

Roteiro do Experimento “Roda de Inércia”

A) Introdução ao experimento

Filmamos o movimento acelerado de uma roda de inércia, ao longo da qual foi enrolado um fio que possuía um peso amarrado à sua extremidade. O objetivo do experimento é familiarizar o estudante com as grandezas cinemáticas e dinâmicas associadas aos movimentos de rotação tais como torque, aceleração angular e momento de inércia, possibilitando ao aluno a chance de medi-las experimentalmente e confrontá-las com os valores esperados.

B) Procedimento de análise

B1. Assista aos vídeos do experimento disponibilizados na página *Vídeos* (acessível a partir da aba *Filmes e Quadros*) e tente perceber que diferença há entre enrolar o fio no disco central de acrílico ou no disco externo de ferro.

B2. Anote os valores de todos os parâmetros do conjunto de imagens designado a você: diâmetro e massa dos discos, massa do objeto preso ao fio e seu respectivo braço de torque. Essas informações estão disponíveis na aba *Filmes e Quadros*.

B3. Monte uma tabela com os instantes de tempo t_i (em segundos) e as posições angulares θ_i (em graus) do raio-vetor de referência demarcado na roda de inércia, para cada imagem i do conjunto de dados. Para proceder corretamente com a leitura das posições angulares, consulte o documento “*Guia de Leitura do Raio-vetor*”, disponível no menu *Guias Auxiliares*. **Mas atenção:** se o seu conjunto de dados for do tipo A, você precisará fazer a leitura dos dados básicos para todas as imagens fornecidas, enquanto que se ele for do tipo B, será necessário escolher 14 imagens, de modo que os intervalos de tempo entre elas sejam sempre iguais.

B4. A partir da tabela construída no item **B3**, calcule a velocidade angular média $\bar{\omega}$ da roda de inércia no intervalo de tempo $t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}$, que é dada por:

$$\bar{\omega}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

onde θ corresponde à posição angular do raio-vetor, t ao instante de tempo e i ao número da imagem.

B5. A velocidade angular média dada pela equação (1) é aproximadamente igual à velocidade angular instantânea no instante médio \bar{t}_i , que acaba sendo o instante em que a imagem entre t_{i-1} e t_{i+1} foi obtida, uma vez que o intervalo de tempo entre sucessivas imagens é sempre o mesmo. Na forma de equação,

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_{i+1}}{2} = t_i \quad (2)$$

Por esta razão, podemos adotar a aproximação:

$$\bar{\omega}(t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}) \cong \omega(\bar{t}_i) = \omega(t_i) \quad (3)$$

onde $\omega(t_i)$ é a velocidade angular instantânea do raio-vetor no instante t_i .

Essa aproximação é muito boa, porque o intervalo de tempo $t_{i-1} \leq t \leq t_{i+1}$ é muito pequeno. Finalmente, perceba que não é possível calcular a velocidade nem para a primeira e nem para a última imagem.

B6. Construa o gráfico da velocidade angular em função do tempo, $\omega(t_i)$, e ajuste uma linha de tendência para encontrar a reta que melhor representa o conjunto de pontos. Lembre-se que o coeficiente angular dessa reta representa a aceleração angular α experimental. Não esqueça de incluir no gráfico as barras de incerteza.

B7. Converta a unidade de medida da aceleração angular experimental obtida de grau/s² para rad/s², a fim de facilitar a comparação posterior entre os valores experimental e esperado. Calcule a incerteza da aceleração angular experimental usando a seguinte fórmula:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_{\omega} \sqrt{12}}{T \sqrt{N}} \quad (4)$$

onde T é o intervalo de tempo total tomado, N o número de pontos experimentais e σ_{ω} a incerteza da velocidade angular, que precisa ser determinada por propagação. Para propagar corretamente esta última incerteza, consulte o “Roteiro para Cálculo de Incertezas”, disponível no menu *Guias Auxiliares*.

B8. Calcule o módulo da aceleração angular α' esperada da roda de inércia para o seu arranjo experimental, supondo um sistema ideal sem atrito, usando a expressão a seguir:

$$|\alpha'| = \frac{|\tau_{total}|}{I_{total}} = \frac{|\tau_P|}{I_{Ac} + I_{Fe}} = \frac{mgd}{\frac{m_{Ac}R_{Ac}^2}{2} + \frac{m_{Fe}R_{Fe}^2}{2}} \quad (5)$$

onde τ_{total} é o torque total sobre a roda da inércia, τ_P o torque devido ao peso do objeto pendurado no fio, m a massa desse objeto, d o tamanho do braço relativo a ele, g o módulo da aceleração da gravidade local, I_{total} o momento de inércia total da roda de inércia, I_{Ac} e I_{Fe} os momentos de inércia dos discos de acrílico e de ferro, m_{Ac} e m_{Fe} as massas desses discos e R_{Ac} e R_{Fe} os raios deles, respectivamente. Para a incerteza do valor da aceleração angular esperada, adote:

$$\sigma_{\alpha'} = |\alpha'| \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\tau_{total}}}{\tau_{total}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_{total}}}{I_{total}}\right)^2} \quad (6)$$

onde $\sigma_{\tau_{total}}$ e $\sigma_{I_{total}}$ são dados por:

$$\sigma_{\tau_{total}} = \sigma_{\tau_P} = |\tau_P| \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2} \quad (7)$$

$$\sigma_{I_{total}} = \sqrt{\sigma_{I_{Ac}}^2 + \sigma_{I_{Fe}}^2} \quad (8)$$

$$\sigma_I = I \sqrt{\left(\frac{\sigma_m}{m}\right)^2 + \left(2 \frac{\sigma_R}{R}\right)^2} \quad (9)$$

Na equação (9), I representa o momento de inércia, m a massa e R o raio de cada um dos discos, de forma a viabilizar os cálculos da equação (8).

B9. Compare seus resultados de acelerações angulares experimental e esperada, usando o teste Z de compatibilidade. **Mas atenção:** no cálculo da equação (5) foi determinado apenas o módulo da aceleração angular esperada, enquanto que a determinação da aceleração angular experimental feita no item **B6** já

contemplou o seu respectivo sinal: adéque os sinais antes de proceder com o teste Z. Caso não conheça esse teste, ele é explicado no texto abaixo.

Suponha duas grandezas a e b , de mesma dimensão física, expressas com mesma unidade de medida e que tenham sido determinadas experimentalmente, ou seja, que possuam incertezas conhecidas. Caso queiramos verificar se essas grandezas são compatíveis entre si, podemos recorrer ao teste Z. Nesse teste, calculamos o fator Z de compatibilidade a partir da seguinte fórmula:

$$Z = \frac{|a - b|}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2}}$$

Ao fazer o cálculo, teremos necessariamente que $Z \geq 0$, dados os sinais do numerador e do denominador. Se você obtiver um valor tal que $Z \leq 1$, poderá afirmar que as grandezas são compatíveis entre si com precisão de um desvio padrão. Por esse raciocínio, o caso de incompatibilidade entre as grandezas ocorre quando $Z > 3$.

B10. Verifique se os valores das acelerações angulares obtidas são compatíveis entre si. O que se conclui a partir dessa comparação? Proponha uma explicação fisicamente coerente que dê suporte para a sua conclusão.

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 (item **B3**) e os dados calculados de velocidade angular (item **B5**), e inclua o gráfico da velocidade angular em função do tempo com uma linha de tendência ajustada (item **B6**). Apresente os valores finais de α e α' , com suas respectivas incertezas, e do fator Z de compatibilidade. 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 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 da roda de inércia). A partir do fator Z de compatibilidade determinado no item **B9**, responda às questões propostas no item **B10**.

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