &\approx (13\text{ N})\hat{\imath} - (10\text{ N})\hat{\jmath}. \end{aligned} \quad \text{(Resposta)}$$

Podemos agora usar uma calculadora para determinar o módulo e o ângulo de $\vec{F}_3$. Também podemos usar a Eq. 3-6 para obter o módulo e o ângulo (em relação ao semi-eixo x positivo):

$$F_3 = \sqrt{F_{3,x}^2 + F_{3,y}^2} = 16\text{ N}$$

e

$$\theta = \tan^{-1}\frac{F_{3,y}}{F_{3,x}} = -40°. \quad \text{(Resposta)}$$

TÁTICAS PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Tática 1: Dimensões e Vetores Quando estamos lidando com forças não podemos simplesmente somar ou subtrair os módulos para obter a resultante, a menos que as forças tenham todas *a mesma orientação*. Se as forças tiverem orientações diferentes será preciso recorrer à soma vetorial, seja em uma calculadora, seja usando as componentes dos vetores, como no Exemplo 5-2.

Tática 2: Leitura de Problemas que Envolvem Forças Leia o enunciado do problema várias vezes até que você tenha uma boa idéia da situação, dos dados fornecidos e do que está sendo pedido. Se você compreendeu o problema, mas não sabe o que fazer em seguida, coloque o problema de lado e leia novamente o texto. Se estiver confuso a respeito da segunda lei de Newton, releia a seção correspondente. Estude os exemplos. Lembre-se de que resolver problemas de física (assim como consertar automóveis e projetar computadores) exige treinamento.

Tática 3: Desenhe Dois Tipos de Figuras Você pode precisar de duas figuras. A primeira é um esboço da situação real. Ao desenhar as forças, coloque a origem de cada vetor que representa uma força na superfície ou no interior do corpo sobre o qual a força atua. A segunda é um diagrama de corpo livre, no qual são desenhadas as forças que agem sobre um *único* corpo, representado por um ponto ou um símbolo. Coloque as origens de todos os vetores que representam forças no ponto ou símbolo.

Tática 4: Qual É o Seu Sistema? Para usar a segunda lei de Newton você precisa saber a que corpo ou sistema ela está sendo aplicada. No Exemplo 5-1 está sendo aplicada ao disco metálico; no Exemplo 5-2, à lata de biscoitos.

Tática 5: Saiba Escolher os Eixos Muitas vezes o problema fica muito mais simples quando um dos eixos coincide com uma das forças.

5-7 | Algumas Forças Especiais

Força Gravitacional

A **força gravitacional** $\vec{F}_g$ exercida sobre um corpo é um tipo especial de atração que um segundo corpo exerce sobre o primeiro. Nestes capítulos iniciais não discutimos a natureza dessa força, e consideramos apenas situações nas quais o segundo corpo é a Terra. Assim, quando falamos da força gravitacional $\vec{F}_g$ que age sobre um corpo estamos nos referindo à força que o atrai na direção do centro da Terra, ou seja, verticalmente para baixo. Vamos supor que o solo é um referencial inercial.

Considere um corpo de massa m em queda livre, submetido, portanto, a uma aceleração de módulo g. Nesse caso, se desprezarmos os efeitos do ar a única força que age sobre o corpo é a força gravitacional $\vec{F}_g$. Podemos relacionar essa força à aceleração correspondente através da segunda lei de Newton, ($\vec{F} = m\vec{a}$). Colocamos um eixo y vertical ao longo da trajetória do corpo, com o sentido positivo para cima. Para este eixo, a segunda lei de Newton pode ser escrita na forma $F_{res,y} = ma_y$, que, em nossa situação, se torna

$$-F_g = m(-g)$$

ou

$$F_g = mg. \tag{5-8}$$

Em palavras, o módulo da força gravitacional é igual ao produto mg.

Esta mesma força gravitacional, com o mesmo módulo, atua sobre o corpo mesmo quando não está em queda livre mas se encontra, por exemplo, em repouso sobre uma mesa de sinuca ou movendo-se sobre a mesa. (Para que a força gravitacional desaparecesse, a Terra teria que desaparecer.)

Podemos escrever a segunda lei de Newton para a força gravitacional nas seguintes formas vetoriais:

$$\vec{F}_g = -F_g\hat{\jmath} = -mg\hat{\jmath} = m\vec{g}, \tag{5-9}$$

onde $\hat{\jmath}$ é o vetor unitário que aponta para cima ao longo do eixo y, perpendicularmente ao solo, e $\vec{g}$ é a aceleração de queda livre (escrita como um vetor), dirigida para baixo.

Peso

O **peso** P de um corpo é o módulo da força necessária para impedir que o corpo caia livremente medida em relação ao solo. Assim, por exemplo, para manter uma bola em repouso em sua mão enquanto você está parado de pé você deve aplicar uma força para cima para equilibrar a força gravitacional que a Terra exerce sobre a bola. Suponha que o módulo da força gravitacional seja 2,0 N. Nesse caso, o módulo da força para cima deve ser 2,0 N e, portanto, o peso P da bola é 2,0 N. Também dizemos que a bola *pesa* 2,0 N.

Uma bola com um peso de 3,0 N exigiria uma força maior (3,0 N) para permanecer em equilíbrio. A razão é que a força gravitacional a ser equilibrada tem um módulo maior (3,0 N). Dizemos que esta segunda bola é *mais pesada* que a primeira.

Vamos generalizar a situação. Considere um corpo que tem uma aceleração $\vec{a}$ nula em relação ao solo, considerado mais uma vez como referencial inercial. Duas forças atuam sobre o corpo: uma força gravitacional $\vec{F}_g$, dirigida para baixo, e uma força para cima, de módulo P, que a equilibra. Podemos escrever a segunda lei de Newton para um eixo y vertical, com o sentido positivo para cima, na forma

$$F_{\text{res},y} = ma_y.$$

Em nossa situação, esta equação se torna

$$P - F_g = m(0) \tag{5-10}$$

ou

$$P = F_g \quad \text{(peso, com o solo como referencial inercial).} \tag{5-11}$$

De acordo com a Eq. 5-11 (supondo que o solo é um referencial inercial),

O peso P de um corpo é igual ao módulo F_g da força gravitacional que age sobre o corpo.

Substituindo F_g por mg, obtemos a equação

$$P = mg \quad \text{(peso),} \tag{5-12}$$

que relaciona o peso de um corpo a sua massa.

Pesar um corpo significa medir seu peso. Uma forma de fazer isso é colocar o corpo em um dos pratos de uma balança de braços iguais (Fig. 5-5) e colocar corpos de referência (de massas conhecidas) no outro prato até se estabelecer o equilíbrio (até que as forças gravitacionais dos dois lados sejam iguais). Como, nessa situação, as massas nos dois pratos são iguais, ficamos conhecendo a massa do corpo. Se conhecemos o valor de g no local onde está situada a balança também podemos calcular o peso do corpo com o auxílio da Eq. 5-12.

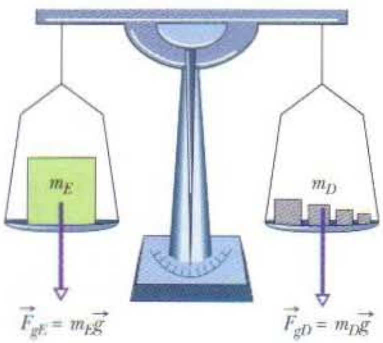


FIG. 5-5 Uma balança de braços iguais. Quando a balança está equilibrada a força gravitacional $\vec{F}_{gE}$ a que está submetido o corpo que se deseja pesar (no prato da esquerda) e a força gravitacional total $\vec{F}_{gD}$ a que estão submetidas as massas de referência (no prato da direita) são iguais. Assim, a massa m_E do corpo que está sendo pesado é igual à massa total m_D das massas de referência.

Também podemos pesar um corpo em uma balança de mola (Fig. 5-6). O corpo distende uma mola, movendo um ponteiro ao longo de uma escala que foi calibrada e marcada em unidades de massa ou de força. (Quase todas as balanças de banheiro são deste tipo.) Se a escala estiver em unidades de massa, fornecerá valores precisos apenas nos lugares onde o valor de g for o mesmo da localidade onde a balança foi calibrada.

Para que o peso de um corpo seja medido corretamente é preciso que ele não possua uma aceleração vertical. Assim, por exemplo, se você se pesar no banheiro de casa ou a bordo de um trem em movimento o resultado será o mesmo. Caso, porém, você repita a medição em um elevador acelerado, obterá uma leitura diferente por causa da aceleração. Um peso medido dessa forma é chamado de *peso aparente*.

Atenção: O peso de um corpo não é sua massa. Peso é o módulo de uma força, e está relacionado à massa através da Eq. 5-12. Se você mover um corpo para um local onde o valor de g é diferente, a massa do corpo (uma propriedade intrínseca) continuará a mesma, mas o peso mudará. Por exemplo: o peso de uma bola de boliche de massa igual a 7,2 kg é 71 N na Terra, mas apenas 12 N na Lua. A massa é a mesma na Terra e na Lua, mas a aceleração de queda livre na Lua é apenas 1,6 m/s^2.

Força Normal

Se você ficar em pé em um colchão a Terra o puxará para baixo, mas você permanecerá em repouso. Isso acontece porque o colchão se deforma sob o seu peso e empurra você para cima. Da mesma forma, se você está sobre um piso ele se deforma (ainda que imperceptivelmente), e o empurra para cima. Mesmo um piso de concreto aparentemente rígido faz o mesmo (se não estiver apoiado diretamente no solo, um número suficientemente grande de pessoas sobre o mesmo pode quebrá-lo).

O empurrão exercido pelo colchão ou pelo piso é uma **força normal** $\vec{F}_N$. O nome vem do termo matemático *normal*, que significa perpendicular. A força que o piso exerce sobre você é perpendicular ao piso.

Quando um corpo exerce uma força sobre uma superfície, a superfície (ainda que aparentemente rígida) se deforma e empurra o corpo com uma força normal $\vec{F}_N$ que é perpendicular à superfície.

A Figura 5-7a mostra um exemplo. Um bloco de massa m pressiona uma mesa para baixo, deformando-a por causa da força gravitacional $\vec{F}_g$ a que está sujeito o bloco. A mesa empurra o bloco para cima com uma força normal $\vec{F}_N$. A Fig. 5-7b mostra o diagrama de corpo livre do bloco. As forças $\vec{F}_g$ e $\vec{F}_N$ são as únicas forças que atuam sobre o bloco, e ambas são verticais. Assim, a segunda lei de Newton para o bloco, tomando um eixo y com o sentido positivo para cima ($F_{res,y} = ma_y$), assume a forma

$$F_N - F_g = ma_y.$$

Substituímos F_g por mg (Eq. 5-8) e obtemos

$$F_N - mg = ma_y.$$

O módulo da força normal é, portanto,

$$F_N = mg + ma_y = m(g + a_y) \tag{5-13}$$

para qualquer aceleração vertical a_y da mesa e do bloco (eles poderiam estar, por exemplo, em um elevador acelerado). Se a mesa e o bloco não estão acelerados em relação ao solo, $a_y = 0$ e a Eq. 5-13 nos dá

$$F_N = mg. \tag{5-14}$$

TESTE 3 Na Fig. 5-7 o módulo da força normal $\vec{F}_N$ é maior, menor ou igual a mg se o bloco e a mesa estão em um elevador que se move para cima (a) com velocidade constante; (b) com velocidade crescente?

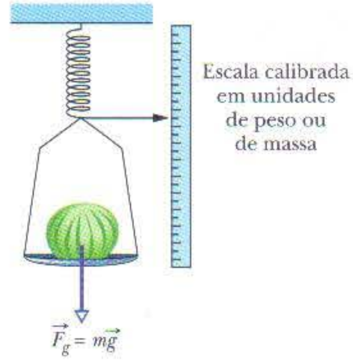


FIG. 5-6 Uma balança de mola. A leitura é proporcional ao *peso* do objeto colocado no prato, e a escala fornece o valor do peso se estiver calibrada em unidades de força. Se, em vez disso, estiver calibrada em unidades de massa a leitura será igual ao peso do objeto apenas se o valor de g no lugar onde a balança está sendo usada for igual ao valor de g no lugar onde a balança foi calibrada.

Atrito

Quando empurramos ou tentamos empurrar um corpo sobre uma superfície, a interação dos átomos do corpo com os átomos da superfície faz com que haja uma resistência ao movimento. (Esta interação será discutida no próximo capítulo.) A resistência é considerada como uma única força $\vec{f}$, que recebe o nome de **força de atrito** ou simplesmente **atrito**. Esta força é paralela à superfície e aponta no sentido oposto ao do movimento ou tendência ao movimento (Fig. 5-8). Em algumas situações, para simplificar os cálculos desprezamos as forças de atrito.

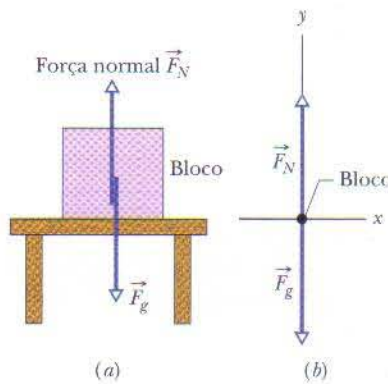


FIG. 5-7 (a) Um bloco que repousa sobre uma mesa experimenta uma força normal $\vec{F}_N$ perpendicular à superfície da mesa. (b) Diagrama de corpo livre do bloco.

Tração

Quando uma corda (ou um fio, cabo ou outro objeto do mesmo tipo) é presa a um corpo e esticada aplica ao corpo uma força $\vec{T}$ orientada ao longo da corda (Fig. 5-9a). Essa força é chamada de *força de tração* porque a corda está sendo tracionada (puxada). A *tensão da corda* é o módulo T da força exercida sobre o corpo. Assim, por exemplo, se a força exercida pela corda sobre o corpo tem um módulo $T = 50$ N, a tensão da corda é de 50 N.

Uma corda é freqüentemente considerada *sem massa* (o que significa que a massa é desprezível em comparação com a massa do corpo ao qual está presa) e *inextensível*. Nesse caso, a corda existe apenas como uma ligação entre dois corpos. Ela puxa os dois corpos com forças de mesmo módulo T, mesmo que os dois corpos e a corda estejam acelerando e mesmo que a corda passe por uma polia *sem massa e sem atrito* (Figs. 5-9b e c). Uma polia desse tipo tem massa desprezível em comparação com as massas dos corpos e atrito desprezível no eixo de rotação. Se a corda dá meia volta em torno da polia, como na Fig. 5-9c, a força resultante da corda sobre a polia é $2T$.

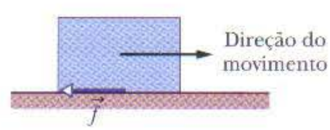


FIG. 5-8 Uma força de atrito $\vec{f}$ se opõe ao movimento de um corpo sobre uma superfície.

TESTE 4 O corpo suspenso da Fig. 5-9c pesa 75 N. A tensão T é igual, maior do que ou menor que 75 N quando o corpo se move para cima (a) com velocidade constante, (b) com velocidade crescente e (c) com velocidade decrescente?

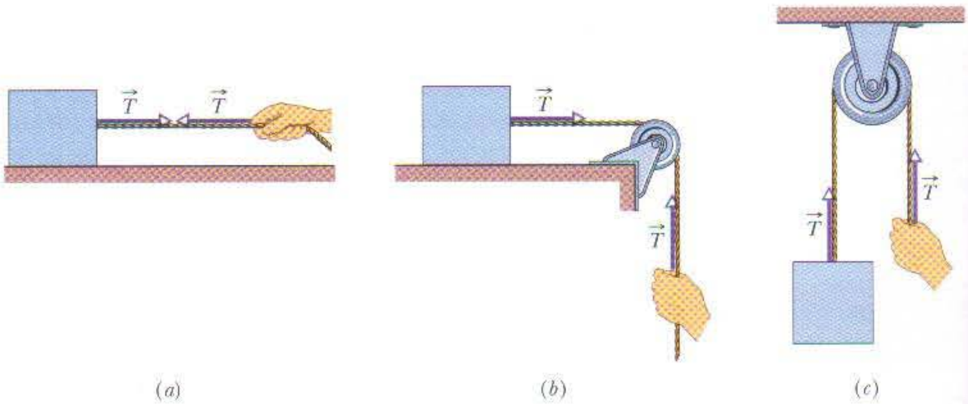


FIG. 5-9 (*a*) A corda esticada está sob tensão. Se sua massa é desprezível a corda puxa o corpo e a mão com uma força $\vec{T}$, mesmo que a corda passe por uma polia sem massa e sem atrito, como em (*b*) e (*c*).

TÁTICAS PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

***Tática 6:* Força Normal** A Eq. 5-14, usada para calcular a força normal que age sobre um corpo, é válida apenas quando $\vec{F}_N$ é dirigida para cima e a aceleração vertical do corpo é zero; *não* podemos aplicá-la quando $\vec{F}_N$ tem outra orientação ou quando a aceleração vertical não é zero. Nesse caso, devemos escrever uma nova expressão para F_N usando a segunda lei de Newton.

Podemos mover $\vec{F}_N$ de um ponto para outro de uma figura, desde que conservemos sua orientação. Assim, por exemplo, na Fig. 5-7*a* podemos deslocá-la para baixo até que sua extremidade fique na superfície da mesa. Entretanto, é menos provável que $\vec{F}_N$ seja interpretada erroneamente quando a origem do vetor está na superfície do corpo ou no seu interior (como na Fig. 5-7*a*). Uma técnica ainda melhor é desenhar um diagrama de corpo livre como o da Fig. 5-7*b*, com a origem de $\vec{F}_N$ no ponto ou símbolo que representa o bloco.

Exemplo 5-3

Ilusão na decolagem. Um avião a jato que decola de um porta-aviões é movido por poderosos motores e, ao mesmo tempo, arremessado para a frente por um mecanismo de catapulta instalado no convés do navio. A elevada aceleração resultante permite que o avião alcance a velocidade de decolagem em um pequeno trecho do convés. Entretanto, a alta aceleração também induz o piloto a inclinar o avião bruscamente para baixo, ao deixar o convés. Os pilotos são treinados para ignorar essa tendência, mas às vezes um avião vai direto para o mar. Vamos discutir a física que está por trás desta compulsão.

A sensação de orientação vertical depende de indicações visuais e do sistema vestibular, situado no ouvido interno. Esse sistema contém pequenas células pilosas imersas em um fluido. Quando você mantém a cabeça erguida, os pêlos se alinham com a força gravitacional $\vec{F}_g$, e o sistema avisa ao cérebro que a cabeça está erguida. Quando você inclina a cabeça para trás de um ângulo ϕ, os pêlos se inclinam e o sistema avisa ao cérebro a respeito da inclinação. Os pêlos também se inclinam quando você é acelerado para a frente por uma força horizontal aplicada $\vec{F}_{ap}$. Nesse caso, o sinal enviado ao cérebro indica, erroneamente, que a cabeça está inclinada para trás, alinhada com o vetor resultante $\vec{F}_{res} = \vec{F}_g + \vec{F}_{ap}$ (Fig. 5-10*a*). Entretanto, o falso sinal é ignorado quando indicações visuais mostram claramente que não há inclinação alguma, como acontece quando você acelera um carro.

Um piloto que é arremessado do convés de um porta-aviões à noite praticamente não tem pistas visuais. A ilusão de inclinação é forte e muito convincente, de modo que o piloto tem a nítida impressão de que o avião deixou o convés com o nariz muito inclinado para cima. Sem treinamento adequado o piloto tenta nivelar o avião baixando bruscamente o nariz, o que faz o avião cair no mar.

Suponha que, partindo do repouso, um piloto sofre uma aceleração horizontal constante até atingir a velocidade de decolagem de 85 m/s em 90 m. Qual é o ângulo ϕ da falsa inclinação experimentada pelo piloto?

IDÉIAS-CHAVE (1) Podemos usar a segunda lei de Newton para relacionar o módulo F_{ap} da força experimentada pelo piloto (aplicada pelo encosto do assento) à aceleração produzida, a_x: $F_{ap} = ma_x$, onde m é a massa do piloto. (2) Como a aceleração é constante, podemos usar as equações da Tabela 2-1 para calcular a_x.

Cálculos: Precisamos conhecer o ângulo ϕ entre a vertical e $\vec{F}_{res}$, a soma vetorial da força gravitacional vertical $\vec{F}_g$ com a força horizontal aplicada $\vec{F}_{ap}$. Podemos formar um triângulo retângulo com os três vetores (Fig. 5-10*b*), o que nos permite escrever

$$\tan\phi = \frac{F_{ap}}{F_g},$$

ou

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{F_{ap}}{F_g}\right). \quad (5\text{-}15)$$

Como conhecemos a velocidade inicial ($v_0 = 0$), a velocidade final ($v_x = 85$ m/s) e o deslocamento ($x - x_0 = 90$ m), usamos a Eq. 2-16, ($v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$), para escrever

$$(85 \text{ m/s})^2 = 0^2 + 2a_x(90 \text{ m}),$$

ou

$$a_x = 40{,}1 \text{ m/s}^2.$$

De acordo com a segunda lei de Newton, $F_{ap} = m(40{,}1 \text{ m/s}^2)$. Substituindo este resultado e o resultado $F_g = m(9{,}8 \text{ m/s}^2)$ na Eq. 5-15, obtemos

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{m(40{,}1 \text{ m/s}^2)}{m(9{,}8 \text{ m/s}^2)}\right) = 76^\circ. \quad \text{(Resposta)}$$

Assim, quando o avião está acelerando no convés do porta-aviões o piloto tem a impressão de que sua cabeça está inclinada 76° para trás, como se o avião estivesse inclinado 76° para cima. Essa ilusão pode induzir o piloto a inclinar o avião 76° para baixo logo após a decolagem.

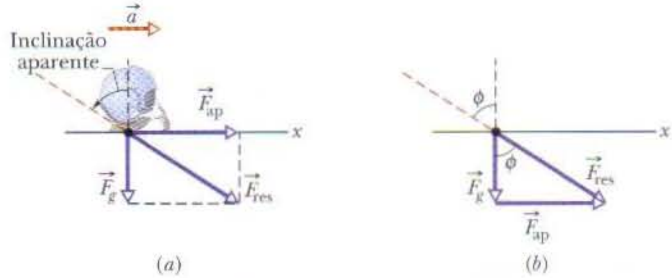


FIG. 5-10 (*a*) A força $\vec{F}_{ap}$, dirigida para a direita, é aplicada ao piloto durante a decolagem. O piloto tem a impressão de que sua cabeça está inclinada para trás ao longo da linha vermelha tracejada. (*b*) O vetor resultante $\vec{F}_{res} (= \vec{F}_g + \vec{F}_{ap})$ faz um ângulo ϕ com a vertical.

5-8 | A Terceira Lei de Newton

Dizemos que dois corpos *interagem* quando empurram ou puxam um ao outro, ou seja, quando cada um exerce uma força sobre o outro. Suponha, por exemplo, que você apóie um livro L em uma caixa C (Fig. 5-11*a*). Nesse caso, o livro e a caixa interagem: A caixa exerce uma força horizontal $\vec{F}_{LC}$ sobre o livro e o livro exerce uma força horizontal $\vec{F}_{CL}$ sobre a caixa. Esse par de forças é mostrado na Fig. 5-11*b*. A terceira lei de Newton afirma que

Terceira Lei de Newton: Quando dois corpos interagem, as forças que cada corpo exerce sobre o outro são sempre iguais em módulo e têm sentidos opostos.

No caso do livro e da caixa, podemos escrever essa lei como a relação escalar

$$F_{LC} = F_{CL} \qquad \text{(módulos iguais)}$$

ou como a relação vetorial

$$\vec{F}_{LC} = -\vec{F}_{CL} \qquad \text{(módulos iguais e sentidos opostos),}$$

onde o sinal negativo significa que as duas forças têm sentidos opostos. Podemos chamar as forças entre dois corpos que interagem de **par de forças da terceira lei**. Quando dois corpos quaisquer interagem em qualquer situação, um par de forças da terceira lei está presente. O livro e a caixa da Fig. 5-11*a* estão em repouso, mas a terceira lei seria válida se estivessem em movimento uniforme ou mesmo acelerado.

Como outro exemplo, vamos examinar os pares de forças da terceira lei que existem no sistema da Fig. 5-12*a*, constituído por uma abóbora, uma mesa e a Terra. A abóbora interage com a mesa e esta com a Terra (desta vez, existem três corpos cujas interações devemos estudar).

Vamos inicialmente nos concentrar nas forças que agem sobre a abóbora (Fig. 5-12*b*). A força $\vec{F}_{AM}$ é a força normal que a mesa exerce sobre a abóbora e a força

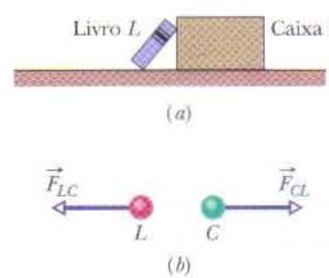


FIG. 5-11 (*a*) O livro L está apoiado na caixa C. (*b*) As forças $\vec{F}_{LC}$ (força da caixa sobre o livro) e $\vec{F}_{CL}$ (força do livro sobre a caixa) têm o mesmo módulo e sentidos opostos.

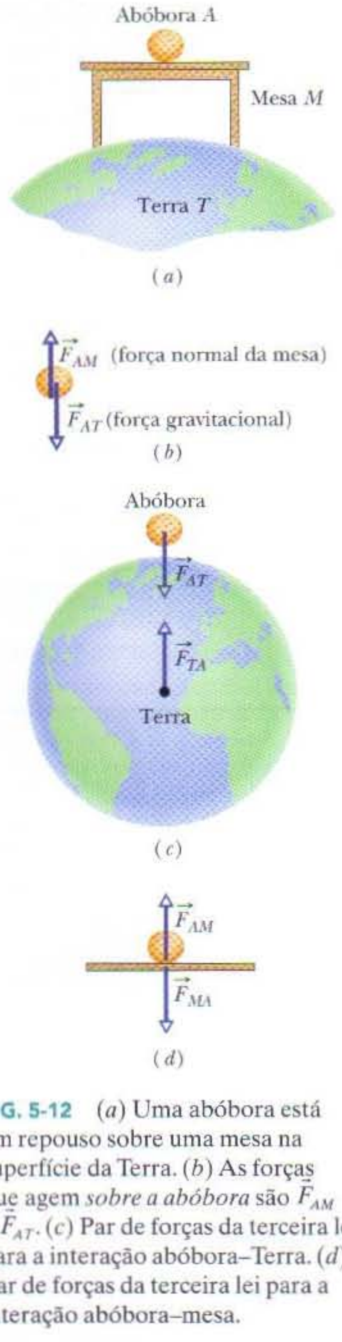


FIG. 5-12 (*a*) Uma abóbora está em repouso sobre uma mesa na superfície da Terra. (*b*) As forças que agem *sobre a abóbora* são $\vec{F}_{AM}$ e $\vec{F}_{AT}$. (*c*) Par de forças da terceira lei para a interação abóbora–Terra. (*d*) Par de forças da terceira lei para a interação abóbora–mesa.

$\vec{F}_{AT}$ é a força gravitacional que a Terra exerce sobre a abóbora. Elas formam um par de forças da terceira lei? Não, pois são forças que atuam sobre um mesmo corpo, a abóbora, e não sobre dois corpos que interagem.

Para encontrar um par da terceira lei precisamos nos concentrar não na abóbora, mas na interação entre a abóbora e outro corpo. Na interação abóbora-Terra (Fig. 5-12*c*), a Terra atrai a abóbora com uma força gravitacional $\vec{F}_{AT}$ e a abóbora atrai a Terra com uma força gravitacional $\vec{F}_{TA}$. Essas forças formam um par de forças da terceira lei? Sim, porque as forças atuam sobre dois corpos que interagem e a força a que um está submetido é causada pelo outro. Assim, de acordo com a terceira lei de Newton,

$$\vec{F}_{AT} = -\vec{F}_{TA} \quad \text{(interação abóbora-Terra).}$$

Na interação abóbora–mesa a força da mesa sobre a abóbora é $\vec{F}_{AM}$ e a força da abóbora sobre a mesa é $\vec{F}_{MA}$ (Fig. 5-12*d*). Essas forças também formam um par de forças da terceira lei e, portanto,

$$\vec{F}_{AM} = -\vec{F}_{MA} \quad \text{(interação abóbora-mesa).}$$

TESTE 5 Suponha que a abóbora e a mesa da Fig. 5-12 estão em um elevador que começa a acelerar para cima. (a) Os módulos de $\vec{F}_{MA}$ e $\vec{F}_{AM}$ aumentam, diminuem ou permanecem os mesmos? (b) Essas duas forças continuam a ser iguais em módulo, com sentidos opostos? (c) Os módulos de $\vec{F}_{AT}$ e $\vec{F}_{TA}$ aumentam, diminuem ou permanecem os mesmos? (b) Essas duas forças continuam a ser iguais em módulo, com sentidos opostos?

5-9 | Aplicando as Leis de Newton

O resto deste capítulo é composto por exemplos. O leitor deve examiná-los atentamente, observando os métodos usados para resolver um problema. Especialmente importante é saber traduzir uma dada situação em um diagrama de corpo livre com eixos adequados, para que as leis de Newton possam ser aplicadas.

Exemplo 5-4 Aumente sua capacidade

A Fig. 5-13 mostra um bloco *D* (o *bloco deslizante*) de massa $M = 3{,}3$ kg. O bloco está livre para se mover ao longo de uma superfície horizontal sem atrito e está ligado, por uma corda que passa por uma polia sem atrito, a um segundo bloco *P* (o *bloco pendente*), de massa $m = 2{,}1$ kg. As massas da corda e da polia podem ser desprezadas em comparação com a massa dos blocos. Enquanto o bloco pendente *P* desce, o bloco deslizante *D* acelera para a direita. Determine (a) a aceleração do bloco *D*, (b) a aceleração do bloco *P* e (c) a tensão na corda.

P *De que trata este problema?*

Foram dados dois corpos, o bloco deslizante e o bloco pendente, mas também é preciso levar em conta a Terra, que atua sobre os dois corpos. (Se não fosse a Terra, os blocos não se moveriam.) Como mostra a Fig. 5-14, cinco forças agem sobre os blocos:

1. A corda puxa o bloco *D* para a direita com uma força de módulo *T*.
2. A corda puxa o bloco *P* para cima com uma força cujo módulo também é *T*. Esta força para cima evita que o bloco caia livremente.

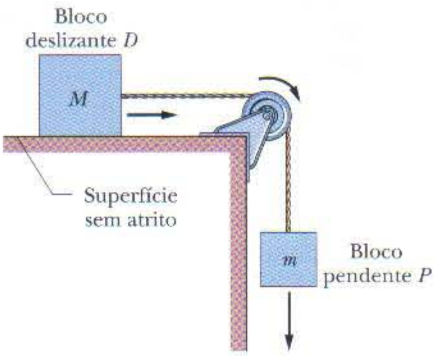


FIG. 5-13 Um bloco D de massa M está conectado a um bloco P de massa m por uma corda que passa por uma polia.

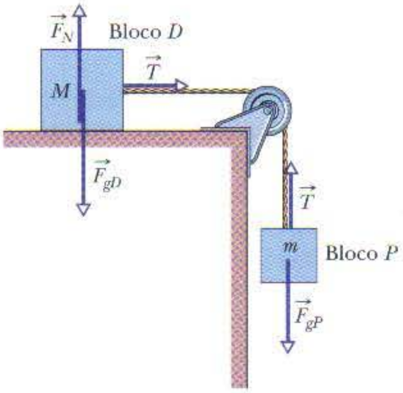


FIG. 5-14 As forças que agem sobre os dois blocos da Fig. 5-13.

3. A Terra puxa o bloco D para baixo com uma força gravitacional $\vec{F}_{gD}$, cujo módulo é Mg.
4. A Terra puxa o bloco P para baixo com uma força gravitacional $\vec{F}_{gP}$, cujo módulo é mg.
5. A mesa empurra o bloco D para cima com uma força normal $\vec{F}_N$.

Existe outra coisa digna de nota. Como estamos supondo que a corda é inextensível, se o bloco P desce 1 mm em um certo intervalo de tempo o bloco D se move 1 mm para a direita no mesmo intervalo. Isso significa que os blocos se movem em conjunto e suas acelerações têm o mesmo módulo a.

P *Como classificar esse problema? Ele sugere alguma lei da física em particular?*

Sim. O fato de que as grandezas envolvidas são forças, massas e acelerações sugere a segunda lei de Newton do movimento, $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$. Esta é a nossa **Idéia-chave** inicial.

P *Se eu aplicar a segunda lei de Newton a esse problema, a que corpo devo aplicá-la?*

Estamos lidando com o movimento de dois corpos, o bloco deslizante e o bloco pendente. Embora se trate de *corpos extensos* (não pontuais), podemos tratá-los como partículas porque todas as partes de cada bloco se movem exatamente da mesma forma. Uma segunda **Idéia-chave** é aplicar a segunda lei de Newton separadamente a cada bloco.

P *E a polia?*

A polia não pode ser tratada como uma partícula porque diferentes partes da polia se movem de modo diferente. Quando discutirmos as rotações examinaremos com detalhes o caso das polias. No momento, evitamos discutir o comportamento da polia supondo que sua massa pode ser desprezada em comparação com as massas dos dois blocos; sua única função é mudar a orientação da corda.

P *Está certo, mas como vou aplicar a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ ao bloco deslizante?*

Represente o bloco D como uma partícula de massa M e desenhe *todas* as forças que atuam *sobre* ele, como na Fig. 5-15*a*. Este é o diagrama de corpo livre do bloco. Em seguida, desenhe um conjunto de eixos. O mais natural é desenhar o eixo x paralelo à mesa, apontando para a direita, no sentido do movimento do bloco D.

P *Obrigado, mas você ainda não me disse como vou aplicar a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ ao bloco deslizante; tudo que fez foi explicar como se desenha um diagrama de corpo livre.*

Tem razão. Aqui está a terceira **Idéia-chave**: a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ é uma equação vetorial e, portanto, equivale a três equações algébricas, uma para cada componente:

$$F_{res,x} = Ma_x \quad F_{res,y} = Ma_y \quad F_{res,z} = Ma_z \tag{5-16}$$

onde $F_{res,x}$, $F_{res,y}$ e $F_{res,z}$ são as componentes da força resultante em relação aos três eixos. Podemos aplicar cada uma dessas equações à direção correspondente. Como o bloco D não possui aceleração vertical, $F_{res,y} = Ma_y$ se torna

$$F_N - F_{gD} = 0 \quad \text{ou} \quad F_N = F_{gD}.$$

Assim, na direção y o módulo da força normal é igual ao módulo da força gravitacional.

Nenhuma força atua na direção z, que é perpendicular ao papel.

Na direção x existe apenas uma componente de força, que é T. Assim, a equação $F_{res,x} = Ma_x$ se torna

$$T = Ma. \tag{5-17}$$

Como esta equação contém duas incógnitas, T e a, ainda não podemos resolvê-la. Lembre-se, porém, de que ainda não dissemos nada a respeito do bloco pendente.

P *De acordo. Como vou aplicar a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ ao bloco pendente?*

Do mesmo modo como aplicou ao bloco D: desenhe um diagrama de corpo livre para o bloco P, como na Fig. 5-16*b*. Em seguida, aplique a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ na forma de componentes. Dessa vez, como a aceleração é ao longo do eixo y, use a parte y da Eq. 5-16 ($F_{res,y} = ma_y$) para escrever

$$T - F_{gP} = ma_y.$$

Podemos agora substituir F_{gP} por mg e a_y por $-a$ (o valor é negativo porque o bloco P sofre uma aceleração no sentido negativo do eixo y). O resultado é

$$T - mg = -ma. \qquad (5\text{-}18)$$

Observe que as Eqs. 5-17 e 5-18 formam um sistema de duas equações com duas incógnitas, T e a. Subtraindo essas equações, eliminamos T. Explicitando a, temos:

$$a = \frac{m}{M+m}g. \qquad (5\text{-}19)$$

Substituindo este resultado na Eq. 5-17, obtemos:

$$T = \frac{Mm}{M+m}g. \qquad (5\text{-}20)$$

Substituindo os valores numéricos, temos:

$$a = \frac{m}{M+m}g = \frac{2{,}1\ \text{kg}}{3{,}3\ \text{kg} + 2{,}1\ \text{kg}}(9{,}8\ \text{m/s}^2)$$
$$= 3{,}8\ \text{m/s}^2 \qquad \text{(Resposta)}$$

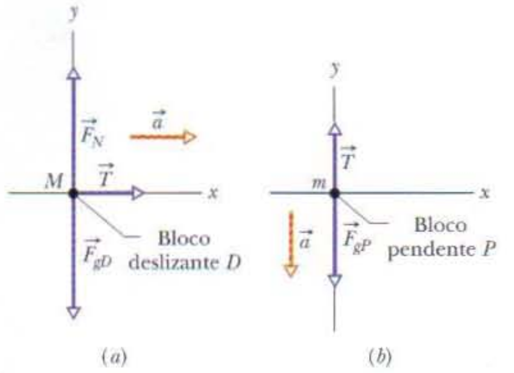


FIG. 5-15 (*a*) Diagrama de corpo livre do bloco *D* da Fig. 5-13. (*b*) Diagrama de corpo livre do bloco *P* da Fig. 5-13.

e

$$T = \frac{Mm}{M+m}g = \frac{(3{,}3\ \text{kg})(2{,}1\ \text{kg})}{3{,}3\ \text{kg} + 2{,}1\ \text{kg}}(9{,}8\ \text{m/s}^2)$$
$$= 13\ \text{N}. \qquad \text{(Resposta)}$$

P *O problema agora está resolvido, certo?*

Esta é uma pergunta razoável, mas o problema não pode ser considerado resolvido até que você examine os resultados para ver se fazem sentido. (Se você obtivesse esses resultados no trabalho, não faria questão de conferi-los antes de entregá-los ao chefe?)

Examine primeiro a Eq. 5-19. Observe que está dimensionalmente correta e que a aceleração a será sempre menor que g. Isso está correto, pois o bloco pendente não está em queda livre; a corda o puxa para cima.

Examine em seguida a Eq. 5-20, que pode ser escrita na forma

$$T = \frac{M}{M+m}mg. \qquad (5\text{-}21)$$

Nessa forma fica mais fácil ver que esta equação também está dimensionalmente correta, já que tanto T quanto mg têm dimensões de força. A Eq. 5-21 também mostra que a tensão na corda é sempre menor que mg e, portanto, é sempre menor que a força gravitacional a que está submetido o bloco pendente. Isso é razoável; se T fosse *maior* que mg, o bloco pendente sofreria uma aceleração para cima.

Podemos também verificar os resultados estudando casos especiais para os quais sabemos de antemão qual é a resposta. Um exemplo simples é fazer $g = 0$, como se o experimento fosse realizado no espaço sideral. Sabemos que nesse caso os blocos ficariam imóveis, não existiriam forças nas extremidades da corda e, portanto, não haveria tensão na corda. As fórmulas prevêem isso? Sim. Fazendo $g = 0$ nas Eqs. 5-19 e 5-20, encontramos $a = 0$ e $T = 0$. Dois outros casos especiais fáceis de examinar são $M = 0$ e $m \to \infty$.

Exemplo 5-5

Na Fig. 5-16*a*, uma corda puxa para cima uma caixa de biscoitos ao longo de um plano inclinado sem atrito cujo ângulo é $\theta = 30°$. A massa da caixa é $m = 5{,}00$ kg, e o módulo da força exercida pela corda é $T = 25{,}0$ N. Qual é a componente a da aceleração da caixa ao longo do plano inclinado?

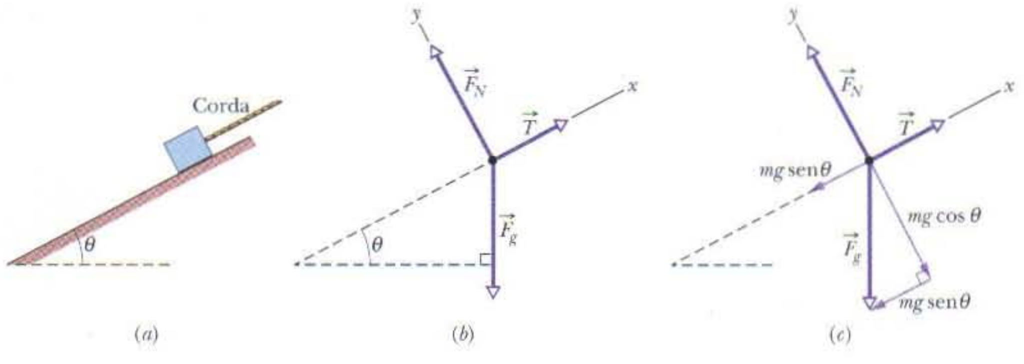


FIG. 5-16 (*a*) Uma caixa sobe um plano inclinada, puxada por uma corda. (*b*) As três forças que agem sobre a caixa: a força da corda $\vec{T}$, a força gravitacional $\vec{F}_g$ e a força normal $\vec{F}_N$. (*c*) As componentes de $\vec{F}_g$ na direção do plano inclinado e na direção perpendicular.

IDÉIA-CHAVE De acordo com a segunda lei de Newton, a aceleração ao longo do plano é estabelecida pelas componentes das forças ao longo do plano (não depende as componentes das forças perpendiculares ao plano).

Cálculo: Por conveniência, desenhamos o sistema de coordenadas e o diagrama de corpo livre da Fig. 5-16*b*. O sentido positivo do eixo x é para cima, ao longo do plano. A força $\vec{T}$ exercida pela corda é dirigida para cima, ao longo do plano, e tem um módulo $T = 25{,}0$ N. A força gravitacional $\vec{F}_g$ é para baixo e tem um módulo $mg = (5{,}00 \text{ kg})(9{,}8 \text{ m/s}^2) = 49{,}0$ N. Sua componente ao longo do plano é dirigida para baixo e tem um módulo mg sen θ, como mostra a Fig. 5-16*c*. (Para compreender por que essa função trigonométrica está envolvida, compare os triângulos retângulos das Figs. 5-16*b* e 5-16*c*.) Para indicar o sentido escrevemos a componente como $-mg$ sen θ. A força normal $\vec{F}_N$ é perpendicular ao plano e, portanto, não tem nenhuma influência sobre a aceleração ao longo do plano.

Escrevemos a segunda lei de Newton ($\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$) para o movimento ao longo do eixo x na forma

$$T - mg \operatorname{sen} \theta = ma. \tag{5-22}$$

Substituindo os valores numéricos e explicitando a, obtemos

$$a = 0{,}100 \text{ m/s}^2, \quad \text{(Resposta)}$$

onde o resultado positivo indica que a caixa se move para cima ao longo do plano.

Exemplo 5-6

Vamos voltar à pergunta que foi formulada no início do capítulo: qual é o fator responsável pela sensação de perigo para alguém que está no último carro de uma montanha-russa? Considere uma composição com 10 carros iguais, de massa total M, e despreze a massa dos engates. A Fig. 5-17*a* mostra a composição logo depois que o primeiro carro começou a descer uma rampa de atrito desprezível e ângulo θ. A Fig. 5-17*b* mostra a composição pouco antes de o último carro começar a descer. Qual é a aceleração da composição nas duas situações?

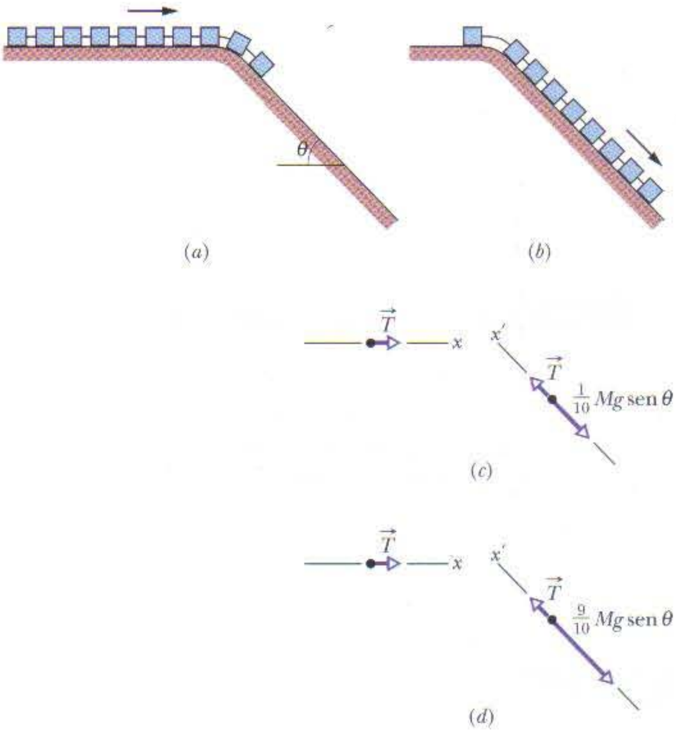


FIG. 5-17 Uma montanha-russa (*a*) com o primeiro carro na rampa e (*b*) com todos os carros na rampa, exceto o último. (*c*) Diagramas de corpo livre dos carros na horizontal e do carro na rampa, como em (*a*). (*d*) Diagrama de corpo livre para a situação mostrada em (*b*).

IDÉIAS-CHAVE (1) De acordo com a segunda lei de Newton (Eq. 5-1, $\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$), a aceleração de um objeto é causada pela força resultante que age sobre ele. (2) Quando o movimento ocorre ao longo de um único eixo escrevemos a segunda lei de Newton na forma de uma componente (como, por exemplo, $F_{\text{res},x} = ma_x$), e levamos em conta apenas as componentes das forças em relação a esse eixo. (3) Quando vários objetos se movem juntos com a mesma velocidade e a mesma aceleração, podem ser encarados como um único objeto composto. *Forças internas* podem agir entre os objetos, mas apenas *forças externas* podem ser responsáveis pela aceleração de um objeto composto.

Cálculos para a Fig. 5-17a: A Fig. 5-17*c* mostra os diagramas de corpo livre correspondentes à situação da Fig. 5-17*a*, com eixos convenientes superpostos. O sentido positivo escolhido para o eixo inclinado x' é para cima. T é o módulo da força exercida pelo carro que está na rampa sobre os carros que ainda estão na horizontal. Como a composição é formada por 10 carros iguais de massa total M, a massa do carro que está na rampa é $M/10$, e a dos carros que estão na horizontal é $9M/10$. Apenas uma força *externa* atua sobre os nove carros que ainda estão na horizontal: a força, de módulo T, exercida, através do engate, pelo carro que está na rampa. (As forças entre os nove carros são forças internas.) Assim, a segunda lei de Newton para o movimento ao longo do eixo x ($F_{\text{res},x} = ma_x$) se torna

$$T = \tfrac{9}{10} Ma, \tag{5-23}$$

onde a é o valor absoluto da aceleração a_x ao longo do eixo x.

Ao longo do eixo inclinado x', duas forças agem sobre o carro que está na rampa: a força exercida pelo engate, de módulo T (que está orientada no sentido positivo do eixo x'), e a componente em relação a x' da força gravitacional (que está orientada no sentido negativo do eixo x'). De acordo com o Exemplo 5-5, essa componente gravitacional é dada por $-mg$ sen θ, onde m é a massa. Como sabemos que o carro *desce* a rampa e, portanto, se move no sentido negativo do eixo x' com uma aceleração de módulo a, escrevemos a aceleração como $-a$. Assim, para este carro, de massa $M/10$, a equação da segunda lei de Newton para o movimento ao longo do eixo x' se torna

$$T - \tfrac{1}{10}Mg \operatorname{sen}\theta = \tfrac{1}{10}M(-a). \qquad (5\text{-}24)$$

Substituindo T pelo seu valor, dado pela Eq. 5-23, e explicitando a, obtemos:

$$a = \tfrac{1}{10}g \operatorname{sen}\theta. \qquad \text{(Resposta)}$$

Cálculos para a Fig. 5-17b: A Fig. 5-17*d* mostra os diagramas de corpo livre correspondentes à situação da Fig. 5-17*b*. Para o carro que ainda está na horizontal, a Eq. 5-23 deve ser substituída por

$$T = \tfrac{1}{10}Ma.$$

Para os nove carros que estão na rampa, a Eq. 5-24 deve ser substituída por

$$T - \tfrac{9}{10}Mg \operatorname{sen}\theta = \tfrac{9}{10}M(-a).$$

Explicitando a, obtemos:

$$a = \tfrac{9}{10}g \operatorname{sen}\theta. \qquad \text{(Resposta)}$$

Fator responsável pela sensação de perigo: A segunda resposta é 9 vezes maior que a primeira. Isso significa que a aceleração dos carros aumenta consideravelmente quando a maioria dos carros atinge a rampa. Este aumento da aceleração acontece para todos os carros, mas a interpretação dessa aceleração por parte dos passageiros depende do carro em que estão. No primeiro carro a aceleração sentida pelos passageiros ocorre quando o carro já está na rampa e se deve à componente da força gravitacional ao longo da rampa, o que é esperado. No último carro, por outro lado, a aceleração começa a acontecer quando o carro ainda está na horizontal e se deve à força exercida sobre os passageiros pelo encosto dos assentos. Essa força aumenta rapidamente quando o carro se aproxima da rampa, dando aos passageiros a impressão aterrorizante de que estão prestes a ser arremessados no espaço.

Exemplo 5-7 Aumente sua capacidade

A Fig. 5-18*a* mostra um arranjo no qual duas forças são aplicadas a um bloco de 4,00 kg em um piso sem atrito, mas apenas a força $\vec{F}_1$ está indicada. Essa força tem módulo fixo, mas o ângulo θ entre ela e o semi-eixo x positivo pode variar. A força $\vec{F}_2$ é horizontal e seu módulo é constante. A Fig. 5-18*b* mostra a aceleração horizontal a_x do bloco em função de θ no intervalo $0° \leq \theta \leq 90°$. Qual é o valor de a_x para $\theta = 180°$?

IDÉIAS-CHAVE (1) A aceleração horizontal a_x depende da força horizontal resultante $F_{res,x}$, dada pela segunda lei de Newton. (2) A força horizontal resultante é a soma das componentes horizontais das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$.

Cálculos: Como a força $\vec{F}_2$ é horizontal, sua componente x é F_2. A componente x de $\vec{F}_1$ é $F_1 \cos\theta$. Usando essas expressões e uma massa m de 4,00 kg podemos escrever a segunda lei de Newton ($\vec{F}_{res} = m\vec{a}$) para o movimento ao longo do eixo x na forma

$$F_1 \cos\theta + F_2 = 4{,}00a_x. \qquad (5\text{-}25)$$

Esta equação mostra que para $\theta = 90°$, $F_1 \cos\theta$ é zero e $F_2 = 4{,}00a_x$. De acordo com o gráfico, a aceleração correspondente é 0,50 m/s². Assim, $F_2 = 2{,}00$ N e o sentido $\vec{F}_2$ é o sentido positivo do eixo x.

Fazendo $\theta = 0°$ na Eq. 5-25, temos:

$$F_1 \cos 0° + 2{,}00 = 4{,}00a_x. \qquad (5\text{-}26)$$

De acordo com o gráfico, a aceleração correspondente é 3,0 m/s². Substituindo este valor na Eq. 5-26, obtemos $F_1 = 10$ N.

Fazendo $F_1 = 10$ N, $F_2 = 2{,}00$ N e $\theta = 180°$ na Eq. 5-25, temos:

$$a_x = -2{,}00 \text{ m/s}^2. \qquad \text{(Resposta)}$$

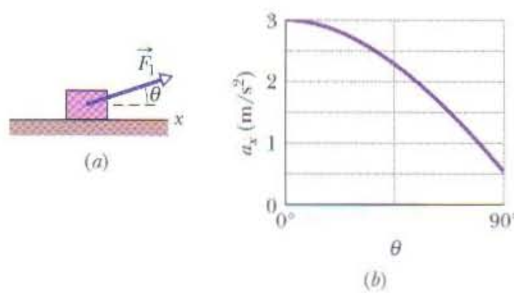


FIG. 5-18 (*a*) Uma das duas forças aplicadas a um bloco. O ângulo θ pode variar. (*b*) Componente a_x da aceleração do bloco em função de θ.

Exemplo 5-8 Aumente sua capacidade

Na Fig. 5-19*a* um passageiro de massa $m = 72{,}2$ kg está de pé em uma balança no interior de um elevador. Estamos interessados nas leituras da balança quando o elevador está parado e quando está se movendo para cima e para baixo.

(a) Escreva uma equação para a leitura da balança em função da aceleração vertical do elevador.

IDÉIAS-CHAVE (1) A leitura é igual ao módulo da força normal $\vec{F}_N$ que a balança exerce sobre o passageiro. Como mostra o diagrama de corpo livre da Fig. 5-19*b*, a única outra força que age sobre o passageiro é a força gravitacional $\vec{F}_g$. (2) Podemos relacionar as forças que agem sobre o passageiro à aceleração $\vec{a}$ usando a segunda lei de Newton ($\vec{F}_{res} = m\vec{a}$). Lembre-se, porém, de que esta lei só se aplica aos referenciais inerciais. Um elevador acelerado *não é* um referencial inercial. Assim, escolhemos o solo como referencial e analisamos todos os movimentos em relação a este referencial.

Cálculos: Como as duas forças e a aceleração a que o passageiro está sujeito são verticais, na direção do eixo y da Fig. 5-19*b*, podemos usar a segunda lei de Newton para as componentes y ($F_{res,y} = ma$) e escrever

$$F_N - F_g = ma$$

ou

$$F_N = F_g + ma. \tag{5-27}$$

Isto nos diz que a leitura da balança, que é igual a F_N, depende da aceleração vertical. Substituindo F_g por mg, obtemos

$$F_N = m(g + a) \quad \text{(Resposta)} \tag{5-28}$$

para qualquer valor da aceleração a.

(b) Qual é a leitura da balança se o elevador está parado ou está se movendo para cima com uma velocidade constante de 0,50 m/s?

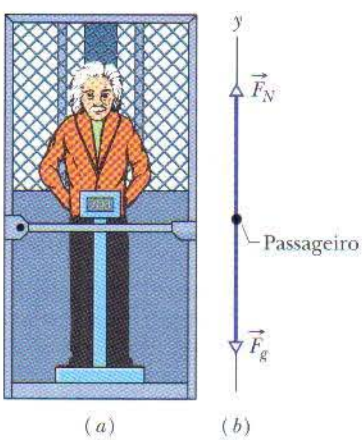


FIG. 5-19 (*a*) Um passageiro está em pé em uma balança que indica o seu peso ou o seu peso aparente. (*b*) O diagrama de corpo livre do passageiro, mostrando a força normal $\vec{F}_N$ exercida sobre ele pela balança e a força gravitacional $\vec{F}_g$.

IDÉIA-CHAVE Para qualquer velocidade constante (zero ou diferente de zero), a aceleração do passageiro é zero.

Cálculo: Substituindo este e outros valores conhecidos na Eq. 5-28, obtemos

$$F_N = (72{,}2\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2 + 0) = 708\text{ N}. \quad \text{(Resposta)}$$

Este é o peso do passageiro, e é igual ao módulo F_g da força gravitacional a que está submetido.

(c) Qual é a leitura da balança se o elevador sofre uma aceleração para cima de 3,20 m/s²? Qual é a leitura se o elevador sofre uma aceleração para baixo de 3,20 m/s²?

Cálculos: Para $a = 3{,}20$ m/s², a Eq. 5-28 nos dá

$$F_N = (72{,}2\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2 + 3{,}20\text{ m/s}^2) = 939\text{ N}, \quad \text{(Resposta)}$$

e para $a = -3{,}20$ m/s², ela nos dá

$$F_N = (72{,}2\text{ kg})(9{,}8\text{ m/s}^2 - 3{,}20\text{ m/s}^2) = 477\text{ N}. \quad \text{(Resposta)}$$

Se a aceleração é para cima (ou seja, se a velocidade do elevador para cima está aumentando ou se a velocidade para baixo está diminuindo), a leitura da balança é maior que o peso do passageiro. Essa leitura é uma medida do peso aparente, pois é realizada em um referencial não-inercial. Se a aceleração é para baixo (ou seja, se a velocidade do elevador para cima está diminuindo ou a velocidade para baixo está aumentando), a leitura da balança é menor que o peso do passageiro.

(d) Durante a aceleração para cima do item (c), qual é o módulo F_{res} da força resultante a que está submetido o passageiro e qual é o módulo $a_{p,el}$ da aceleração do passageiro no referencial do elevador? A equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}_{p,el}$ é obedecida?

Cálculo: O módulo F_g da força gravitacional a que está submetido o passageiro não depende da sua aceleração; assim, de acordo com o item (b), $F_g = 708$ N. De acordo com o item (c), o módulo F_N da força normal a que está submetido o passageiro durante a aceleração para cima é o valor de 939 N indicado pela balança. Assim, a força resultante a que o passageiro está submetido é

$$F_{res} = F_N - F_g = 939\text{ N} - 708\text{ N} = 231\text{ N}, \quad \text{(Resposta)}$$

durante a aceleração para cima. Entretanto, a aceleração do passageiro em relação ao elevador, $a_{p,el}$, é zero. Assim, no referencial não-inercial do elevador acelerado F_{res} não é igual a $ma_{p,el}$, e a segunda lei de Newton não é obedecida.

Exemplo 5-9 Aumente sua capacidade

Na Fig. 5-20*a*, uma força horizontal constante $\vec{F}_{ap}$ de módulo 20 N é aplicada a um bloco *A* de massa $m_A = 4{,}0$ kg, que empurra um bloco *B* de massa $m_B = 6{,}0$ kg. O bloco desliza sobre uma superfície sem atrito, ao longo de um eixo *x*.

(a) Qual é a aceleração dos blocos?

Erro Grave: Como a força $\vec{F}_{ap}$ é aplicada diretamente ao bloco *A*, usamos a segunda lei de Newton para relacionar essa força à aceleração $\vec{a}$ do bloco *A*. Como o movimento é ao longo do eixo *x*, usamos a lei para as componentes *x* ($F_{res,x} = ma_x$), escrevendo

$$F_{ap} = m_A a.$$

Este raciocínio está errado, porque $\vec{F}_{ap}$ não é a única força horizontal a que o bloco *A* está sujeito; existe também a força $\vec{F}_{AB}$, exercida pelo bloco *B* (Fig. 5-20*b*).

Solução Frustrada: Vamos incluir a força $\vec{F}_{AB}$ escrevendo, novamente para o eixo *x*,

$$F_{ap} - F_{AB} = m_A a.$$

(Usamos o sinal negativo para indicar o sentido de $\vec{F}_{AB}$.) Como F_{AB} é uma segunda incógnita, não podemos resolver esta equação para determinar o valor de *a*.

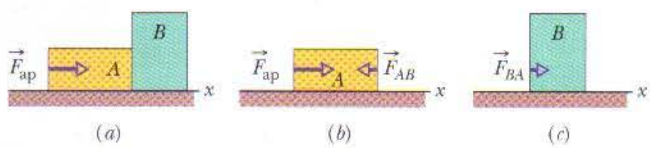


FIG. 5-20 (*a*) Uma força horizontal constante $\vec{F}_{ap}$ é aplicada ao bloco *A*, que empurra o bloco *B*. (*b*) Duas forças horizontais agem sobre o bloco *A*. (*c*) Apenas uma força horizontal age sobre o bloco *B*.

Solução Correta: Por causa do sentido de aplicação da força $\vec{F}_{ap}$, os dois blocos se movem como se fossem um só. Podemos usar a segunda lei de Newton para relacionar a força aplicada *ao conjunto dos dois blocos* à aceleração *do conjunto dos dois blocos* através da segunda lei de Newton. Assim, considerando apenas o eixo *x*, podemos escrever:

$$F_{ap} = (m_A + m_B)a,$$

onde agora a força aplicada $\vec{F}_{ap}$ está relacionada corretamente à massa total $m_A + m_B$. Explicitando *a* e substituindo os valores conhecidos, obtemos:

$$a = \frac{F_{ap}}{m_A + m_B} = \frac{20\text{ N}}{4{,}0\text{ kg} + 6{,}0\text{ kg}} = 2{,}0\text{ m/s}^2. \quad \text{(Resposta)}$$

Assim, a aceleração do sistema (e dos dois blocos) é no sentido positivo do eixo *x* e tem um módulo de 2,0 m/s².

(b) Qual é a força (horizontal) $\vec{F}_{BA}$ exercida pelo bloco *A* sobre o bloco *B* (Fig. 5-20*c*)?

IDÉIA-CHAVE Podemos usar a segunda lei de Newton para relacionar a força exercida sobre o bloco *B* à aceleração do bloco.

Cálculo: Neste caso, considerando apenas o eixo *x*, podemos escrever:

$$F_{BA} = m_B a,$$

que, substituindo os valores conhecidos, nos dá

$$F_{BA} = (6{,}0\text{ kg})(2{,}0\text{ m/s}^2) = 12\text{ N}. \quad \text{(Resposta)}$$

Assim, a $\vec{F}_{BA}$ é orientada no sentido positivo do eixo *x* e tem um módulo de 12 N.

REVISÃO E RESUMO

Mecânica Newtoniana A velocidade de um objeto pode variar (o objeto pode sofrer uma aceleração) quando o objeto é submetido a uma ou mais **forças** (empurrões ou puxões) exercidas por outros objetos. A *mecânica newtoniana* relaciona acelerações e forças.

Força As forças são grandezas vetoriais. Seus módulos são definidos em termos da aceleração que imprimiriam a uma massa de um quilograma. Por definição, uma força que produz uma aceleração de 1 m/s² em uma massa de 1 kg tem um módulo de 1 newton (1 N). A orientação de uma força é a orientação da aceleração produzida pela força. Duas ou mais forças podem ser combinadas segundo as regras da álgebra vetorial. A **força resultante** é a soma de todas as forças que agem sobre um corpo.

Primeira Lei de Newton Quando a força resultante que age sobre um corpo é zero, o corpo permanece em repouso ou se move em linha reta com velocidade escalar constante.

Referenciais Inerciais Os referenciais para os quais as leis de Newton são válidas são chamados de *referenciais inerciais*. Os referenciais para os quais as leis de Newton não são válidas são chamados de *referenciais não-inerciais*.

Massa A **massa** de um corpo é a propriedade do corpo que relaciona a aceleração do corpo à força responsável pela aceleração. A massa é uma grandeza escalar.

Segunda Lei de Newton A força resultante $\vec{F}_{res}$ que age sobre um corpo de massa *m* está relacionada à aceleração $\vec{a}$ do corpo através da equação

$$\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}, \tag{5-1}$$

que pode ser escrita em termos de suas componentes:

$$F_{\text{res},x} = ma_x \quad F_{\text{res},y} = ma_y \quad \text{e} \quad F_{\text{res},z} = ma_z. \tag{5-2}$$

De acordo com a segunda lei, em unidades do SI,

$$1\text{ N} = 1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2. \tag{5-3}$$

O **diagrama de corpo livre** é um diagrama simplificado no qual apenas um corpo é considerado. Esse corpo é representado por um ponto ou por um símbolo. As forças externas que agem sobre o corpo são representadas por vetores e um sistema de coordenadas é superposto ao desenho, orientado de modo a simplificar a solução.

Algumas Forças Especiais A **força gravitacional** $\vec{F}_g$ exercida sobre um corpo é um tipo especial de atração que um segundo corpo exerce sobre o primeiro. Na maioria das situações apresentadas neste livro o segundo corpo é a Terra ou outro astro. No caso da Terra, a força é orientada para baixo, em direção ao solo, que é considerado um referencial inercial. O módulo de $\vec{F}_g$ é

$$F_g = mg, \tag{5-8}$$

onde m é a massa do corpo e g é o módulo da aceleração em queda livre.

O **peso** P de um corpo é o módulo da força para cima necessária para equilibrar a força gravitacional a que o corpo está sujeito. O peso de um corpo está relacionado à sua massa através da equação

$$P = mg. \tag{5-12}$$

A **força normal** $\vec{F}_N$ é a força exercida sobre um corpo pela superfície na qual o corpo está apoiado. A força normal é sempre perpendicular à superfície.

A **força de atrito** $\vec{f}$ é a força exercida sobre um corpo quando o corpo desliza ou tenta deslizar sobre uma superfície. A força é sempre paralela à superfície e tem o sentido oposto ao do deslizamento. Em uma *superfície ideal*, a força de atrito é desprezível.

Quando uma corda está sob **tensão**, cada extremidade da corda exerce uma força sobre um corpo. A força é orientada ao longo da corda, para longe do ponto onde a corda está presa ao corpo. No caso de uma *corda sem massa* (uma corda de massa desprezível) as tensões nas duas extremidades da corda têm o mesmo módulo T, mesmo que a corda passe por uma *polia sem massa e sem atrito* (uma polia de massa desprezível e cujo eixo tem um atrito desprezível).

Terceira Lei de Newton Se um corpo C aplica a um corpo B uma força $\vec{F}_{LC}$, o corpo B aplica ao corpo C uma força $\vec{F}_{CL}$ tal que

$$\vec{F}_{LC} = -\vec{F}_{CL}.$$

PERGUNTAS

1 Na Fig. 5-21 as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ são aplicadas a uma caixa que desliza com velocidade constante sobre uma superfície sem atrito. Diminuímos o ângulo θ sem mudar o módulo de $\vec{F}_1$. Para manter a caixa deslizando com velocidade constante devemos aumentar, diminuir ou manter inalterado o módulo de $\vec{F}_2$?

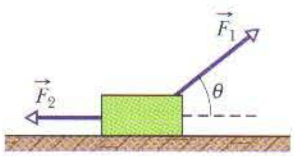


FIG. 5-21 Pergunta 1.

2 No instante $t = 0$, uma força $\vec{F}$ constante começa a atuar sobre uma pedra que se move no espaço sideral no sentido positivo do eixo x. (a) Para $t > 0$, quais são as possíveis funções $x(t)$ para a posição da pedra: (1) $x = 4t - 3$, (2) $x = -4t^2 + 6t - 3$, (3) $x = 4t^2 + 6t - 3$? (b) Para que função $\vec{F}$ tem o sentido contrário ao do movimento inicial da pedra?

3 A Fig. 5-22 mostra vistas superiores de quatro situações nas quais forças atuam sobre um bloco que está em um piso sem atrito. Se os módulos das forças forem escolhidos apropriadamente, em que situações é possível que o bloco esteja (a) em repouso e (b) se movendo com velocidade constante?

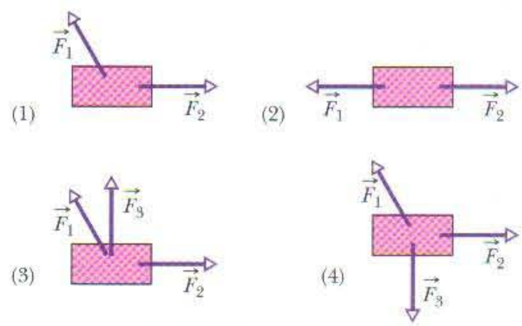


FIG. 5-22 Pergunta 3.

4 Duas forças horizontais,

$$\vec{F}_1 = (3\text{ N})\hat{\text{i}} - (4\text{ N})\hat{\text{j}} \quad \text{e} \quad \vec{F}_2 = -(1\text{ N})\hat{\text{i}} - (2\text{ N})\hat{\text{j}}$$

puxam uma banana split no balcão sem atrito de uma lanchonete. Sem usar uma calculadora, determine quais dos vetores do diagrama de corpo livre da Fig. 5-23 representam melhor (a) $\vec{F}_1$ e (b) $\vec{F}_2$. Qual é a componente da força resultante ao longo (c) do eixo x e (d) do eixo y? Para que quadrantes os vetores (e) da força resultante e (f) da aceleração da sobremesa apontam?

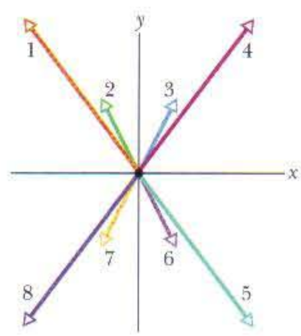


FIG. 5-23 Pergunta 4.

5 A Fig. 5-24 mostra o diagrama de corpo livre de quatro situações nas quais um objeto, visto de cima, é puxado por várias forças em um piso sem atrito. Em quais dessas situações a aceleração $\vec{a}$ do objeto possui (a) uma componente x e (b) uma componente y? (c) Em cada situação, indique o sentido de $\vec{a}$ indicando um quadrante ou um sentido ao longo de um eixo. (Isso pode ser feito com alguns cálculos mentais.)

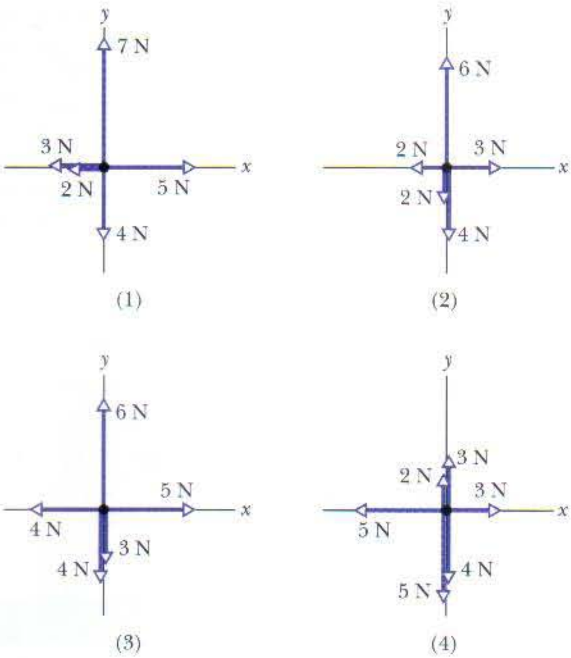


FIG. 5-24 Pergunta 5.

6 A Fig. 5-25 mostra três gráficos da componente de uma velocidade $v_x(t)$ e três gráficos da componente $v_y(t)$. Os gráficos não estão em escala. Que gráfico de $v_x(t)$ e que gráfico de $v_y(t)$ correspondem melhor a cada uma das situações da Pergunta 5 (Fig. 5-24)?

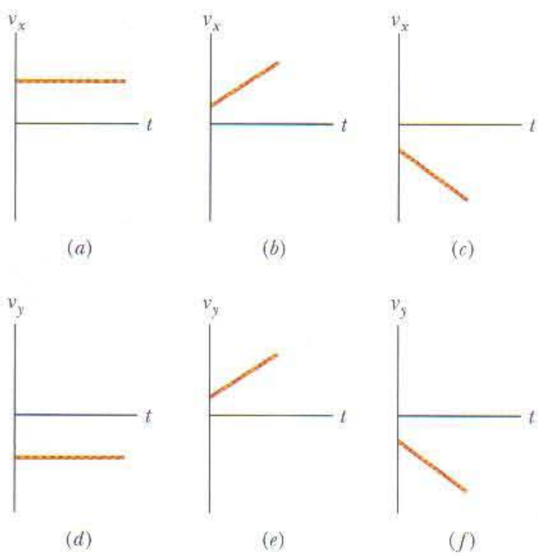


FIG. 5-25 Pergunta 6.

7 A Fig. 5-26 mostra um conjunto de quatro blocos sendo puxados por uma força $\vec{F}$ em um piso sem atrito. Que massa total é acelerada para a direita (a) pela força $\vec{F}$, (b) pela corda 3 e (c) pela corda 1? (d) Ordene os blocos de acordo com a aceleração, começando pela maior. (e) Ordene as cordas de acordo com a tensão, começando pela maior. (Aquecimento para os Problemas 50 e 51.)

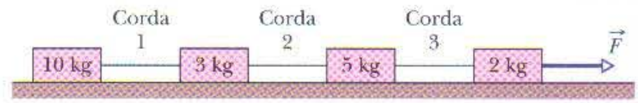


FIG. 5-26 Pergunta 7.

8 A Fig. 5-27 mostra uma caixa em quatro situações nas quais forças horizontais são aplicadas. Ordene as situações de acordo com o módulo da aceleração da caixa, começando pelo maior.

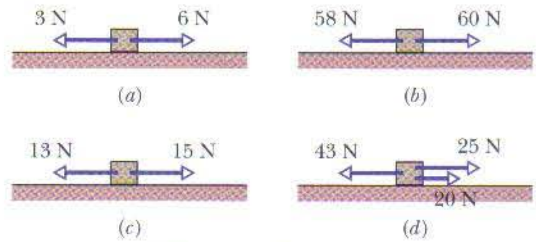


FIG. 5-27 Pergunta 8.

9 Uma força vertical $\vec{F}$ é aplicada a um bloco de massa m que está sobre um piso. O que acontece com o módulo da força normal F_N que o piso exerce sobre o bloco quando o módulo de $\vec{F}$ aumenta a partir de zero, se a força $\vec{F}$ aponta (a) para baixo e (b) para cima?

10 A Fig. 5-28 mostra quatro opções para a orientação de uma força de módulo F a ser aplicada a um bloco que se encontra sobre um plano inclinado. A força pode ser horizontal ou vertical. (No caso das opções a e b a força não é suficiente para levantar o bloco, afastando-o da superfície.) Ordene as opções de acordo com o módulo da força normal exercida pelo plano sobre o bloco, começando pela maior.

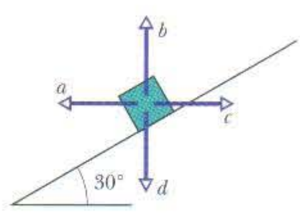


FIG. 5-28 Pergunta 10.

11 Kansas City, 17 de julho de 1981. O hotel Hyatt Regency, recém-inaugurado, recebe centenas de pessoas que escutam e dançam sucessos da década de 1940 ao som de uma banda. Muitas dessas pessoas se aglomeram nas passarelas que se estendem como pontes por cima do grande saguão. De repente, duas passarelas cedem, caindo sobre a multidão.

As passarelas eram sustentadas por hastes verticais e mantidas no lugar por porcas atarraxadas nas hastes. No projeto original seriam usadas apenas duas hastes compridas, presas ao teto, que sustentariam as três passarelas (Fig. 5-29a). Se cada passarela e as pessoas que encontram sobre ela têm uma massa total M, qual é a massa total sustentada por duas porcas que estão (a) na passarela de baixo e (b) na passarela de cima?

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. 5-29*b*). 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.

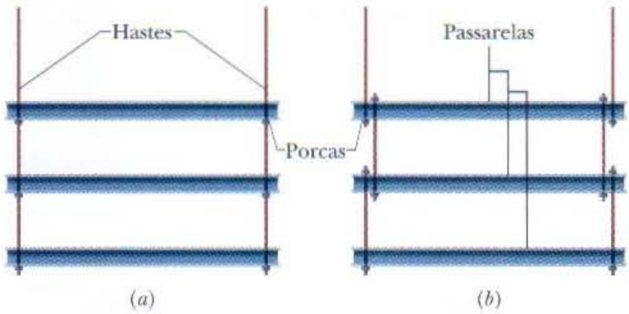


FIG. 5-29 Pergunta 11.

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.)

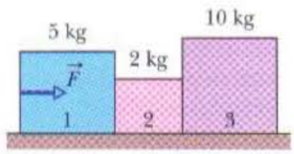


FIG. 5-30 Pergunta 12.

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 m/s^2 a 20,0° 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° 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 $F_1 = 20,0$ N, $a = 12,0$ m/s^2 e $\theta = 30,0°$, 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.

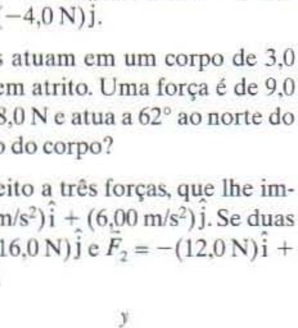


FIG. 5-31 Problema 5.

••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 asteróide de 120 kg em direção a uma base de manutenção, exercendo as forças mostradas na Fig. 5-32, com $F_1 = 32$ N, $F_2 = 55$ N, $F_3 = 41$ N, $\theta_1 = 30°$ e $\theta_3 = 60°$. Determine a aceleração do asteróide (a) em termos dos vetores unitários e como um (b) módulo e (c) um ângulo em relação ao semi-eixo x positivo.

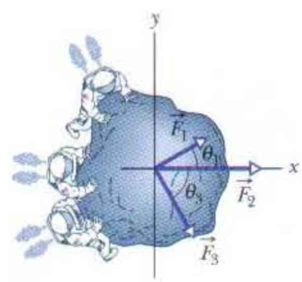


FIG. 5-32 Problema 7.

••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?

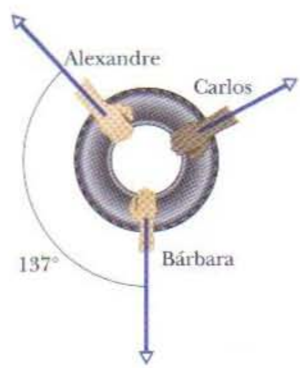


FIG. 5-33 Problema 8.

••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 $t = 3{,}0$ 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 minstante $t = 3{,}40$ 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 $t = 0{,}700$ 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 $\vec{F}_2$?

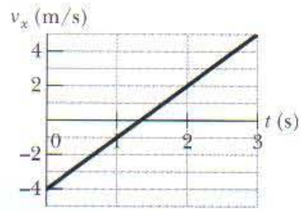


FIG. 5-34 Problema 12.

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 presa 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?

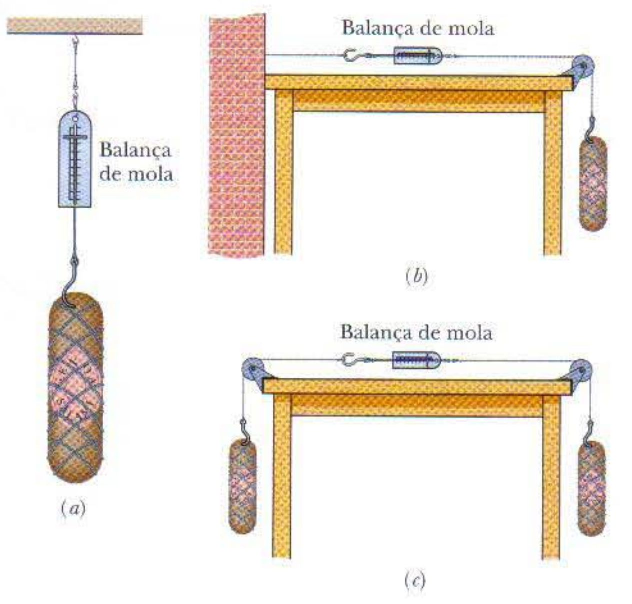


FIG. 5-35 Problema 13.

•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 $T_1 = 58{,}8$ N, $T_2 = 49{,}0$ N e $T_3 = 9{,}8$ N. Quais são as massas (a) do disco A, (b) do disco B, (c) do disco C e (d) do disco D?

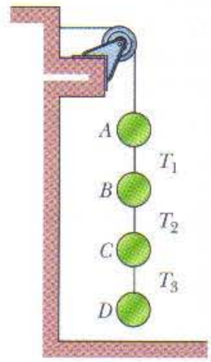


FIG. 5-36 Problema 15.

••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 $\theta = 40°$. 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 tíbia (parte dianteira da perna) e o peso do inseto? (b) Se o inseto estica um pouco as pernas, a tensão em cada tíbia 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) Quanto 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° 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 θ é 30°. Determine (a) a

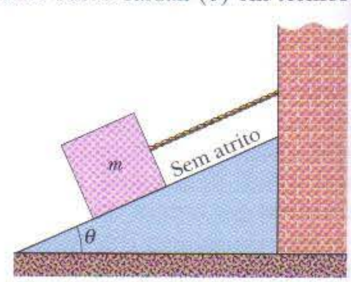


FIG. 5-38 Problema 19.

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 $F_1 = 20$ 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 m/s², (b) 20 m/s², (c) 0, (d) −10 m/s² e (e) −20 m/s².

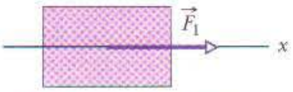


FIG. 5-39 Problema 20.

•**21** Uma força horizontal constante $\vec{F}_a$ 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 $\vec{F}_a$?

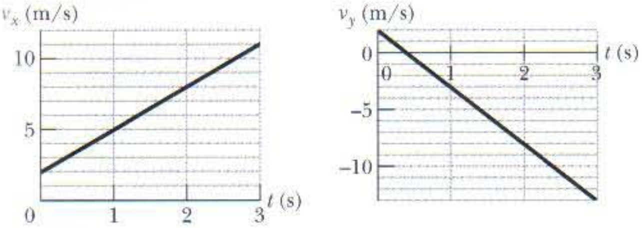


FIG. 5-40 Problema 21.

•**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 θ de 30° 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 m/s², 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 $1{,}2 \times 10^7$ m/s penetra horizontalmente em uma região onde está sujeito a uma força vertical constante de $4{,}5 \times 10^{-16}$ N. A massa do elétron é $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg. Determine a deflexão vertical sofrida pelo elétron enquanto percorre uma distância horizontal de 30 mm.

•**30** Um carro que pesa $1{,}30 \times 10^4$ 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 $\vec{v} = (8{,}00t\hat{i} + 3{,}00t^2\hat{j})$ 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 $m = 100$ kg é empurrado por uma força horizontal $\vec{F}$ que o faz subir uma rampa sem atrito ($\theta = 30{,}0°$) com velocidade constante. Quais são os módulos de (a) de $\vec{F}$ e (b) da força que a rampa exerce sobre o caixote?

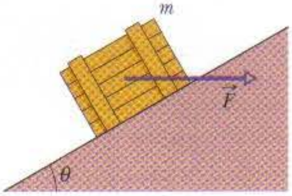


FIG. 5-41 Problema 32.

••**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 $\theta_1 = 30{,}0°$. A força $\vec{F}_2$ tem um módulo de 7,00 N e um ângulo $\theta_2 = 30{,}0°$. Em termos dos vetores unitários, qual é a terceira força se o disco (a) está em repouso, (b) tem uma velocidade constante $\vec{v} = (13{,}0\hat{i} - 14{,}0\hat{j})$ m/s e (c) tem uma velocidade variável $\vec{v} = (13{,}0t\hat{i} - 14{,}0t\hat{j})$ m/s², onde t é o tempo?

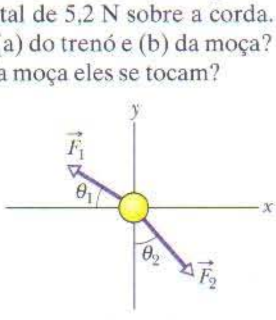


FIG. 5-42 Problema 34.

••35 Um bloco começa a subir um plano inclinado sem atrito com uma velocidade inicial $v_0 = 3{,}50$ m/s. O ângulo do plano inclinado é $\theta = 32{,}0°$. (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° 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 m/s² e (c) aumenta a uma taxa de 2,0 m/s²?

••37 Uma esfera com uma massa de $3{,}0 \times 10^{-4}$ kg está suspensa por uma corda. Uma brisa horizontal constante empurra a esfera de tal forma que a corda faz um ângulo de 37° 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 kg sobe uma rampa sem atrito que faz um ângulo θ 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?

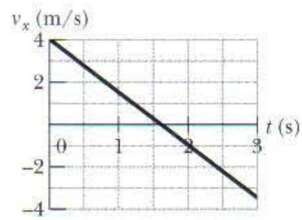


FIG. 5-43 Problema 38.

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

••40 Um esquiador de 50 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° com a horizontal. Qual é o módulo F_{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 m/s e (b) v aumenta a uma taxa de 0,10 m/s²?

••41 Um elevador que pesa 27,8 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 m/s² e (b) está diminuindo a uma taxa de 1,22 m/s²?

••42 Uma lâmpada está pendurada verticalmente por um fio em um elevador que desce com uma desaceleração de 2,4 m/s². (a) Se a tensão do fio é 89 N, qual é a massa da lâmpada? (b) Qual é a tensão no fio quando o elevador sobe com uma aceleração de 2,4 m/s²?

••43 Usando um cabo que arrebentará se a tensão exceder 387 N, você precisa baixar uma caixa de telhas velhas com um peso de 449 N a partir de um ponto a 6,1 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 kg. Quando o ocupante deixa cair uma moeda, sua aceleração em relação à cabine é de 8,00 m/s² 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 kg, é erguida verticalmente com uma aceleração constante de módulo $a = 2{,}50$ m/s². 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.

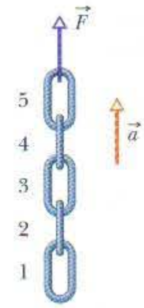


FIG. 5-44 Problema 45.

••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 kg; a massa do elevador B é de 1300 kg. O piso do elevador A sustenta uma caixa de gatária de 12 kg. A tensão do cabo que liga os elevadores é $1{,}91 \times 10^4$ N. Qual é o módulo da força normal que o piso do elevador A exerce sobre a caixa?

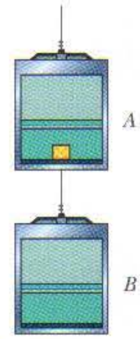


FIG. 5-45 Problema 46.

••47 Na Fig. 5-46, um bloco de massa $m = 5{,}00$ kg é puxado ao longo de um piso horizontal sem atrito por uma corda que exerce uma força de módulo $F = 12{,}0$ N e ângulo $\theta = 25{,}0°$. (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)?

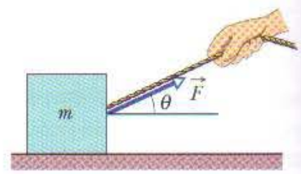


FIG. 5-46 Problemas 47 e 62.

••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 N e ângulo $\theta = 18°$ 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 kg e o módulo de sua aceleração é 0,12 m/s². 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?

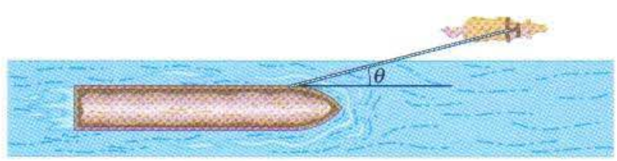


FIG. 5-47 Problema 48.

••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 m de distância. Ele foi impulsionado dentro do cano por uma distância de 5,2 m e lançado com um ângulo de 53°. Se sua massa era de 85 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°. Despreze a resistência do ar.)

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

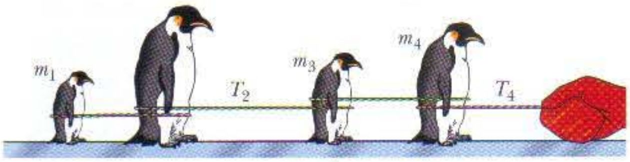


FIG. 5-48 Problema 50.

••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 N. Se m_1 = 12,0 kg, m_2 = 24,0 kg e m_3 = 31,0 kg, calcule (a) o módulo da aceleração do sistema, (b) a tensão T_1 e (c) a tensão T_2.

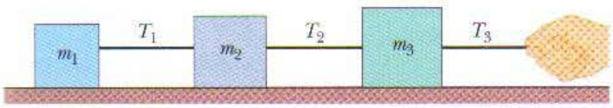


FIG. 5-49 Problema 51.

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

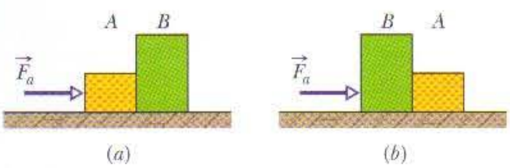


FIG. 5-50 Problema 52.

••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 kg, m_2 = 1,2 kg e F = 3,2 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 N, que não é o mesmo valor calculado no item (a). (c) Explique a razão da diferença.

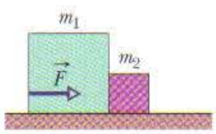


FIG. 5-51 Problema 53.

••54 Na Fig. 5-52, três caixas são conectadas por cordas, uma das quais passa por uma polia de atrito e massa desprezíveis. As massas são m_A = 30,0 kg, m_B = 40,0 kg e m_C = 10,0 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 s (supondo que não atinge a polia)?

FIG. 5-52 Problema 54.

••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 kg; o outro tem massa m_2 = 2,8 kg. Quais são (a) o módulo da aceleração dos blocos e (b) a tensão na corda?

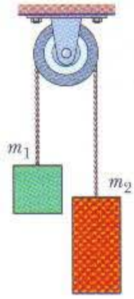


FIG. 5-53 Problemas 55 e 63.

••56 No arremesso de peso, muitos atletas preferem lançar o peso com um ângulo menor que o teórico (cerca de 42°) 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 kg é acelerado ao longo de uma trajetória reta com 1,650 m de comprimento por uma força constante de módulo 380,0 N, começando com uma velocidade de 2,500 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° e (b) 42,00°? (*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° para 42,00°?

••57 Um macaco de 10 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 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?

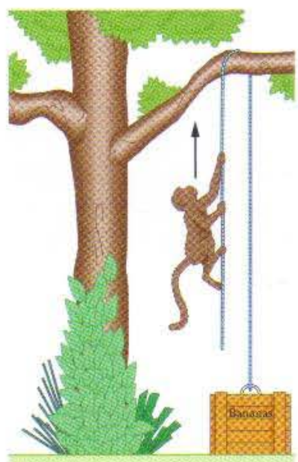


FIG. 5-54 Problema 57.

••58 Um homem de 85 kg desce de uma altura de 10,0 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 kg. Com que velocidade o homem atinge o solo se ele partiu do repouso?

••59 Um bloco de massa m_1 = 3,70 kg sobre um plano sem atrito inclinado, de ângulo θ = 30,0°, 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 kg (Fig. 5-55). Quais são (a) o módulo

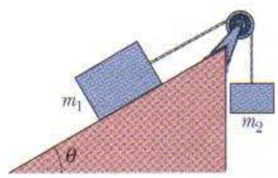


FIG. 5-55 Problema 59.

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 roldana 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 m/s²? (*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 m/s²? 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?

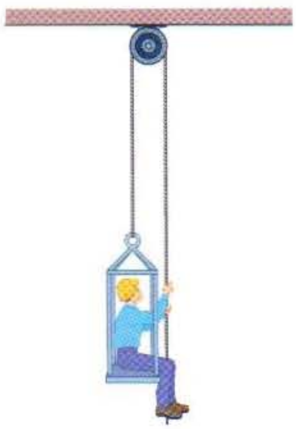


FIG. 5-56 Problema 60.

••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 θ chega a 25°, qual é a taxa de variação da aceleração do bloco se (a) $\theta(t) = (2{,}00 \times 10^{-2}$ graus/s$)t$ e (b) $\theta(t) = -(2{,}00 \times 10^{-2}$ 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 $t = 3{,}00$ 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° 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°, 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; as massas são $m_A = 6{,}00$ kg, $m_B = 8{,}00$ kg e $m_C = 10{,}0$ kg. Quando os blocos são liberados qual é a tensão da corda da direita?

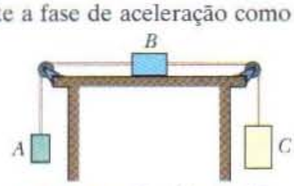


FIG. 5-57 Problema 65.

•••66 A Fig. 5-58 mostra uma caixa de massa $m_2 = 1{,}0$ kg sobre um plano inclinado sem atrito de ângulo $\theta = 30°$. Ela está ligada por uma corda de massa desprezível a uma caixa de massa $m_1 = 3{,}0$ 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?

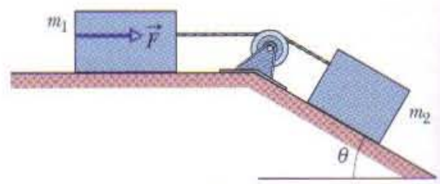


FIG. 5-58 Problema 66.

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

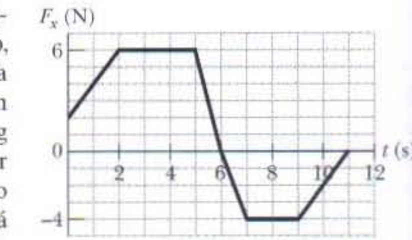


FIG. 5-59 Problema 67.

•••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 $\theta = 35°$. Qual é a diferença entre as tensões de partes vizinhas do cabo que puxa as cabines se as cabinas estão com a máxima massa permitida e estão sendo aceleradas para cima a 0,81 m/s²?

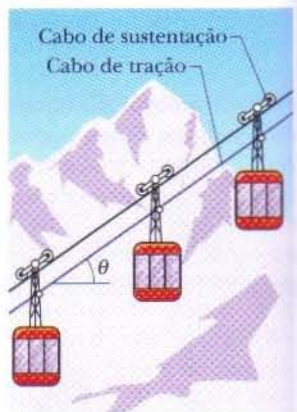


FIG. 5-60 Problema 68.

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 vôo 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 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°. A aceleração resultante tem um módulo de 20 m/s^2. Qual é a massa do corpo?

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 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 N, F_3 = 20 N; (b) F_2 = 30 N, F_3 = 10 N; (c) F_2 = F3 = 30 N?

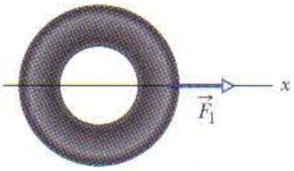


FIG. 5-61 Problema 71.

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.

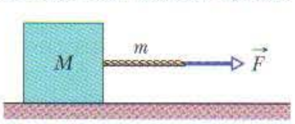


FIG. 5-62 Problema 72.

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 N sobre a corda, que está inclinada de um ângulo θ = 38° em relação à horizontal, e o chão exerce uma força horizontal de módulo f = 125 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 $\vec{v} = (2\ \text{m/s})\hat{\text{i}} - (7\ \text{m/s})\hat{\text{j}}$. Duas das forças são $\vec{F}_1 = (2\ \text{N})\hat{\text{i}} + (3\ \text{N})\hat{\text{j}} + (-2\ \text{N})\hat{\text{k}}$ e $\vec{F}_2 = (-5\ \text{N})\hat{\text{i}} + (8\ \text{N})\hat{\text{j}} + (-2\ \text{N})\hat{\text{k}}$. 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 $\vec{F}_A = (12\ \text{N})\hat{\text{i}}$ atua sobre o bloco A; a força $\vec{F}_B = (24\ \text{N})\hat{\text{i}}$ atua sobre o bloco B. Qual é a tensão na corda?

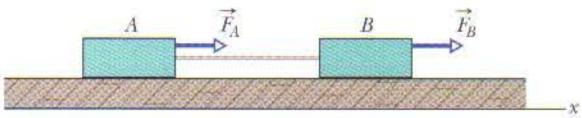


FIG. 5-63 Problema 77.

78 Na vista superior da Fig. 5-64, cinco forças puxam uma caixa de massa m = 4,0 kg. Os módulos das forças são F_1 = 11 N, F_2 = 17 N, F_3 = 3,0 N, F_4 = 14 N e F_5 = 5,0 N; o ângulo θ_4 é 30°. 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.

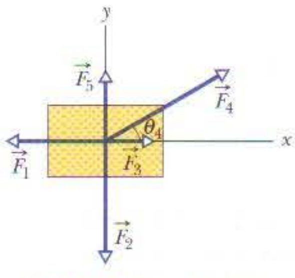


FIG. 5-64 Problema 78.

79 Uma certa força dá a um objeto de massa m_1 uma aceleração de 12,0 m/s^2 e a um objeto de massa m_2 uma aceleração de 3,30 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 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 m/s e (b) com uma velocidade de 7,6 m/s e uma desaceleração de 2,4 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 kg. A força é dirigida para cima, paralelamente a um plano inclinado de ângulo θ = 37°. A caixa está ligada por uma corda a outra caixa de massa m_1 = 3,0 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?

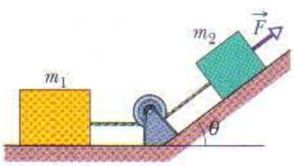


FIG. 5-65 Problema 82.

83 Uma certa partícula tem um peso de 22 N em um ponto onde g = 9,8 m/s². Quais são (a) o peso e (b) a massa da partícula em um ponto onde g = 4,9 m/s²? 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 kg (a) na Terra, (b) em Marte, onde g = 3,7 m/s², 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 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 vôo, o avião encontra uma turbulência que provoca uma aceleração brusca para cima de 2,6 m/s². Calcule a força a que é submetido cada parafuso durante essa aceleração.

86 Uma pessoa de 80 kg salta de pára-quedas e experimenta uma aceleração para baixo de 2,5 m/s². A massa do pára-quedas é de 5,0 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 kg e 4,0 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 θ (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 m/s². Se a nave tem uma aceleração vertical para cima de 1,0 m/s² na decolagem, qual é o módulo da força exercida pela nave sobre o piloto, que pesa 735 N na Terra?

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

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

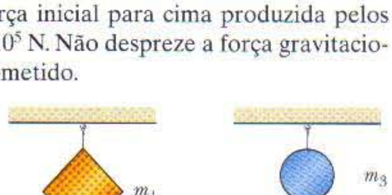


FIG. 5-66 Problema 91.

92 Se a massa-padrão de 1 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 $\vec{F}_{res}$ (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 $1,4 \times 10^7$ m/s, seja capturado por um núcleo com um diâmetro $d = 1,0 \times 10^{-14}$ 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 $1,67 \times 10^{-27}$ kg.

94 Um helicóptero de 15 000 kg levanta um caminhão de 4500 kg com uma aceleração para cima de 1,4 m/s². 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 kg aceleram a 3,0 m/s² para subir uma rampa inclinada de 10° 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 $1,20 \times 10^6$ 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 $c = 3,0 \times 10^8$ 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 kg escorrega em um grande lago gelado, plano e sem atrito. A velocidade inicial do tatu é de 5,0 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 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 s?

98 Um homem de 50 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 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

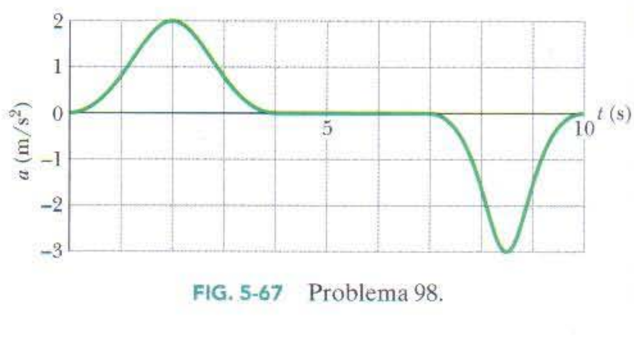


FIG. 5-67 Problema 98.