

Roteiro do Experimento “Giroscópio Qualitativo”

A) Introdução ao experimento

Filmamos a vista superior do movimento de precessão de um giroscópio, cujo movimento de spin foi impulsionado com o auxílio de uma corda enrolada ao seu rolamento. A experiência consiste em familiarizar os estudantes com esse objeto físico por meio do estudo qualitativo do seu movimento de precessão ao longo do tempo. Para maiores detalhes, confira o item D1 do Apêndice, ao fim deste roteiro.

B) Procedimento de análise

B1. Assista aos vídeos do experimento disponibilizados na página *Vídeos* (acessível a partir da aba *Filmes e Quadros*), atente para o movimento de precessão do giroscópio e tente responder à seguinte questão: o que se pode afirmar sobre o comportamento da velocidade de precessão? Tome nota das suas hipóteses e indagações.

B2. A partir das imagens disponibilizadas, monte uma tabela com os instantes de tempo t_i (em segundos) e as posições angulares θ_i de precessão (em graus) do giroscópio para o conjunto de dados que lhe foi fornecido.

Importante:

i. Nos vídeos, é possível observar o movimento do giroscópio e constatar que ele completa várias voltas. Entretanto, a fim de amenizar os erros de paralaxe¹ e também a influência do movimento de nutação nos dados (que pode tornar a análise mais complexa), as imagens contemplam o movimento do giroscópio dentro de um quadrante apenas, como mostra a Figura 1 abaixo.

ii. Serão utilizadas somente a primeira e última imagens de cada volta do movimento de precessão do giroscópio. Com isso, serão obtidas para cada volta duas posições angulares do giroscópio e seus respectivos instantes de tempo.

iii. O círculo sobre qual o giroscópio realiza o movimento foi subdividido em intervalos de 15° . Portanto, não é possível ter uma precisão muito boa na determinação do ângulo. Recomendamos que você divida, de forma imaginária, o intervalo em três partes, cada uma correspondendo a um intervalo de 5° . Com isso, a posição do giroscópio sobre o círculo será dada por múltiplos de 5° (por exemplo, 205° , 315° etc). Adote a incerteza nesse valor como sendo $2,5^\circ$ e lembre-se que todos os valores de ângulos em graus devem ser convertidos para radianos.



Figura 1. Restrição do movimento do giroscópio a um quadrante para atenuar erros de paralaxe e os efeitos do movimento de nutação. A parte mais escura da foto representa o quadrante da análise.

¹ Erros de paralaxe são aqueles cometidos quando o observador, o objeto observado e mesmo o instrumento de medida (no caso específico dessa experiência, o círculo sobre o qual o giroscópio realiza o movimento cumpre o papel de “instrumento de medida”) não estão alinhados corretamente. Em consequência, os dados e, portanto, os resultados experimentais apresentam um desvio em relação aos valores verdadeiros.

B3. A partir da tabela construída no item **B2**, calcule a velocidade angular média de precessão $\bar{\omega}_p$ do giroscópio para cada par de imagens respectivo a cada volta, que é dada por:

$$\bar{\omega}_p = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_{final} - \theta_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}} \quad (1)$$

onde θ corresponde à posição angular do giroscópio e t ao instante de tempo em segundos demarcado em cada uma das imagens.

B4. A velocidade angular média dada pela equação (1) é aproximadamente igual à velocidade angular instantânea no instante médio \bar{t} , que acaba sendo o instante em que a imagem entre $t_{inicial}$ e t_{final} foi obtida, uma vez que o intervalo de tempo entre sucessivas imagens é sempre o mesmo. Na forma de equação,

$$\bar{t} = \frac{t_{inicial} + t_{final}}{2} \quad (2)$$

Por esta razão, podemos adotar a aproximação:

$$\bar{\omega}_p(t_{inicial} \leq t \leq t_{final}) \cong \omega_p(\bar{t}) \quad (3)$$

onde $\omega_p(\bar{t})$ é a velocidade angular instantânea de precessão do giroscópio no instante \bar{t} .

B5. Construa o gráfico da velocidade angular de precessão em função do tempo, $\omega_p(\bar{t})$. Não esqueça de incluir no gráfico as barras de incerteza.

C) Procedimento de elaboração do relatório

Escreva um relatório para um público que não conheça nem o experimento nem os procedimentos de análise, mas que possua conhecimentos em Física. Descreva o que foi feito, formule a conclusão e explique como ela foi obtida. Tente ser claro, objetivo e sintético, usando suas próprias palavras. Cada grupo deve entregar um único relatório, com as seguintes seções:

C1. Identificação: liste os nomes dos membros do grupo (ou apenas o seu, se trabalhou individualmente) e identifique o conjunto de imagens analisado.

C2. Introdução: apresente uma introdução resumida contendo a situação física e o objetivo do experimento.

C3. Descrição do Experimento: descreva o arranjo experimental de forma sucinta, não deixando de mencionar os principais dispositivos e componentes utilizados, assim como suas características.

C4. Resultados Obtidos: apresente uma tabela contendo os dados brutos de tempo e posição angular de precessão (item **B2**) e os dados calculados de velocidade angular de precessão (item **B3**), e inclua o gráfico da velocidade angular de precessão em função do tempo (item **B5**). Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com o número adequado de algarismos significativos, bem como se inseriu no gráfico as barras de incerteza.

C5. Análise de Dados: explique o comportamento da velocidade angular de precessão a partir dos elementos possíveis de se avaliar graficamente (explore o significado dos trechos crescentes ou decrescentes e dos pontos de máximo ou de mínimo, correlacionando-os com uma análise qualitativa do movimento do giroscópio). Levando em consideração esse gráfico e a equação (4) do Apêndice, comente o que acontece com cada

grandeza presente nessa equação com o passar do tempo. Por fim, comente se esse comportamento corrobora suas expectativas iniciais ao assistir os vídeos do experimento (item **B1**).

C6. Conclusão: Retome a introdução, atente para o objetivo do experimento e comente se ele foi alcançado plenamente, parcialmente ou não e por quê.

D) Apêndice

D1. Introdução Teórica. Um giroscópio típico é composto de um disco (geralmente chamado de volante ou rotor) atravessado, no seu centro, por uma haste de comprimento qualquer, mas de forma a ser dividida em duas partes iguais, como mostra a Figura 2. O disco então é colocado em rotação e, dependendo da rapidez do giro, observa-se que o conjunto adquire uma certa estabilidade, quando o senso comum diria que ele cairia.

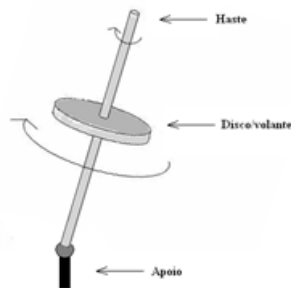


Figura 2. Esquema e componentes básicos de um giroscópio.

O caso de um pião de brinquedo ou mesmo a forma do giroscópio utilizado nessa experiência assemelha-se à configuração daquele mostrado na Figura 2, exceto pelo fato de a inclinação do eixo de rotação de spin não ser vertical, como se vê na Figura 3. É de se perceber então a existência de dois movimentos: o primeiro relacionado ao eixo de rotação que passa pela haste, denominado movimento de spin, e o segundo relacionado ao eixo perpendicular ao plano no qual o giroscópio realiza o movimento, chamado de precessão (eventualmente, pode haver um terceiro tipo de movimento, o de nutação; entretanto, para os fins dessa experiência, a consciência dos dois tipos anteriormente mencionados já é suficiente).

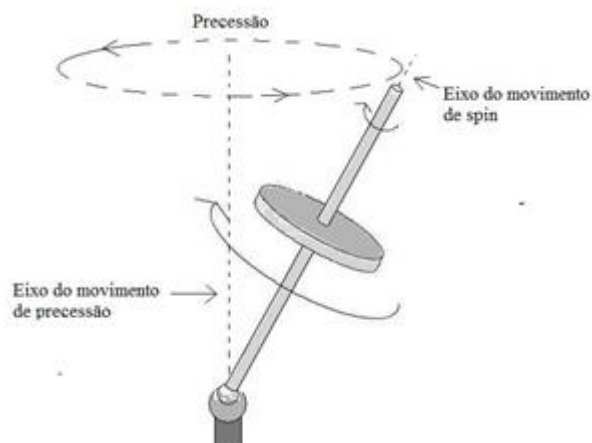


Figura 3. Eixo de spin não vertical. Situação da qual participam os piões de brinquedo e o próprio giroscópio dessa experiência.

É possível mostrar teoricamente que para um giroscópio, a velocidade de precessão ω_p é dada por:

$$\omega_p = \frac{Mgd}{I\omega_s} \quad (4)$$

onde M é a massa do giroscópio, g o módulo da aceleração de gravidade local, d a distância de uma extremidade da haste até o centro de massa do volante (coincidindo aproximadamente com o ponto em que a haste atravessa o disco) e I a inércia rotacional do giroscópio em relação ao eixo do movimento de spin, cuja velocidade angular é ω_s .

Referências Bibliográficas

VUOLO, José Henrique. *Fundamentos da Teoria de Erros*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. *Curso de Física Básica: 1 – Mecânica*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.