

Experimento Virtual de COLISÕES BIDIMENSIONAIS

Introdução ao Experimento

Acompanharemos o movimento de discos que deslizam sem atrito sobre uma mesa de ar e colidem. O experimento será analisado em duas partes. Nesta primeira parte, 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.

Arranjo Experimental

Usamos os seguintes equipamentos: mesa de ar (semelhante a uma mesa de *air hockey*), adesivo quadriculado, discos de acrílico, câmera para filmagem e diversos suportes.

A mesa de ar, precisamente plana, teve sua superfície de alumínio furada de modo que uma ventoinha situada abaixo dela cria, quando ligada, um colchão de ar sobre o tampo, o que permite que objetos planos, lisos e leves deslizem facilmente sobre a superfície.

O adesivo quadriculado, colado sobre a mesa e furado nos mesmos pontos que o tampo, serve de marcação para o sistema de referência necessário à medição das posições dos discos de acrílico, que são os objetos escolhidos neste experimento para deslizarem sobre a mesa e colidirem.

A câmera utilizada para a filmagem da experiência tem grande velocidade e boa resolução para captação de imagens. Os quadros extraídos do vídeo obtido na filmagem são as amostras experimentais das quais serão adquiridos os dados de posição e tempo. Cada quadro está marcado por um código de tempo referente ao instante em que o quadro foi captado, a partir do início da filmagem.

Análise Qualitativa

Na primeira aula, observaremos o processo de filmagem, edição do vídeo, extração de quadros e sua marcação com código de tempo. Você pode assistir ao vídeo, cujo link está na nossa página no moodle. Observe que existem linhas demarcadas em todos os discos. Essas linhas são diâmetros, portanto, sua intersecção marca o centro geométrico do disco, que coincide com o centro de massa por que o disco é homogêneo. É possível perceber que o fluxo de ar na superfície da mesa forma um colchão de ar e a interação dos discos com o tampo da mesa é muito pequena. A partir dessas características, vamos proceder com a análise dinâmica do movimento dos objetos.

1) Considerando o experimento no intervalo de tempo compreendido entre o lançamento e a colisão dos discos, mas sem incluir os extremos, responda às questões a seguir, do ponto de vista de um observador no laboratório.

- i. Quais são as forças que agem nos discos?
- ii. Qual a natureza dessas forças? (eletromagnética, gravitacional, etc.)
- iii. Quais são os sentidos e as direções delas?
- iv. O que podemos afirmar sobre seus módulos?
- v. Qual a resultante de forças nas direções vertical e horizontal (isto é, nas direções perpendicular e paralela ao plano do movimento, respectivamente)?
- vi. O que podemos concluir sobre o movimento a partir destes resultados?

2) Durante a colisão entre os discos, sabemos que forças internas agem de modo que o resultado da interação dos discos seja o que se vê nos vídeos. Em relação ao momento da colisão:

- i. As forças que agiam nos discos anteriormente à colisão deixam de agir?
- ii. Quais as consequências cinemática e dinâmica da colisão sobre o movimento dos discos?

3) Após a colisão, o movimento dos discos é parecido com o que acontecia antes da colisão? Ou é diferente? De que maneira? Por quê?

Análise Quantitativa

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.

Coleta dos dados de posição e tempo

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. A incerteza no tempo pode ser ignorada.

Para cada etapa de análise descrita a seguir (do movimento do centro de massa do sistema e da quantidade de movimento linear dos discos), use diferentes planilhas para melhor organização, uma vez que trabalharemos em cada caso com muitas grandezas. Em todas as planilhas, inclua os dados da posição e tempo colhidos dos quadros correspondentes à situação que lhe foi designada.

Estudo do Centro de Massa

Posição do Centro de Massa. 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:

$$\begin{cases} x_{CM}(t_i) = \frac{m_e \cdot x_{ei} + m_d \cdot x_{di}}{m_e + m_d} \\ y_{CM}(t_i) = \frac{m_e \cdot y_{ei} + m_d \cdot y_{di}}{m_e + m_d} \end{cases}$$

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 .

Instante Médio. Quando se calcula numericamente a derivada de uma função, é muito mais preciso considerar dois instantes diferentes daquele de interesse, um antes e outro depois. Por isso, precisaremos adicionar uma coluna à tabela relativa ao instante médio entre os quadros escolhidos para determinar a velocidade instantânea. Para um intervalo de tempo cujos extremos são os instantes t_{i+1} e t_{i-1} , o tempo médio será

$$\langle t \rangle_i = \frac{t_{i+1} + t_{i-1}}{2}$$

Observe que utilizamos um índice i para os instantes médios, entretanto, pela expressão acima, teremos um instante médio para cada par de instantes não consecutivos. Ao final, obteremos, das n fotos da sua situação, $n-1$ instantes médios definidos.

Trajetória dos Discos e do Centro de Massa. 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. Faça um gráfico com os dados da planilha que tenha uma grade adequada para analisar o movimento graficamente, como no roteiro do experimento e na lista de exercícios.

Estudo da Quantidade de Movimento Linear Total

Reaproveite nesta planilha, além dos dados de posição e tempo colhidos inicialmente, os valores relativos aos instantes médios que constam na tabela já construída no estudo do centro de massa.

Componentes da Velocidade dos Discos. Considerando a velocidade média \bar{v} de cada um dos discos no intervalo de tempo $[t_{i+1}; t_{i-1}]$ como sendo a sua própria velocidade instantânea no instante médio deste intervalo, adicione dois pares de colunas à tabela ($[(v_x, v_y)_e]_{[1,n]}$ e $[(v_x, v_y)_d]_{[1,n]}$), relativas às componentes das velocidades instantâneas de cada disco nas direções x e y , que são dadas, então, por:

$$\begin{cases} v_x(< t >_i) \approx \bar{v}_{x[t_{i+1}+t_{i-1}]} = \frac{x(t_{i+1}) - x(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \\ v_y(< t >_i) \approx \bar{v}_{y[t_{i+1}+t_{i-1}]} = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \end{cases}$$

Velocidade do Centro de Massa. Adotando a velocidade média \bar{v}_{CM} do centro de massa do sistema no intervalo de tempo $[t_{i+1}; t_{i-1}]$ como a velocidade instantânea no instante médio deste intervalo, adicione duas colunas à tabela, relativas às componentes da velocidade nas direções x e y , são dadas por:

$$\begin{cases} v_{CM_x}(< t >_i) \approx \bar{v}_{CM_x[t_{i+1}+t_{i-1}]} = \frac{x_{CM}(t_{i+1}) - x_{CM}(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \\ v_{CM_y}(< t >_i) \approx \bar{v}_{CM_y[t_{i+1}+t_{i-1}]} = \frac{y_{CM}(t_{i+1}) - y_{CM}(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \end{cases}$$

Tendo as componentes das velocidades instantâneas do centro de massa do sistema em mãos, adicione uma coluna à tabela relativa ao módulo \bar{v}_{CM} da velocidade do centro de massa e calcule-o para todos os instantes médios. Obtenha também a incerteza em \bar{v}_{CM} a partir da propagação de incertezas.

Comportamento da Velocidade do Centro de Massa. Construa um gráfico do módulo da velocidade instantânea do centro de massa do sistema em função do tempo (isto é, $(\bar{v}_{CM})_i$ em função de $< t >_i$), 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.

Deposite a planilha com seus dados No Moodle, via tarefa “Primeira Parte da Análise de Colisões”, até 3ª-feira, às 19:00 hs. Não esqueça de incluir o gráfico com as posições dos discos e do Centro da Massa. Verificaremos que seus dados estão corretos e, caso tenham algum problema, devolveremos com a informação necessária para corrigi-los. Você precisará dessa planilha correta para completarmos a análise na próxima aula, que será na sala de Micros (210 da Ala Central).