

Roteiro de análise do experimento “Queda do Cilindro”

A) Introdução ao experimento

Todos os objetos em queda livre nas proximidades da superfície da Terra têm uma aceleração constante, g , quando se pode ignorar a resistência do ar. Este experimento testa a validade dessa propriedade para um corpo rígido que cai, mas que tem um vínculo com um objeto que não sai do lugar, que induz outro movimento além da translação.

B) Procedimento de análise

B1. Modelo. Assista aos vídeos do experimento e observe os movimentos do cilindro e da fita como um todo. Reflita e **anote, usando suas palavras** (estas anotações não serão pontuadas, mas você precisa anotá-las a fim de poder verificar sua concepção inicial quando terminar o relatório):

- i. Como você descreve o movimento do cilindro? E da fita?
- ii. No arranjo experimental, localize os vínculos do cilindro e da fita. Como eles são mantidos ao longo do movimento? Em relação aos elementos do arranjo experimental que constituem esses vínculos, identifique quais das suas propriedades são importantes para mantê-los intactos ao longo do movimento.
- iii. Qual o papel dos vínculos no movimento do cilindro? E no da fita?
- iv. A análise anterior sugere que a aceleração do centro de massa do cilindro seja constante? E seu valor seria **menor, igual ou maior** que g ?
- v. Construa um modelo físico do arranjo experimental, ou seja, escreva um texto que explique como as forças que atuam sobre o cilindro (e a fita, talvez) provocam o movimento observado, sem usar equações, mas incluindo termos como força, torque, momento de inércia, aceleração angular, etc.

B2. Tomada de dados. Observe as imagens do conjunto que lhe foi designado. O quadriculado possui linhas horizontais e verticais pretas em que as grossas estão separadas por 1 cm e as finas, por 0,5 cm; tem uma linha vermelha a cada 5 cm.

Escolha um ponto do quadriculado como origem do sistema de coordenadas cartesianas – será mais fácil escolher a origem do sistema de coordenadas em uma linha vermelha. Adote o centro do cilindro ou a extremidade superior ou inferior da borda como referência para medir suas posições.

Monte uma tabela, associando a cada quadro i o instante de tempo t_i e a posição vertical $y(t_i)$ do cilindro no quadriculado. Adote 2 mm para o desvio-padrão das posições, isto é, $\sigma_y = 0,2$ cm, e ignore a incerteza no tempo.

B3. Grandezas cinemáticas. Calcule a velocidade média do centro do cilindro no *referencial do laboratório*, para os intervalos de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$, e use esse valor como estimativa da velocidade instantânea no instante t_i , ou seja:

$$v(t_i) \cong \bar{v}(t_i) = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

em que y e t correspondem, respectivamente, à posição vertical e ao instante de tempo, enquanto que \bar{v} simboliza a velocidade média linear e i o número do quadro em questão.

Calcule também o desvio-padrão na velocidade a partir da equação abaixo:

$$\sigma_{v_y} = \frac{\sqrt{2}}{|t_{i+1} - t_{i-1}|} \sigma_y \quad (2)$$

B4. Resultado experimental. Construa o gráfico da velocidade do cilindro em função do tempo calculada no item **B3** e ajuste uma linha de tendência a esse gráfico. Insira também as barras de incerteza. Identifique e interprete o coeficiente angular ajustado aos dados pela planilha, a . De acordo com o guia de tratamento de dados (na aba guias auxiliares, documento [Estatística: MEXI](#)), calcule o desvio padrão do coeficiente angular a como:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{v_y}}{T} \sqrt{\frac{12}{N}} \quad (3)$$

em que T é o intervalo de tempo total durante o qual se mediu a velocidade vertical do cilindro, e N é o número de dados.

B5. Modelo matemático. Construa uma representação matemática do sistema que permita determinar a aceleração do cilindro e encontre uma fórmula para essa grandeza a partir das propriedades dos elementos do arranjo. Para tal, resolva o exercício abaixo:

Uma fita está enrolada na superfície de um cilindro oco, de massa M , com raios externo e interno iguais a R e r , respectivamente. A fita tem uma ponta fixa e o cilindro cai verticalmente, como no vídeo do experimento. A fim de determinar sua aceleração durante a queda, siga os passos:

- Faça um esboço do arranjo e o diagrama de corpo livre do objeto em estudo.
- Escreva a equação de movimento (ou as equações de movimento, conforme o caminho que escolher).
- Encontre fórmulas que relacionem as propriedades físicas dos elementos do arranjo (raio, massa, etc.) com os parâmetros da equação (ou equações) do item b).
- Substitua essas fórmulas na equação (ou equações) de movimento do item b).
- Isole algebricamente a aceleração linear do cilindro em função de g e do(s) raio(s).

B6. Aceleração calculada. Para cada um dos possíveis pares de raios interno e externo dos cilindros usados neste experimento, relacionados na aba materiais, calcule numericamente a aceleração prevista pelo modelo matemático. Faça esse cálculo em uma planilha, de modo que possa usar a mesma fórmula para todos os cilindros.

B7. Incerteza na aceleração. Calcule o desvio padrão do valor calculado em **B6**, em função dos desvios padrão dos raios interno e externo do cilindro. Como no cálculo das acelerações, faça os cálculos na planilha para usar uma mesma fórmula para todos os casos.

B8. Similaridade. Identifique o cilindro que protagonizou o conjunto de imagens que você analisou e comente se há ambiguidade no resultado. Determine o grau de similaridade entre o arranjo experimental e o modelo que desenvolveu, na hipótese de haver identificado corretamente o cilindro usado.

Procedimento de elaboração do relatório

Cada grupo deve entregar um único documento, com as seguintes seções:

C1. Identificação. Liste os nomes dos membros do grupo e indique o conjunto de dados analisado.

C2. Descrição do Experimento. Descreva o que você observa no vídeo e as componentes do arranjo experimental de forma sucinta. Inclua todos os elementos que desempenham um papel no movimento tal como você vê nas imagens, deixando claro como os objetos se vinculam de maneira a resultar no movimento observado, mas não use fórmulas. O foco deve estar nos elementos e nas suas características, em tudo que for importante para construir um arranjo experimental similar. Escreva duas versões da sua descrição, uma sem usar os nomes das grandezas físicas como força, torque, inércia, como você faria para quem não estuda física e outra, usando esses nomes, mas sem usar fórmulas, como você precisou **pensar** para escrever as equações necessárias ao cálculo da aceleração. Para ajudar, use suas anotações iniciais do item **B1**.

C3. Modelo matemático. Desenvolva a representação matemática do modelo e apresente a expressão para o momento de inércia do cilindro bem como a fórmula da aceleração obtida. Deixe claro se considerou o movimento uma rotação pura ou uma combinação de rotação e translação e justifique sua escolha. Discuta a dinâmica do movimento: o modelo indica que a aceleração é constante ou variável? Menor, igual ou maior que g ? A quantidade de movimento é constante ou varia? A energia é constante ou varia? Explique, usando apenas palavras, porque a massa do cilindro não entra na expressão da aceleração angular.

C4. Dados Obtidos. Apresente as tabelas obtidas nos itens **B2** e **B3**. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos. Não se esqueça de mencionar como realizou os cálculos e chegou nos resultados.

C5. Análise de dados. Apresente o gráfico da velocidade do cilindro em função do tempo e o coeficiente angular da reta de tendência (item **B4**). Apresente a tabela das acelerações esperadas para os diferentes cilindros, acompanhadas dos respectivos desvios padrões.

C6. Resultados e discussão. Aponte qual é o cilindro que deve ter sido usado para gerar o conjunto de imagens que analisou e avalie o grau de certeza da sua escolha. Discuta se o modelo é compatível com a observação dentro das incertezas experimentais.

Comente sobre sua expectativa inicial acerca do valor da aceleração do cilindro obtida no item **B1**, e se ela é consistente com os resultados obtidos em **B4**. Que propriedades do sistema determinam que a aceleração é (constante, variável) e (menor, igual, maior) que g ? Qual foi o papel dos vínculos nesse resultado?

C7. Conclusão. Relate o grau de sucesso do modelo em explicar o movimento: retome a introdução, atente para o objetivo do experimento e comente se ele foi alcançado plenamente, parcialmente ou não, e por quê. (você pode retomar suas hipóteses e indagações registradas no item **B1** e verificar se o experimento corroborou ou não tais expectativas iniciais). Relate se os vínculos interferiram no movimento e se essa conclusão poderia ser estendida a qualquer sistema. Conclua se a precisão do experimento foi suficiente para definir qual cilindro foi usado.