(a) Vista do topo do giroscópio cilíndrico em rotação.

(b) Diagrama do vetor.

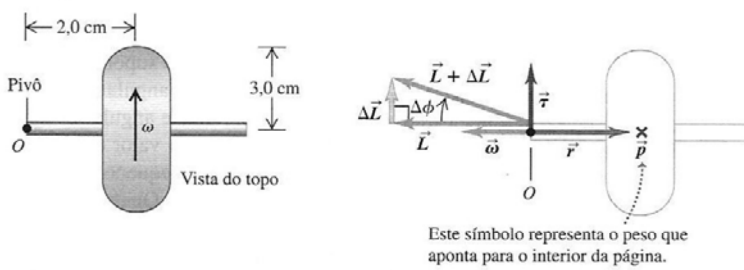


Figura 10.36 Qual é o sentido e qual é a velocidade escalar do movimento de precessão deste giroscópio?

AVALIAR: a velocidade angular de precessão Ω é muito menor do que a velocidade angular de spin ω, de modo que este é um exemplo de precessão lenta.

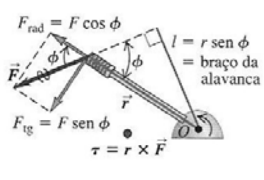
Teste sua compreensão da Seção 10.7 Suponha que a massa do volante na Figura 10.34 fosse duplicada, enquanto todas as demais dimensões e a velocidade angular do spin permanecessem as mesmas. Qual efeito essa variação surtiria na velocidade angular de precessão Ω? i) Ω aumentaria por um fator de 4; ii) Ω dobraria; iii) Ω não seria afetada; iv) Ω teria a metade do valor; v) Ω teria um quarto do valor. ▮

Resumo

Torque: quando uma força $\vec{F}$ atua sobre um corpo, o torque $\vec{\tau}$ dessa força em relação a um ponto O possui um módulo dado pelo produto do módulo de força F e o braço da alavanca l. De acordo com uma definição generalizada, o vetor torque $\vec{\tau}$ é igual ao produto vetorial de $\vec{r}$ (o vetor posição do ponto em que a força atua) por $\vec{F}$ (Exemplo 10.1).

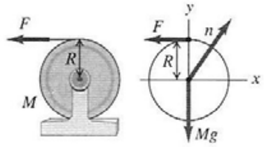
$$\tau = Fl \qquad (10.2)$$

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad (10.3)$$



Dinâmica da rotação: o análogo rotacional da segunda lei de Newton diz que o torque resultante que atua sobre um corpo é igual ao produto do momento de inércia do corpo pela sua aceleração angular (exemplos 10.2 e 10.3).

$$\sum \tau_z = I\alpha_z \qquad (10.7)$$



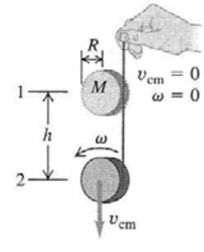
Movimento combinado de translação e rotação: quando um corpo rígido possui simultaneamente movimento de rotação e movimento de translação, a energia cinética pode ser expressa como a soma da energia cinética da translação do centro de massa e da energia cinética da rotação em torno de um eixo passando pelo centro de massa. Em termos da dinâmica, a segunda lei de Newton descreve o movimento do centro de massa, e o equivalente rotacional da segunda lei de Newton descreve a rotação em torno do centro de massa. No caso do rolamento sem deslizamento, há uma relação especial entre o movimento do centro de massa e o movimento de rotação (exemplos 10.4 – 10.7).

$$K = \frac{1}{2}Mv_{cm}^2 + \frac{1}{2}I_{cm}\omega^2 \qquad (10.8)$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = M\vec{a}_{cm} \qquad (10.12)$$

$$\sum \tau_z = I_{cm}\alpha_z \qquad (10.13)$$

$$v_{cm} = R\omega \qquad (10.11)$$



Trabalho realizado por um torque: um torque que atua sobre um corpo rígido enquanto o corpo gira realiza trabalho sobre esse corpo. O trabalho pode ser expresso como uma integral do torque. Segundo o teorema do trabalho-energia, o trabalho rotacional total realizado sobre um corpo rígido é igual à variação da energia cinética na rotação. A potência, ou a taxa em que o torque realiza trabalho, é o produto do torque pela velocidade angular (exemplos 10.8 e 10.9).

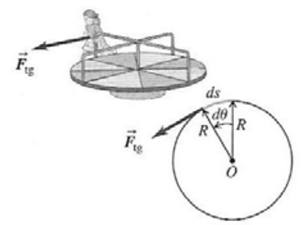
$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau_z \, d\theta \qquad (10.20)$$

$$W = \tau_z(\theta_2 - \theta_1) = \tau_z \Delta\theta \qquad (10.21)$$

(somente torque constante)

$$W_{tot} = \frac{1}{2}I\omega_2^2 - \frac{1}{2}I\omega_1^2 \qquad (10.22)$$

$$P = \tau_z\omega_z \qquad (10.23)$$



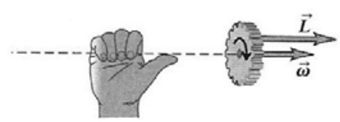
Momento angular: o momento angular de uma partícula em relação a um ponto O é o produto vetorial do vetor posição $\vec{r}$ da partícula em relação a O pelo seu momento linear $\vec{p} = m\vec{v}$. Quando um corpo simétrico gira em torno de um eixo de simetria fixo, seu momento angular é dado pelo produto do seu momento de inércia pelo seu vetor velocidade angular $\vec{\omega}$. Quando um corpo não é simétrico ou o eixo de rotação (z) não é um eixo de simetria, a componente do momento angular em torno do eixo de rotação é igual a $I\omega_z$. (Exemplo 10.10.)

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} \qquad (10.24)$$

(partícula)

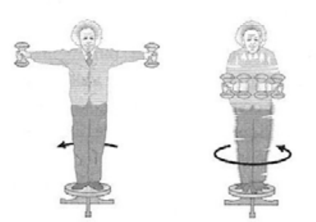
$$\vec{L} = I\vec{\omega} \qquad (10.28)$$

(corpo rígido girando em torno do eixo de simetria)



Relação entre a dinâmica do movimento de rotação e o momento angular: o torque resultante externo que atua sobre um sistema é igual à taxa de variação do seu momento angular. Quando o torque resultante externo que atua sobre um sistema é igual a zero, o momento angular total do sistema é constante (se conserva). (exemplos 10.11 – 10.15.)

$$\sum\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \qquad (10.29)$$



Principais termos

braço da alavanca (braço do momento), 317
linha de ação, 317
momento angular, 331
movimento combinado de rotação e translação, 323
movimento de translação, 316
precessão, 337
princípio da conservação do momento angular, 334
rolamento sem deslizamento, 324
torque, 317
velocidade angular de precessão escalar, 339

Resposta à Pergunta Inicial do Capítulo

Quando o pára-quedista está no ar, nenhum torque resultante atua sobre o seu centro de massa. Portanto, o momento angular do corpo dele (o produto do momento de inércia I pela velocidade escalar angular ω) em torno do centro de massa permanece constante. Esticando braços e pernas, ele aumenta I e portanto ω diminui; se ele recolhe braços e pernas, I diminui e ω aumenta.

Respostas às Perguntas dos Testes de Compreensão

10.1 Resposta: (ii) A força P atua ao longo de uma linha vertical, portanto o braço da alavanca é a distância horizontal de A até a linha de ação. Esse é o componente horizontal da distância L, que é $L\cos\theta$. Logo, o módulo do torque é o produto do módulo da força P pelo braço da alavanca $L \cos\theta$, ou $\tau = PL\cos\theta$.

10.2 Respostas: (iii), (ii), (i) Para o objeto suspenso de massa m_2 acelerar de cima para baixo, a força resultante que atua sobre ele deve estar apontada de cima para baixo. Logo, o módulo m_2g da força do peso de cima para baixo deve ser maior do que o módulo T_2 da força de tensão de baixo para cima. Para que a polia tenha uma aceleração angular no sentido horário, o torque resultante que atua sobre a polia deve estar nesse sentido também. A tensão T_2 tende a girar a polia no sentido horário, enquanto a tensão T_1 tende a girar a polia no sentido contrário. Ambas as forças de tensão possuem o mesmo braço da alavanca R, portanto existe um torque no sentido horário T_2R e um toque no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio T_1R. Para que o torque resultante esteja no sentido horário, T_2 deve ser maior do que T_1. Logo, $m_2g > T_2 > T_1$.

10.3 Respostas: (a) (ii), (b) (i) Se você refizer o cálculo do Exemplo 10.6 com um cilindro oco (momento de inércia $I_{cm} = MR^2$) em vez de um cilindro maciço (momento de inércia $I_{cm} = \frac{1}{2}MR^2$), você obterá $a_{cmy} = \frac{1}{2}g$ e $T = \frac{1}{2}Mg$ (em vez de $a_{cmy} = \frac{2}{3}g$ e $T = \frac{1}{3}Mg$ para um cilindro maciço). Logo, a aceleração é menor, mas a tensão é maior. Você poderá chegar à mesma conclusão sem fazer o cálculo. O maior momento de inércia significa que o cilindro oco girará de forma mais lenta e, portanto, rolará de cima para baixo mais devagar. Para retardar o movimento de cima para baixo, uma maior força de tensão de baixo para cima é necessária, de modo a se opor à força de gravidade de cima para baixo.

10.4 Resposta: (iii) Você aplica o mesmo torque pelo mesmo deslocamento angular para ambos os cilindros. Logo, pela Equação (10.21), você realiza o mesmo trabalho para ambos os cilindros e fornece a mesma energia cinética para ambos. (Aquele com o momento de inércia menor acaba com uma velocidade escalar angular maior, mas não é essa a questão. Compare com o Exemplo Conceitual 6.5, na Seção 6.2).