GABARITO 9ª Lista de Exercícios Física I Rotação (10 Edição Halliday)

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.

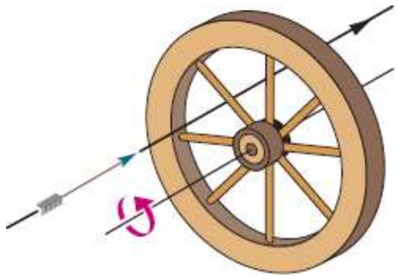
5. De acordo com as equações do movimento uniformemente acelerado, discutidas no Capítulo 2, o tempo que o mergulhador leva para chegar à água é

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(10 \text{ m})}{9{,}8 \text{ m/s}^2}} = 1{,}4 \text{ s}.$$

Nesse caso, de acordo com a Eq. 10-5, o módulo da velocidade angular média do mergulhador é

$$\omega_{\text{méd}} = \frac{(2{,}5 \text{ rev})(2\pi \text{ rad/rev})}{1{,}4 \text{ s}} = 11 \text{ rad/s}.$$

7 A roda da figura 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?



7. (a) Para não se chocar com os raios, a flecha deve passar pela roda em um tempo menor que

$$\Delta t = \frac{(1/8)\text{ rev}}{2{,}5\text{ rev/s}} = 0{,}050\text{ s}.$$

A velocidade mínima da flecha é, portanto,

$$v_{\text{mín}} = \frac{20\text{ cm}}{0{,}050\text{ s}} = 400\,\text{cm/s} = 4{,}0\text{ m/s}.$$

(b) Não; o cálculo do item (a) não envolve a posição radial do ponto por onde a flecha passa.

8 A aceleração angular de uma roda é $\alpha = 6,0\ t^4 - 4,0\ t^2$, 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).

8. (a) Integrando em relação ao tempo a expressão dada para a aceleração e levando em conta que a velocidade inicial é 2,0 rad/s, obtemos:

$$\omega = 1,2\ t^5 - 1,33\ t^3 + 2,0.$$

(b) Integrando novamente e levando em conta que a posição angular inicial é 1 rad, obtemos;

$$\theta = 0,20t^6 - 0,33\ t^4 + 2,0\ t + 1,0.$$

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?

13. Sabemos que $\omega_0 = 1{,}5$ rad/s $= 0{,}239$ rev/s no instante $t = 0$ e que $\alpha < 0$, já que a roda desacelera até parar. Vamos chamar de t_1 o instante em que o deslocamento angular é $\theta_1 = 20$ rev e de t_2 o instante em que o deslocamento angular é $\theta_2 = 40$ rev e a velocidade angular é $\omega_2 = 0$.

(a) Podemos calcular t_2 a partir da Eq. 10-15:

$$\theta_2 = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega_2)t_2 \;\Rightarrow\; t_2 = \frac{2(40 \text{ rev})}{0{,}239 \text{ rev/s}} = 335 \text{ s},$$

que arredondamos para $t_2 = 3{,}4 \times 10^2$ s.

(b) Qualquer equação da Tabela 10-1 que envolva α pode ser usada para calcular a aceleração angular; escolhemos a Eq. 10-16.

$$\theta_2 = \omega_2 t_2 - \frac{1}{2}\alpha t_2^2 \;\Rightarrow\; \alpha = -\frac{2(40 \text{ rev})}{(335 \text{ s})^2} = -7{,}12 \times 10^{-4} \text{ rev/s}^2$$

que convertemos para $\alpha = -4{,}5 \times 10^{-3}$ rad/s^2.

(c) Usando $\theta_1 = \omega_0 t_1 + \frac{1}{2}\alpha t_1^2$ (Eq. 10-13) e resolvendo a equação do segundo grau, obtemos:

$$t_1 = \frac{-\omega_0 \pm \sqrt{\omega_0^2 + 2\theta_1\alpha}}{\alpha} = \frac{-(0{,}239 \text{ rev/s}) \pm \sqrt{(0{,}239 \text{ rev/s})^2 + 2(20 \text{ rev})(-7{,}12 \times 10^{-4} \text{ rev/s}^2)}}{-7{,}12 \times 10^{-4} \text{ rev/s}^2}$$

que nos dá duas raízes positivas: 98 s e 572 s. Como a solução faz sentido apenas se $t_1 < t_2$, concluímos que a resposta correta é $t_1 = 98$ s.

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 s que está aumentando a uma taxa de $1{,}26 \times 10^{-5}$ 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.

(a) Como uma revolução completa corresponde a um deslocamento angular $\Delta\theta = 2\pi$ rad, a velocidade angular em rad/s é dada por $\omega = \Delta\theta/T = 2\pi/T$ e a aceleração angular é dada por

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{2\pi}{T^2}\frac{dT}{dt}.$$

No caso do pulsar descrito no problema, temos:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1{,}26\times10^{-5}\text{ s/ano}}{3{,}16\times10^{7}\text{ s/ano}} = 4{,}00\times10^{-13}.$$

Assim,

$$\alpha = -\left[\frac{2\pi}{(0{,}033\text{ s})^2}\right](4{,}00\times10^{-13}) = -2{,}3\times10^{-9}\text{ rad/s}^2.$$

O sinal negativo mostra que a aceleração angular tem o sentido contrário ao da velocidade angular e, portanto, que a velocidade angular do pulsar está diminuindo.

(b) Fazendo $\omega = 0$ na equação $\omega = \omega_0 + \alpha t$, obtemos:

$$t = -\frac{\omega_0}{\alpha} = -\frac{2\pi}{\alpha T} = -\frac{2\pi}{(-2{,}3\times10^{-9}\text{ rad/s}^2)(0{,}033\text{ s})} = 8{,}3\times10^{10}\text{ s} = 2{,}6\times10^{3}\text{anos}.$$

(c) O pulsar foi criado há 2012 − 1054 = 958 anos, o que equivale a (958 anos)($3{,}16 \times 10^7$ s/ano) = $3{,}03 \times 10^{10}$ s. A velocidade angular quando o pulsar foi criado era

$$\omega_0 = \omega - \alpha t + = \frac{2\pi}{T} - \alpha t = \frac{2\pi}{0{,}033\text{ s}} + (-2{,}3\times10^{-9}\text{ rad/s}^2)(-3{,}03\times10^{10}\text{ s}) = 260\text{ rad/s}.$$

O período era

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{260\text{ rad/s}} = 2{,}4\times10^{-2}\text{ s}.$$

22 Um astronauta está sendo testado em uma centrífuga com 10 m de raio que gira de acordo com a equação $\theta = 0{,}30\ t^2$, 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?

22. (a) De acordo com a Eq. 10-6, a velocidade angular no instante $t = 5{,}0$ s é

$$\omega = \left.\frac{d\theta}{dt}\right|_{t=5,0} = \left.\frac{d}{dt}(0{,}30t^2)\right|_{t=5,0} = 2(0{,}30)(5{,}0) = 3{,}0 \text{ rad/s}.$$

(b) De acordo com a Eq. 10-18, a velocidade linear no instante $t = 5{,}0$ é

$$v = \omega r = (3{,}0 \text{ rad/s})(10 \text{ m}) = 30 \text{ m/s}.$$

(c) De acordo a Eq. 10-8, a aceleração angular é

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}(0{,}60t) = 0{,}60 \text{ rad/s}^2.$$

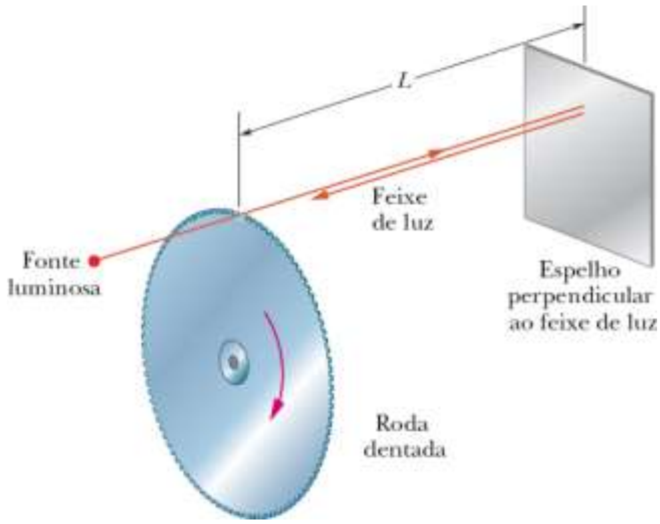
Assim, de acordo com a Eq. 10-22, a aceleração tangencial é

$$a_t = r\alpha = (10 \text{ m})(0{,}60 \text{ rad/s}^2) = 6{,}0 \text{ m/s}^2.$$

(d) De acordo com a Eq. 10-23, a aceleração radial é

$$a_r = \omega^2 r = (3{,}0 \text{ rad/s})^2(10 \text{ m}) = 90 \text{ m/s}.$$

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 figura, 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 × 10⁵ 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?



29. (a) No tempo que a luz leva para ir da roda ao espelho e voltar à roda, a roda gira um ângulo $\theta = 2\pi/500 = 1{,}26 \times 10^{-2}$ rad. Esse tempo é

$$t = \frac{2L}{c} = \frac{2(500\text{ m})}{2{,}998 \times 10^8\text{ m/s}} = 3{,}34 \times 10^{-6}\text{ s}$$

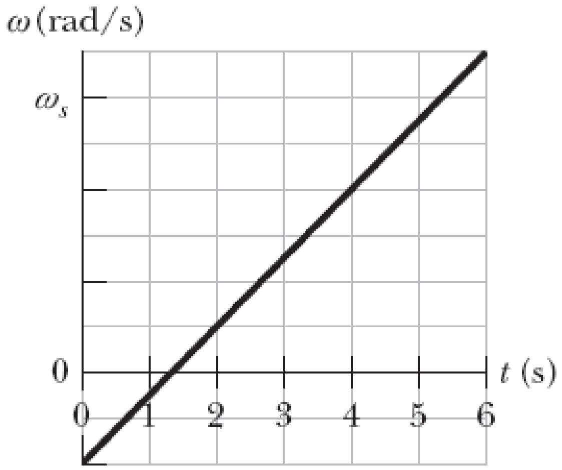
e, portanto, a velocidade angular da roda é

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{1{,}26 \times 10^{-2}\text{ rad}}{3{,}34 \times 10^{-6}\text{ s}} = 3{,}8 \times 10^3\text{ rad/s}.$$

(b) Se r é o raio da roda, a velocidade linear de um ponto da borda é

$$v = \omega r = \left(3{,}8 \times 10^3\text{ rad/s}\right)\left(0{,}050\text{ m}\right) = 1{,}9 \times 10^2\text{ m/s}.$$

34 **A figura 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 ω_s = 6,0 rad/s. (a) Qual é o módulo da aceleração angular da barra? (b) Em t = 4,0 s, a barra tem uma energia cinética de 1,60 J. Qual é a energia cinética da barra em t = 0?**



34. (a) De acordo com a Eq. 10-12, o módulo da aceleração angular, α, é a inclinação do gráfico de ω em função de t. Assim, $\alpha = 9/6 = 1{,}5$ rad/s².

(b) De acordo com a Eq. 10-34, a energia cinética de rotação K é proporcional a ω^2. Como a velocidade angular no instante $t = 0$ é -2 rad/s e a velocidade angular no instante $t = 4$ s é 4 rad/s, a razão entre as energias cinéticas nesses dois instantes é

$$\frac{K_0}{K_4} = \frac{4}{16} \quad \Rightarrow \quad K_0 = \frac{K_4}{4} = 0{,}40 \text{ J}.$$

39 Alguns caminhões utilizam a energia armazenada em um volante que um motor elétrico acelera até uma velocidade de 200π 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?

39. (a) De acordo com a Tabela 10-2(c) e a Eq. 10-34, a energia cinética de rotação é

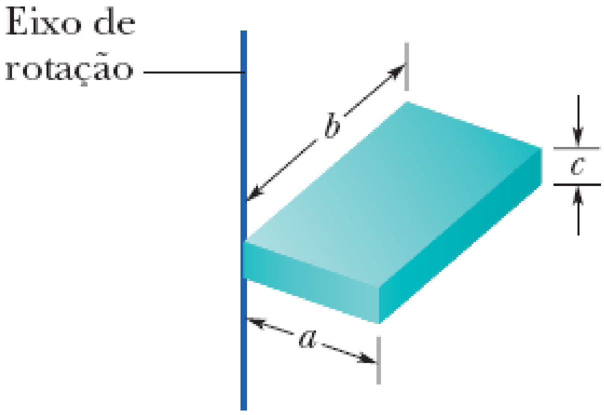
$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\omega^2 = \frac{1}{4}(500\text{kg})(200\pi \text{ rad/s})^2(1,0\text{m})^2 = 4,9\times10^7\text{ J}.$$

(b) Usando a equação $P = K/t$, na qual P é a potência média, temos:

$$t = \frac{K}{P} = \frac{4,9\times10^7\text{ J}}{8,0\times10^3\text{ W}} = 6,2\times10^3\text{ s},$$

o que corresponde a aproximadamente 1 h 40 min.

44 O bloco homogêneo da figura tem massa 0,172 kg e lados a = 3,5 cm, b = 8,4 cm e c = 1,4 cm. Calcule o momento de inércia do bloco em relação a um eixo que passa por um canto e é perpendicular às faces maiores.



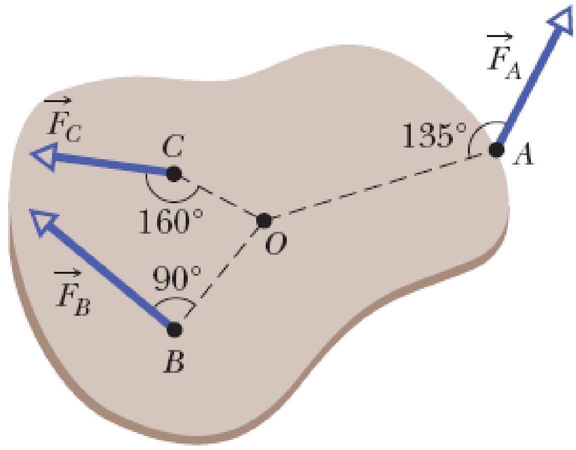
Como o eixo de rotação não passa pelo centro do bloco, usamos o teorema dos eixos paralelos para calcular o momento de inércia. De acordo com a Tabela 10-2(i), o momento de inércia de um bloco homogêneo em relação a um eixo que passa pelo centro e é perpendicular às faces maiores é dado por $I_{CM} = \frac{M}{12}(a^2 + b^2)$. Um eixo paralelo que passa por um canto está a uma distância $h = \sqrt{(a/2)^2 + (b/2)^2}$ do centro. Assim,

$$I = I_{CM} + Mh^2 = \frac{M}{12}(a^2 + b^2) + \frac{M}{4}(a^2 + b^2) = \frac{M}{3}(a^2 + b^2).$$

Fazendo $M = 0{,}172$ kg, $a = 3{,}5$ cm e $b = 8{,}4$ cm, temos:

$$I = \frac{M}{3}(a^2 + b^2) = \frac{0{,}172 \text{ kg}}{3}[(0{,}035 \text{ m})^2 + (0{,}084 \text{ m})^2] = 4{,}7 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

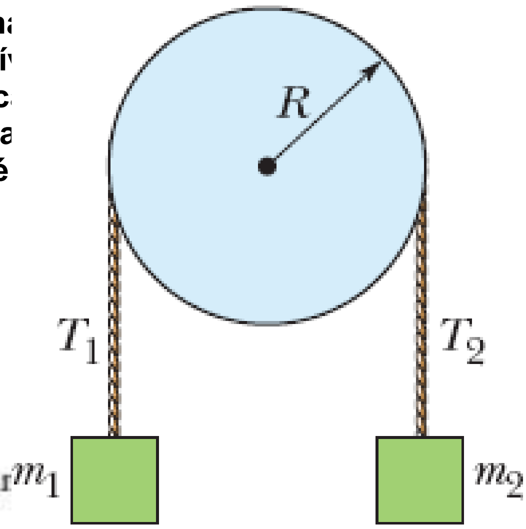
46 O corpo da figura pode girar em torno de um eixo que passa por O e é perpendicular ao papel e está submetido a três forças: F_A = 10 N no ponto A, a 8,0 m de O; F_B = 16 N em B, a 4,0 m de O; e F_C = 19 N em C, a 3,0 m de O. Qual é o torque resultante em relação a O?



46. O torque resultante é

$$\begin{aligned}\tau &= \tau_A + \tau_B + \tau_C = F_A r_A \operatorname{sen}\phi_A - F_B r_B \operatorname{sen}\phi_B + F_C r_C \operatorname{sen}\phi_C \\ &= (10)(8,0)\operatorname{sen}135^\circ - (16)(4,0)\operatorname{sen}90^\circ + (19)(3,0)\operatorname{sen}160^\circ \\ &= 12\ \mathrm{N \cdot m}.\end{aligned}$$

51 **Na figura, o bloco 1 tem massa m_1 = 460 g, o bloco 2 tem ma que está montada em um eixo horizontal com atrito desprezí Quando o sistema é liberado a partir do repouso, o bloco 2 c que a corda deslize na borda da polia. (a) Qual é o módulo da Qual é o valor (b) da tração T_2 e (c) da tração T_1? (d) Qual é angular da polia? (e) Qual é o momento de inércia da polia?**



51. (a) Tomando o sentido para baixo como positivo e chamar a coordenada y do bloco 2 é dada por $y = at^2/2$ e, portanto,

$$\alpha = \frac{2y}{t^2} = \frac{2(0{,}750\text{ m})}{(5{,}00\text{ s})^2} = 6{,}00 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2.$$

A aceleração do bloco 1 é $6{,}00 \times 10^{-2}$ m/s² para cima.

(b) Aplicando a Segunda Lei de Newton ao bloco 2, obtemos a equação $m_2 g - T_2 = m_2 a$, em que m_2 é a massa do bloco 2 e T_2 é a tensão a que o bloco 2 está submetido. Assim,

$$T_2 = m_2(g - a) = (0{,}500\text{ kg})\left(9{,}8\text{ m/s}^2 - 6{,}00 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2\right) = 4{,}87\text{ N}.$$

(c) Aplicando a Segunda Lei de Newton ao bloco 1, obtemos a equação $m_1 g - T_1 = -m_1 a$, em que m_1 é a massa do bloco 1 e T_1 é a tensão a que o bloco 1 está submetido. Assim,

$$T_1 = m_1(g + a) = (0{,}460\text{ kg})\left(9{,}8\text{ m/s}^2 + 6{,}00 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2\right) = 4{,}54\text{ N}.$$

(d) Como a aceleração tangencial de um ponto situado na borda da polia é igual à aceleração dos blocos,

$$\alpha = \frac{a}{R} = \frac{6{,}00 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2}{5{,}00 \times 10^{-2}\text{ m}} = 1{,}20\text{ rad/s}^2.$$

(e) O torque resultante que age sobre a polia é $\tau = (T_2 - T_1)R$. Igualando a $I\alpha$ e explicitando o momento de inércia, obtemos:

$$I = \frac{(T_2 - T_1)R}{\alpha} = \frac{(4{,}87\text{ N} - 4{,}54\text{ N})(5{,}00 \times 10^{-2}\text{ m})}{1{,}20\text{ rad/s}^2} = 1{,}38 \times 10^{-2}\text{ kg}\cdot\text{m}^2.$$

57 Uma polia de raio 10 cm, com um momento de inércia de $1{,}0 \times 10^{-3}$ kg·m² em relação ao eixo é submetida a uma força aplicada tangencialmente à borda. O módulo da força varia no tempo de acordo com a equação $F = 0{,}50\,t + 0{,}30\,t^2$, 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?

57. Como a força é aplicada tangencialmente a uma distância $r = 0{,}10$ m do eixo, a aceleração angular (supostamente positiva) é

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{Fr}{I} = \frac{(0{,}5t + 0{,}3t^2)(0{,}10)}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 50t + 30t^2$$

em unidades do SI (rad/s²).

(a) Para o instante $t = 3$ s, a expressão acima nos dá $\alpha = 4{,}2 \times 10^2$ rad/s².

(b) Integrando a expressão acima e levando em conta o fato de que $\omega_0 = 0$, obtemos a velocidade angular da polia no instante $t = 3$ s:

$$\omega = \int_0^3 \alpha\, dt = \left(25t^2 + 10t^3\right)\Big|_0^3 = 5{,}0 \times 10^2 \text{ rad/s}.$$

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?

59. Aplicamos a Eq. 10-55 com $\omega = (1800)(2\pi/60) = 188{,}5$ rad/s:

$$P = \tau\omega \quad \Rightarrow \quad \tau = \frac{74.600 \text{ W}}{188{,}5 \text{ rad/s}} = 396 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

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.)

63. Vamos chamar de ℓ o comprimento da régua. Como o centro de massa está a uma distância $\ell/2$ das extremidades, a energia potencial inicial da régua é $\frac{1}{2}mg\ell$, sendo m a massa da régua. A energia cinética inicial é zero. A energia potencial final é zero e a energia cinética final é $\frac{1}{2}I\omega^2$, em que I é o momento de inércia da régua em relação a um eixo que passa por uma das extremidades e ω é a velocidade angular no momento em que a extremidade superior atinge o solo. De acordo com a lei de conservação da energia, temos:

$$\frac{1}{2}mg\ell = \frac{1}{2}I\omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{mg\ell}{I}}.$$

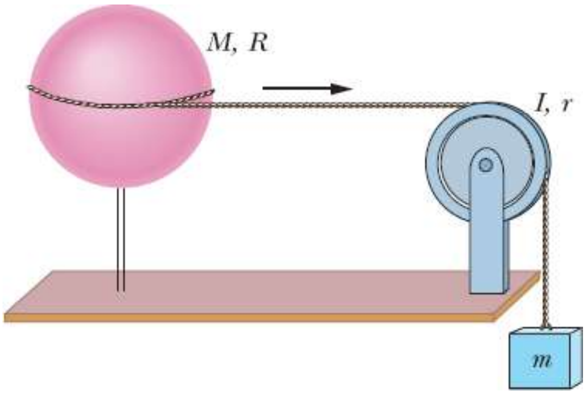
Como a extremidade superior da régua está a uma distância ℓ do eixo de rotação, a velocidade ao atingir o solo é, de acordo com a Eq. 10-18,

$$v = \omega\ell = \sqrt{\frac{mg\ell^3}{I}}.$$

De acordo com a Tabela 10-2 e o teorema dos eixos paralelos, o momento de inércia é $I = \frac{1}{3}m\ell^2$ e, portanto,

$$v = \sqrt{3g\ell} = \sqrt{3(9{,}8\ \text{m/s}^2)(1{,}00\ \text{m})} = 5{,}42\ \text{m/s}.$$

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 (ver figura). Uma corda, de massa desprezível, está enrolada no equador da casca, passa por uma polia de momento de inércia $I = 3{,}0 \times 10^{-3}$ kg ·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.**



66. De acordo com a Tabela 10-2, o momento de inércia de uma casca esférica é $2MR^2/3$ e, portanto, a energia cinética (depois de o objeto descer uma distância h) é

$$K = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}MR^2\right)\omega_{\text{casca}}^2 + \frac{1}{2}I\omega_{\text{polia}}^2 + \frac{1}{2}mv^2.$$

Como o objeto partiu do repouso, essa energia deve ser igual (na ausência de atrito) à energia potencial mgh do sistema no instante em que o objeto foi liberado. Substituindo a velocidade angular da casca esférica por v/R e a velocidade angular da polia por v/r, temos:

$$v = \sqrt{\frac{mgh}{\frac{1}{2}m + \frac{1}{2}\frac{I}{r^2} + \frac{M}{3}}} = \sqrt{\frac{2gh}{1 + I/mr^2 + 2M/3m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(9{,}8)(0{,}82)}{1 + 3{,}0\times10^{-3}/(0{,}60)(0{,}050)^2 + 2(4{,}5)/3(0{,}60)}} = 1{,}4 \text{ m/s}.$$

92 O Sol está a 2,3 × 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 × 10^9 anos?

92. (a) O tempo T que o Sol leva para completar uma revolução é igual à circunferência da órbita dividida pela velocidade v do Sol: $T = 2\pi R/v$, na qual R é o raio da órbita. Vamos converter o raio para quilômetros:

$$R = (2,3 \times 10^4 \text{ anos-luz})(9,46 \times 10^{12} \text{ km/anos-luz}) = 2,18 \times 10^{17} \text{ km},$$

sendo que a relação entre ano-luz e quilômetro pode ser encontrada no Apêndice D ou deduzida a partir da velocidade da luz. Assim, temos:

$$T = \frac{2\pi(2,18 \times 10^{17} \text{ km})}{250 \text{ km/s}} = 5,5 \times 10^{15} \text{ s}.$$

(b) O número N de revoluções é o tempo total t dividido pelo tempo T necessário para completar uma revolução, ou seja, $N = t/T$. Convertendo o tempo total de anos para segundos, obtemos

$$N = \frac{(4,5 \times 10^9 \text{ anos})(3,16 \times 10^7 \text{ s/ano})}{5,5 \times 10^{15} \text{ s}} = 26.$$