

em que F_t é a componente de $\vec{F}$ perpendicular a $\vec{r}$, e ϕ é o ângulo entre $\vec{r}$ e $\vec{F}$. A grandeza $r_\perp$ é a distância perpendicular entre o eixo de rotação e a reta que coincide com o vetor $\vec{F}$. Essa reta é chamada de **linha de ação** de $\vec{F}$, e $r_\perp$ é chamada de **braço de alavanca** de $\vec{F}$. Da mesma forma, r é o braço de alavanca de F_t .

A unidade de torque do SI é o newton-metro (N·m). O torque τ é positivo, se tende a fazer um corpo inicialmente em repouso girar no sentido anti-horário, e negativo, se tende a fazer o corpo girar no sentido horário.

Segunda Lei de Newton para Rotações A segunda lei de Newton para rotações é

$$\tau_{\text{res}} = I\alpha, \quad (10-45)$$

em que τ_{res} é o torque resultante que age sobre a partícula ou corpo rígido, I é o momento de inércia da partícula ou do corpo em relação ao eixo de rotação, e α é a aceleração angular do movimento de rotação em torno do eixo.

Trabalho e Energia Cinética de Rotação As equações usadas para calcular trabalho e potência para movimentos de rotação são análogas às usadas para movimentos de translação:

$$W = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \tau d\theta \quad (10-53)$$

$$e \quad P = \frac{dW}{dt} = \tau\omega. \quad (10-55)$$

Se τ for constante, a Eq. 10-53 se reduz a

$$W = \tau(\theta_f - \theta_i). \quad (10-54)$$

A forma do teorema do trabalho e energia usada para corpos em rotação é a seguinte:

$$\Delta K = K_f - K_i = \frac{1}{2}I\omega_f^2 - \frac{1}{2}I\omega_i^2 = W. \quad (10-52)$$

Perguntas

1 A Fig. 10-20 é um gráfico da velocidade angular em função do tempo para um disco que gira como um carrossel. Ordene os instantes a , b , c e d de acordo com o módulo (a) da aceleração tangencial e (b) da aceleração radial de um ponto na borda do disco, começando pelo maior.

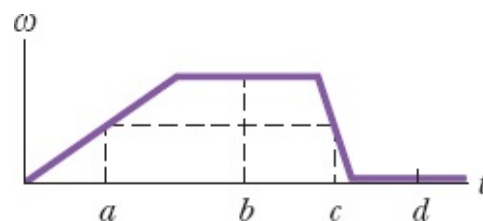


Figura 10-20 Pergunta 1.

2 A Fig. 10-21 mostra gráficos da posição angular θ em função do tempo t para três casos nos quais um disco gira como um carrossel. Em cada caso, o sentido de rotação muda em uma certa posição angular θ_m . (a) Para cada caso, determine se θ_m corresponde a uma rotação no sentido horário ou anti-horário em relação à posição $\theta = 0$, ou se $\theta_m = 0$. Para cada caso, determine (b) se ω é zero antes, depois ou no instante $t = 0$ e (c) se α é positiva, negativa ou nula.

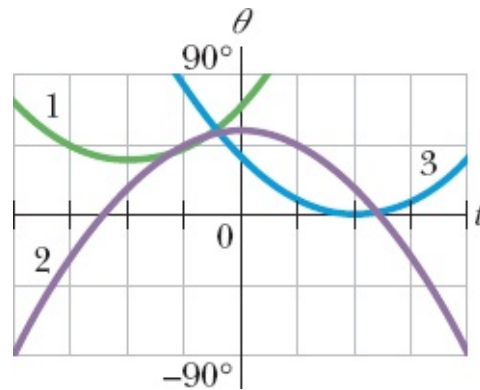


Figura 10-21 Pergunta 2.

3 Uma força é aplicada à borda de um disco que pode girar como um carrossel, fazendo mudar a velocidade angular do disco. As velocidades angulares inicial e final, respectivamente, para quatro situações, são as seguintes: (a) -2 rad/s , 5 rad/s ; (b) 2 rad/s , 5 rad/s ; (c) -2 rad/s , -5 rad/s ; e (d) 2 rad/s , -5 rad/s . Ordene as situações de acordo com o trabalho realizado pelo torque aplicado pela força, começando pelo maior.

4 A Fig. 10-22b é um gráfico da posição angular do disco da Fig. 10-22a. A velocidade angular do disco é positiva, negativa ou nula em (a) $t = 1 \text{ s}$, (b) $t = 2 \text{ s}$, e (c) $t = 3 \text{ s}$? (d) A aceleração angular é positiva ou negativa?

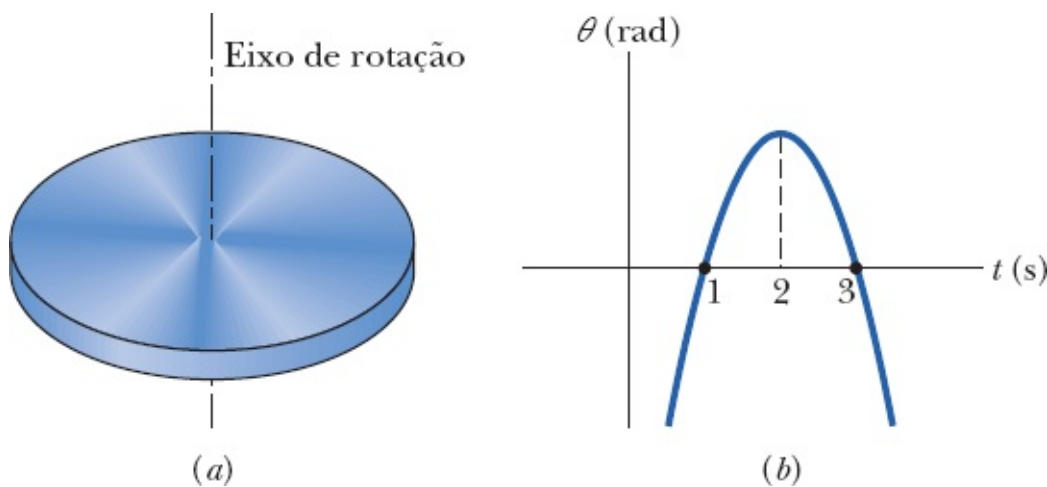


Figura 10-22 Pergunta 4.

5 Na Fig. 10-23, duas forças, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ agem sobre um disco que gira em torno do centro como um carrossel. As forças mantêm os ângulos indicados durante a rotação, que ocorre no sentido anti-horário e com velocidade angular constante. Precisamos diminuir o ângulo θ de $\vec{F}_1$ sem mudar o módulo de $\vec{F}_1$. (a)

Para manter a velocidade angular constante, devemos aumentar, diminuir ou manter constante o módulo de $\vec{F}_2$? (b) A força $\vec{F}_1$ tende a fazer o disco girar no sentido horário ou no sentido anti-horário? (c) E a força $\vec{F}_2$?

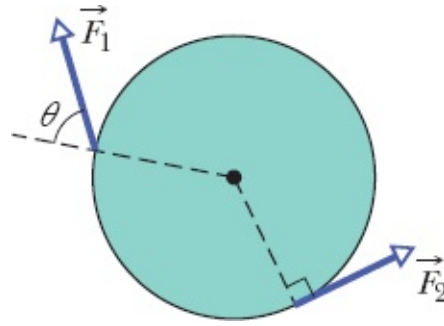


Figura 10-23 Pergunta 5.

6 Na vista superior da Fig. 10-24, cinco forças de mesmo módulo agem sobre um estranho carrrossel: um quadrado que pode girar em torno do ponto P , o ponto médio de um dos lados. Ordene as forças de acordo com o torque que elas produzem em relação ao ponto P , começando pelo maior.

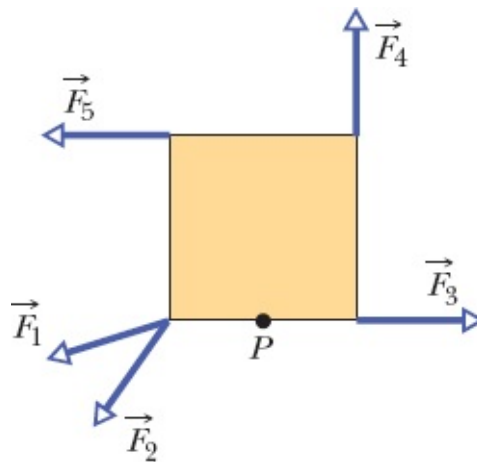


Figura 10-24 Pergunta 6.

7 A Fig. 10-25a é vista superior de uma barra horizontal que pode girar em torno de um eixo; duas forças horizontais atuam sobre a barra, que está parada. Se o ângulo entre $\vec{F}_2$ e a barra é reduzido a partir de 90° , F_2 deve aumentar, diminuir ou permanecer a mesma para que a barra continue parada?

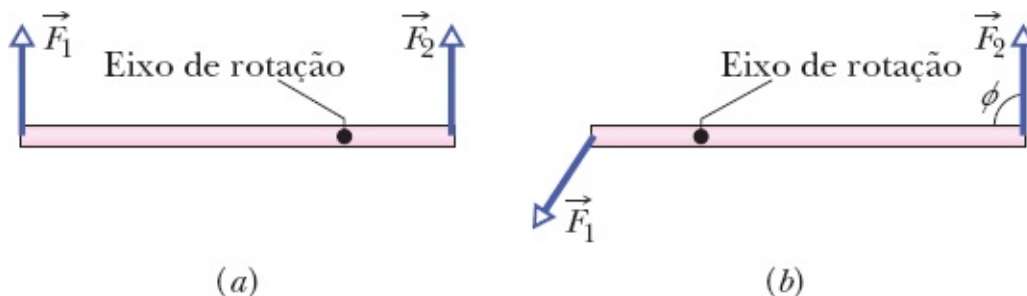


Figura 10-25 Perguntas 7 e 8.

8 A Fig. 10-25b mostra a vista superior de uma barra horizontal que gira em torno de um eixo sob a ação

de duas forças horizontais, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, com $\vec{F}_2$ fazendo um ângulo ϕ com a barra. Ordene os seguintes valores de ϕ de acordo com o módulo da aceleração angular da barra, começando pelo maior: 90° , 70° e 110° .

9 A Fig. 10-26 mostra uma placa metálica homogênea que era quadrada antes que 25% da área fossem cortados. Três pontos estão indicados por letras. Ordene-os de acordo com o valor do momento de inércia da placa em relação a um eixo perpendicular à placa passando por esses pontos, começando pelo maior.

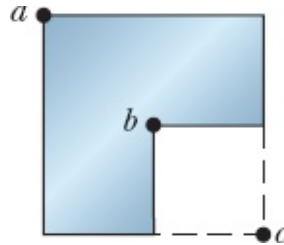


Figura 10-26 Pergunta 9.

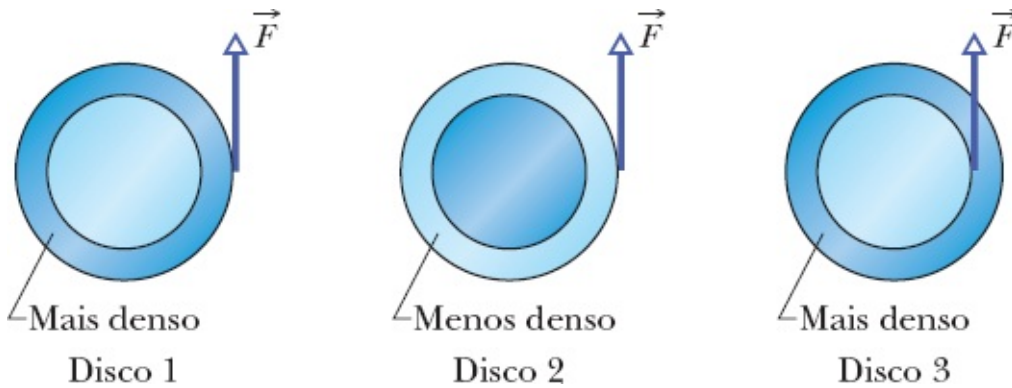


Figura 10-27 Pergunta 10.

10 A Fig. 10-27 mostra três discos planos (de raios iguais) que podem girar em torno do centro como carrosséis. Cada disco é composto dos mesmos dois materiais, um mais denso que o outro (ou seja, com massa maior por unidade de volume). Nos discos 1 e 3, o material mais denso forma a metade externa da área do disco. No disco 2, ele forma a metade interna da área do disco. Forças de mesmo módulo são aplicadas tangencialmente aos discos, na borda ou na interface dos dois materiais, como na figura. Ordene os discos de acordo (a) com o torque em relação ao centro do disco, (b) o momento de inércia em relação ao centro e (c) a aceleração angular do disco, em ordem decrescente.

11 A Fig. 10-28a mostra uma régua de um metro, metade de madeira e metade de aço, que pode girar em torno de um eixo que passa pelo ponto O , situado na extremidade do lado que é feito de madeira. Uma força $\vec{F}$ é aplicada ao lado que é feito de aço, no ponto a . Na Fig. 10-28b, a posição da régua é invertida e passa a girar em torno de um eixo que passa pelo ponto O' , situado na extremidade do lado que é feito de aço, enquanto a mesma força $\vec{F}$ é aplicada ao lado que é feito de madeira, no ponto a' . A aceleração angular da régua da Fig. 10-28a é maior, menor ou igual à aceleração angular da régua da Fig. 10-28b?

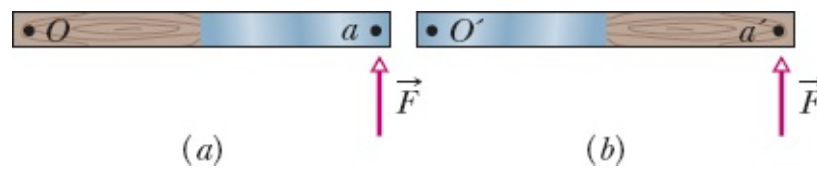


Figura 10-28 Pergunta 11.

12 A Fig. 10-29 mostra três discos homogêneos. Os raios R e as massas M dos discos estão indicados na figura. Os discos podem girar em torno de um eixo central (perpendicular ao plano do disco e passando pelo centro). Ordene os discos de acordo com o momento de inércia em relação ao eixo central, começando pelo maior.

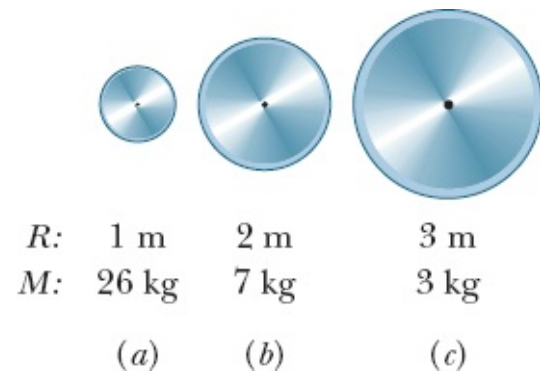


Figura 10-29 Pergunta 12.

Problemas

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

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

Módulo 10-1 As Variáveis da Rotação

- **1** Um bom lançador de beisebol pode arremessar uma bola a 85 mi/h com uma rotação de 1800 rev/min. Quantas revoluções a bola realiza até chegar à quarta base? Para simplificar, suponha que a trajetória de 60 pés é percorrida em linha reta.
- **2** Qual é a velocidade angular (a) do ponteiro dos segundos, (b) do ponteiro dos minutos e (c) do ponteiro das horas de um relógio analógico? Dê as respostas em radianos por segundo.
- **3** Quando uma torrada com manteiga é deixada cair de uma mesa, ela adquire um movimento de rotação. Supondo que a distância da mesa ao chão é 76 cm e que a torrada não descreve uma revolução completa, determine (a) a menor e (b) a maior velocidade angular para a qual a torrada cai com a manteiga para baixo.
- **4** A posição angular de um ponto de uma roda é dada por $\theta = 2,0 + 4,0t^2 + 2,0t^3$, em que θ está em radianos e t em segundos. Em $t = 0$, qual é (a) a posição e (b) qual a velocidade angular do ponto? (c) Qual é a velocidade angular em $t = 4,0$ s? (d) Calcule a aceleração angular em

$t = 2,0$ s. (e) A aceleração angular da roda é constante?

••5 Um mergulhador realiza 2,5 giros ao saltar de uma plataforma de 10 metros. Supondo que a velocidade vertical inicial seja nula, determine a velocidade angular média do mergulhador.

••6 A posição angular de um ponto da borda de uma roda é dada por $\theta = 4,0t - 3,0t^2 + t^3$, em que θ está em radianos e t em segundos. Qual é a velocidade angular em (a) $t = 2,0$ s e (b) $t = 4,0$ s? (c) Qual é a aceleração angular média no intervalo de tempo que começa em $t = 2,0$ s e termina em $t = 4,0$ s? Qual é a aceleração angular instantânea (d) no início e (e) no fim desse intervalo?

•••7 A roda da Fig. 10-30 tem oito raios de 30 cm igualmente espaçados, está montada em um eixo fixo e gira a 2,5 rev/s. Você deseja atirar uma flecha de 20 cm de comprimento paralelamente ao eixo da roda sem atingir um dos raios. Suponha que a flecha e os raios são muito finos. (a) Qual é a menor velocidade que a flecha deve ter? (b) O ponto entre o eixo e a borda da roda por onde a flecha passa faz alguma diferença? Caso a resposta seja afirmativa, para que ponto você deve mirar?

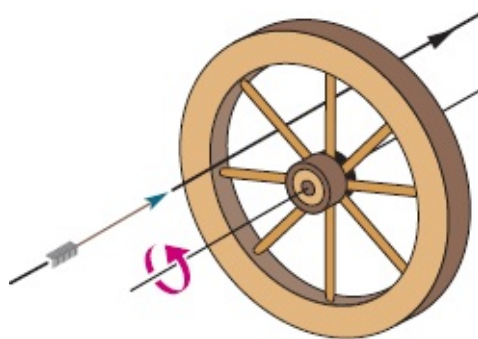


Figura 10-30 Problema 7.

•••8 A aceleração angular de uma roda é $\alpha = 6,0t^4 - 4,0t^2$, com α em radianos por segundo ao quadrado e t em segundos. No instante $t = 0$, a roda tem uma velocidade angular de $+2,0$ rad/s e uma posição angular de $+1,0$ rad. Escreva expressões (a) para a velocidade angular (em rad/s) e (b) para a posição angular (em rad) em função do tempo (em s).

Módulo 10-2 Rotação com Aceleração Angular Constante

•9 Um tambor gira em torno do eixo central com uma velocidade angular de $12,60$ rad/s. Se o tambor é freado a uma taxa constante de $4,20$ rad/s², (a) quanto tempo ele leva para parar? (b) Qual é o ângulo total descrito pelo tambor até parar?

•10 Partindo do repouso, um disco gira em torno do eixo central com uma aceleração angular constante. O disco gira 25 rad em $5,0$ s. Durante esse tempo, qual é o módulo (a) da aceleração angular e (b) da velocidade angular média? (c) Qual é a velocidade angular instantânea do disco ao final dos $5,0$ s? (d) Com a aceleração angular mantida, que ângulo adicional o disco irá descrever nos $5,0$ s seguintes?

•11 Um disco, inicialmente girando a 120 rad/s, é freado com uma aceleração angular constante de módulo $4,0$ rad/s². (a) Quanto tempo o disco leva para parar? (b) Qual é o ângulo total descrito pelo disco durante esse tempo?

- 12** A velocidade angular do motor de um automóvel é aumentada a uma taxa constante de 1200 rev/min para 3000 rev/min em 12 s. (a) Qual é a aceleração angular em revoluções por minuto ao quadrado? (b) Quantas revoluções o motor executa nesse intervalo de 12 s?
- 13** Uma roda executa 40 revoluções quando desacelera até parar a partir de uma velocidade angular de 1,5 rad/s. (a) Supondo que a aceleração angular é constante, determine o tempo que a roda leva para parar. (b) Qual é a aceleração angular da roda? (c) Quanto tempo é necessário para que a roda complete as 20 primeiras revoluções?
- 14** Um disco gira em torno do eixo central partindo do repouso com aceleração angular constante. Em certo instante, está girando a 10 rev/s; após 60 revoluções, a velocidade angular é 15 rev/s. Calcule (a) a aceleração angular, (b) o tempo necessário para o disco completar 60 revoluções, (c) o tempo necessário para o disco atingir a velocidade angular de 10 rev/s e (d) o número de revoluções do disco desde o repouso até o instante em que atinge uma velocidade angular de 10 rev/s.
- 15** Uma roda tem uma aceleração angular constante de $3,0 \text{ rad/s}^2$. Durante certo intervalo de 4,0 s, ela descreve um ângulo de 120 rad. Supondo que a roda partiu do repouso, por quanto tempo ela já estava em movimento no início desse intervalo de 4,0 s?
- 16** Um carrossel gira a partir do repouso com uma aceleração angular de $1,50 \text{ rad/s}^2$. Quanto tempo leva para executar (a) as primeiras 2,00 revoluções e (b) as 2,00 revoluções seguintes?
- 17** Em $t = 0$, uma roda tem uma velocidade angular de $4,7 \text{ rad/s}$, uma aceleração angular constante de $-0,25 \text{ rad/s}^2$, e sua reta de referência está em $\theta_0 = 0$. (a) Qual é o ângulo máximo $\theta_{\text{máx}}$ descrito pela reta de referência no sentido positivo? Qual é (b) o primeiro e (c) o segundo instante em que a reta de referência passa pelo ângulo $\theta = \theta_{\text{máx}}/2$? Em que (d) instante negativo e (e) instante positivo a reta de referência passa pelo ângulo $\theta = -10,5 \text{ rad}$? (f) Faça um gráfico de θ em função de t e indique as respostas dos itens (a) a (e) no gráfico.
- 18** Um pulsar é uma estrela de nêutrons que gira rapidamente em torno de si mesma e emite um feixe de rádio, do mesmo modo como um farol emite um feixe luminoso. Recebemos na Terra um pulso de rádio para cada revolução da estrela. O período T de rotação de um pulsar é determinado medindo o intervalo de tempo entre os pulsos. O pulsar da nebulosa do Caranguejo tem um período de rotação $T = 0,033 \text{ s}$ que está aumentando a uma taxa de $1,26 \times 10^{-5} \text{ s/ano}$. (a) Qual é a aceleração angular α do pulsar? (b) Se α se mantiver constante, daqui a quantos anos o pulsar vai parar de girar? (c) O pulsar foi criado pela explosão de uma supernova observada no ano de 1054. Supondo que a aceleração α se manteve constante, determine o período T logo após a explosão.

Módulo 10-3 Relações entre as Variáveis Lineares e Angulares

- 19** Qual é o módulo (a) da velocidade angular, (b) da aceleração radial e (c) da aceleração tangencial de uma nave espacial que faz uma curva circular com 3220 km de raio a uma velocidade de 29.000 km/h?
- 20** Um objeto gira em torno de um eixo fixo, e a posição angular de uma reta de referência do objeto é dada por $\theta = 0,40e^{2t}$, em que θ está em radianos e t em segundos. Considere um ponto do objeto situado a

4,0 cm do eixo de rotação. Em $t = 0$, qual é o módulo (a) da componente tangencial e (b) da componente radial da aceleração do ponto?

•21  Entre 1911 e 1990, o alto da torre inclinada de Pisa, Itália, se deslocou para o sul a uma taxa média de 1,2 mm/ano. A torre tem 55 m de altura. Qual é a velocidade angular média do alto da torre em relação à base em radianos por segundo?

•22 Um astronauta está sendo testado em uma centrífuga com 10 m de raio que gira de acordo com a equação $\theta = 0,30t^2$, em que t está em segundos e θ em radianos. No instante $t = 5,0$ s, qual é o módulo (a) da velocidade angular, (b) da velocidade linear, (c) da aceleração tangencial e (d) da aceleração radial do astronauta?

•23 Uma roda com 1,20 m de diâmetro está girando com uma velocidade angular de 200 rev/min. (a) Qual é a velocidade angular da roda em rad/s? (b) Qual é a velocidade linear de um ponto na borda da roda? (c) Que aceleração angular constante (em revoluções por minuto ao quadrado) aumenta a velocidade angular da roda para 1000 rev/min em 60,0 s? (d) Quantas revoluções a roda executa nesse intervalo de 60,0 s?

•24 Um disco de vinil funciona girando em torno de um eixo, de modo que um sulco, aproximadamente circular, desliza sob uma agulha que fica na extremidade de um braço mecânico. Saliências do sulco passam pela agulha e a fazem oscilar. O equipamento converte essas oscilações em sinais elétricos, que são amplificados e transformados em sons. Suponha que um disco de vinil gira a $33 \frac{1}{3}$ rev/min, que o sulco que está sendo tocado está a uma distância de 10,0 cm do centro do disco e que a distância média entre as saliências do sulco é 1,75 mm. A que taxa (em toques por segundo) as saliências atingem a agulha?

•25 (a) Qual é a velocidade angular ω em torno do eixo polar de um ponto da superfície da Terra na latitude 40° N? (A Terra gira em torno desse eixo.) (b) Qual é a velocidade linear v desse ponto? Qual é o valor (c) de ω e (d) de v para um ponto do equador?

•26 O volante de uma máquina a vapor gira com uma velocidade angular constante de 150 rev/min. Quando a máquina é desligada, o atrito dos mancais e a resistência do ar param a roda em 2,2 h. (a) Qual é a aceleração angular constante da roda, em revoluções por minuto ao quadrado, durante a desaceleração? (b) Quantas revoluções a roda executa antes de parar? (c) No instante em que a roda está girando a 75 rev/min, qual é a componente tangencial da aceleração linear de uma partícula da roda que está a 50 cm do eixo de rotação? (d) Qual é o módulo da aceleração linear total da partícula do item (c)?

•27 O prato de um toca-discos está girando a $33 \frac{1}{3}$ rev/min. Uma semente de melancia está sobre o prato a 6,0 cm de distância do eixo de rotação. (a) Calcule a aceleração da semente, supondo que ela não escorrega. (b) Qual é o valor mínimo do coeficiente de atrito estático entre a semente e o prato para que a semente não escorregue? (c) Suponha que o prato atinge a velocidade angular final em 0,25 s, partindo do repouso com aceleração constante. Calcule o menor coeficiente de atrito estático necessário para que a semente não escorregue durante o período de aceleração.

••28 Na Fig. 10-31, uma roda A de raio $r_A = 10$ cm está acoplada por uma correia B a uma roda C de raio $r_C = 25$ cm. A velocidade angular da roda A é aumentada a partir do repouso a uma taxa constante de $1,6$ rad/s^2 . Determine o tempo necessário para que a roda C atinja uma velocidade angular de 100 rev/min , supondo que a correia não desliza. (Sugestão: Se a correia não desliza, as bordas dos dois discos têm a mesma velocidade linear.)

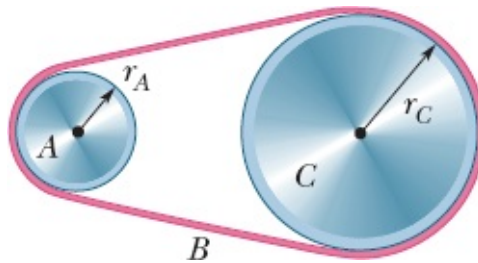


Figura 10-31 Problema 28.

••29 Um método tradicional para medir a velocidade da luz utiliza uma roda dentada giratória. Um feixe de luz passa pelo espaço entre dois dentes situados na borda da roda, como na Fig. 10-32, viaja até um espelho distante e chega de volta à roda exatamente a tempo de passar pelo espaço seguinte entre dois dentes. Uma dessas rodas tem $5,0$ cm de raio e 500 espaços entre dentes. Medidas realizadas quando o espelho está a uma distância $L = 500$ m da roda fornecem o valor de $3,0 \times 10^5$ km/s para a velocidade da luz. (a) Qual é a velocidade angular (constante) da roda? (b) Qual é a velocidade linear de um ponto da borda da roda?

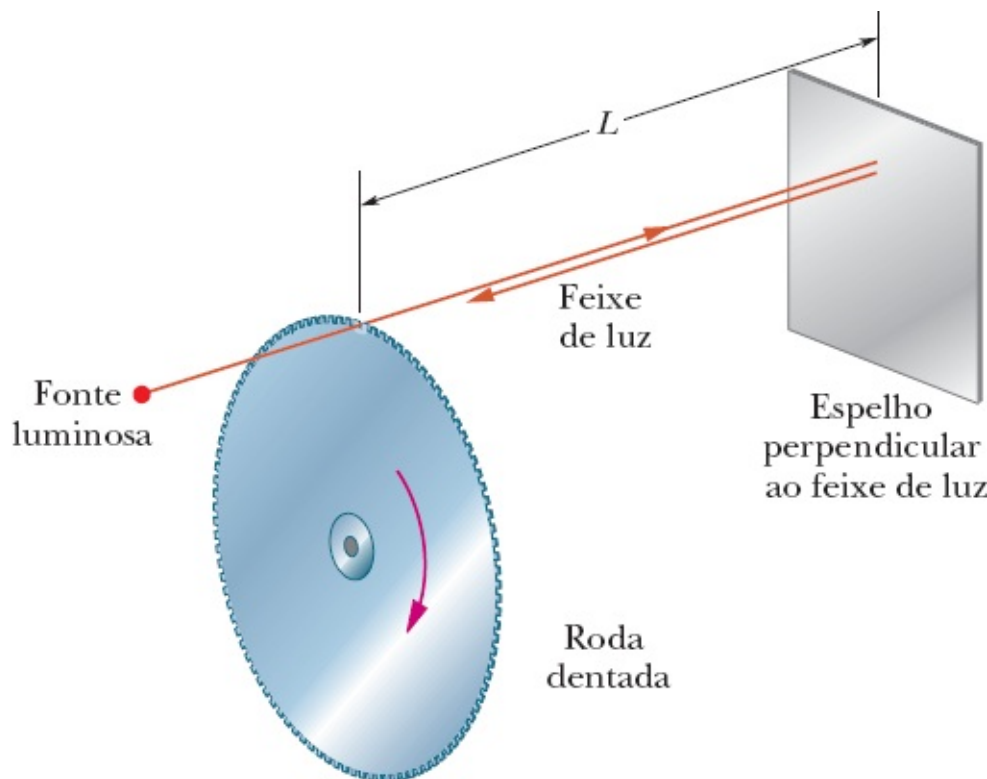


Figura 10-32 Problema 29.

••30 Uma roda de um giroscópio com $2,83$ cm de raio é acelerada a partir do repouso a $14,2$ rad/s^2 até

atingir uma velocidade angular de 2760 rev/min. (a) Qual é a aceleração tangencial de um ponto da borda da roda durante o processo de aceleração angular? (b) Qual é a aceleração radial do ponto quando a roda está girando à velocidade máxima? (c) Qual é a distância percorrida por um ponto da borda da roda durante o processo de aceleração angular?

••31 Um disco com 0,25 m de raio deve girar de um ângulo de 800 rad, partindo do repouso, ganhando velocidade angular a uma taxa constante α_1 nos primeiros 400 rad e, em seguida, perdendo velocidade angular a uma taxa constante $-\alpha_1$ até ficar novamente em repouso. O módulo da aceleração centrípeta de qualquer parte do disco não deve exceder 400 m/s^2 . (a) Qual é o menor tempo necessário para o movimento? (b) Qual é o valor correspondente de α_1 ?

••32 Um carro parte do repouso e passa a se mover em uma pista circular com 30,0 m de raio. A velocidade do carro aumenta a uma taxa constante de $0,500 \text{ m/s}^2$. (a) Qual é o módulo da aceleração linear *média* do carro após 15,0 s? (b) Que ângulo o vetor aceleração média faz com o vetor velocidade nesse instante?

Módulo 10-4 Energia Cinética de Rotação

•33 Calcule o momento de inércia de uma roda que possui uma energia cinética de 24.400 J quando gira a 602 rev/min.

•34 A Fig. 10-33 mostra a velocidade angular em função do tempo para uma barra fina que gira em torno de uma das extremidades. A escala do eixo ω é definida por $\omega_s = 6,0 \text{ rad/s}$. (a) Qual é o módulo da aceleração angular da barra? (b) Em $t = 4,0 \text{ s}$, a barra tem uma energia cinética de 1,60 J. Qual é a energia cinética da barra em $t = 0$?

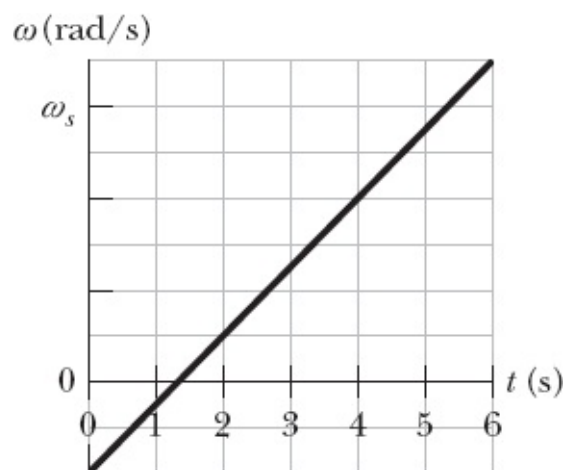


Figura 10-33 Problema 34.

Módulo 10-5 Cálculo do Momento de Inércia

•35 Dois cilindros homogêneos, girando em torno dos respectivos eixos centrais (longitudinais) com uma velocidade angular de 235 rad/s, têm a mesma massa de 1,25 kg e raios diferentes. Qual é a energia cinética de rotação (a) do cilindro menor, de raio 0,25 m, e (b) do cilindro maior, de raio 0,75 m?

•36 A Fig. 10-34a mostra um disco que pode girar em torno de um eixo perpendicular à sua face a uma

distância h do centro do disco. A Fig. 10-34b mostra o momento de inércia I do disco em relação ao eixo em função da distância h , do centro até a borda do disco. A escala do eixo I é definida por $I_A = 0,050 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ e $I_B = 0,150 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Qual é a massa do disco?

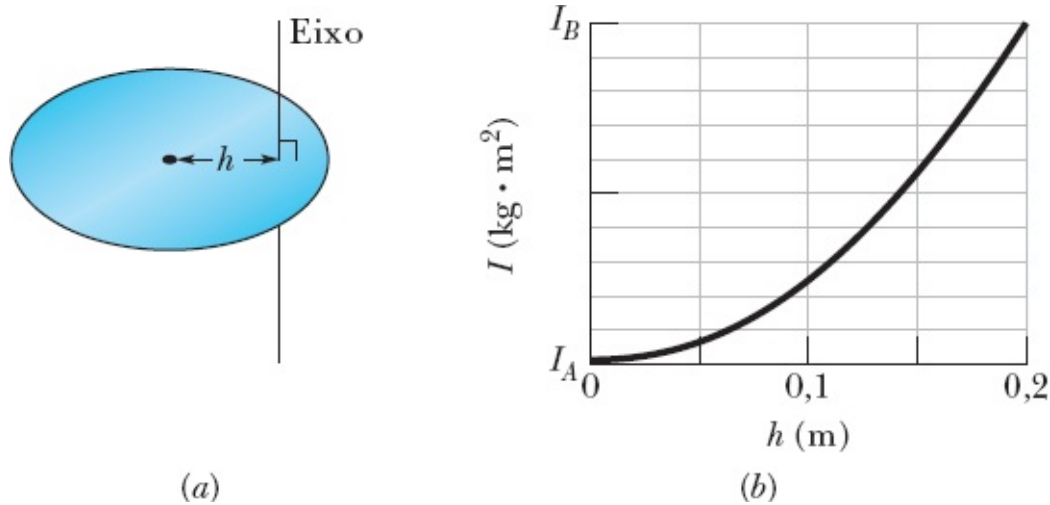


Figura 10-34 Problema 36.

•37 Calcule o momento de inércia de uma régua de um metro, com massa de 0,56 kg, em relação a um eixo perpendicular à régua na marca de 20 cm. (Trate a régua como uma barra fina.)

•38 A Fig. 10-35 mostra três partículas de 0,0100 kg que foram coladas em uma barra de comprimento $L = 6,00 \text{ cm}$ e massa desprezível. O conjunto pode girar em torno de um eixo perpendicular que passa pelo ponto O , situado na extremidade esquerda. Se removemos uma das partículas (ou seja, 33% da massa), de que porcentagem o momento de inércia do conjunto em relação ao eixo de rotação diminui se a partícula removida é (a) a mais próxima do ponto O e (b) a mais distante do ponto O ?

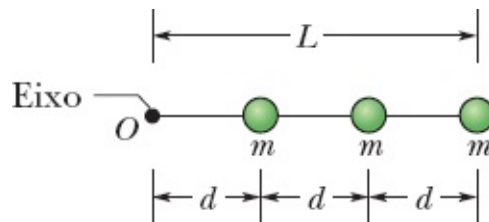


Figura 10-35 Problemas 38 e 62.

•39 Alguns caminhões utilizam a energia armazenada em um volante que um motor elétrico acelera até uma velocidade de $200\pi \text{ rad/s}$. Suponha que um desses volantes é um cilindro homogêneo com massa de 500 kg e raio de 1,0 m. (a) Qual é a energia cinética do volante quando está girando à velocidade máxima? (b) Se o caminhão desenvolve uma potência média de 8,0 kW, por quantos minutos ele pode operar sem que o volante seja novamente acelerado?

•40 A Fig. 10-36 mostra um arranjo de 15 discos iguais colados para formarem uma barra de comprimento $L = 1,0000 \text{ m}$ e massa total $M = 100,0 \text{ mg}$. O arranjo pode girar em torno de um eixo perpendicular que passa pelo disco central no ponto O . (a) Qual é o momento de inércia do conjunto em relação a esse eixo? (b) Se considerarmos o arranjo como uma barra aproximadamente homogênea de

massa M e comprimento L , que erro percentual estaremos cometendo se usarmos a fórmula da Tabela 10-2e para calcular o momento de inércia?

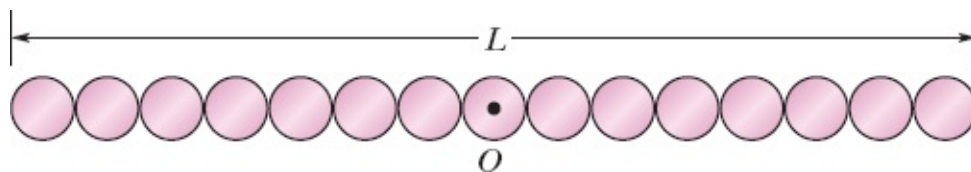


Figura 10-36 Problema 40.

••41 Na Fig. 10-37, duas partículas, ambas de massa $m = 0,85 \text{ kg}$, estão ligadas uma à outra, e a um eixo de rotação no ponto O , por duas barras finas, ambas de comprimento $d = 5,6 \text{ cm}$ e massa $M = 1,2 \text{ kg}$. O conjunto gira em torno do eixo de rotação com velocidade angular $\omega = 0,30 \text{ rad/s}$. Determine (a) o momento de inércia do conjunto em relação ao ponto O e (b) a energia cinética do conjunto.

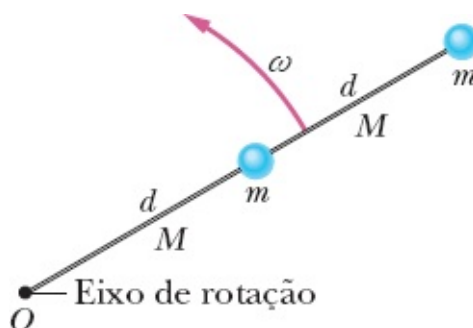


Figura 10-37 Problema 41.

••42 As massas e coordenadas de quatro partículas são as seguintes: 50 g , $x = 2,0 \text{ cm}$, $y = 2,0 \text{ cm}$; 25 g , $x = 0$, $y = 4,0 \text{ cm}$; 25 g , $x = -3,0 \text{ cm}$, $y = -3,0 \text{ cm}$; 30 g , $x = -2,0 \text{ cm}$, $y = 4,0 \text{ cm}$. Qual é o momento de inércia do conjunto em relação (a) ao eixo x , (b) ao eixo y e (c) ao eixo z ? (d) Suponha que as respostas de (a) e (b) sejam A e B , respectivamente. Nesse caso, qual é a resposta de (c) em termos de A e B ?

••43 O bloco homogêneo da Fig. 10-38 tem massa $0,172 \text{ kg}$ e lados $a = 3,5 \text{ cm}$, $b = 8,4 \text{ cm}$ e $c = 1,4 \text{ cm}$. Calcule o momento de inércia do bloco em relação a um eixo que passa por um canto e é perpendicular às faces maiores.

••44 Quatro partículas iguais, de massa $0,50 \text{ kg}$ cada uma, são colocadas nos vértices de um quadrado de $2,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$ e mantidas nessa posição por quatro barras, de massa desprezível, que formam os lados do quadrado. Determine o momento de inércia desse corpo rígido em relação a um eixo (a) que está no plano do quadrado e passa pelos pontos médios de dois lados opostos, (b) que passa pelo ponto médio de um dos lados e é perpendicular ao plano do quadrado e (c) que está no plano do quadrado e passa por duas partículas diagonalmente opostas.

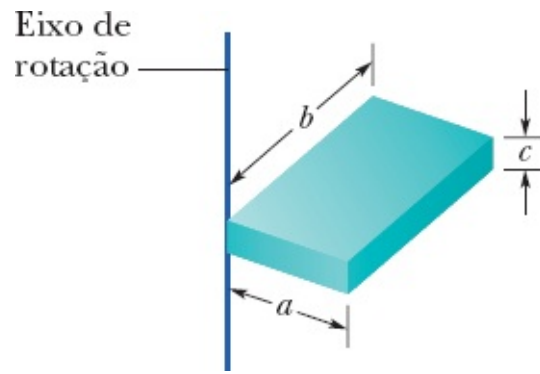


Figura 10-38 Problema 43.

Módulo 10-6 Torque

•45 O corpo da Fig. 10-39 pode girar em torno de um eixo perpendicular ao papel passando por O e está submetido a duas forças, como mostra a figura. Se $r_1 = 1,30$ m, $r_2 = 2,15$ m, $F_1 = 4,20$ N, $F_2 = 4,90$ N, $\theta_1 = 75,0^\circ$ e $\theta_2 = 60,0^\circ$, qual é o torque resultante em relação ao eixo?

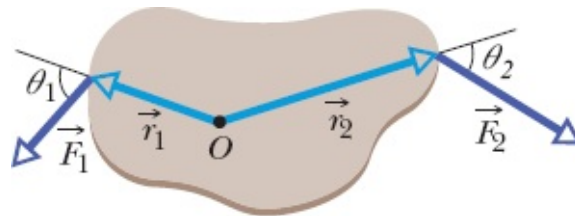


Figura 10-39 Problema 45.

•46 O corpo da Fig. 10-40 pode girar em torno de um eixo que passa por O e é perpendicular ao papel e está submetido a três forças: $F_A = 10$ N no ponto A , a 8,0 m de O ; $F_B = 16$ N em B , a 4,0 m de O ; e $F_C = 19$ N em C , a 3,0 m de O . Qual é o torque resultante em relação a O ?

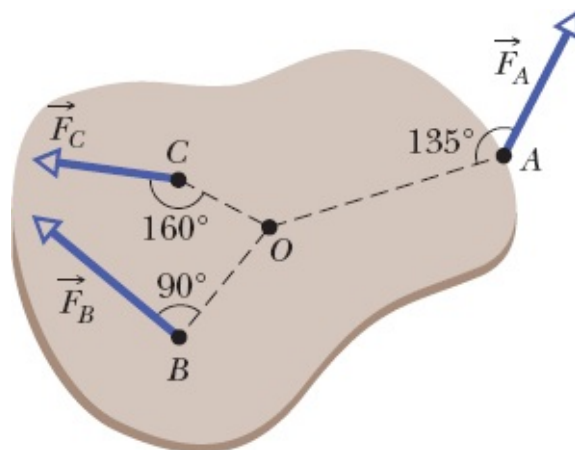


Figura 10-40 Problema 46.

•47 Uma pequena bola, de massa 0,75 kg, está presa a uma das extremidades de uma barra, de 1,25 m de comprimento e massa desprezível. A outra extremidade da barra está pendurada em um eixo. Qual é o módulo do torque exercido pela força gravitacional em relação ao eixo quando o pêndulo assim formado faz um ângulo de 30° com a vertical?

•48 O comprimento do braço do pedal de uma bicicleta é 0,152 m, e uma força de 111 N é aplicada ao pedal pelo ciclista. Qual é o módulo do torque em relação ao eixo do braço do pedal quando o braço faz um ângulo de (a) 30° , (b) 90° e (c) 180° com a vertical?

Módulo 10-7 A Segunda Lei de Newton para Rotações

•49 No início de um salto de trampolim, a velocidade angular de uma mergulhadora em relação a um eixo que passa pelo seu centro de massa varia de zero a $6,20 \text{ rad/s}$ em 220 ms. O momento de inércia em relação ao mesmo eixo é $12,0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Qual é o módulo (a) da aceleração angular média da mergulhadora e (b) do torque externo médio exercido pelo trampolim sobre a mergulhadora no início do salto?

•50 Se um torque de $32,0 \text{ N} \cdot \text{m}$ exercido sobre uma roda produz uma aceleração angular de $25,0 \text{ rad/s}^2$, qual é o momento de inércia da roda?

•51 Na Fig. 10-41, o bloco 1 tem massa $m_1 = 460 \text{ g}$, o bloco 2 tem massa $m_2 = 500 \text{ g}$, e a polia, que está montada em um eixo horizontal com atrito desprezível, tem raio $R = 5,00 \text{ cm}$. Quando o sistema é liberado a partir do repouso, o bloco 2 cai 75,0 cm em 5,00 s sem que a corda deslize na borda da polia. (a) Qual é o módulo da aceleração dos blocos? Qual é o valor (b) da tração T_2 e (c) da tração T_1 ? (d) Qual é o módulo da aceleração angular da polia? (e) Qual é o momento de inércia da polia?

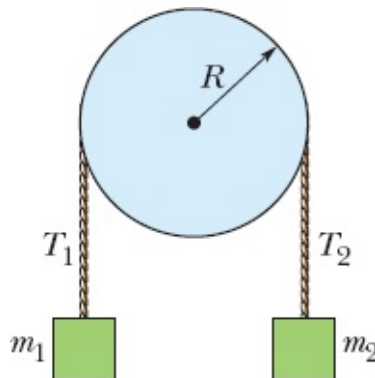


Figura 10-41 Problemas 51 e 83.

•52 Na Fig. 10-42, um cilindro com massa de 2,0 kg pode girar em torno do eixo central, que passa pelo ponto O . As forças mostradas têm os seguintes módulos: $F_1 = 6,0 \text{ N}$, $F_2 = 4,0 \text{ N}$, $F_3 = 2,0 \text{ N}$ e $F_4 = 5,0 \text{ N}$. As distâncias radiais são $r = 5,0 \text{ cm}$ e $R = 12 \text{ cm}$. Determine (a) o módulo e (b) a orientação da aceleração angular do cilindro. (Durante a rotação, as forças mantêm os mesmos ângulos em relação ao cilindro.)

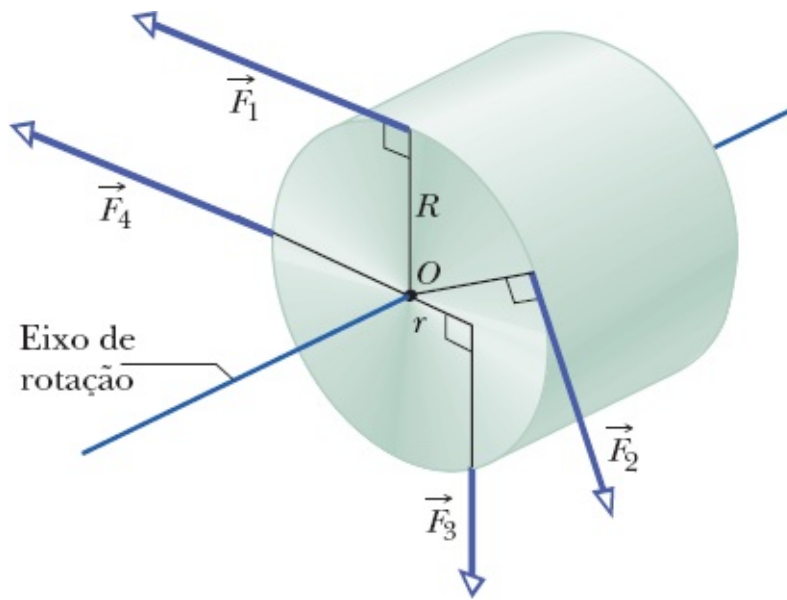


Figura 10-42 Problema 52.

••53 A Fig. 10-43 mostra um disco homogêneo que pode girar em torno do centro como um carrossel. O disco tem um raio de 2,00 cm e uma massa de 20,0 gramas e está inicialmente em repouso. A partir do instante $t = 0$, duas forças devem ser aplicadas tangencialmente à borda do disco, como mostrado na figura, para que, no instante $t = 1,25$ s, o disco tenha uma velocidade angular de 250 rad/s, no sentido anti-horário. A força $\vec{F}_1$ tem um módulo de 0,100 N. Qual é o módulo de $\vec{F}_2$?

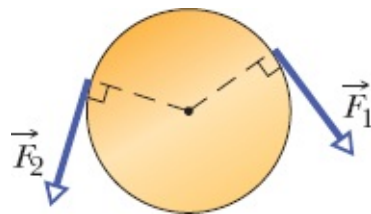


Figura 10-43 Problema 53.

••54  Em uma rasteira do judô, você tira o apoio do pé esquerdo do adversário e, ao mesmo tempo, puxa o quimono dele para o mesmo lado. Em consequência, o lutador gira em torno do pé direito e cai no tatame. A Fig. 10-44 mostra um diagrama simplificado do lutador, já com o pé esquerdo fora do chão. O eixo de rotação passa pelo ponto O. A força gravitacional $\vec{F}_g$ age sobre o centro de massa do lutador, que está a uma distância horizontal $d = 28$ cm do ponto O. A massa do lutador é de 70 kg, e o momento de inércia em relação ao ponto O é $65 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Qual é o módulo da aceleração angular inicial do lutador em relação ao ponto O se o puxão $\vec{F}_a$ que você aplica ao quimono (a) é desprezível e (b) é horizontal, com um módulo de 300 N e aplicado a uma altura $h = 1,4$ m?

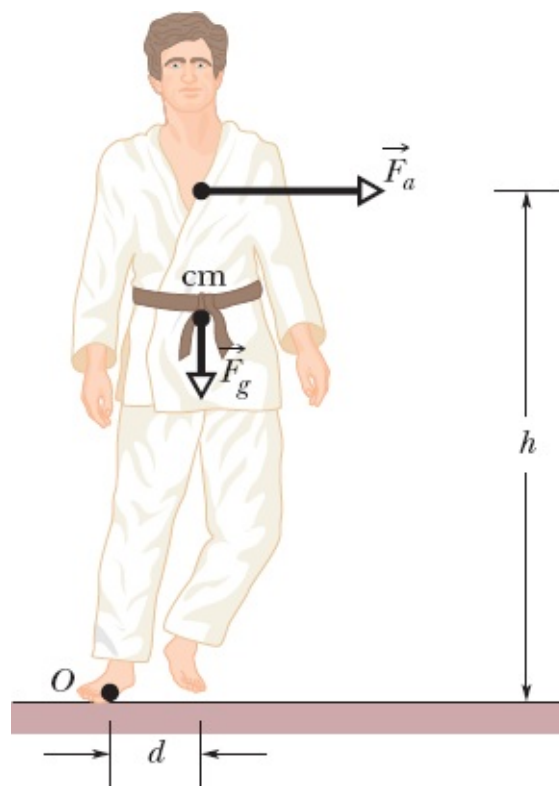
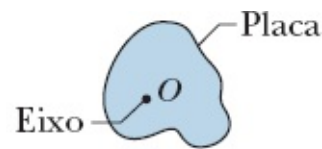
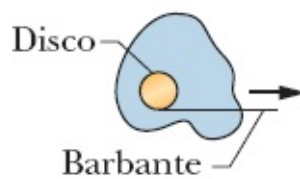


Figura 10-44 Problema 54.

••55 Na Fig. 10-45a, uma placa de plástico de forma irregular, de espessura e massa específica (massa por unidade de volume) uniformes, gira em torno de um eixo perpendicular à face da placa passando pelo ponto O . O momento de inércia da placa em torno desse eixo é medido utilizando o seguinte método: Um disco circular, de massa $0,500\text{ kg}$ e raio $2,00\text{ cm}$, é colado na placa, com o centro coincidindo com O (Fig. 10-45b). Um barbante é enrolado na borda do disco, como se o disco fosse um pião, e puxado durante $5,00\text{ s}$. Em consequência, o disco e a placa são submetidos a uma força constante de $0,400\text{ N}$, aplicada pelo barbante tangencialmente à borda do disco. A velocidade angular resultante é 114 rad/s . Qual é o momento de inércia da placa em relação ao eixo?



(a)



(b)

Figura 10-45 Problema 55.

••56 A Fig. 10-46 mostra as partículas 1 e 2, ambas de massa m , presas às extremidades de uma barra

rígida, de massa desprezível e comprimento $L_1 + L_2$, com $L_1 = 20$ cm e $L_2 = 80$ cm. A barra é mantida horizontalmente no fulcro até ser liberada. Qual é o módulo da aceleração inicial (a) da partícula 1 e (b) da partícula 2?

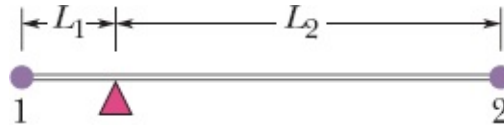


Figura 10-46 Problema 56.

••57 Uma polia, com um momento de inércia de $1,0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ em relação ao eixo e um raio de 10 cm, é submetida a uma força aplicada tangencialmente à borda. O módulo da força varia no tempo de acordo com a equação $F = 0,50t + 0,30t^2$, com F em newtons e t em segundos. A polia está inicialmente em repouso. (a) Qual é a aceleração angular e (b) qual é a velocidade angular da polia no instante $t = 3,0$ s?

Módulo 10-8 Trabalho e Energia Cinética de Rotação

•58 (a) Se $R = 12$ cm, $M = 400$ g e $m = 50$ g na Fig. 10-19, determine a velocidade do bloco após ter descido 50 cm a partir do repouso. Resolva o problema usando a lei de conservação da energia. (b) Repita o item (a) para $R = 5,0$ cm.

•59 O virabrequim de um automóvel transfere energia do motor para o eixo a uma taxa de 100 hp ($= 74,6$ kW) quando gira a 1800 rev/min. Qual é o torque (em newtons-metros) exercido pelo virabrequim?

•60 Uma barra fina, de 0,75 m de comprimento e 0,42 kg de massa, está suspensa por uma das extremidades. A barra é puxada para o lado e liberada para oscilar como um pêndulo, passando pela posição mais baixa com uma velocidade angular de 4,0 rad/s. Desprezando o atrito e a resistência do ar, determine (a) a energia cinética da barra na posição mais baixa e (b) a altura que o centro de massa atinge acima dessa posição.

•61 Uma roda de 32,0 kg, que pode ser considerada um aro fino com 1,20 m de raio, está girando a 280 rev/min. A roda precisa ser parada em 15,0 s. (a) Qual é o trabalho necessário para fazê-la parar? (b) Qual é a potência média necessária?

••62 Na Fig. 10-35, três partículas de 0,0100 kg foram coladas em uma barra, de comprimento $L = 6,00$ cm e massa desprezível, que pode girar em torno de um eixo perpendicular que passa pelo ponto O em uma das extremidades. Determine o trabalho necessário para mudar a velocidade angular (a) de 0 para 20,0 rad/s, (b) de 20,0 rad/s para 40,0 rad/s e (c) de 40,0 rad/s para 60,0 rad/s. (d) Qual é a inclinação da curva da energia cinética do conjunto (em joules) em função do quadrado da velocidade angular (em radianos quadrados por segundo ao quadrado)?

••63 Uma régua de um metro é mantida verticalmente com uma das extremidades apoiada no solo e depois liberada. Determine a velocidade da outra extremidade pouco antes de tocar o solo, supondo que a extremidade de apoio não escorrega. (Sugestão: Considere a régua uma barra fina e use a lei de conservação da energia.)

••64 Um cilindro homogêneo com 10 cm de raio e 20 kg de massa está montado de modo a poder girar livremente em torno de um eixo horizontal paralelo ao eixo central longitudinal do cilindro e situado a 5,0 cm do eixo. (a) Qual é o momento de inércia do cilindro em relação ao eixo de rotação? (b) Se o cilindro é liberado a partir do repouso com o eixo central longitudinal na mesma altura que o eixo em torno do qual pode girar, qual é a velocidade angular do cilindro ao passar pelo ponto mais baixo da trajetória?

••65  Uma chaminé cilíndrica cai quando a base sofre um abalo. Trate a chaminé como uma barra fina, com 55,0 m de comprimento. No instante em que a chaminé faz um ângulo de $35,0^\circ$ com a vertical durante a queda, (a) qual é a aceleração radial do topo e (b) qual é a aceleração tangencial do topo? (Sugestão: Use considerações de energia e não de torque.) (c) Para que ângulo θ a aceleração tangencial é igual a g ?

••66 Uma casca esférica homogênea, de massa $M = 4,5$ kg e raio $R = 8,5$ cm, pode girar em torno de um eixo vertical sem atrito (Fig. 10-47). Uma corda, de massa desprezível, está enrolada no equador da casca, passa por uma polia de momento de inércia $I = 3,0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ e raio $r = 5,0$ cm e está presa a um pequeno objeto de massa $m = 0,60$ kg. Não há atrito no eixo da polia, e a corda não escorrega na casca nem na polia. Qual é a velocidade do objeto depois de cair 82 cm após ter sido liberado a partir do repouso? Use considerações de energia.

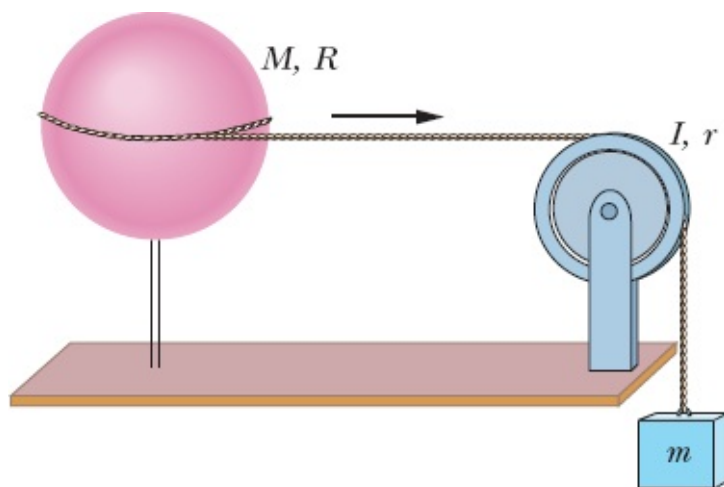


Figura 10-47 Problema 66.

••67 A Fig. 10-48 mostra um corpo rígido formado por um aro fino (de massa m e raio $R = 0,150$ m) e uma barra fina radial (de massa m e comprimento $L = 2,00R$). O conjunto está na vertical, mas, se recebe um pequeno empurrão, começa a girar em torno de um eixo horizontal no plano do aro e da barra, que passa pela extremidade inferior da barra. Desprezando a energia fornecida ao sistema pelo pequeno empurrão, qual é a velocidade angular do conjunto ao passar pela posição invertida (de cabeça para baixo)?

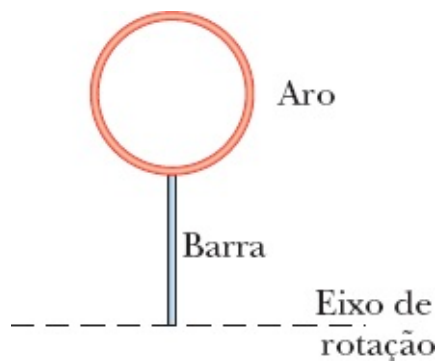


Figura 10-48 Problema

Problemas Adicionais

68 Duas esferas homogêneas, maciças, têm a mesma massa de 1,65 kg, mas o raio de uma é 0,226 m e o da outra é 0,854 m. Ambas podem girar em torno de um eixo que passa pelo centro. (a) Qual é o módulo τ do torque necessário para levar a esfera menor do repouso a uma velocidade angular de 317 rad/s em 15,5 s? (b) Qual é o módulo F da força que deve ser aplicada tangencialmente ao equador da esfera para produzir esse torque? Qual é o valor correspondente de (c) τ e (d) F para a esfera maior?

69 Na Fig. 10-49, um pequeno disco, de raio $r = 2,00$ cm, foi colado na borda de um disco maior, de raio $R = 4,00$ cm, com os discos no mesmo plano. Os discos podem girar em torno de um eixo perpendicular que passa pelo ponto O , situado no centro do disco maior. Os discos têm uma massa específica (massa por unidade de volume) uniforme de $1,40 \times 10^3$ kg/m³ e uma espessura, também uniforme, de 5,00 mm. Qual é o momento de inércia do conjunto dos dois discos em relação ao eixo de rotação que passa por O ?

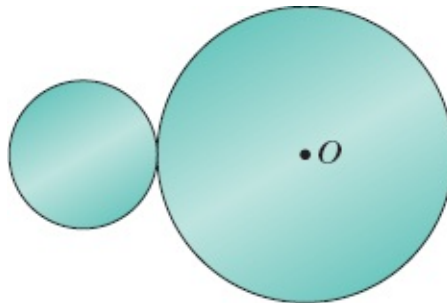


Figura 10-49 Problema 69.

70 Uma roda partiu do repouso com uma aceleração angular constante de $2,00$ rad/s². Durante certo intervalo de 3,00 s, a roda descreve um ângulo de 90,0 rad. (a) Qual era a velocidade angular da roda no início do intervalo de 3,00 s? (b) Por quanto tempo a roda girou antes do início do intervalo de 3,00 s?

71 Na Fig. 10-50, dois blocos de 6,20 kg estão ligados por uma corda, de massa desprezível, que passa por uma polia de 2,40 cm de raio e momento de inércia $7,40 \times 10^{-4}$ kg·m². A corda não escorrega na polia; não se sabe se existe atrito entre a mesa e o bloco que escorrega; não há atrito no eixo da polia. Quando o sistema é liberado a partir do repouso, a polia gira de 0,130 rad em 91,0 ms e a aceleração dos blocos é constante. Determine (a) o módulo da aceleração angular da polia, (b) o módulo da aceleração de cada bloco, (c) a tração T_1 da corda e (d) a tração T_2 da corda.

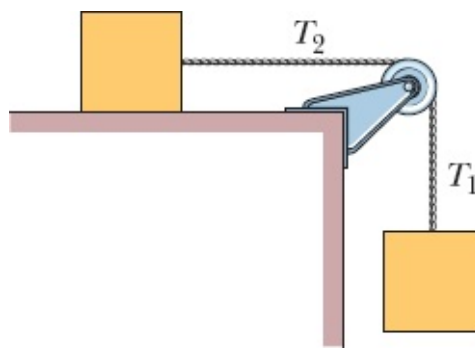


Figura 10-50 Problema 71.

72 Nas duas extremidades de uma fina barra de aço com 1,20 m de comprimento e 6,40 kg de massa existem pequenas bolas, de massa 1,06 kg. A barra pode girar em um plano horizontal em torno de um eixo vertical que passa pelo ponto médio da barra. Em certo instante, a barra está girando a 39,0 rev/s. Devido ao atrito, a barra desacelera até parar, 32,0 s depois. Supondo que o torque produzido pelo atrito é constante, calcule (a) a aceleração angular, (b) o torque produzido pelo atrito, (c) a energia transferida de energia mecânica para energia térmica pelo atrito e (d) o número de revoluções executadas pela barra nesses 32,0 s. (e) Suponha que o torque produzido pelo atrito não é constante. Se alguma das grandezas calculadas nos itens (a), (b), (c) e (d) ainda puder ser calculada sem nenhuma informação adicional, forneça o seu valor.

73 Uma pá do rotor de um helicóptero é homogênea, tem 7,80 m de comprimento, uma massa de 110 kg e está presa ao eixo do rotor por um único parafuso. (a) Qual é o módulo da força exercida pelo eixo sobre o parafuso quando o rotor está girando a 320 rev/min? (*Sugestão:* Para este cálculo, a pá pode ser considerada uma massa pontual localizada no centro de massa. Por quê?) (b) Calcule o módulo do torque que deve ser aplicado ao rotor para que atinja a velocidade angular do item anterior, a partir do repouso, em 6,70 s. Ignore a resistência do ar. (A lâmina não pode ser considerada uma massa pontual para este cálculo. Por quê? Suponha que a distribuição de massa é a de uma barra fina homogênea.) (c) Qual é o trabalho realizado pelo torque sobre a pá para que esta atinja a velocidade angular de 320 rev/min?

74 *Corrida de discos.* A Fig. 10-51 mostra dois discos que podem girar em torno do centro como um carrossel. No instante $t = 0$, as retas de referência dos dois discos têm a mesma orientação; o disco A já está girando com uma velocidade angular constante de 9,5 rad/s, e o disco B parte do repouso com uma aceleração angular constante de 2,2 rad/s². (a) Em que instante t as duas retas de referência têm o mesmo deslocamento angular θ ? (b) Esse é o primeiro instante t , desde $t = 0$, no qual as duas retas de referência estão alinhadas?

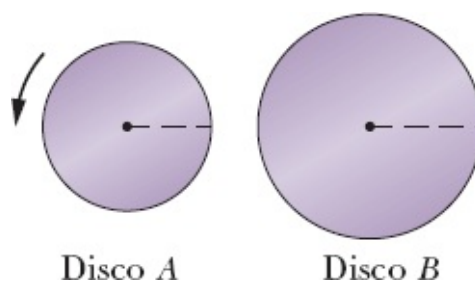


Figura 10-51 Problema 74.

75  Um equilibrista sempre procura manter seu centro de massa verticalmente acima do arame (ou corda). Para isso, ele carrega muitas vezes uma vara comprida. Quando se inclina, digamos, para a direita (deslocando o centro de massa para a direita) e corre o risco de girar em torno do arame, ele movimenta a vara para a esquerda, o que desloca o centro de massa para a esquerda e diminui a velocidade de rotação, proporcionando-lhe mais tempo para recuperar o equilíbrio. Suponha que o equilibrista tem massa de 70,0 kg e momento de inércia de 15,0 kg·m² em relação ao arame. Qual é o módulo da aceleração angular em relação ao arame se o centro de massa do equilibrista está 5,0 cm à direita do arame, e (a) o equilibrista não carrega uma vara, e (b) a vara de 14,0 kg que ele carrega é movimentada de tal forma que o centro de massa do equilibrista fica 10 cm à esquerda do arame?

76 Uma roda começa a girar a partir do repouso em $t = 0$ com aceleração angular constante. No instante $t = 2,0$ s, a velocidade angular da roda é 5,0 rad/s. A aceleração cessa abruptamente no instante $t = 20$ s. De que ângulo gira a roda no intervalo de $t = 0$ a $t = 40$ s?

77 Um prato de toca-discos, que está girando a 33 1/3 rev/min, diminui gradualmente de velocidade e para, 30 s depois que o motor é desligado. (a) Determine a aceleração angular do prato (suposta constante) em revoluções por minuto ao quadrado. (b) Quantas revoluções o prato executa até parar?

78 Um corpo rígido é formado por três barras finas iguais, de comprimento $L = 0,600$ m, unidas na forma da letra **H** (Fig. 10-52). O corpo pode girar livremente em torno de um eixo horizontal que coincide com uma das pernas do **H**. O corpo é liberado a partir do repouso em uma posição na qual o plano do **H** está na horizontal. Qual é a velocidade angular do corpo quando o plano do **H** está na vertical?

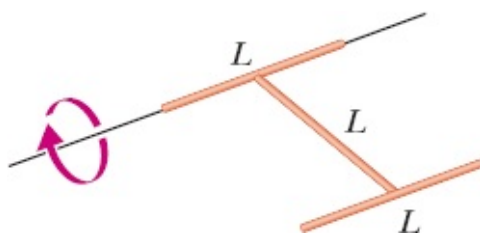


Figura 10-52 Problema 78.

79 (a) Mostre que o momento de inércia de um cilindro maciço de massa M e raio R em relação ao eixo central é igual ao momento de inércia de um aro fino de massa M e raio $R/\sqrt{2}$ em relação ao eixo central. (b) Mostre que o momento de inércia I de um corpo qualquer de massa M em relação a qualquer eixo é igual ao momento de inércia de um *aro equivalente* em torno do mesmo eixo com a mesma massa M e um raio k dado por

$$k = \sqrt{\frac{I}{M}}.$$

O raio k do aro equivalente é chamado de *raio de giração* do corpo.

80 Um disco gira, com aceleração angular constante, da posição angular $\theta_1 = 10,0$ rad até a posição angular $\theta_2 = 70,0$ rad em 6,00 s. A velocidade angular em θ_2 é 15,0 rad/s. (a) Qual era a velocidade angular em θ_1 ? (b) Qual é a aceleração angular? (c) Em que posição angular o disco estava inicialmente em repouso? (d) Plote θ em função de t e a velocidade angular ω do disco em função de t , a partir do início do movimento ($t = 0$).

81 A barra fina e homogênea da Fig. 10-53 tem 2,0 m de comprimento e pode girar, sem atrito, em torno de um pino horizontal que passa por uma das extremidades. A barra é liberada a partir do repouso e de um ângulo $\theta = 40^\circ$ acima da horizontal. Use a lei de conservação da energia para determinar a velocidade angular da barra ao passar pela posição horizontal.

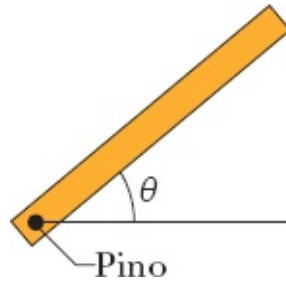


Figura 10-53 Problema 81.

82  George Washington Gale Ferris, Jr., um engenheiro civil formado pelo Instituto Politécnico Rensselaer, construiu a primeira roda-gigante para a Exposição Mundial Colombiana de 1893, em Chicago. A roda, uma impressionante obra da engenharia para a época, movimentava 36 cabinas de madeira, cada uma com capacidade para 60 passageiros, ao longo de uma circunferência com 76 m de diâmetro. As cabinas eram carregadas 6 de cada vez; quando as 36 cabinas estavam ocupadas, a roda executava uma revolução completa, com velocidade angular constante, em cerca de 2 min. Estime o trabalho que a máquina precisava realizar apenas para mover os passageiros.

83 Na Fig. 10-41, dois blocos, de massas $m_1 = 400$ g e $m_2 = 600$ g, estão ligados por uma corda, de massa desprezível, que está enrolada na borda de um disco homogêneo, de massa $M = 500$ g e raio $R = 12,0$ cm. O disco pode girar sem atrito em torno de um eixo horizontal que passa pelo centro; a corda não desliza na borda do disco. O sistema é liberado a partir do repouso. Determine (a) o módulo da aceleração dos blocos, (b) a tração T_1 da corda da esquerda e (c) a tração T_2 da corda da direita.

84  Às 7h14min de 30 de junho de 1908, uma enorme explosão aconteceu na atmosfera sobre a Sibéria Central, na latitude 61° N e longitude 102° E; a bola de fogo criada pela explosão foi o objeto mais brilhante visto na Terra antes das armas nucleares. O chamado *Evento de Tunguska*, que, de acordo com uma testemunha, “cobriu uma parte enorme do céu”, foi provavelmente a explosão de um *asteroide rochoso* de aproximadamente 140 m de diâmetro. (a) Considerando apenas a rotação da Terra, determine quanto tempo depois o asteroide teria que chegar à Terra para explodir acima de Helsinki, na longitude 25° E, o que destruiria totalmente a cidade. (b) Se o asteroide fosse um *asteroide metálico*, poderia ter chegado à superfície da Terra. Quanto tempo depois o asteroide teria que chegar à Terra para que o

choque ocorresse no Oceano Atlântico, na longitude 20° W? (O tsunami resultante destruiria cidades costeiras dos dois lados do Atlântico.)

85 Uma bola de golfe é lançada com um ângulo de 20° em relação à horizontal, uma velocidade de 60 m/s e uma velocidade angular de 90 rad/s. Desprezando a resistência do ar, determine o número de revoluções que a bola executa até o instante em que atinge a altura máxima.

86 A Fig. 10-54 mostra um objeto plano formado por dois anéis circulares que têm um centro comum e são mantidos fixos por três barras, de massa desprezível. O objeto, que está inicialmente em repouso, pode girar (como um carrossel) em torno do centro comum, onde se encontra outra barra, de massa desprezível. As massas, os raios internos e os raios externos dos anéis aparecem na tabela a seguir. Uma força tangencial de módulo 12,0 N é aplicada à borda externa do anel externo por 0,300 s. Qual é a variação na velocidade angular do objeto nesse intervalo de tempo?

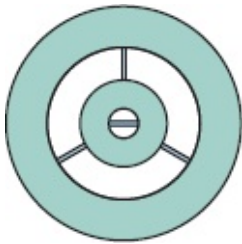


Figura 10-54 Problema 86.

Anel	Massa (kg)	Raio Interno (m)	Raio Externo (m)
1	0,120	0,0160	0,0450
2	0,240	0,0900	0,1400

87 Na Fig. 10-55, uma roda com 0,20 m de raio é montada em um eixo horizontal sem atrito. Uma corda, de massa desprezível, é enrolada na roda e presa a uma caixa de 2,0 kg que escorrega em uma superfície sem atrito com uma inclinação $\theta = 20^\circ$ em relação à horizontal. A caixa escorrega para baixo com uma aceleração de 2,0 m/s². Qual é o momento de inércia da roda em relação ao eixo?

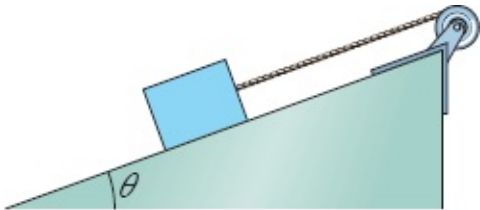


Figura 10-55 Problema 87.

88 Uma casca esférica, fina, tem um raio de 1,90 m. Um torque aplicado de 960 N · m produz uma aceleração angular de 6,20 rad/s² em relação a um eixo que passa pelo centro da casca. (a) Qual é o momento de inércia da casca em relação a esse eixo e (b) qual é a massa da casca?

89 Um ciclista de 70 kg apoia toda a sua massa em cada movimento para baixo do pedal enquanto pedala em uma estrada íngreme. Supondo que o diâmetro da circunferência descrita pelo pedal é 0,40 m, determine o módulo do torque máximo exercido pelo ciclista em relação ao eixo de rotação dos pedais.

90 O volante de um motor está girando a 25,0 rad/s. Quando o motor é desligado, o volante desacelera a uma taxa constante e para, em 20,0 s. Calcule (a) a aceleração angular do volante, (b) o ângulo descrito pelo volante até parar e (c) o número de revoluções do volante até parar.

91 Na Fig. 10-19a, uma roda com 0,20 m de raio está montada em um eixo horizontal sem atrito. O momento de inércia da roda em relação ao eixo é $0,40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Uma corda, de massa desprezível, enrolada na borda da roda, está presa a uma caixa de 6,0 kg. O sistema é liberado a partir do repouso. Quando a caixa tem uma energia cinética de 6,0 J, qual é (a) a energia cinética de rotação da roda e (b) qual a distância percorrida pela caixa?

92 O Sol está a $2,3 \times 10^4$ anos-luz do centro da Via Láctea e descreve uma circunferência em torno do centro a uma velocidade de 250 km/s. (a) Quanto tempo leva o Sol para executar uma revolução em torno do centro da galáxia? (b) Quantas revoluções o Sol completou desde que se formou, há cerca de $4,5 \times 10^9$ anos?

93 Uma roda com 0,20 m de raio está montada em um eixo horizontal sem atrito. O momento de inércia da roda em relação ao eixo é $0,050 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Uma corda, de massa desprezível, está enrolada na roda e presa a um bloco de 2,0 kg que escorrega em uma superfície horizontal sem atrito. Se uma força horizontal de módulo $P = 3,0 \text{ N}$ é aplicada ao bloco, como na Fig. 10-56, qual é o módulo da aceleração angular da roda? Suponha que a corda não desliza em relação à roda.

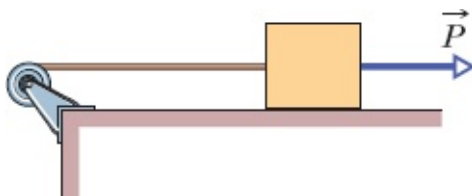


Figura 10-56 Problema 93.

94 Se a hélice de um avião gira a 2000 rev/min quando o avião voa a uma velocidade de 480 km/h em relação ao solo, qual é a velocidade linear de um ponto na ponta da hélice, a 1,5 m de distância do eixo, em relação (a) ao piloto e (b) a um observador no solo? A velocidade do avião é paralela ao eixo de rotação da hélice.

95 O corpo rígido mostrado na Fig. 10-57 é formado por três partículas ligadas por barras, de massa desprezível. O corpo gira em torno de um eixo perpendicular ao plano das três partículas que passa pelo ponto P. Se $M = 0,40 \text{ kg}$, $a = 30 \text{ cm}$ e $b = 50 \text{ cm}$, qual é o trabalho necessário para levar o corpo do repouso até a velocidade angular de 5,0 rad/s?

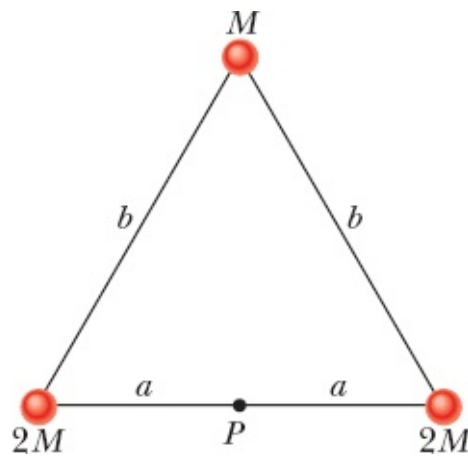


Figura 10-57 Problema 95.

96 Engenharia de embalagens. A tampa com um anel de puxar foi um grande avanço na engenharia das latas de bebida. O anel gira em torno de um pino situado no centro da tampa. Quando um dos lados do anel é puxado para cima, o outro lado empurra para baixo uma parte da tampa que foi riscada. Se você puxa o anel para cima com uma força de 10 N, qual é, aproximadamente, o módulo da força aplicada à parte riscada da tampa? (*Sugestão:* Examine uma lata de verdade.)

97 A Fig. 10-58 mostra uma pá de hélice que gira a 2000 rev/min em torno de um eixo perpendicular que passa pelo ponto *B*. O ponto *A* está na outra extremidade da pá, a uma distância de 1,50 m. (a) Qual é a diferença entre o módulo da aceleração centrípeta α do ponto *A* e o módulo da aceleração centrípeta de um ponto situado a 0,150 m de distância do eixo? (b) Determine a inclinação do gráfico de α em função da distância ao longo da pá.

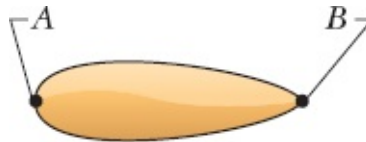


Figura 10-58 Problema 97.

98 Um mecanismo em forma de ioiô, montado em um eixo horizontal sem atrito, é usado para levantar uma caixa de 30 kg, como mostra a Fig. 10-59. O raio externo R da roda é 0,50 m e o raio r do cubo da roda é 0,20 m. Quando uma força horizontal $\vec{F}$ constante de módulo 140 N é aplicada a uma corda enrolada na roda, a caixa, que está pendurada em uma corda enrolada no cubo, tem uma aceleração para cima de módulo $0,80 \text{ m/s}^2$. Qual é o momento de inércia do mecanismo em relação ao eixo de rotação?

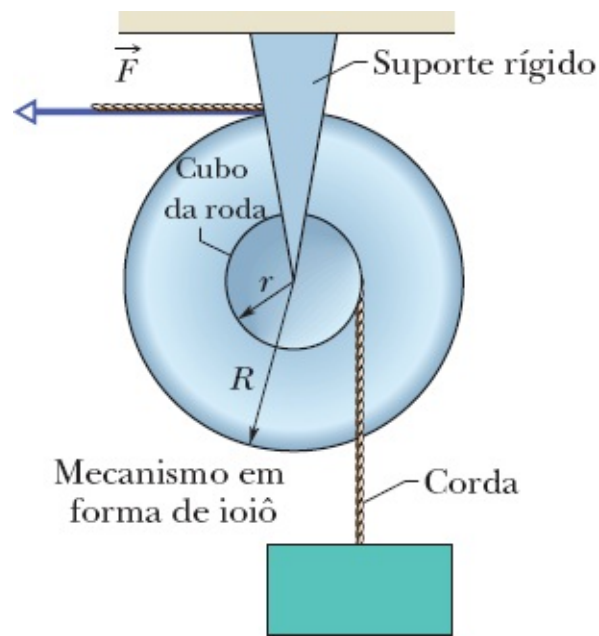


Figura 10-59 Problema 98.

99 Uma pequena bola com massa de 1,30 kg está montada em uma das extremidades de uma barra de 0,780 m de comprimento e massa desprezível. O sistema gira em um círculo horizontal em torno da outra extremidade da barra a 5010 rev/min. (a) Calcule o momento de inércia do sistema em relação ao eixo de rotação. (b) Existe uma força de arrasto de $2,30 \times 10^{-2}$ N agindo sobre a bola, no sentido oposto ao do movimento. Que torque deve ser aplicado ao sistema para mantê-lo em rotação com velocidade constante?

100 Duas barras finas (com uma massa de 0,20 kg cada uma) estão unidas para formar um corpo rígido, como mostra a Fig. 10-60. Uma das barras tem comprimento $L_1 = 0,40$ m e a outra tem comprimento $L_2 = 0,50$ m. Qual é o momento de inércia desse corpo rígido em relação (a) a um eixo perpendicular ao plano do papel passando pelo centro da barra menor e (b) a um eixo perpendicular ao plano do papel passando pelo centro da barra maior?

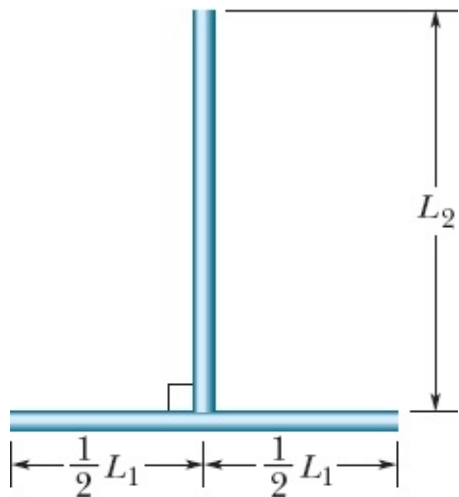


Figura 10-60 Problema 100.

101 Na Fig. 10-61, quatro polias estão ligadas por duas correias. A polia A (com 15 cm de raio) é a polia

motriz e gira a 10 rad/s . A polia B (com 10 cm de raio) está ligada à polia A pela correia 1. A polia B' (com 5 cm de raio) é concêntrica com a polia B e está rigidamente ligada a ela. A polia C (com 25 cm de raio) está ligada à polia B' pela correia 2. Calcule (a) a velocidade linear de um ponto da correia 1, (b) a velocidade angular da polia B , (c) a velocidade angular da polia B' , (d) a velocidade linear de um ponto da correia 2 e (e) a velocidade angular da polia C . (*Sugestão: Se a correia entre duas polias não desliza, as velocidades lineares das bordas das duas polias são iguais.*)

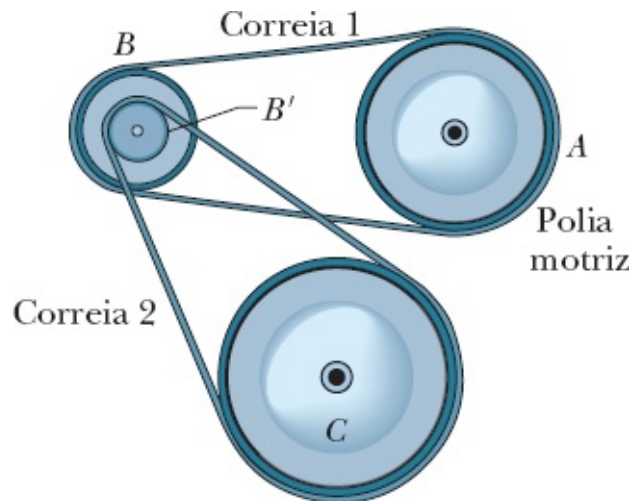


Figura 10-61 Problema 101.

102 O corpo rígido da Fig. 10-62 é formado por três bolas e três barras de ligação, com $M = 1,6 \text{ kg}$, $L = 0,60 \text{ m}$ e $\theta = 30^\circ$. As bolas podem ser tratadas como partículas, e as barras têm massa desprezível. Determine a energia cinética de rotação do corpo se a velocidade angular é $1,2 \text{ rad/s}$ em relação (a) a um eixo que passa pelo ponto P e é perpendicular ao plano do papel e (b) a um eixo que passa pelo ponto P , é perpendicular à barra de comprimento $2L$ e está no plano do papel.

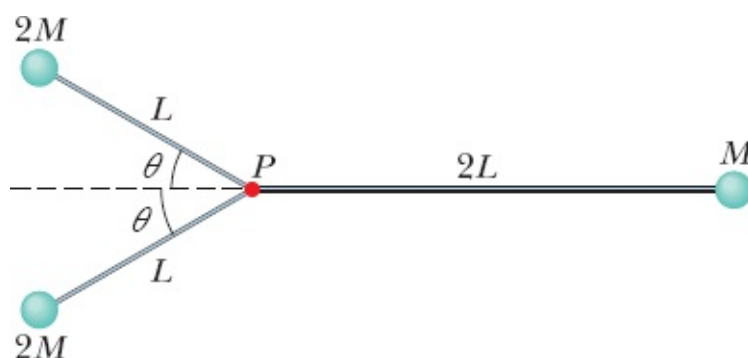


Figura 10-62 Problema 102.

103 Na Fig. 10-63, uma barra fina e homogênea (com $4,0 \text{ m}$ de comprimento e $3,0 \text{ kg}$ de massa) gira livremente em torno de um eixo horizontal A que é perpendicular à barra e passa por um ponto situado a uma distância $d = 1,0 \text{ m}$ da extremidade da barra. A energia cinética da barra ao passar pela posição vertical é 20 J . (a) Qual é o momento de inércia da barra em relação ao eixo A ? (b) Qual é a velocidade (linear) da extremidade B da barra ao passar pela posição vertical? (c) Qual é o ângulo θ no momento em que a barra para momentaneamente, depois de passar pela posição vertical?

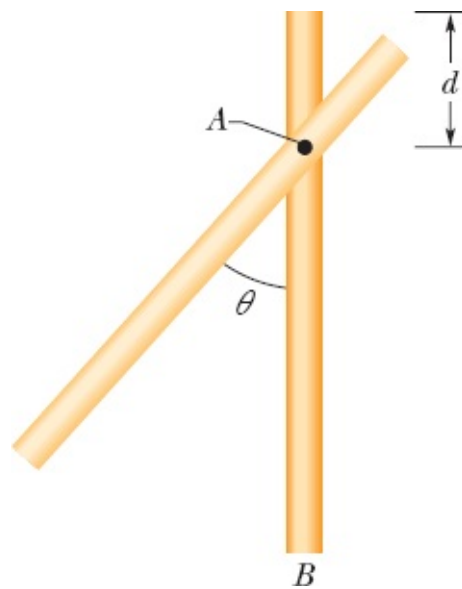


Figura 10-63 Problema 103.

104 Quatro partículas, com 0,20 kg de massa, ocupam os vértices de um quadrado com 0,50 m de lado. As partículas estão ligadas por barras, de massa desprezível. Esse corpo rígido pode girar em um plano vertical em torno de um eixo horizontal A que passa por uma das partículas. O corpo é liberado a partir do repouso com a barra AB na horizontal, como mostra a Fig. 10-64. (a) Qual é o momento de inércia do corpo em relação ao eixo A? (b) Qual é a velocidade angular do corpo em relação ao eixo A no instante em que a barra AB passa pela posição vertical?

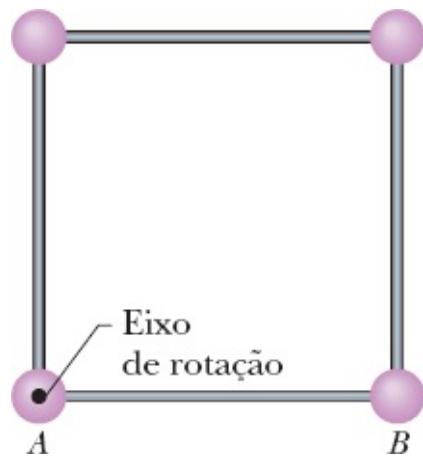


Figura 10-64 Problema 104.

105 Existem relatos de guepardos correndo à velocidade impressionante de 114 km/h, feitos por observadores que dirigiam ao lado desses animais. Imagine o que é tentar medir a velocidade de um guepardo mantendo um jipe emparelhado com o animal e ao mesmo tempo olhando de soslaio para um velocímetro que registra 114 km/h. Você conserva o veículo a uma distância constante de 8,0 m do guepardo, mas o barulho do motor faz com que o guepardo se afaste continuamente ao longo de uma trajetória circular com 92 m de raio. Assim, você é forçado a seguir uma trajetória circular com 100 m de raio. (a) Qual é a velocidade angular (sua e do guepardo) ao longo das trajetórias circulares? (b) Qual é a velocidade linear do guepardo? (Se você não levasse em consideração o movimento circular,

concluiria erroneamente que a velocidade do guepardo era 114 km/h. Aparentemente, esse tipo de erro foi cometido nos relatos publicados.)

106 Um ponto da borda de um rebole com 0,75 m de diâmetro muda de velocidade, a uma taxa constante, de 12 m/s para 25 m/s em 6,2 s. Qual é a aceleração angular média do rebole?

107 Uma polia com 8,0 cm de diâmetro tem uma corda de 5,6 m de comprimento enrolada na borda. Partindo do repouso, a roldana recebe uma aceleração angular constante de $1,5 \text{ rad/s}^2$. (a) Que ângulo a roldana deve descrever para que a corda desenrole totalmente? (b) Quanto tempo isso leva para acontecer?

108 Um disco de vinil gira a $33 \frac{1}{3} \text{ rev/min}$ no prato de um toca-discos. (a) Qual é a velocidade angular do disco em radianos por segundo? Qual é a velocidade linear em um ponto do disco (b) a 15 cm e (c) a 7,4 cm do centro do disco?