

Figura 5.44 Exercício 5.9.

**5.10** Um carro de 1130 kg está seguro por um cabo leve, sobre uma rampa muito lisa (sem atrito), como indicado na Figura 5.45. O cabo forma um ângulo de  $31,0^\circ$  sobre a superfície da rampa, e a rampa ergue-se  $25,0^\circ$  acima da horizontal. a) Desenhe um diagrama do corpo livre para o carro. b) Ache a tensão no cabo. c) Com que intensidade a superfície da rampa empurra o carro?

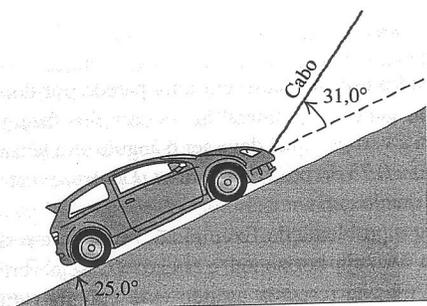


Figura 5.45 Exercício 5.10.

**5.11** Um homem empurra um piano de 180 kg, de modo que ele desliza com velocidade constante para baixo de uma rampa inclinada de  $11,0^\circ$  acima da horizontal. Despreze o atrito que atua sobre o piano. Calcule o módulo da força aplicada pelo homem, se ela for a) paralela ao plano inclinado e b) paralela ao piso.

**5.12** Na Figura 5.46, o peso  $p$  é igual a 60,0 N. a) Qual é a tensão na corda diagonal? b) Ache os módulos das forças horizontais  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  que devem ser exercidas para manter em equilíbrio esse sistema.

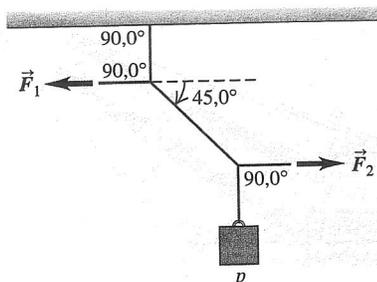


Figura 5.46 Exercício 5.12.

**5.13** Uma bola sólida e uniforme, de 45,0 kg e diâmetro de 32,0 cm está presa a um suporte vertical livre de atrito por um fio de

30,0 cm e massa desprezível (Figura 5.47). a) Faça um diagrama do corpo livre para a bola e use-a para achar a tensão no fio. b) Qual é a força que a bola exerce sobre a parede?

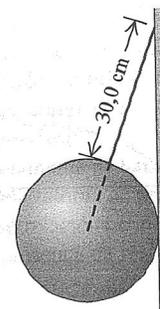


Figura 5.47 Exercício 5.13.

**5.14** Dois blocos, cada um com peso  $p$ , são mantidos em equilíbrio em um plano inclinado sem atrito (Figura 5.48). Em termos de  $p$  e do ângulo  $\alpha$  do plano inclinado, determine a tensão a) na corda que conecta os dois blocos; b) na corda que conecta o bloco A com a parede. c) Calcule o módulo da força que o plano inclinado exerce sobre cada bloco. d) Interprete suas respostas para os casos  $\alpha = 0^\circ$  e  $\alpha = 90^\circ$ .

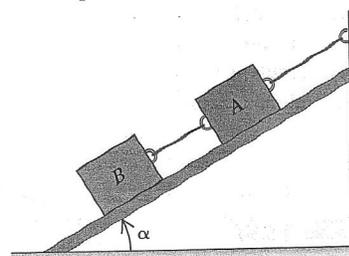


Figura 5.48 Exercício 5.14.

**5.15** Um fio horizontal segura uma bola sólida e uniforme de massa  $m$  sobre uma rampa inclinada, que forma um ângulo de  $35,0^\circ$  acima do plano horizontal. A superfície dessa rampa é perfeitamente lisa, e o fio está direcionado para o sentido oposto ao centro da bola (Figura 5.49).

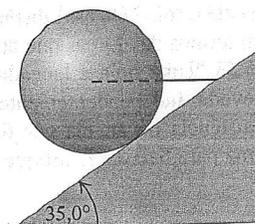


Figura 5.49 Exercício 5.15.

a) Desenhe um diagrama do corpo livre para a bola. b) Qual é a força que a superfície da rampa exerce sobre a bola? c) Qual é a tensão no fio?

### Seção 5.2 Uso da segunda lei de Newton: dinâmica das partículas

**5.16** O motor de um foguete de 125 kg (incluindo toda a carga) produz uma força vertical constante (a propulsão) de 1720 N. No interior desse foguete, uma fonte de energia de 15,5 N está em repouso sobre o piso. a) Ache a aceleração do foguete. b) Quando ele atingir a altitude de 120 m, qual é a força que o piso exerce sobre a fonte de energia? (Sugestão: comece com um diagrama do corpo livre para a fonte de energia.)

**5.17 A Queda da Genesis.** Em 08 de setembro de 2004, a espaçonave Genesis caiu no deserto de Utah porque seu pára-quadras não abriu. A cápsula de 210 kg atingiu a Terra a 311 km/h e penetrou o solo a uma profundidade de 81,0 cm. a) Supondo que fosse constante, qual era a sua aceleração (em  $m/s^2$  e em  $g$ ) durante o impacto? b) Qual é a força que o solo exerceu sobre a cápsula durante o impacto? Expresse a força em newtons e como múltiplo do peso da cápsula. c) Quanto tempo durou essa força?

**5.18** Três trenós estão sendo puxados horizontalmente sobre uma superfície de gelo horizontal e sem atrito, através de cordas horizontais (Figura 5.50). A força de puxar é horizontal e possui módulo de 125 N. Ache a) a aceleração do sistema e b) a tensão nas cordas A e B.



Figura 5.50 Exercício 5.18.

**5.19 Máquina de Atwood.** Uma carga de tijolos com 15,0 kg é suspensa pela extremidade de uma corda que passa sobre uma pequena polia sem atrito. Um contrapeso de 28,0 kg está preso na outra extremidade da corda, conforme mostra a Figura 5.51. O sistema é libertado a partir do repouso. a) Desenhe um diagrama do corpo livre para a carga de tijolos e outro para o contrapeso. b) Qual é o módulo da aceleração de baixo para cima da carga de tijolos? c) Qual é a tensão na corda durante o movimento da carga? Como essa tensão é relacionada com a carga? Como essa tensão é relacionada com o contrapeso?

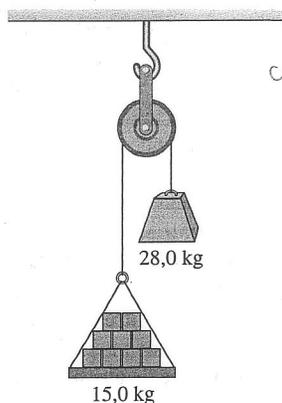


Figura 5.51 Exercício 5.19.

**5.20** Um bloco de gelo de 8,0 kg é libertado a partir do repouso no topo de uma rampa sem atrito de comprimento igual a 1,50 m e desliza para baixo atingindo uma velocidade de 2,50 m/s na base da rampa. a) Qual é o ângulo entre a rampa e a horizontal? b) Qual seria a velocidade escalar do gelo na base, se o movimento sofresse a oposição de uma força de atrito constante de 10,0 N, paralela à superfície da rampa?

**5.21** Uma corda leve está amarrada a um bloco com massa de 4,0 kg, que está em repouso sobre uma superfície horizontal e sem atrito. A corda horizontal passa por uma polia sem atrito e sem massa, e um bloco com massa  $m$  está suspenso na outra ponta. Quando os blocos são soltos, a tensão na corda é de 10,0 N. a) Desenhe dois diagramas do corpo livre, um para o bloco de 4,0 kg e outro para o bloco com massa  $m$ . b) Qual é a aceleração de cada bloco? c) Ache a massa  $m$  do bloco suspenso. d) Como a tensão se relaciona com o peso do bloco suspenso?

**5.22 Projeto pista de pouso.** Um avião de carga decola de um campo plano rebocando dois planadores, um atrás do outro. A massa de cada planador é de 700 kg, e a resistência total (arraste do ar mais atrito com a pista) em cada um pode ser considerada constante e igual a 2500 N. A tensão no cabo de reboque entre o avião de carga e o primeiro planador não deve exceder a 12000 N. a) Se a decolagem exige uma velocidade escalar de 40 m/s, qual deve ser a extensão mínima da pista? b) Qual é a tensão na corda de reboque entre os dois planadores, enquanto eles aceleram para a decolagem?

**5.23** Uma rocha de 750,0 kg é erguida de uma pedreira com 125 m de profundidade, por uma corrente longa e uniforme, com massa de 575 kg. Essa corrente tem força uniforme, mas em qualquer ponto ela pode suportar uma tensão máxima não superior a 2,50 vezes o seu peso, sem que se rompa. a) Qual é a aceleração máxi-

ma que a rocha pode atingir para conseguir sair da pedreira e b) quanto tempo leva para ela ser içada à aceleração máxima, considerando-se que parte do repouso?

**5.24 Peso aparente.** Um estudante de física de 550 N está sobre uma balança portátil apoiada sobre o piso de um elevador de 850 kg (incluindo o estudante), que está suspenso por um cabo. Quando o elevador começa a se mover, a leitura da balança indica 450 N. a) Ache a aceleração do elevador (módulo, direção e sentido). b) Qual é a aceleração, quando a leitura da balança indica 670 N? c) Se a leitura da balança indicar zero, o estudante terá motivo para se preocupar? Explique. d) Qual é a tensão do cabo nos itens (a) e (c)?

**5.25** Uma estudante de física está jogando hóquei em uma mesa de ar (uma superfície sem atrito) e verifica que, ao lançar o disco com uma velocidade de 3,80 m/s ao longo do comprimento da mesa (1,75 m) em uma das extremidades dela, o disco flutua 2,50 cm para a direita até chegar à outra extremidade, mas ainda possui um componente de velocidade ao longo do comprimento de 3,80 m/s. Ela acerta ao concluir que a mesa não está nivelada e também acerta ao calcular sua inclinação a partir dessa informação. Qual é o ângulo da inclinação?

**5.26** Um foguete de teste de 2540 kg é lançado verticalmente da plataforma de lançamento. Seu combustível (de massa desprezível) provê uma força propulsora tal que sua velocidade vertical em função do tempo é dada por  $v(t) = At + Bt^2$ , onde  $A$  e  $B$  são constantes e o tempo é medido a partir do instante em que o combustível entra em combustão. No instante da ignição, o foguete possui uma aceleração de baixo para cima de  $1,50 \text{ m/s}^2$ ; 1,0 s depois, a velocidade de baixo para cima é de 2,0 m/s. a) Determine  $A$  e  $B$ , incluindo suas unidades SI. b) No instante de 4,0 s após a ignição, qual é a aceleração do foguete e c) qual força propulsora o combustível em combustão exerce sobre ele, supondo que não haja resistência do ar? Expresse a propulsão em newtons e como múltiplo do peso do foguete. d) Qual é a propulsão inicial em função do combustível?

**Seção 5.3 Forças de atrito**

**5.27 Diagramas do corpo livre.** As duas etapas iniciais para aplicar a segunda lei de Newton para resolver um problema são isolar um corpo para análise e, a seguir, fazer um diagrama do corpo livre para indicar as forças que atuam sobre o corpo escolhido. Desenhe diagramas do corpo livre para as seguintes situações: a) um bloco de massa  $M$  deslizando para baixo ao longo de um plano inclinado, sem atrito e formando um ângulo  $\alpha$  com a horizontal; b) um bloco de massa  $M$  deslizando para cima ao longo de um plano inclinado, sem atrito e formando um ângulo  $\alpha$  com a horizontal; c) um bloco de massa  $M$  deslizando para cima ao longo de um plano inclinado com atrito cinético, formando um ângulo  $\alpha$  com a horizontal.

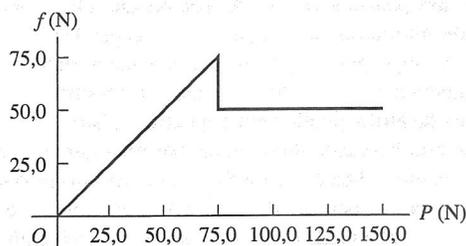


Figura 5.52 Exercício 5.28.

**5.28** Em um laboratório que conduz experiências sobre atrito, um bloco de 135 N repousa sobre uma mesa de superfície horizontal rugosa, que é puxada por um fio horizontal. A força de puxar cresce lentamente até o bloco começar a se mover e continua a aumentar depois disso. A Figura 5.52 mostra um gráfico da força de atrito que atua sobre esse bloco em função da força de puxar.

a) Identifique as regiões do gráfico em que ocorrem o atrito estático e o atrito cinético. b) Ache os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a mesa. c) Por que o gráfico se inclina de baixo para cima na primeira parte, mas depois se nivela? d) Como seria o gráfico, se um tijolo de 135 N fosse colocado sobre o bloco e quais seriam os coeficientes de atrito nesse caso?

**5.29** Um carregador de supermercado empurra uma caixa com massa de 11,2 kg sobre uma superfície horizontal com uma velocidade constante de 3,50 m/s. O coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície é 0,20. a) Que força horizontal o trabalhador deve aplicar para manter o movimento? b) Se a força calculada na parte a) for removida, que distância a caixa deslizará até parar?

**5.30** Uma caixa com bananas pesando 40,0 N está em repouso sobre uma superfície horizontal. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e a superfície é igual a 0,40, e o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a superfície é igual a 0,20. a) Se nenhuma força horizontal for aplicada sobre a caixa, quando ela estiver em repouso, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa? b) Se um macaco aplicar uma força horizontal de 6,0 N sobre a caixa, quando ela estiver em repouso, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa? c) Qual a força horizontal mínima que o macaco deve aplicar sobre a caixa para que ela comece a se mover? d) Qual a força horizontal mínima que o macaco deve aplicar sobre a caixa para que ela, depois de começar a se mover, possa manter-se em movimento com velocidade constante? e) Se o macaco aplicar sobre a caixa uma força horizontal de 18,0 N, qual será o valor da força de atrito exercida sobre a caixa?

**5.31** Uma caixa de ferramentas de 45,0 kg está em repouso sobre um piso horizontal. Você exerce sobre ela uma força de puxar horizontal que aumenta gradualmente e observa que a caixa só começa a se mover quando a sua força ultrapassa 313 N. A partir daí, você deve reduzir sua força de puxar para 208 N para mantê-la em movimento a uma velocidade regular de 25,0 cm/s. a) Quais são os coeficientes de atrito estático e cinético entre a caixa e o piso? b) Qual força de puxar você deve exercer para provocar uma aceleração de  $1,10 \text{ m/s}^2$ ? c) Suponha que você estivesse realizando a mesma experiência, mas na superfície lunar, onde a aceleração da gravidade é de  $1,62 \text{ m/s}^2$ . i) Qual o módulo da força para iniciar o movimento? ii) Qual seria a aceleração, se fosse mantida a força determinada no item b)?

**5.32** Uma caixa de laranjas de 85 N está sendo empurrada ao longo de um piso horizontal. À medida que ela se move, sua velocidade diminui a uma taxa constante de 0,90 m/s a cada segundo. A força aplicada possui componente horizontal de 20 N e um componente vertical de 25 N de cima para baixo. Calcule o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e o piso.

**5.33** Você está baixando duas caixas por uma rampa, uma sobre a outra, e como indica a Figura 5.53 você faz isso puxando uma corda paralela à superfície da rampa. As duas caixas se movem juntas, a uma velocidade escalar constante de 15,0 cm/s. O coeficiente de atrito cinético entre a rampa e a caixa inferior é 0,444, e o coeficiente de atrito estático entre as duas caixas é 0,800.

a) Qual força você deve aplicar para realizar isso? b) Qual o módulo, a direção e o sentido da força de atrito sobre a caixa superior?

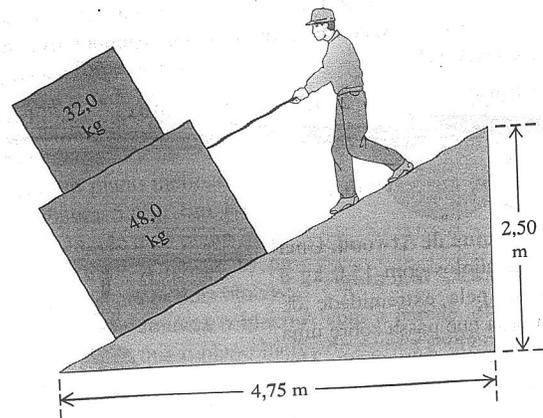


Figura 5.53 Exercício 5.33.

**5.34 Distância de freada.** a) Se o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e um pavimento seco for de 0,80, qual é a menor distância para fazer um carro parar bloqueando o freio, quando o carro se desloca a 28,7 m/s? b) Sobre um pavimento molhado, o coeficiente de atrito cinético se reduz a 0,25. A que velocidade você poderia dirigir no pavimento molhado para que o carro parasse na mesma distância calculada em (a)? (Nota: Bloquear os freios não é a maneira mais segura de parar.)

**5.35 Coeficiente de atrito.** Uma arruela polida de latão desliza ao longo de uma superfície de aço até parar. Usando os valores da Tabela 5.1, quantas vezes mais longe ela poderia deslizar com a mesma velocidade inicial se a arruela fosse revestida de Teflon?

**5.36** Considere o sistema indicado na Figura 5.54. O bloco A pesa 45 N e o bloco B, 25 N. Suponha que o bloco B desça com velocidade constante. a) Ache o coeficiente de atrito cinético entre o bloco A e o topo da mesa. b) Suponha que um gato, também com peso 45 N, caia no sono sobre o bloco A. Se o bloco B agora se move livremente, qual é sua aceleração (módulo, direção e sentido)?

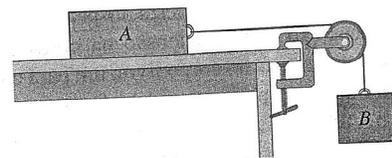


Figura 5.54 Exercícios 5.36 e 5.41; Problema 5.77.

**5.37** Duas caixas estão ligadas por uma corda sobre uma superfície horizontal (Figura 5.55). A caixa A possui massa  $m_A$  e a caixa B possui massa  $m_B$ . O coeficiente de atrito cinético entre cada caixa e a superfície é  $\mu_c$ . As caixas são empurradas para a direita com velocidade constante por uma força horizontal  $\vec{F}$ . Em termos de  $m_A$ , de  $m_B$  e de  $\mu_c$ , calcule a) o módulo da força  $\vec{F}$ ; b) a tensão na corda que conecta os blocos. Inclua um diagrama do corpo livre ou os diagramas que você usou para achar suas respostas.

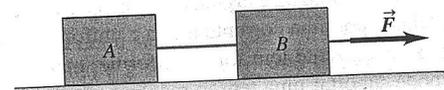


Figura 5.55 Exercício 5.37.

**5.38 Atrito de rolamento.** Duas rodas de bicicleta são lançadas rolando com a mesma velocidade inicial de 3,50 m/s ao longo de uma estrada retilínea. Medimos, então, a distância percorrida por cada uma até o momento em que a velocidade se reduziu à metade do valor inicial. O pneu de uma delas está inflado com uma pressão de 1,6 atm ( $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ) e percorreu uma distância de 18,0 m. O da outra está inflado com uma pressão de 4 atm e percorreu uma distância de 92,0 m. Calcule o coeficiente de atrito de rolamento  $\mu_r$  para cada roda. Suponha que a força horizontal resultante seja devida apenas ao atrito de rolamento.

**5.39 Rodas.** Você verifica que é necessária uma força de 160 N para deslizar uma caixa ao longo da superfície de um piso plano, a uma velocidade escalar constante. O coeficiente de atrito estático é 0,52 e o coeficiente de atrito cinético é 0,47. Se você colocasse a caixa sobre um carrinho de massa 5,3 kg e com coeficiente de atrito de rolamento 0,018, qual aceleração horizontal essa força de 160 N forneceria?

**5.40** Você verifica que é necessária uma força horizontal de 200 N para mover uma caminhonete vazia ao longo de uma estrada plana, a uma velocidade escalar de 2,4 m/s. Então, você carrega a caminhonete e calibra os pneus, de modo que o peso total aumenta 42%, enquanto o coeficiente de atrito de rolamento diminui 19%. Agora, qual força horizontal será necessária para mover a caminhonete ao longo da mesma estrada, à mesma velocidade? A velocidade é baixa o suficiente para permitir que se despreze a resistência do ar.

**5.41** Como indicado na Figura 5.54, o bloco A (massa de 2,25 kg) está em repouso sobre o topo de uma mesa. Ele é ligado a um bloco B (massa de 1,30 kg) por uma corda horizontal que passa sobre uma polia leve e sem atrito. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco A e o topo da mesa é de 0,450. Depois que os blocos são libertados, ache a) a velocidade de cada bloco depois de terem se movido 3,0 cm; b) a tensão na corda. Inclua um diagrama do corpo livre ou os diagramas que você usou para achar suas respostas.

**5.42** Uma caixa de livros de 25,0 kg está em repouso sobre uma rampa que faz um ângulo  $\alpha$  com a horizontal. O coeficiente de atrito cinético é de 0,25 e o coeficiente de atrito estático é de 0,35. a) A medida que o ângulo  $\alpha$  aumenta, qual é o ângulo mínimo no qual a caixa começa a deslizar? b) Para esse ângulo, ache a aceleração depois que a caixa começa a deslizar. c) Para esse ângulo, ache a velocidade da caixa após ter percorrido 5,0 m ao longo do plano inclinado.

**5.43** Um engradado grande de massa  $m$  está em repouso sobre um piso horizontal. Os coeficientes de atrito entre o piso e o engradado são  $\mu_c$  e  $\mu_s$ . Uma mulher o empurra para baixo exercendo uma força  $\vec{F}$  formando um ângulo  $\theta$  abaixo da horizontal. a) Ache o módulo da força  $\vec{F}$  necessária para manter o engradado se movendo com velocidade constante. b) Se  $\mu_s$  for maior do que um valor limite, a mulher não conseguirá mover o engradado por mais força que ela faça. Calcule esse valor crítico de  $\mu_s$ .

**5.44** Uma caixa de massa  $m$  é arrastada ao longo de um assoalho horizontal que possui um coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$  por uma corda que puxa para cima formando um ângulo  $\theta$  acima da horizontal com uma força de módulo  $F$ . a) Ache o módulo da força necessária para manter a caixa se movendo com velocidade constante em termos de  $m$ , de  $\mu_c$ , de  $\theta$  e de  $g$ . b) Sabendo que você está estudando física, um instrutor pergunta-lhe qual seria a força necessária para fazer deslizar um paciente de 90,0 kg puxando-o com uma força que forma um ângulo de  $25^\circ$  acima da horizontal. Arrastando pesos amarrados a um par de sapatos

velhos sobre o piso e usando um dinamômetro, você calculou  $\mu_c = 0,35$ . Use esse valor e o resultado da parte (a) para responder à pergunta feita pelo instrutor.

**5.45** Os blocos A, B e C são dispostos como indicado na Figura 5.56, e ligados por cordas de massas desprezíveis. O peso de A é de 25,0 N e o peso de B também é de 25,0 N. O coeficiente de atrito cinético entre cada bloco e a superfície é igual 0,35. O bloco C desce com velocidade constante. a) Desenhe dois diagramas do corpo livre separados mostrando as forças que atuam sobre A e sobre B. b) Ache a tensão na corda que liga o bloco A ao B. c) Qual é o peso do bloco C? d) Se a corda que liga o bloco A ao B fosse cortada, qual seria a aceleração do bloco C?

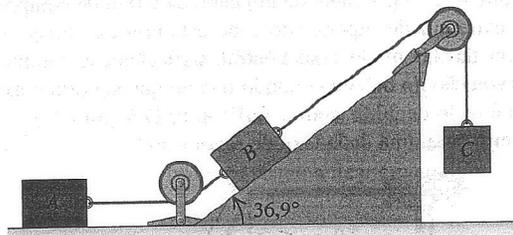


Figura 5.56 Exercício 5.45.

**5.46** Partindo da Equação (5.10), deduza as equações (5.11) e (5.12).

**5.47** a) No Exemplo 5.19 (Seção 5.3), qual seria o valor de  $D$  necessário para que o pára-quedista tivesse  $v_t = 42 \text{ m/s}$ ? b) Se a filha do pára-quedista, cuja massa é de 45 kg, está caindo no ar e possui o mesmo  $D$  (0,25 kg/m) que o pai, qual seria a velocidade terminal da filha?

**5.48** Uma bola de beisebol é atirada verticalmente para cima. A força de arraste é proporcional a  $v^2$ . Em termos de  $g$ , qual é o componente  $y$  da aceleração quando a velocidade é igual à metade da velocidade terminal, supondo que a) ela se mova para cima? b) ela se mova de volta para baixo?

### Seção 5.4 Dinâmica do movimento circular

**5.49** A peça de uma máquina consiste de uma barra estreita de 40,0 cm de comprimento e possui pequenas massas de 1,15 kg presas por parafusos nas extremidades. Os parafusos podem suportar uma força máxima de 75,0 N, sem se soltarem. Essa barra gira sobre um eixo perpendicular a ela, no seu centro. a) À medida que a barra gira a uma taxa constante, sobre uma superfície horizontal sem atrito, qual é a velocidade escalar máxima que as massas podem ter, sem que os parafusos se soltem? b) Suponha que a máquina seja redesenhada, de modo que a barra gire a uma taxa constante, perfazendo um círculo vertical. É mais provável que um dos parafusos se solte quando a massa estiver no topo do círculo, ou na base do círculo? Use um diagrama do corpo livre para entender por quê. c) Usando o resultado obtido em (b), qual é a maior velocidade escalar que as massas podem ter, sem que um parafuso se solte?

**5.50** Uma curva plana (não compensada com inclinação lateral) de uma estrada possui raio igual a 220,0 m. Um carro contorna a curva com uma velocidade de 25,0 m/s. Qual é o coeficiente de atrito mínimo capaz de impedir o deslizamento do carro? b) Suponha que a estrada esteja coberta de gelo e o coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento é apenas um terço do que foi obtido em (a). Qual deve ser a velocidade escalar máxima do carro, de modo que possa fazer a curva com segurança?

**5.51** Um carro de 1125 kg e uma caminhonete de 2250 kg se aproximam de uma curva na estrada que possui raio 225 m. a) A que ângulo o engenheiro deve inclinar essa curva, de modo que veículos com deslocamento de 65,0 mi/h possam contorná-la com segurança, seja qual for o estado dos pneus? A caminhonete mais pesada deve seguir mais lentamente do que o carro mais leve? b) Considerando que o carro e a caminhonete fazem a curva a 65,0 mi/h, ache a força normal sobre cada veículo em função da superfície da estrada.

**5.52** Um 'balanço gigante' de um parque de diversões consiste em um eixo vertical central com diversos braços horizontais ligados em sua extremidade superior (Figura 5.57). Cada braço suspenso um assento por meio de um cabo de 5,0 m de comprimento, e a extremidade superior do cabo está presa ao braço a uma distância de 3,0 m do eixo central. a) Calcule o tempo para uma revolução do balanço quando o cabo que suporta o assento faz um ângulo de 30,0° com a vertical. b) O ângulo depende do passageiro para uma dada taxa de revolução?

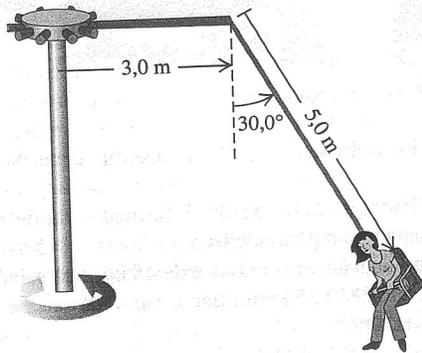


Figura 5.57 Exercício 5.52.

**5.53** Em outra versão do 'balanço gigante' (Exercício 5.52), o assento é conectado a dois cabos, como indicado na Figura 5.58, uma das quais é horizontal. O assento balança em um círculo horizontal, a uma taxa de 32,0 rpm (rev/min). Considerando que o assento pesa 255 N e uma pessoa de 825 N está sentada sobre ele, ache a tensão em cada cabo.

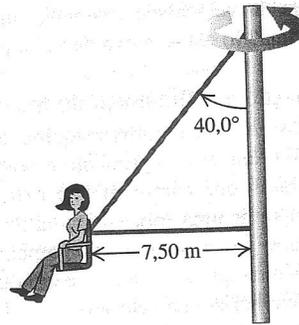


Figura 5.58 Exercício 5.53.

**5.54** Um pequeno botão sobre uma plataforma circulante horizontal com diâmetro de 0,320 m gira junto com a plataforma com 40,0 rev/min, desde que o botão não esteja a uma distância maior do que 0,150 m do eixo. a) Qual é o coeficiente de atrito estático entre o botão e a plataforma? b) Qual é a distância máxima ao eixo da plataforma que o botão pode ser colocado sem que ele deslize, se a plataforma gira com 60,0 rev/min?

**5.55 Estação espacial girando.** Um problema para a vida humana no espaço exterior é o peso aparente igual a zero. Um modo de contornar o problema seria fazer a estação espacial girar em torno do centro com uma taxa constante. Isso criaria uma 'gravidade artificial' na borda externa da estação espacial. a) Se o diâmetro da estação espacial for igual a 800 m, quantas revoluções

por minuto seriam necessárias a fim de que a aceleração da 'gravidade artificial' fosse igual a 9,8 m/s<sup>2</sup>? b) Se a estação espacial fosse projetada para viajantes que querem ir a Marte, seria desejável simular a aceleração da gravidade na superfície de Marte (3,7 m/s<sup>2</sup>). Quantas revoluções por minuto seriam necessárias nesse caso?

**5.56** Uma roda-gigante no Japão possui um diâmetro de 100 m. Ela faz uma revolução a cada 60 segundos. a) Calcule a velocidade de um passageiro quando a roda-gigante gira a essa taxa. b) Um passageiro pesa 882 N em uma balança no solo. Qual é seu peso aparente no ponto mais alto e no ponto mais baixo da roda-gigante? c) Qual deveria ser o tempo de uma revolução para que o peso aparente no ponto mais alto fosse igual a zero? d) Nesse caso, qual deveria ser o peso aparente no ponto mais baixo?

**5.57** Um avião faz uma volta circular em um plano vertical (um loop) com um raio de 150 m. A cabeça do piloto sempre aponta para o centro do círculo. A velocidade do avião não é constante; o avião vai mais devagar no topo do círculo e tem velocidade maior na base do círculo. a) No topo do círculo, o piloto possui peso aparente igual a zero. Qual é a velocidade do avião nesse ponto? b) Na base do círculo, a velocidade do avião é de 280 km/h. Qual é o peso aparente do piloto nesse ponto? O peso real do piloto é de 700 N.

**5.58** Uma mulher de 50,0 kg pilota um avião mergulhando verticalmente para baixo e muda o curso para cima, de modo que o avião passa a descrever um círculo vertical. a) Se a velocidade do avião na base do círculo for igual a 95,0 m/s, qual será o raio mínimo do círculo para que a aceleração neste ponto não supere 4,0g? b) Qual é seu peso aparente nesse ponto?

**5.59 Fique seco!** Uma corda é amarrada em um balde de água e o balde gira em um círculo vertical de raio 0,600 m. Qual deve ser a velocidade mínima do balde no ponto mais elevado do círculo para que a água não seja expelida do balde?

**5.60** Uma bola de boliche de 71,2 N está presa ao teto por uma corda de 3,80 m. A bola é empurrada para um lado e libertada; ela então oscila para frente e para trás, como um pêndulo. Quando a corda passa pela vertical, a velocidade da bola é igual a 4,20 m/s. a) Qual é o módulo, a direção e o sentido da aceleração da bola nesse instante? b) Qual é a tensão na corda nesse instante?

**Problemas**

**5.61** Duas cordas estão conectadas a um cabo de aço que segura um peso suspenso, como indicado na Figura 5.59. a) Desenhe um diagrama do corpo livre mostrando as forças que atuam sobre o nó que liga as duas cordas ao cabo de aço. Com base no diagrama de força, qual das duas cordas terá a maior tensão? b) Se a tensão máxima que cada corda pode sustentar sem se romper é de 5000 N, determine o valor máximo do peso pendente que essas cordas podem suportar com segurança. Ignore o peso das cordas e do cabo de aço.

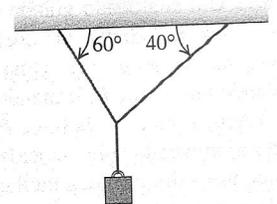


Figura 5.59 Problema 5.61.

**5.62** Na Figura 5.60, um trabalhador levanta um peso  $p$  puxando uma corda para baixo com uma força  $\vec{F}$ . A polia superior está presa ao teto por meio de uma corrente, e a polia inferior está presa ao peso por meio de outra corrente. Ache em termos de  $p$  a ten-

são em cada corrente e o módulo da força  $\vec{F}$ , quando o peso é levantado com velocidade constante. Inclua um diagrama do corpo livre ou os diagramas necessários para obter sua resposta. Despreze os pesos das polias, das correntes e da corda.

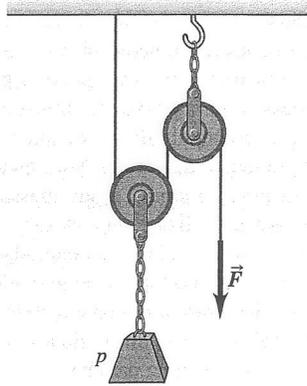


Figura 5.60 Problema 5.62.

**5.63 Uma corda com massa.** Em quase todos os problemas deste livro, as massas dos cabos, cordas e fios são tão pequenas em comparação com os outros corpos que podemos desprezá-las. Porém, quando a corda é o único objeto do problema, obviamente a sua massa não pode ser desprezada. Por exemplo, suponha que você amarre as extremidades de uma corda em dois suportes verticais para secar roupas (Figura 5.61). A corda possui massa  $M$  e cada extremidade faz um ângulo  $\theta$  com a horizontal. Determine a) a tensão nas extremidades da corda; b) a tensão em seu ponto inferior. c) Por que  $\theta$  não pode ser igual a zero? (Veja o item Q5.3 das Questões para Discussão.) d) Discuta seus resultados para os itens a) e b) no limite em que  $\theta \rightarrow 90^\circ$ . A corda para secar roupa ou qualquer cabo flexível preso em suas extremidades sob ação do próprio peso adquire a forma de uma *catenária*. Para um tratamento mais avançado dessa curva, veja SYMON, K. R. *Mechanics*, 3. ed. Addison-Wesley, Reading, MA, 1971. p. 237-241.



Figura 5.61 Problema 5.63.

**5.64 Outra corda com massa.** Um bloco de massa  $M$  é amarrado na extremidade inferior de uma corda de massa  $m$  e comprimento  $L$ . Uma força  $\vec{F}$  constante é aplicada de baixo para cima na extremidade superior da corda, fazendo com que o bloco e a corda sejam acelerados para cima. Ache a tensão na corda a uma distância  $x$  da sua extremidade superior, onde  $x$  pode ter qualquer valor entre 0 e  $L$ .

**5.65** Um bloco de massa  $m_1$  está sobre um plano inclinado com um ângulo de inclinação  $\alpha$  e está ligado por uma corda que passa sobre uma polia pequena a um segundo bloco suspenso de massa  $m_2$  (Figura 5.62). O coeficiente de atrito cinético é  $\mu_c$  e o coeficiente de atrito estático é  $\mu_s$ . a) Ache a massa  $m_2$  para a qual o bloco de massa  $m_1$  sobe o plano com velocidade constante depois que ele entra em movimento. b) Ache a massa  $m_2$  para a qual o

bloco de massa  $m_1$  desce o plano com velocidade constante depois que ele entra em movimento. c) Para que valores de  $m_2$  os blocos permanecem em repouso depois de eles serem libertados a partir do repouso?

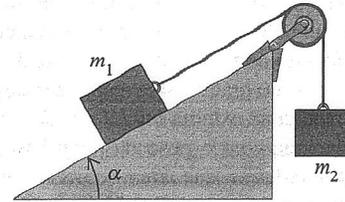


Figura 5.62 Problema 5.65.

**5.66 a)** O bloco A da Figura 5.63 pesa 60,0 N. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície sobre a qual ele se apoia é de 0,25. O peso  $p$  é igual a 12,0 N, e o sistema está em equilíbrio. Calcule a força de atrito exercida sobre o bloco A. b) Ache o peso  $p$  máximo que permite ao sistema ficar em equilíbrio.

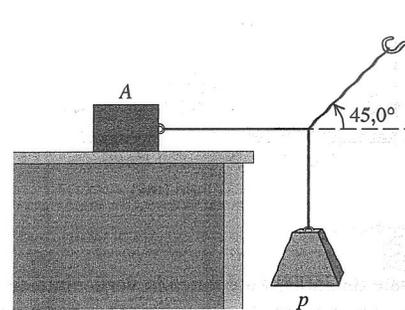


Figura 5.63 Problema 5.66.

**5.67** O bloco A da Figura 5.64 pesa 1,20 N e o bloco B pesa 3,60 N. O coeficiente de atrito cinético entre todas as superfícies é 0,300. Determine o módulo da força horizontal  $\vec{F}$  necessária para arrastar o bloco B para a esquerda com velocidade constante, quando a) o bloco A está sobre o bloco B e se move com ele (Figura 5.64a); b) o bloco A é mantido em repouso (Figura 5.64b).

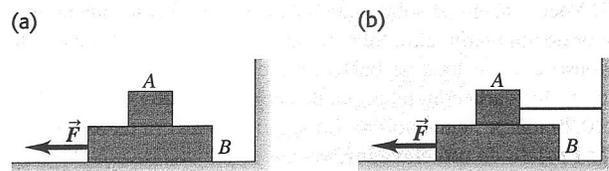


Figura 5.64 Problema 5.67.

**5.68** Um lavador de vidraças empurra sua escova com velocidade constante para cima de uma janela vertical aplicando uma força  $\vec{F}$ , como indicado na Figura 5.65. A escova pesa 12,0 N e o coeficiente de atrito cinético é  $\mu_c = 0,150$ . Ache a) o módulo da força  $\vec{F}$ ; b) a força normal exercida pela janela sobre a escova.

