

Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Física I

Licenciaturas em Engenharia Informática e Bioengenharia
1º ano, 2º semestre

Série de problemas nº 11 Rolamento, Momento da Força e Momento Angular

Cap. 11 do Halliday & Resnick, 10ª Ed.

José Mariano
Ano lectivo de 2024/2025

rampa, a partir do repouso. (a) Qual dos dois cilindros chega primeiro à base da rampa? (b) Se o cilindro de madeira é cortado para ficar com o mesmo comprimento do cilindro de latão, e uma cavidade é aberta ao longo do eixo central do cilindro de latão para que fique com a mesma massa que o cilindro de madeira, qual dos dois cilindros chega primeiro à base da rampa?

Problemas

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

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

Módulo 11-1 Rolagem como uma Combinação de Translação e Rotação

•1 Um carro se move a 80,0 km/h em uma estrada plana no sentido positivo de um eixo x . Os pneus têm um diâmetro de 66 cm. Em relação a uma mulher que viaja no carro e na notação dos vetores unitários, determine a velocidade \vec{v} (a) no centro, (b) no alto e (c) na base de cada pneu e o módulo a da aceleração (d) no centro, (e) no alto e (f) na base de cada pneu. Em relação a uma pessoa parada no acostamento da estrada e na notação dos vetores unitários, determine a velocidade \vec{v} (g) no centro, (h) no alto e (i) na base de cada pneu e o módulo da aceleração a (j) no centro, (k) no alto e (l) na base de cada pneu.

•2 Os pneus de um automóvel que se move a 80 km/h têm 75,0 cm de diâmetro. (a) Qual é a velocidade angular dos pneus em relação aos respectivos eixos? (b) Se o carro é freado com aceleração constante e as rodas descrevem 30 voltas completas (sem deslizamento), qual é o módulo da aceleração angular das rodas? (c) Que distância o carro percorre durante a frenagem?

Módulo 11-2 As Forças e a Energia Cinética da Rolagem

•3 Um aro de 140 kg rola em um piso horizontal de tal forma que o centro de massa tem uma velocidade de 0,150 m/s. Qual é o trabalho necessário para fazê-lo parar?

•4 Uma esfera maciça, homogênea, rola para baixo em uma rampa. (a) Qual deve ser o ângulo de inclinação da rampa para que a aceleração linear do centro da esfera tenha um módulo de $0,10g$? (b) Se um bloco sem atrito deslizesse para baixo na mesma rampa, o módulo da aceleração seria maior, menor ou igual a $0,10g$? Por quê?

•5 Um carro de 1000 kg tem quatro rodas de 10 kg. Quando o carro está em movimento, que fração da energia cinética total se deve à rotação das rodas em torno dos respectivos eixos? Suponha que as rodas tenham o mesmo momento de inércia que discos homogêneos de mesma massa e tamanho. Por que não é preciso conhecer o raio das rodas?

•6 A Fig. 11-30 mostra a velocidade escalar v em função do tempo t para um objeto de 0,500 kg e 6,00 cm de raio que rola suavemente para baixo em uma rampa de 30° . A escala do eixo das velocidades é definida por $v_s = 4,0$ m/s. Qual é o momento de inércia do objeto?

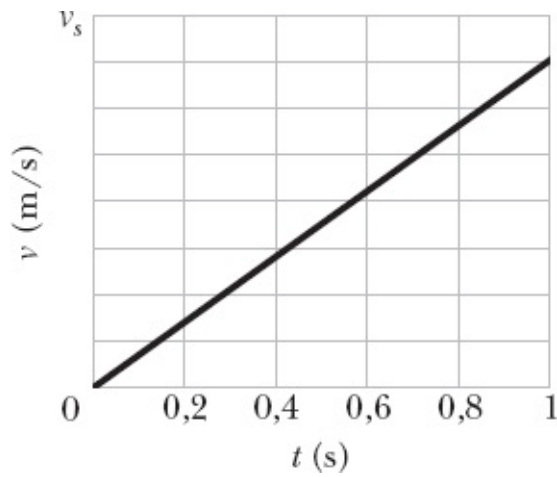


Figura 11-30 Problema 6.

••7 Na Fig. 11-31, um cilindro maciço com 10 cm de raio e massa de 12 kg parte do repouso e rola para baixo uma distância $L = 6,0$ m, sem deslizar, em um telhado com uma inclinação $\theta = 30^\circ$. (a) Qual é a velocidade angular do cilindro em relação ao eixo central ao deixar o telhado? (b) A borda do telhado está a uma altura $H = 5,0$ m. A que distância horizontal da borda do telhado o cilindro atinge o chão?

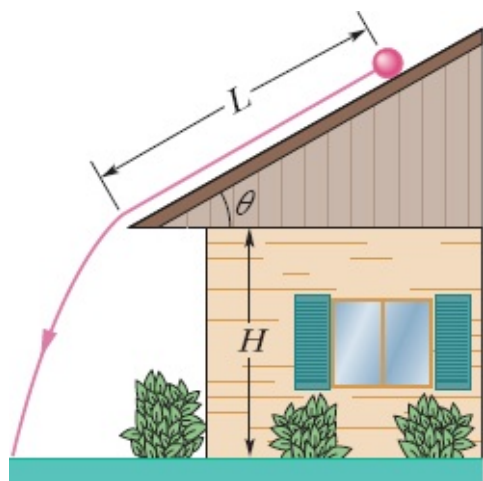


Figura 11-31 Problema 7.

••8 A Fig. 11-32 mostra a energia potencial $U(x)$ de uma bola maciça que pode rolar ao longo de um eixo x . A escala do eixo U é definida por $U_s = 100$ J. A bola é homogênea, rola suavemente e possui uma massa de 0,400 kg. Ela é liberada em $x = 7,0$ m quando se move no sentido negativo do eixo x com uma energia mecânica de 75 J. (a) Se a bola pode chegar ao ponto $x = 0$ m, qual é sua velocidade nesse ponto? Se não pode, qual é o ponto de retorno? Suponha que, em vez disso, a bola esteja se movendo no sentido positivo do eixo x ao ser liberada em $x = 7,0$ m com 75 J. (b) Se a bola pode chegar ao ponto $x = 13$ m, qual é sua velocidade nesse ponto? Se não pode, qual é o ponto de retorno?

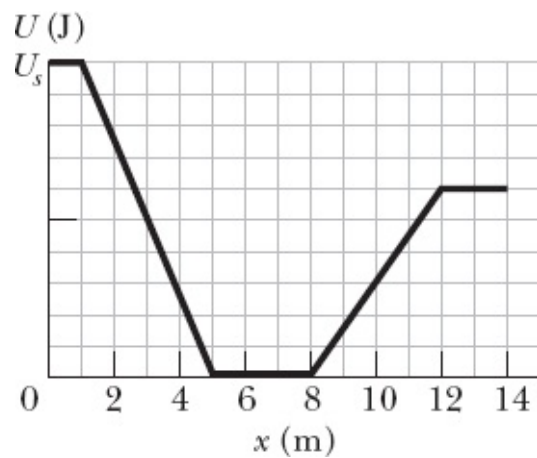


Figura 11-32 Problema 8.

••9 Na Fig. 11-33, uma bola maciça rola suavemente a partir do repouso (começando na altura $H = 6,0$ m) até deixar a parte horizontal no fim da pista, a uma altura $h = 2,0$ m. A que distância horizontal do ponto A a bola toca o chão?

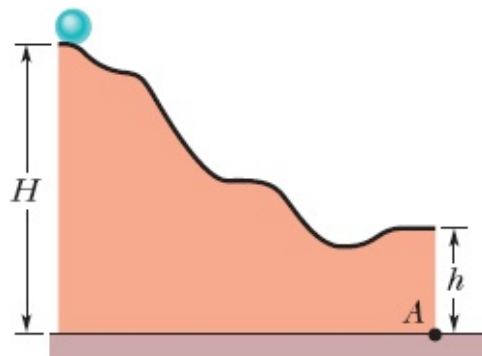


Figura 11-33 Problema 9.

••10 Uma esfera oca, com $0,15$ m de raio e momento de inércia $I = 0,040 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação a uma reta que passa pelo centro de massa, rola sem deslizar, subindo uma superfície com uma inclinação de 30° em relação à horizontal. Em determinada posição inicial, a energia cinética total da esfera é 20 J . (a) Quanto desta energia cinética inicial se deve à rotação? (b) Qual é a velocidade do centro de massa da esfera na posição inicial? Após a esfera ter se deslocado $1,0$ m ao longo da superfície inclinada a partir da posição inicial, qual é (c) a energia cinética total e (d) qual é a velocidade do centro de massa?

••11 Na Fig. 11-34, uma força horizontal constante \vec{F} de módulo 10 N é aplicada a uma roda de massa 10 kg e raio $0,30 \text{ m}$. A roda rola suavemente na superfície horizontal, e o módulo da aceleração do centro de massa é $0,60 \text{ m/s}^2$. (a) Na notação dos vetores unitários, qual é a força de atrito que age sobre a roda? (b) Qual é o momento de inércia da roda em relação ao eixo de rotação, que passa pelo centro de massa?

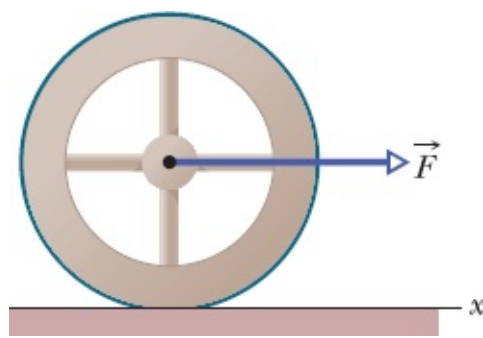


Figura 11-34 Problema 11.

••12 Na Fig. 11-35, uma bola maciça, de latão, de massa 0,280 g, rola suavemente ao longo do trilho quando é liberada a partir do repouso no trecho retilíneo. A parte circular do trilho tem um raio $R = 14,0$ cm e a bola tem um raio $r \ll R$. (a) Quanto vale h se a bola está na iminência de perder contato com o trilho quando chega ao ponto mais alto da parte curva do trilho? Se a bola é liberada a uma altura $h = 6,00R$, qual é (b) o módulo e (c) qual é a orientação da componente horizontal da força que age sobre a bola no ponto Q?

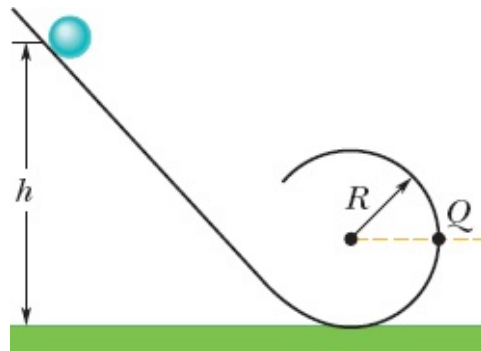


Figura 11-35 Problema 12.

••13 *Bola não homogênea.* Na Fig. 11-36, uma bola, de massa M e raio R , rola suavemente, a partir do repouso, descendo uma rampa e passando por uma pista circular com 0,48 m de raio. A altura inicial da bola é $h = 0,36$ m. Na parte mais baixa da curva, o módulo da força normal que a pista exerce sobre a bola é $2,00Mg$. A bola é formada por uma casca esférica externa homogênea (com uma certa massa específica) e uma esfera central, também homogênea (com uma massa específica diferente). O momento de inércia da bola é dado pela expressão geral $I = \beta MR^2$, mas β não é igual a 0,4, como no caso de uma bola homogênea. Determine o valor de β .

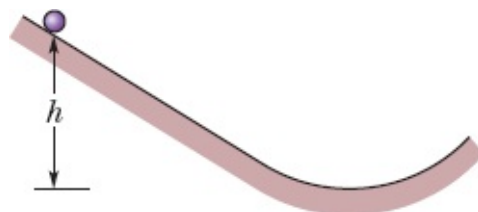


Figura 11-36 Problema 13.

••14 Na Fig. 11-37, uma bola pequena, maciça, homogênea, é lançada do ponto P, rola suavemente em

uma superfície horizontal, sobe uma rampa e chega a um platô. Em seguida, deixa o platô horizontalmente para pousar em outra superfície mais abaixo, a uma distância horizontal d da extremidade do platô. As alturas verticais são $h_1 = 5,00$ cm e $h_2 = 1,60$ cm. Com que velocidade a bola deve ser lançada no ponto P para pousar em $d = 6,00$ cm?

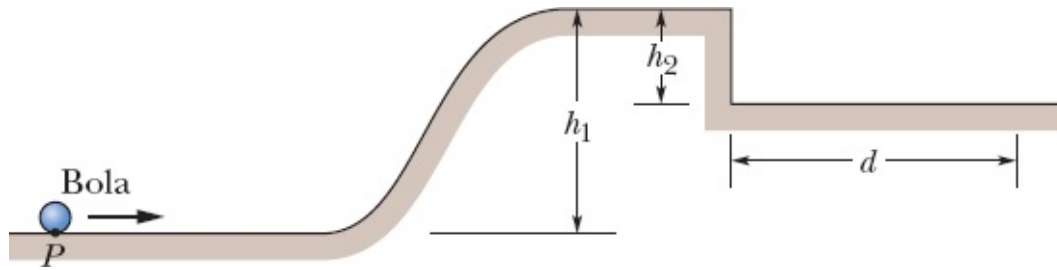



Figura 11-37 Problema 14.

...15  Um jogador de boliche arremessa uma bola de raio $R = 11$ cm ao longo de uma pista. A bola (Fig. 11-38) desliza na pista com uma velocidade inicial $v_{CM} = 8,5$ m/s e velocidade angular inicial $\omega_0 = 0$. O coeficiente de atrito cinético entre a bola e a pista é 0,21. A força de atrito cinético \vec{f}_k que age sobre a bola produz uma aceleração linear e uma aceleração angular. Quando a velocidade v_{CM} diminui o suficiente e a velocidade angular ω aumenta o suficiente, a bola para de deslizar e passa a rolar suavemente. (a) Qual é o valor de v_{CM} em termos de ω nesse instante? Durante o deslizamento, qual é (b) a aceleração linear e (c) qual é a aceleração angular da bola? (d) Por quanto tempo a bola desliza? (e) Que distância a bola desliza? (f) Qual é a velocidade linear da bola quando começa a rolar suavemente?

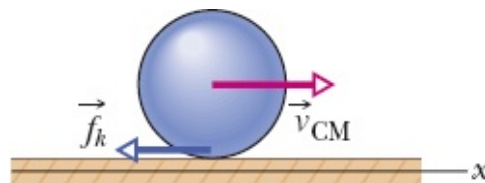



Figura 11-38 Problema 15.

...16  Objeto cilíndrico não homogêneo. Na Fig. 11-39, um objeto cilíndrico de massa M e raio R rola suavemente descendo uma rampa, a partir do repouso, e passa para um trecho horizontal da pista. Em seguida, o objeto sai da pista, pousando no solo a uma distância horizontal $d = 0,506$ m do final da pista. A altura inicial do objeto é $H = 0,90$ m; a extremidade da pista está a uma altura $h = 0,10$ m. O objeto é composto por uma camada cilíndrica externa, homogênea (com uma certa massa específica), e um cilindro central, também homogêneo (com uma massa específica diferente). O momento de inércia do objeto é dado pela expressão geral $I = \beta MR^2$, mas β não é igual a 0,5, como no caso de um cilindro homogêneo. Determine o valor de β .

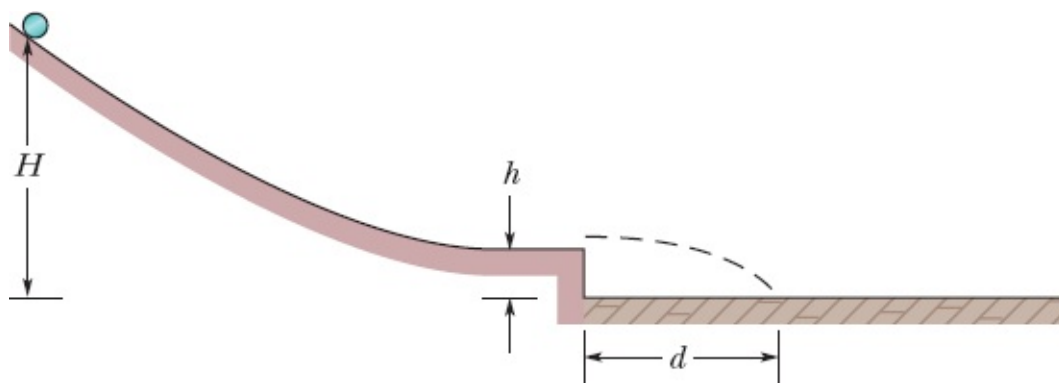


Figura 11-39 Problema 16.

Módulo 11-3 O Ioiô

•17 Um ioiô possui um momento de inércia de $950 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ e uma massa de 120 g . O raio do eixo é $3,2 \text{ mm}$ e a corda tem 120 cm de comprimento. O ioiô rola para baixo, a partir do repouso, até a extremidade da corda. (a) Qual é o módulo da aceleração linear do ioiô? (b) Quanto tempo o ioiô leva para chegar à extremidade da corda? Ao chegar à extremidade da corda, (c) qual é a velocidade linear, (d) qual é a energia cinética de translação, (e) qual é a energia cinética de rotação e (f) qual é a velocidade angular?

•18 Em 1980, na Baía de San Francisco, um grande ioiô foi solto de um guindaste. O ioiô de 116 kg era formado por dois discos homogêneos com 32 cm de raio, ligados por um eixo com $3,2 \text{ cm}$ de raio. Qual foi o módulo da aceleração do ioiô (a) durante a descida e (b) durante a subida? (c) Qual foi a tração da corda? (d) A tração estava próxima do limite de resistência da corda, 52 kN ? Suponha que você construa uma versão ampliada do ioiô (com a mesma forma e usando os mesmos materiais, porém maior). (e) O módulo da aceleração do seu ioiô durante a queda será maior, menor ou o igual ao do ioiô de San Francisco? (f) E a tração da corda?

Módulo 11-4 Revisão do Torque

•19 Na notação dos vetores unitários, qual é o torque resultante em relação à origem a que está submetida uma pulga localizada nas coordenadas $(0; -4,0 \text{ m}; 5,0 \text{ m})$ quando as forças $\vec{F}_1 = (3,0 \text{ N})\hat{k}$ e $\vec{F}_2 = (-2,0 \text{ N})\hat{j}$ agem sobre a pulga?

•20 Uma ameixa está localizada nas coordenadas $(-2,0 \text{ m}; 0; 4,0 \text{ m})$. Na notação dos vetores unitários, qual é o torque em relação à origem a que está submetida a ameixa se esse torque se deve a uma força \vec{F} cuja única componente é (a) $F_x = 6,0 \text{ N}$, (b) $F_x = -6,0 \text{ N}$, (c) $F_z = 6,0 \text{ N}$, (d) $F_z = -6,0 \text{ N}$?

•21 Na notação dos vetores unitários, qual é o torque em relação à origem a que está submetida uma partícula localizada nas coordenadas $(0; -4,0 \text{ m}; 3,0 \text{ m})$ se esse torque se deve (a) a uma força \vec{F}_1 de componentes $F_{1x} = 2,0 \text{ N}$, $F_{1y} = F_{1z} = 0$, e (b) a uma força \vec{F}_2 de componentes $F_{2x} = 0$, $F_{2y} = 2,0 \text{ N}$, $F_{2z} = 4,0 \text{ N}$?

•22 Uma partícula se move em um sistema de coordenadas xyz sob a ação de uma força. Quando o vetor posição da partícula é $\vec{r} = (2,00 \text{ m})\hat{i} - (3,00 \text{ m})\hat{j} + (2,00 \text{ m})\hat{k}$ a força é $\vec{F} = F_x\hat{i} + (7,00 \text{ N})\hat{j} - (6,00 \text{ N})\hat{k}$ e o torque correspondente em relação à origem é $\vec{\tau} = (4,00 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{i} + (2,00 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{j} - (1,00 \text{ N} \cdot \text{m})\hat{k}$.

Determine F_x .

••23 A força $\vec{F} = (2,0 \text{ N})\hat{i} - (3,0 \text{ N})\hat{k}$ age sobre uma pedra cujo vetor posição é $\vec{r} = (0,50 \text{ m})\hat{j} - (2,0 \text{ m})\hat{k}$ em relação à origem. Em termos dos vetores unitários, qual é o torque resultante a que a pedra está submetida (a) em relação à origem e (b) em relação ao ponto $(2,0 \text{ m}; 0; -3,0 \text{ m})$?

••24 Na notação dos vetores unitários, qual é o torque em relação à origem a que está submetido um vidro de pimenta localizado nas coordenadas $(3,0 \text{ m}; -2,0 \text{ m}; 4,0 \text{ m})$ (a) devido à força $\vec{F}_1 = (3,0 \text{ N})\hat{i} - (4,0 \text{ N})\hat{j} + (5,0 \text{ N})\hat{k}$, (b) devido à força $\vec{F}_2 = (3,0 \text{ N})\hat{i} - (4,0 \text{ N})\hat{j} - (5,0 \text{ N})\hat{k}$ e (c) devido à soma vetorial de \vec{F}_1 e \vec{F}_2 ? (d) Repita o item (c) para o torque em relação ao ponto de coordenadas $(3,0 \text{ m}; 2,0 \text{ m}; 4,0 \text{ m})$.

••25 A força $\vec{F} = (-8,0 \text{ N})\hat{i} + (6,0 \text{ N})\hat{j}$ age sobre uma partícula cujo vetor posição é $\vec{r} = (3,0 \text{ m})\hat{i} + (4,0 \text{ m})\hat{j}$. (a) Qual é o torque em relação à origem a que está submetida a partícula, em termos dos vetores unitários? (b) Qual é o ângulo entre \vec{r} e \vec{F} ?

Módulo 11-5 Momento Angular

•26 No instante da Fig. 11-40, uma partícula P de $2,0 \text{ kg}$ tem um vetor posição \vec{r} de módulo $3,0 \text{ m}$ e ângulo $\theta_1 = 45^\circ$ e uma velocidade \vec{v} de módulo $4,0 \text{ m/s}$ e ângulo $\theta_2 = 30^\circ$. A força \vec{F} , de módulo $2,0 \text{ N}$ e ângulo $\theta_3 = 30^\circ$, age sobre P . Os três vetores estão no plano xy . Determine, em relação à origem, (a) o módulo e (b) a orientação do momento angular de P e (c) o módulo e (d) a orientação do torque que age sobre P .

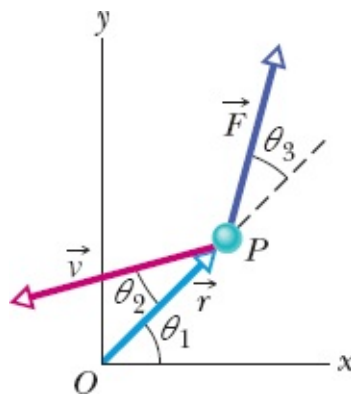


Figura 11-40 Problema 26.

•27 Em certo instante, a força $\vec{F} = 4,0\hat{j} \text{ N}$ age sobre um objeto de $0,25 \text{ kg}$ cujo vetor posição é $\vec{r} = (2,0\hat{i} - 2,0\hat{k})$ e cujo vetor velocidade é $\vec{v} = (-5,0\hat{i} + 5,0\hat{k}) \text{ m/s}$. Em relação à origem e na notação dos vetores unitários, determine (a) o momento angular do objeto e (b) o torque que age sobre o objeto.

•28 Um objeto de $2,0 \text{ kg}$, que se comporta como uma partícula, se move em um plano com componentes de velocidade $v_x = 30 \text{ m/s}$ e $v_y = 60 \text{ m/s}$ ao passar por um ponto de coordenadas $(3,0; -4,0) \text{ m}$. Nesse instante, na notação dos vetores unitários, qual é o momento angular do objeto em relação (a) à origem e (b) ao ponto $(-2,0; -2,0) \text{ m}$?

•29 No instante da Fig. 11-41, duas partículas se movem em um plano xy . A partícula P_1 tem massa de $6,5$

kg e velocidade $v_1 = 2,2 \text{ m/s}$ e está a uma distância $d_1 = 1,5 \text{ m}$ do ponto O . A partícula P_2 tem massa de $3,1 \text{ kg}$ e velocidade $v_2 = 3,6 \text{ m/s}$ e está a uma distância $d_2 = 2,8 \text{ m}$ do ponto O . (a) Qual é o módulo e (b) qual é a orientação do momento angular resultante das duas partículas em relação ao ponto O ?

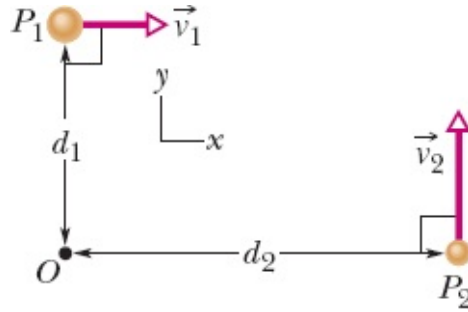


Figura 11-41 Problema 29.

••30 No instante em que o deslocamento de um objeto de $2,00 \text{ kg}$ em relação à origem é $\vec{d} = (2,00 \text{ m})\hat{i} + (4,00 \text{ m})\hat{j} - (3,00 \text{ m})\hat{k}$ a velocidade do objeto é $\vec{v} = -(6,00 \text{ m/s})\hat{i} + (3,00 \text{ m/s})\hat{j} + (3,00 \text{ m/s})\hat{k}$ e o objeto está sujeito a uma força $\vec{F} = (6,00 \text{ N})\hat{i} - (8,00 \text{ N})\hat{j} + (4,00 \text{ N})\hat{k}$. Determine (a) a aceleração do objeto, (b) o momento angular do objeto em relação à origem, (c) o torque em relação à origem a que está submetido o objeto e (d) o ângulo entre a velocidade do objeto e a força que age sobre ele.

••31 Na Fig. 11-42, uma bola de $0,400 \text{ kg}$ é lançada verticalmente para cima com velocidade inicial de $40,0 \text{ m/s}$. Qual é o momento angular da bola em relação a P , um ponto a uma distância horizontal de $2,00 \text{ m}$ do ponto de lançamento, quando a bola está (a) na altura máxima e (b) na metade do caminho de volta ao chão? Qual é o torque em relação a P a que a bola é submetida devido à força gravitacional quando está (a) na altura máxima e (b) na metade do caminho de volta ao chão?

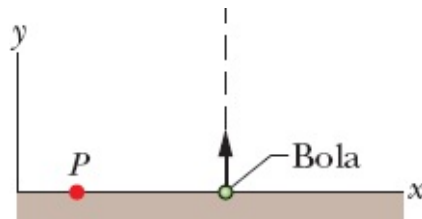


Figura 11-42 Problema 31.

Módulo 11-6 A Segunda Lei de Newton para Rotações

•32 Uma partícula sofre a ação de dois torques em relação à origem: $\vec{\tau}_1$ tem um módulo de $2,0 \text{ N} \cdot \text{m}$ e aponta no sentido positivo do eixo x ; $\vec{\tau}_2$ tem um módulo de $4,0 \text{ N} \cdot \text{m}$ e aponta no sentido negativo do eixo y . Determine $d\vec{\ell}/dt$, em que $\vec{\ell}$ é o momento angular da partícula em relação à origem, em termos dos vetores unitários.

•33 No instante $t = 0$, uma partícula de $3,0 \text{ kg}$ com uma velocidade $\vec{v} = (5,0 \text{ m/s})\hat{i} - (6,0 \text{ m/s})\hat{j}$ está passando pelo ponto $x = 3,0 \text{ m}$, $y = 8,0 \text{ m}$. A partícula é puxada por uma força de $7,0 \text{ N}$ no sentido negativo do eixo x . Determine, em relação à origem, (a) o momento angular da partícula, (b) o torque que age sobre a partícula e (c) a taxa com a qual o momento angular está variando.

•34 Uma partícula se move em um plano xy , em torno da origem, no sentido horário, do ponto de vista do lado positivo do eixo z . Na notação dos vetores unitários, qual é o torque que age sobre a partícula se o módulo do momento angular da partícula em relação à origem é (a) $4,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, (b) $4,0t^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, (c) $4,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ e (d) $4,0/t^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$?

•35 No instante t , o vetor $\vec{r} = 4,0t^2\hat{i} - (2,0t + 6,0t^2)\hat{j}$ fornece a posição de uma partícula de $3,0 \text{ kg}$ em relação à origem de um sistema de coordenadas xy (\vec{r} está em metros e t em segundos). (a) Escreva uma expressão para o torque em relação à origem que age sobre a partícula. (b) O módulo do momento angular da partícula em relação à origem está aumentando, diminuindo ou permanece o mesmo?

Módulo 11-7 Momento Angular de um Corpo Rígido

•36 A Fig. 11-43 mostra três discos homogêneos acoplados por duas correias. Uma correia passa pelas bordas dos discos A e C ; a outra passa por um cubo do disco A e pela borda do disco B . As correias se movem suavemente, sem deslizar nas bordas e no cubo. O disco A tem raio R e seu cubo tem raio $0,5000R$; o disco B tem raio $0,2500R$; o disco C tem raio $2,000R$. Os discos B e C têm a mesma massa específica (massa por unidade de volume) e a mesma espessura. Qual é a razão entre o módulo do momento angular do disco C e o módulo do momento angular do disco B ?

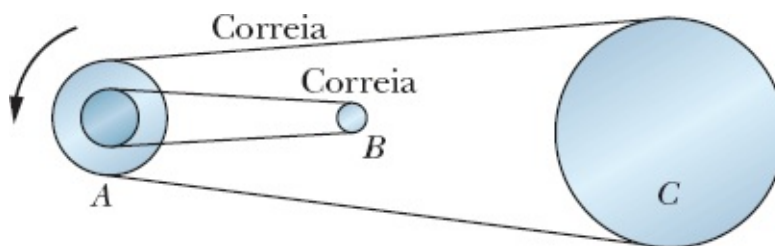


Figura 11-43 Problema 36.

•37 Na Fig. 11-44, três partículas de massa $m = 23 \text{ g}$ estão presas a três barras de comprimento $d = 12 \text{ cm}$ e massa desprezível. O conjunto gira em torno do ponto O com velocidade angular $\omega = 0,85 \text{ rad/s}$. Determine, em relação ao ponto O , (a) o momento de inércia do conjunto, (b) o módulo do momento angular da partícula do meio e (c) o módulo do momento angular do conjunto.

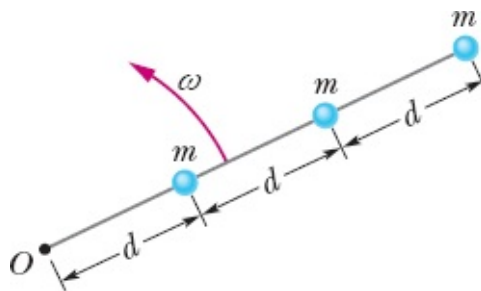


Figura 11-44 Problema 37.

•38 Um disco de polimento, com momento de inércia $1,2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, está preso a uma broca elétrica cujo motor produz um torque de módulo $16 \text{ N} \cdot \text{m}$ em relação ao eixo central do disco. Com o torque aplicado durante 33 ms , qual é o módulo (a) do momento angular e (b) da velocidade angular do disco?

em relação a esse eixo?

•39 O momento angular de um volante com um momento de inércia de $0,140 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo central diminui de $3,00$ para $0,800 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ em $1,50 \text{ s}$. (a) Qual é o módulo do torque médio em relação ao eixo central que age sobre o volante durante esse período? (b) Supondo uma aceleração angular constante, de que ângulo o volante gira? (c) Qual é o trabalho realizado sobre o volante? (d) Qual é a potência média do volante?

•40 Um disco com um momento de inércia de $7,00 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ gira como um carrossel sob o efeito de um torque variável dado por $t = (5,00 + 2,00t) \text{ N} \cdot \text{m}$. No instante $t = 1,00 \text{ s}$, o momento angular do disco é $5,00 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$. Qual é o momento angular do disco no instante $t = 3,00 \text{ s}$?

•41 A Fig. 11-45 mostra uma estrutura rígida formada por um aro, de raio R e massa m , e um quadrado feito de quatro barras finas, de comprimento R e massa m . A estrutura rígida gira com velocidade constante em torno de um eixo vertical, com um período de rotação de $2,5 \text{ s}$. Supondo que $R = 0,50 \text{ m}$ e $m = 2,0 \text{ kg}$, calcule (a) o momento de inércia da estrutura em relação ao eixo de rotação e (b) o momento angular da estrutura em relação ao eixo.

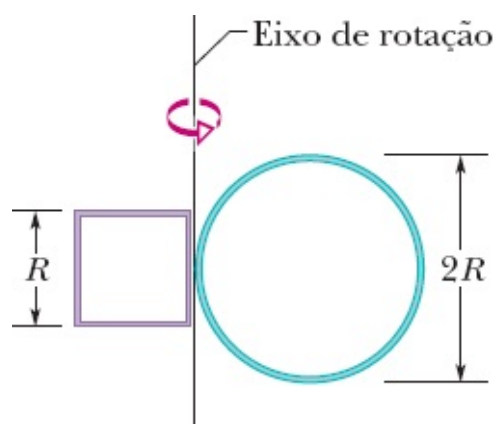


Figura 11-45 Problema 41.

•42 A Fig. 11-46 mostra a variação com o tempo do torque t que age sobre um disco inicialmente em repouso que pode girar como um carrossel em torno do centro. A escala do eixo t é definida por $t_s = 4,0 \text{ N} \cdot \text{m}$. Qual é o momento angular do disco em relação ao eixo de rotação no instante (a) $t = 7,0 \text{ s}$ e (b) no instante $t = 20 \text{ s}$?

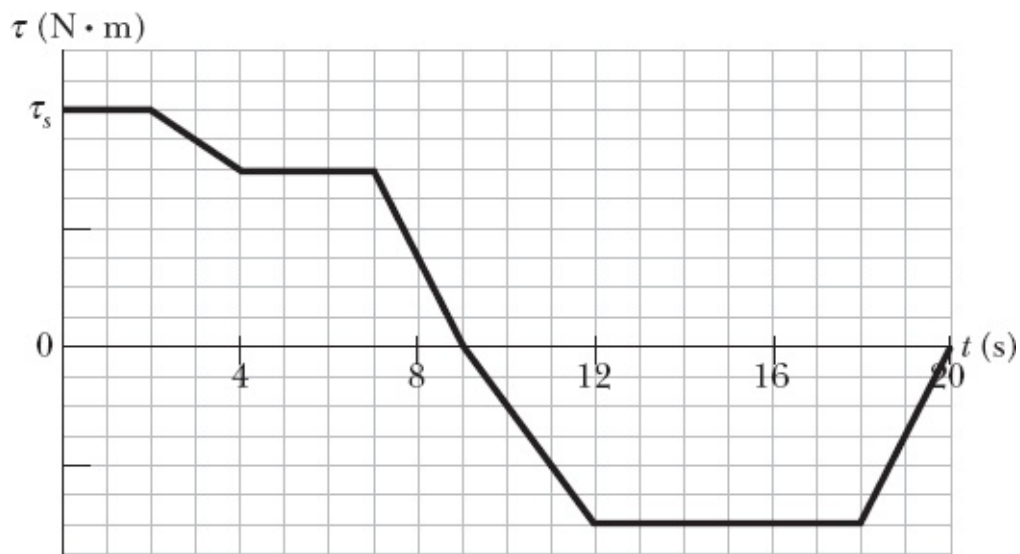


Figura 11-46 Problema 42.

Módulo 11-8 Conservação do Momento Angular

•43 Na Fig. 11-47, duas patinadoras com 50 kg de massa, que se movem com uma velocidade escalar de 1,4 m/s, se aproximam em trajetórias paralelas separadas por 3,0 m. Uma das patinadoras carrega uma vara comprida, de massa desprezível, segurando-a em uma extremidade, e a outra se agarra à outra extremidade ao passar pela vara, o que faz com que as patinadoras passem a descrever uma circunferência em torno do centro da vara. Suponha que o atrito entre as patinadoras e o gelo seja desprezível. Determine (a) o raio da circunferência, (b) a velocidade angular das patinadoras e (c) a energia cinética do sistema das duas patinadoras. Em seguida, as patinadoras puxam a vara até ficarem separadas por uma distância de 1,0 m. Nesse instante, (d) qual é a velocidade angular das patinadoras e (e) qual é a energia cinética do sistema? (f) De onde vem a energia cinética adicional?

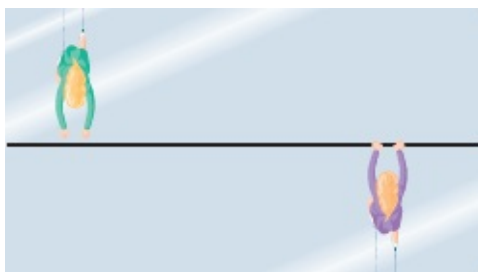


Figura 11-47 Problema 43.

•44 Uma barata, de massa 0,17 kg, corre no sentido anti-horário na borda de um disco circular de raio 15 cm e momento de inércia $5,0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, montado em um eixo vertical com atrito desprezível. A velocidade da barata (em relação ao chão) é 2,0 m/s, e o disco gira no sentido horário com uma velocidade angular $\omega_0 = 2,8 \text{ rad/s}$. A barata encontra uma migalha de pão na borda e, obviamente, para. (a) Qual é a velocidade angular do disco depois que a barata para? A energia mecânica é conservada quando a barata para?

•45 Um homem está de pé em uma plataforma que gira (sem atrito) com uma velocidade angular de 1,2 rev/s; os braços do homem estão abertos e ele segura um tijolo em cada mão. O momento de inércia do

sistema formado pelo homem, os tijolos e a plataforma em relação ao eixo vertical central da plataforma é $6,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Se, ao mover os braços, o homem reduz o momento de inércia do sistema para $2,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, determine (a) a nova velocidade angular da plataforma e (b) a razão entre a nova energia cinética do sistema e a energia cinética inicial. (c) De onde vem a energia cinética adicional?

•46 O momento de inércia de uma estrela que sofre uma contração enquanto gira em torno de si mesma cai para $1/3$ do valor inicial. Qual é a razão entre a nova energia cinética de rotação e a energia antiga?

•47 Uma pista é montada em uma grande roda que pode girar livremente, com atrito desprezível, em torno de um eixo vertical (Fig. 11-48). Um trem de brinquedo, de massa m , é colocado na pista e, com o sistema inicialmente em repouso, a alimentação elétrica do brinquedo é ligada. O trem adquire uma velocidade de $0,15 \text{ m/s}$ em relação à pista. Qual é a velocidade angular da roda se esta tem massa de $1,1m$ e raio de $0,43 \text{ m}$? (Trate a roda como um aro e despreze a massa dos raios e do cubo da roda.)

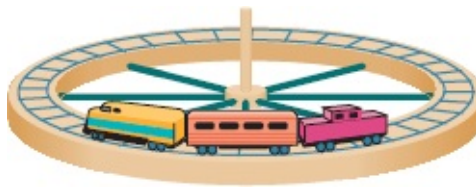


Figura 11-48 Problema 47.

•48 Uma barata está no centro de um disco circular que gira livremente como um carrossel, sem torques externos. A barata caminha em direção à borda do disco, cujo raio é R . A Fig. 11-49 mostra a velocidade angular ω do sistema barata-disco durante a caminhada. A escala do eixo ω é definida por $\omega_a = 5,0 \text{ rad/s}$ e $\omega_b = 6,0 \text{ rad/s}$. Qual é a razão entre o momento de inércia do inseto e o momento de inércia do disco, ambos calculados em relação ao eixo de rotação, quando a barata chega à borda do disco?

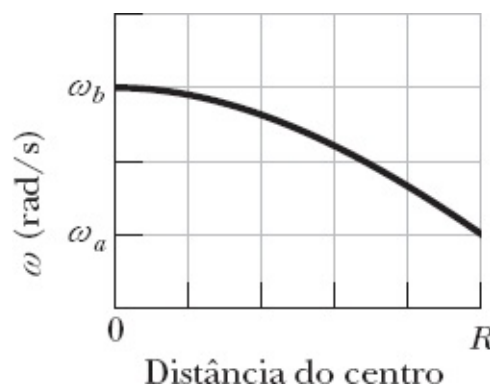


Figura 11-49 Problema 48.

•49 Dois discos estão montados (como um carrossel) no mesmo eixo, com rolamentos de baixo atrito, e podem ser acoplados e girar como se fossem um só disco. O primeiro disco, com um momento de inércia de $3,30 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo central, é posto para girar no sentido anti-horário a 450 rev/min . O segundo disco, com um momento de inércia de $6,60 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo central, é posto para girar no sentido anti-horário a 900 rev/min . Em seguida, os discos são acoplados. (a) Qual é a velocidade angular dos discos após o acoplamento? Se, em vez disso, o segundo disco é posto para girar a 900

rev/min no sentido horário, qual é (b) a velocidade angular e (c) qual o sentido de rotação dos discos após o acoplamento?

•50 O rotor de um motor elétrico tem um momento de inércia $I_m = 2,0 \times 10^{23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo central. O motor é usado para mudar a orientação da sonda espacial na qual está montado. O eixo do motor coincide com o eixo central da sonda; a sonda possui um momento de inércia $I_p = 12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação a esse eixo. Calcule o número de revoluções do rotor necessárias para fazer a sonda girar 30° em torno do eixo central.

•51 Uma roda está girando livremente com uma velocidade angular de 800 rev/min em torno de um eixo cujo momento de inércia é desprezível. Uma segunda roda, inicialmente em repouso e com um momento de inércia duas vezes maior que a primeira, é acoplada à mesma haste. (a) Qual é a velocidade angular da combinação resultante do eixo e duas rodas? (b) Que fração da energia cinética de rotação inicial é perdida?

•52 Uma barata de massa m está na borda de um disco homogêneo de massa $4,00m$ que pode girar livremente em torno do centro como um carrossel. Inicialmente, a barata e o disco giram juntos com uma velocidade angular de $0,260 \text{ rad/s}$. A barata caminha até metade da distância ao centro do disco. (a) Qual é, nesse instante, a velocidade angular do sistema barata-disco? (b) Qual é a razão K/K_0 entre a nova energia cinética do sistema e a energia cinética antiga? (c) Por que a energia cinética varia?

•53 Uma barra fina, homogênea, com $0,500 \text{ m}$ de comprimento e $4,00 \text{ kg}$ de massa, pode girar em um plano horizontal em torno de um eixo vertical que passa pelo centro da barra. A barra está em repouso quando uma bala de $3,0 \text{ g}$ é disparada, no plano de rotação, em direção a uma das extremidades. Vista de cima, a trajetória da bala faz um ângulo $\theta = 60,0^\circ$ com a barra (Fig. 11-50). Se a bala se aloja na barra e a velocidade angular da barra é 10 rad/s imediatamente após a colisão, qual era a velocidade da bala imediatamente antes do impacto?

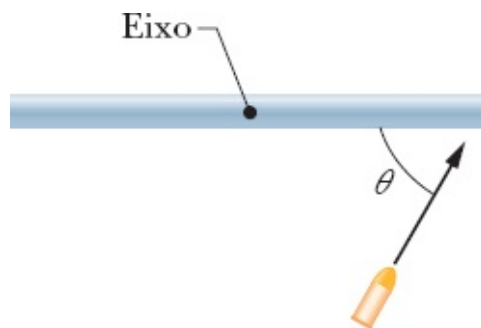


Figura 11-50 Problema 53.

•54 A Fig. 11-51 mostra a vista, de cima, de um anel que pode girar em torno do centro como um carrossel. O raio externo R_2 é $0,800 \text{ m}$, o raio interno R_1 é $R_2/2,00$, a massa M é $8,00 \text{ kg}$ e a massa da cruz no centro é desprezível. Inicialmente, o disco gira com uma velocidade angular de $8,00 \text{ rad/s}$, com um gato, de massa $m = M/4,00$, na borda externa, a uma distância R_2 do centro. De quanto o gato vai aumentar a energia cinética do sistema gato-disco se rastejar até a borda interna, de raio R_1 ?

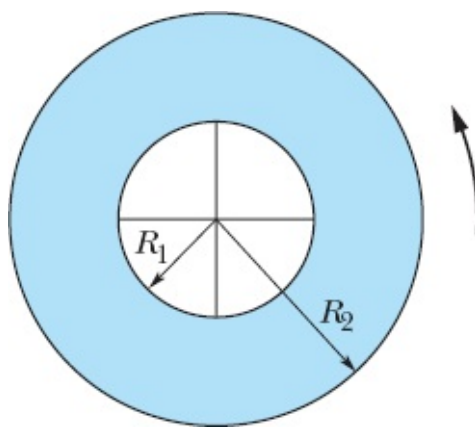



Figura 11-51 Problema 54.

••55 Um disco de vinil, horizontal, de massa $0,10\text{ kg}$ e raio $0,10\text{ m}$, gira livremente em torno de um eixo vertical que passa pelo centro com uma velocidade angular de $4,7\text{ rad/s}$. O momento de inércia do disco em relação ao eixo de rotação é $5,0 \times 10^{-4}\text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Um pedaço de massa de modelar, de massa $0,020\text{ kg}$, cai verticalmente e gruda na borda do disco. Qual é a velocidade angular do disco imediatamente após a massa cair?

••56  No salto em distância, o atleta deixa o solo com um momento angular que tende a girar o corpo para a frente. Essa rotação, caso não seja controlada, impede que o atleta chegue ao solo com a postura correta. O atleta evita que ela ocorra girando os braços estendidos para “absorver” o momento angular (Fig. 11-18). Em $0,700\text{ s}$, um dos braços descreve $0,500\text{ rev}$ e o outro descreve $1,000\text{ rev}$. Trate cada braço como uma barra fina, de massa $4,0\text{ kg}$ e comprimento $0,60\text{ m}$, girando em torno de uma das extremidades. Qual é o módulo do momento angular total dos braços do atleta em relação a um eixo de rotação comum, passando pelos ombros, no referencial do atleta?

••57 Um disco homogêneo, de massa $10m$ e raio $3,0r$, pode girar livremente como um carrossel em torno do centro fixo. Um disco homogêneo, menor, de massa m e raio r , está sobre o disco maior, concêntrico com ele. Inicialmente, os dois discos giram juntos com uma velocidade angular de 20 rad/s . Em seguida, uma pequena perturbação faz com que o disco menor deslize para fora em relação ao disco maior até que sua borda fique presa na borda do disco maior. Depois disso, os dois discos passam novamente a girar juntos (sem que haja novos deslizamentos). (a) Qual é a velocidade angular final do sistema em relação ao centro do disco maior? (b) Qual é a razão K/K_0 entre a nova energia cinética do sistema e a energia cinética inicial?

••58 Uma plataforma horizontal na forma de um disco circular gira sem atrito em torno de um eixo vertical que passa pelo centro do disco. A plataforma tem uma massa de 150 kg , um raio de $2,0\text{ m}$ e um momento de inércia de $300\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo de rotação. Uma estudante de 60 kg caminha lentamente, a partir da borda da plataforma, em direção ao centro. Se a velocidade angular do sistema é $1,5\text{ rad/s}$ quando a estudante está na borda, qual é a velocidade angular quando ela está a $0,50\text{ m}$ de distância do centro?

••59 A Fig. 11-52 é a vista, de cima, de uma barra fina, homogênea, de comprimento $0,800\text{ m}$ e massa M ,

girando horizontalmente a $20,0 \text{ rad/s}$, no sentido anti-horário, em torno de um eixo que passa pelo centro. Uma partícula, de massa $M/3,00$, inicialmente presa a uma extremidade da barra, é liberada e assume uma trajetória perpendicular à posição da barra no instante em que a partícula foi liberada. Se a velocidade v_p da partícula é $6,00 \text{ m/s}$ maior que a velocidade da barra imediatamente após a liberação, qual é o valor de v_p ?

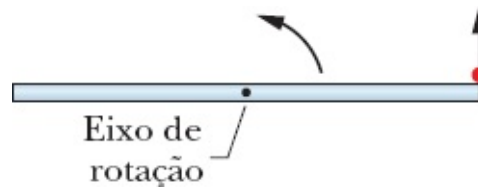


Figura 11-52 Problema 59.

••60 Na Fig. 11-53, uma bala de $1,0 \text{ g}$ é disparada contra um bloco de $0,50 \text{ kg}$ preso à extremidade de uma barra não homogênea, de $0,50 \text{ kg}$ com $0,60 \text{ m}$ de comprimento. O sistema bloco-barra-bala passa a girar no plano do papel, em torno de um eixo fixo que passa pelo ponto A. O momento de inércia da barra em relação a esse eixo é $0,060 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Trate o bloco como uma partícula. (a) Qual é o momento de inércia do sistema bloco-haste-bala em relação ao eixo que passa pelo ponto A? (b) Se a velocidade angular do sistema em relação ao eixo que passa pelo ponto A imediatamente após o impacto é $4,5 \text{ rad/s}$, qual é a velocidade da bala imediatamente antes do impacto?

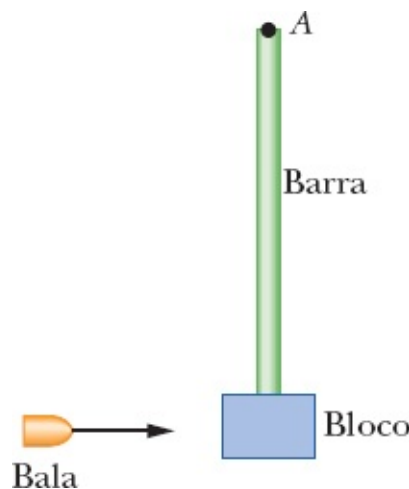


Figura 11-53 Problema 60.

••61 A barra homogênea (de $0,60 \text{ m}$ de comprimento e $1,0 \text{ kg}$ de massa) mostrada na Fig. 11-54 gira no plano do papel em torno de um eixo que passa por uma das extremidades, com um momento de inércia de $0,12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Quando passa pela posição mais baixa, a barra colide com uma bola, de massa de modelar, de $0,20 \text{ kg}$, que fica grudada na extremidade da barra. Se a velocidade angular da barra imediatamente antes da colisão é $2,4 \text{ rad/s}$, qual é a velocidade angular do sistema barra-massa de modelar imediatamente após a colisão?

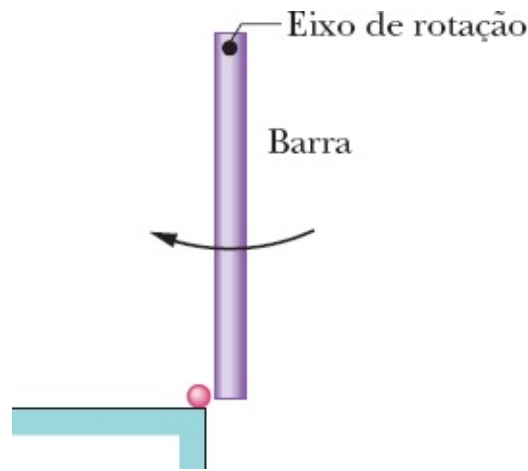



Figura 11-54 Problema 61.

...62  Um trapezista pretende dar quatro cambalhotas em um intervalo de tempo $\Delta t = 1,87$ s antes de chegar ao companheiro. No primeiro e no último quarto de volta, ele mantém o corpo esticado, como na Fig. 11-55, com um momento de inércia $I_1 = 19,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao centro de massa (o ponto da figura). No resto do salto, mantém o corpo na posição grupada, com um momento de inércia $I_2 = 3,93 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Qual deve ser a velocidade angular ω_2 do trapezista quando está na posição grupada?

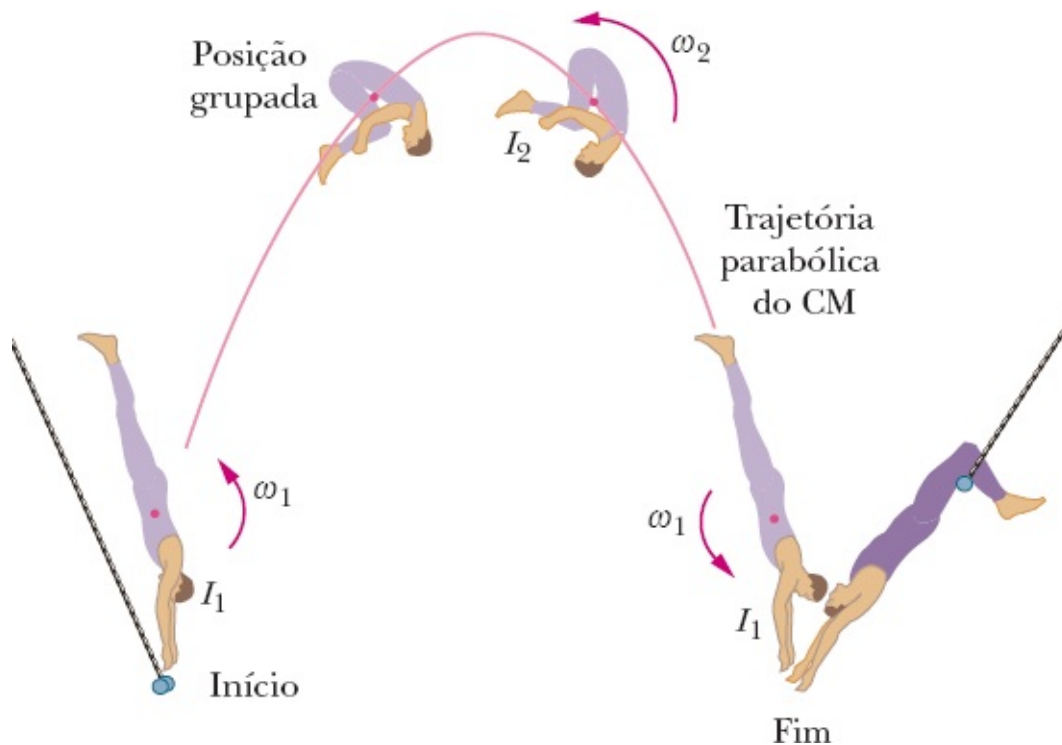


Figura 11-55 Problema 62.

...63 Na Fig. 11-56, uma criança de 30 kg está de pé na borda de um carrossel estacionário, de raio 2,0 m. O momento de inércia do carrossel em relação ao eixo de rotação é $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. A criança agarra uma bola, de massa 1,0 kg, lançada por um colega. Imediatamente antes de ser agarrada, a bola tem uma velocidade \vec{v} de módulo 12 m/s que faz um ângulo $\phi = 37^\circ$ com uma reta tangente à borda do carrossel, como mostra a figura. Qual é a velocidade angular do carrossel imediatamente após a criança agarrar a bola?

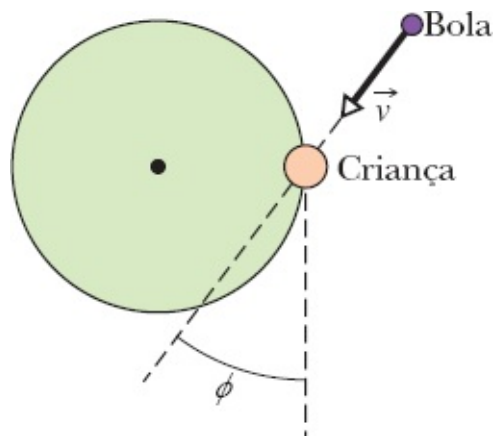



Figura 11-56 Problema 63.

...64  Uma bailarina começa um *tour jeté* (Fig. 11-19a) com uma velocidade angular ω_i e um momento de inércia formado por duas partes: $I_{\text{perna}} = 1,44 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ da perna estendida, que faz um ângulo $\theta = 90,0^\circ$ com o corpo, e $I_{\text{tronco}} = 0,660 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ do resto do corpo (principalmente o tronco). Quando está quase atingindo a altura máxima, as duas pernas fazem um ângulo $\theta = 30^\circ$ com o corpo, e a velocidade angular é ω_f (Fig. 11-19b). Supondo que I_{tronco} permanece o mesmo, qual é o valor da razão ω_f/ω_i ?

...65 Duas bolas, de 2,00 kg, estão presas às extremidades de uma barra fina, de 50,0 cm de comprimento e massa desprezível. A barra está livre para girar sem atrito em um plano vertical em torno de um eixo horizontal que passa pelo centro. Com a barra inicialmente na horizontal (Fig. 11-57), um pedaço de massa de modelar de 50,0 g cai em uma das bolas, atingindo-a com uma velocidade de 3,00 m/s e aderindo a ela. (a) Qual é a velocidade angular do sistema imediatamente após o choque com a massa de modelar? (b) Qual é a razão entre a energia cinética do sistema após o choque e a energia cinética do pedaço de massa de modelar imediatamente antes do choque? (c) De que ângulo o sistema gira antes de parar momentaneamente?

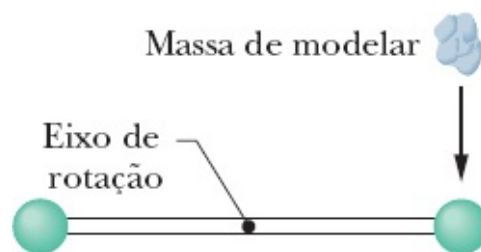


Figura 11-57 Problema 65.

...66 Na Fig. 11-58, um pequeno bloco de 50 g desliza para baixo em uma superfície curva, sem atrito, a partir de uma altura $h = 20 \text{ cm}$ e depois adere a uma barra homogênea, de massa 100 g e comprimento 40 cm. A barra gira de um ângulo θ em torno do ponto O antes de parar momentaneamente. Determine θ .

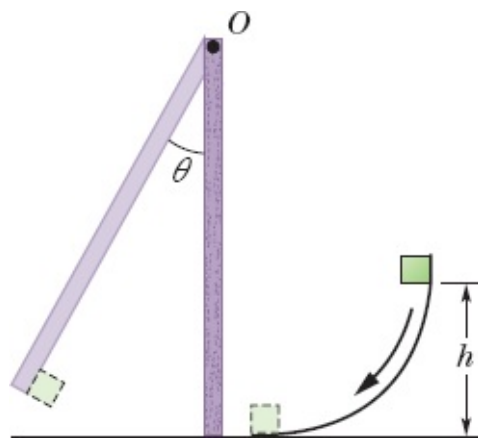


Figura 11-58 Problema 66.

...67 A Fig. 11-59 é uma vista, de cima, de uma barra fina, homogênea, de comprimento 0,600 m e massa M , girando horizontalmente a $80,0 \text{ rad/s}$ no sentido anti-horário em torno de um eixo que passa pelo centro. Uma partícula, de massa $M/3,00$, que se move horizontalmente com uma velocidade de $40,0 \text{ m/s}$, choca-se com a barra e fica presa. A trajetória da partícula é perpendicular à barra no momento do choque, que ocorre a uma distância d do centro da barra. (a) Para qual valor de d a barra e a partícula permanecem em repouso após o choque? (b) Em que sentido a barra e a partícula giram após o choque, se d é maior que o valor calculado em (a)?

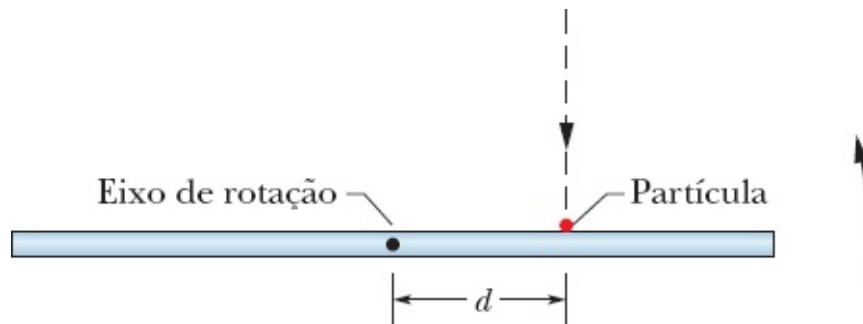


Figura 11-59 Problema 67.

Módulo 11-9 Precessão de um Giroscópio

...68 Um pião gira a 30 rev/s em torno de um eixo que faz um ângulo de 30° com a vertical. A massa do pião é $0,50 \text{ kg}$, o momento de inércia em relação ao eixo central é $5,0 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ e o centro de massa está a $4,0 \text{ cm}$ do ponto de apoio. Se a rotação é no sentido horário quando o pião é visto de cima, qual é (a) a taxa de precessão e (b) qual é o sentido da precessão quando o pião é visto de cima?

...69 Um giroscópio é formado por um disco homogêneo com 50 cm de raio montado no centro de um eixo, de 11 cm de comprimento e de massa desprezível. O eixo está na posição horizontal, apoiado em uma das extremidades. Se o disco está girando em torno do eixo a 1000 rev/min , qual é a taxa de precessão?

Problemas Adicionais

70 Uma bola maciça, homogênea, rola suavemente em um piso horizontal e depois começa a subir uma rampa com uma inclinação de $15,0^\circ$. A bola para momentaneamente após ter rolado $1,50 \text{ m}$ ao longo da

rampa. Qual era a velocidade inicial?

71 Na Fig. 11-60, uma força horizontal constante \vec{F} de módulo 12 N é aplicada a um cilindro maciço, homogêneo, por meio de uma linha de pescar enrolada no cilindro. A massa do cilindro é 10 kg, o raio é 0,10 m e o cilindro rola suavemente em uma superfície horizontal. (a) Qual é o módulo da aceleração do centro de massa do cilindro? (b) Qual é o módulo da aceleração angular do cilindro em relação ao centro de massa? (c) Em termos dos vetores unitários, qual é a força de atrito que age sobre o cilindro?

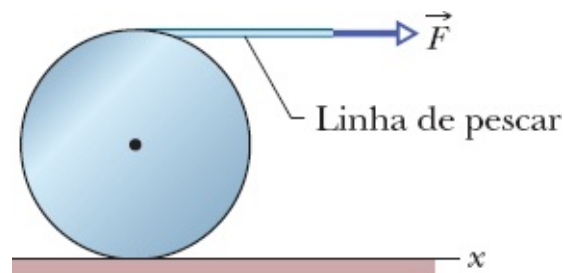


Figura 11-60 Problema 71.

72 Um cano de paredes finas rola no chão. Qual é a razão entre a energia cinética de translação e a energia cinética de rotação em relação ao eixo central do cano?

73 Um carro de brinquedo, de 3,0 kg, se move ao longo de um eixo x com uma velocidade dada por $\vec{v} = -2,0t^3\hat{i}$ m/s, com t em segundos. Para $t > 0$, qual é (a) o momento angular \vec{L} do carro e (b) qual é o torque $\vec{\tau}$ sobre o carro, ambos calculados em relação à origem? Qual é o valor (c) de \vec{L} e (d) de $\vec{\tau}$ em relação ao ponto (2,0 m; 5,0 m; 0)? Qual é o valor (e) de \vec{L} e (f) de $\vec{\tau}$ em relação ao ponto (2,0 m; -5,0 m; 0)?

74 Uma roda gira no sentido horário em torno do eixo central com um momento angular de $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$. No instante $t = 0$, um torque, de módulo $50 \text{ N} \cdot \text{m}$, é aplicado à roda para inverter a rotação. Em que instante t a velocidade angular da roda se anula?

75 Em um parquinho existe um pequeno carrossel com 1,20 m de raio e 180 kg de massa. O raio de giração do carrossel (veja o Problema 79 do Capítulo 10) é 91,0 cm. Uma criança com 44,0 kg de massa corre a uma velocidade de 3,00 m/s em uma trajetória tangente à borda do carrossel, inicialmente em repouso, e pula no carrossel. Despreze o atrito entre os rolamentos e o eixo do carrossel. Calcule (a) o momento de inércia do carrossel em relação ao eixo de rotação, (b) o módulo do momento angular da criança em relação ao eixo de rotação do carrossel e (c) a velocidade angular do carrossel e da criança após a criança saltar no carrossel.

76 Um bloco homogêneo, de granito, em forma de livro possui faces de 20 cm por 15 cm e uma espessura de 1,2 cm. A massa específica (massa por unidade de volume) do granito é $2,64 \text{ g/cm}^3$. O bloco gira em torno de um eixo perpendicular às faces, situado a meia distância entre o centro e um dos cantos. O momento angular em torno desse eixo é $0,104 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$. Qual é a energia cinética de rotação do bloco em torno desse eixo?

77 Duas partículas, de massa $2,90 \times 10^{-4} \text{ kg}$ e velocidade 5,46 m/s, se movem em sentidos opostos ao

longo de retas paralelas separadas por uma distância de 4,20 cm. (a) Qual é o módulo L do momento angular do sistema das duas partículas em relação ao ponto médio da distância entre as duas retas? (b) O valor de L muda se o ponto em relação ao qual é calculado não está a meia distância entre as retas? Se o sentido de movimento de uma das partículas é invertido, qual é (c) a resposta do item (a) e (d) qual é a resposta do item (b)?

78 Uma roda com 0,250 m de raio, que está se movendo inicialmente a 43,0 m/s, rola 225 m até parar. Calcule o módulo (a) da aceleração linear e (b) da aceleração angular da roda. (c) Se o momento de inércia da roda em torno do eixo central é $0,155 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, calcule o módulo do torque em relação ao eixo central devido ao atrito sobre a roda.

79 As rodas A e B na Fig. 11-61 estão ligadas por uma correia que não desliza. O raio da roda B é 3,00 vezes maior que o raio da roda A. Qual é a razão I_A/I_B entre os momentos de inércia das duas rodas, se elas têm (a) o mesmo momento angular em relação aos respectivos eixos centrais e (b) a mesma energia cinética de rotação?

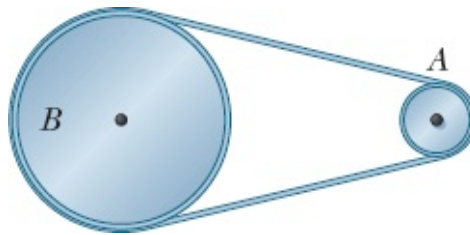


Figura 11-61 Problema 79.

80 Uma partícula de 2,50 kg que se move horizontalmente em um piso com uma velocidade de $(-3,00 \text{ m/s})\hat{j}$ sofre uma colisão perfeitamente inelástica com uma partícula de 4,00 kg que se move horizontalmente no mesmo piso com uma velocidade de $(4,50 \text{ m/s})\hat{i}$. A colisão ocorre nas coordenadas $(-0,500 \text{ m}, -0,100 \text{ m})$. Após a colisão e em termos dos vetores unitários, qual é o momento angular do sistema das duas partículas em relação à origem?

81 Uma roda homogênea, de massa 10,0 kg e raio 0,400 m, está montada rigidamente em um eixo que passa pelo centro (Fig. 11-62). O raio do eixo é 0,200 m e o momento de inércia do conjunto roda-eixo em relação ao eixo é $0,600 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. A roda está inicialmente em repouso no alto de uma rampa que faz um ângulo $\theta = 30,0^\circ$ com a horizontal; o eixo está apoiado na rampa, enquanto a roda penetra em um sulco aberto na rampa, sem tocá-la. Depois de liberado, o eixo rola para baixo, suavemente e sem deslizamento, ao longo da rampa. Depois que o conjunto roda-eixo desce 2,00 m ao longo da rampa, (a) qual é a energia cinética de rotação e (b) qual a energia cinética de translação do conjunto?

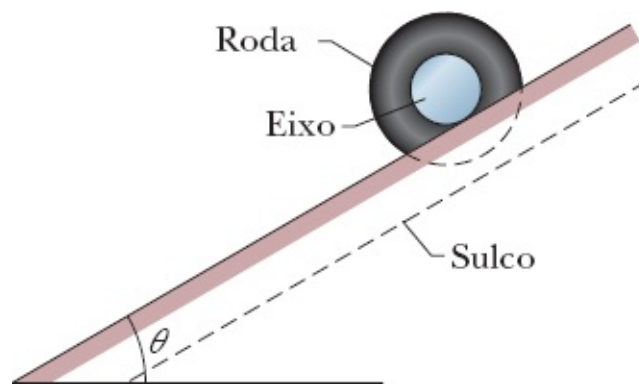



Figura 11-62 Problema 81.

82 Uma barra homogênea gira em um plano horizontal em torno de um eixo vertical que passa por uma das extremidades. A barra tem 6,00 m de comprimento, pesa 10,0 N e gira a 240 rev/min. Calcule (a) o momento de inércia da barra em relação ao eixo de rotação e (b) o módulo do momento angular em torno desse eixo.

83 Uma esfera maciça com 36,0 N de peso sobe rolando uma rampa com um ângulo de $30,0^\circ$. Na base da rampa, o centro de massa da esfera possui uma velocidade de translação de 4,90 m/s. (a) Qual é a energia cinética da esfera na base da rampa? (b) Que distância a esfera sobe ao longo da rampa? (c) A resposta do item (b) depende da massa da esfera?

84  Suponha que o ioiô no Problema 17, em vez de rolar a partir do repouso, seja arremessado para baixo com uma velocidade inicial de 1,3 m/s. (a) Quanto tempo o ioiô leva para chegar à extremidade da corda? Nesse instante, qual é o valor (b) da energia cinética total, (c) da velocidade linear, (d) da energia cinética de translação, (e) da velocidade angular e (f) da energia cinética de rotação?

85 Uma menina, de massa M , está de pé na borda de um carrossel, sem atrito, de raio R e momento de inércia I , que está inicialmente em repouso. A menina joga uma pedra, de massa m , horizontalmente em uma direção tangente à borda do carrossel. A velocidade da pedra em relação ao chão é v . Depois disso, qual é (a) a velocidade angular do carrossel e (b) qual é a velocidade linear da menina?

86 Um corpo, de raio R e massa m , rola suavemente com velocidade v em uma superfície horizontal e depois sobe uma colina até uma altura máxima h . (a) Se $h = 3v^2/4g$, qual é o momento de inércia do corpo em relação ao eixo de rotação que passa pelo centro de massa? (b) Que corpo pode ser esse?