Roteiro do Experimento “Colisões Bidimensionais”

A) Introdução ao experimento

Acompanharemos o movimento de dois discos que deslizam sem atrito sobre uma mesa de ar e colidem. Mediremos a evolução da posição dos discos ao longo do tempo e analisaremos o comportamento da quantidade de movimento linear total e o do centro de massa dos discos. A partir desses dados tentaremos verificar se nessa experiência o atrito é realmente desprezível.

B) Procedimento de análise

B1. Assista ao vídeo do experimento e observe atentamente à colisão entre os dois discos. Será que a quantidade de movimento total se conserva?

B2. Escolha um ponto, O , do quadriculado demarcado na superfície da mesa como origem do seu sistema de referências em coordenadas cartesianas e defina seu sistema de eixos ortogonais xOy . Esse sistema de referência não poderá ser mudado ao longo de toda a análise. Construa uma tabela com as posições $(x_e, y_e)_i$ e $(x_d, y_d)_i$ dos centros geométricos dos dois discos (os subscritos “ e ” e “ d ” identificam o disco que se vê nos quadros iniciais à esquerda e à direita, respectivamente) a cada instante t_i demarcado nas fotos. O quadriculado da mesa é composto por pequenos quadrados de 0,5 cm de lado e, portanto, a incerteza nas posições pode ser avaliada em 0,2 cm. Note que cada linha grossa delimita um quadrado de 1,0 cm e que a cada 5 desses quadrados há um ponto vermelho, o que ajudará posteriormente na tomada de dados. A incerteza no tempo pode ser ignorada.

B3. Considerando que o centro geométrico dos discos são seus centros de massa, adicione duas colunas à tabela, relativas às posições $(x_{CM}, y_{CM})_i$ do centro de massa do sistema a cada instante t_i marcado nas fotos. Obtenha também as incertezas nas coordenadas do centro de massa a partir da propagação de incertezas. A abscissa e a ordenada do centro de massa são dadas por:

$$x_{CM}(t_i) = \frac{m_e \cdot x_{ei} + m_d \cdot x_{di}}{m_e + m_d} \quad (1)$$

$$y_{CM}(t_i) = \frac{m_e \cdot y_{ei} + m_d \cdot y_{di}}{m_e + m_d} \quad (2)$$

em que m_e e m_d são as massas dos discos que inicialmente aparecem à esquerda e à direita dos quadros, respectivamente, x_{ei} e x_{di} são as abscissas e y_{ei} e y_{di} as ordenadas nos instantes t_i .

B4. Construa um gráfico com eixos x e y relativos às coordenadas de posição, e inclua no mesmo as trajetórias dos dois corpos envolvidos na colisão (conjuntos de n pontos $(x_e, y_e)_{[1,n]}$ e $(x_d, y_d)_{[1,n]}$) e a trajetória do centro de massa (conjunto de n pontos $(x_{CM}, y_{CM})_{[1,n]}$), não esquecendo das barras de incerteza relativas a ambas as coordenadas em cada caso.

B5. A partir da tabela do item B2, calcule as componentes da velocidade média *para cada disco* nas direções x e y , no intervalo de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$, dadas por:

$$\bar{v}_{x[t_{i-1}; t_{i+1}]} = \frac{x(t_{i+1}) - x(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (3)$$

$$\bar{v}_{y[t_{i-1};t_{i+1}]} = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (4)$$

onde x e y correspondem às coordenadas de posição da moeda, t ao instante de tempo, $\bar{v}$ à velocidade média no intervalo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ e i , ao número do quadro em questão. A notação $x(t_{i+1})$ na fórmula significa a posição horizontal da moeda no instante de tempo t_{i+1} .

B6. Adote a seguinte aproximação:

$$\bar{v}_{x[t_{i-1};t_{i+1}]} \cong v_x(\bar{t}_i) \quad (5)$$

$$\bar{v}_{y[t_{i-1};t_{i+1}]} \cong v_y(\bar{t}_i) \quad (6)$$

onde $v_x(\bar{t}_i)$ e $v_y(\bar{t}_i)$ correspondem às componentes da velocidade linear instantânea no instante médio $\bar{t}_i$, que é dado por:

$$\bar{t}_i = \frac{t_{i-1} + t_{i+1}}{2} \quad (7)$$

Essa aproximação é muito boa, porque o intervalo de tempo $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ é pequeno. Note que como os instantes de tempo demarcados nos quadros são equidistantes entre si, teremos que $\bar{t}_i = t_i$ para todos os i possíveis, não sendo possível, porém, calcular a velocidade nem para o primeiro nem para o último quadro.

B7. Adicione duas colunas à sua tabela e calcule as componentes da velocidade média do centro de massa $\bar{v}_{CM}$ usando expressões análogas às das equações (1) e (2) (substituindo as posições pelas respectivas velocidades) ou das equações (3) e (4) (substituindo x e y por x_{CM} e y_{CM}).

B8. Construa um gráfico de $\bar{v}_{CM}$ em função do tempo, não esquecendo das barras de incerteza relativas à velocidade. Uma vez plotado o gráfico, adicione ao mesmo uma linha de tendência, para análise do comportamento temporal da velocidade do centro de massa do sistema.

B9. Calcule a quantidade de movimento, *para cada disco*, a partir das seguintes expressões:

$$p_{xe}(t'_i) = m_e v_x(t'_i) \quad (8)$$

$$p_{ye}(t'_i) = m_e v_y(t'_i) \quad (9)$$

onde $p_{xe}(t'_i)$ e $p_{ye}(t'_i)$ correspondem às quantidades de movimento nas direções x e y para o disco da esquerda. Não se esqueça dos respectivos cálculos de propagação de incertezas para as quantidades de movimento.

B10. Calcule as quantidades de movimento totais nas direções x e y , dadas pelas expressões a seguir, não se esquecendo dos respectivos cálculos de propagação de incertezas.

$$P_x(t'_i) = p_{xe}(t'_i) + p_{xd}(t'_i) \quad (10)$$

$$P_y(t'_i) = p_{ye}(t'_i) + p_{yd}(t'_i) \quad (11)$$

B11. Calcule a quantidade de movimento total do sistema, a partir da expressão a seguir, não se esquecendo dos respectivos cálculos de propagação de incertezas.

$$P(t'_i) = \sqrt{(P_x(t'_i))^2 + (P_y(t'_i))^2} \quad (12)$$

B12. Represente os valores obtidos para as quantidades de movimento de cada disco na direção x em função do tempo em um par de eixos coordenados. Faça o gráfico das quantidades de movimento de cada disco na direção y em função do tempo. Construa também um gráfico da quantidade de movimento total do sistema em função do tempo. Não esqueça das respectivas barras de incerteza.

C) Procedimento de elaboração da síntese

C1. Identificação: inclua nome, turma e a identificação do conjunto de dados (situação) que analisou.

C2. Dados Obtidos: apresente a tabela com todas as grandezas calculadas. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos.

C3. Análise de Dados: apresente os gráficos construídos nos itens B4, B8 e B12. Verifique se expressou os valores das grandezas em unidades apropriadas e com número adequado de algarismos significativos, bem como se incluiu barras de incerteza em todos os gráficos.

C4. Discussão e Conclusão: responda às seguintes questões, justificando suas afirmações com base nos gráficos apresentados no item C3 sempre que necessário.

- a. Nos intervalos de tempo anterior e posterior à colisão, os discos estão em movimento retilíneo uniforme? Para encaminhar sua resposta, considere os seguintes itens, do ponto de vista de um observador **no laboratório**:
 - i. Monte um diagrama de forças, e especifique o módulo, a direção e o sentido das forças que agem em cada um dos discos;
 - ii. Avalie a resultante de forças na vertical e na horizontal, isto é, nas direções perpendicular e paralela ao plano do movimento, respectivamente;
 - iii. Conclua a respeito do tipo de movimento dos discos, raciocinando a partir das leis de Newton.
- b. Supondo que a colisão dura um intervalo de tempo da ordem de $0,004\text{ s}$, determine a força média atuante durante a colisão entre os discos. Explícite seu raciocínio, apresente os respectivos cálculos e descreva o vetor força.
- c. Durante a colisão, sabemos que forças internas agem de modo que o resultado da interação dos discos seja o que se vê nos vídeos. No movimento como um todo, podemos identificar diferentes comportamentos? Quais são eles? Como poderia explicar cada comportamento a partir da cinemática e/ou dinâmica?
- d. Da análise dos gráficos construídos, o que você conclui sobre a mesa de ar utilizada? Ela é um bom equipamento para realizar a experiência?
- e. Sobre o experimento virtual, você o acha coerente, complementar ou deslocado com a matéria dada em sala de aula? Nivelado acima ou abaixo do que se poderia esperar?