



Experimento: Colisões em duas dimensões

R. Urbano/A. Turtelli/L. E. E. de Araujo

Introdução

Neste experimento estudaremos o choque não frontal (choque de raspão ou oblíquo) entre uma esfera de aço em movimento e outra em repouso, em um plano horizontal (2D). As medidas obtidas serão analisadas no Referencial do Laboratório.

Com esta experiência vamos estudar um fenômeno muito comum no nosso dia a dia: as colisões, os choques ou interações. Colisões, ou de uma maneira mais geral as interações, são um dos fenômenos mais comuns no nosso dia a dia e são o mecanismo pelo qual o ser humano se comunica com o mundo ao seu redor e se insere em seu meio ambiente.

Nas interações, como a própria etimologia da palavra indica, uma ação qualquer acontece entre dois ou mais corpos e uma informação qualquer é trocada entre eles. Qualquer tentativa de se compreender e/ou de se medir características do universo que nos cerca, tanto no micro como no macrocosmo, também é considerado uma interação. Qualquer medida que se faça é uma interação, onde tanto o aparelho de medida quanto o observador interagem com o objeto (fenômeno) a ser medido (analisado). É esse o fenômeno que estudaremos neste experimento.

Qual o modelo que construiremos para tentar explicá-lo? Neste experimento, vamos restringir o objeto de nosso estudo à interação, ou colisão, entre apenas dois corpos. Além disso, vamos supor que não haja nenhuma ação de qualquer outro corpo influenciando essa interação entre os dois corpos considerados.

Podemos afirmar que o estado de movimento de um conjunto dos dois corpos (corpo 1 e corpo 2) isolados não irá se alterar, já que não há nenhuma ação externa sendo exercida sobre o sistema (conjunto dos dois corpos). Logo, se o sistema é **isolado**,

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = 0 \quad (1)$$

Se o sistema é também considerado **fechado**, o impulso resultante \vec{J} será nulo, ou seja,

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} d\vec{P} = 0 \quad (2)$$

Utilizando uma linguagem mais técnica, isto significa que a quantidade de movimento total do sistema se conserva. Ou seja,

$$\vec{P}_{inicial} = \vec{P}_{final} \quad (3)$$

A energia mecânica total do sistema sempre se conserva, apesar do mesmo não ser válido para a energia cinética, que só irá se conservar para um tipo de choque particular chamado *choque elástico*.

É difícil testar esse modelo em laboratório uma vez que forças dissipativas (ex. atrito) estão sempre presentes e mascaram o resultado final.

No entanto, sendo possível realizar o choque no ar e analisar as trajetórias antes e depois do choque também no ar, os efeitos das forças de atrito são reduzidos praticamente a zero, dado que a força de atrito é uma força de contato. Logo, a única força dissipativa neste caso seria a resistência do ar, totalmente desprezível se as velocidades forem baixas e as trajetórias curtas. A Figura 1 a seguir mostra a situação explorada neste experimento onde possível efetuar o choque entre duas esferas no ar e medir suas velocidades.

A esfera 1 desce a canaleta da rampa de lançamento adquirindo momento e, no fim dela, terá velocidade apenas horizontal se o final da rampa estiver devidamente ajustado. Essa

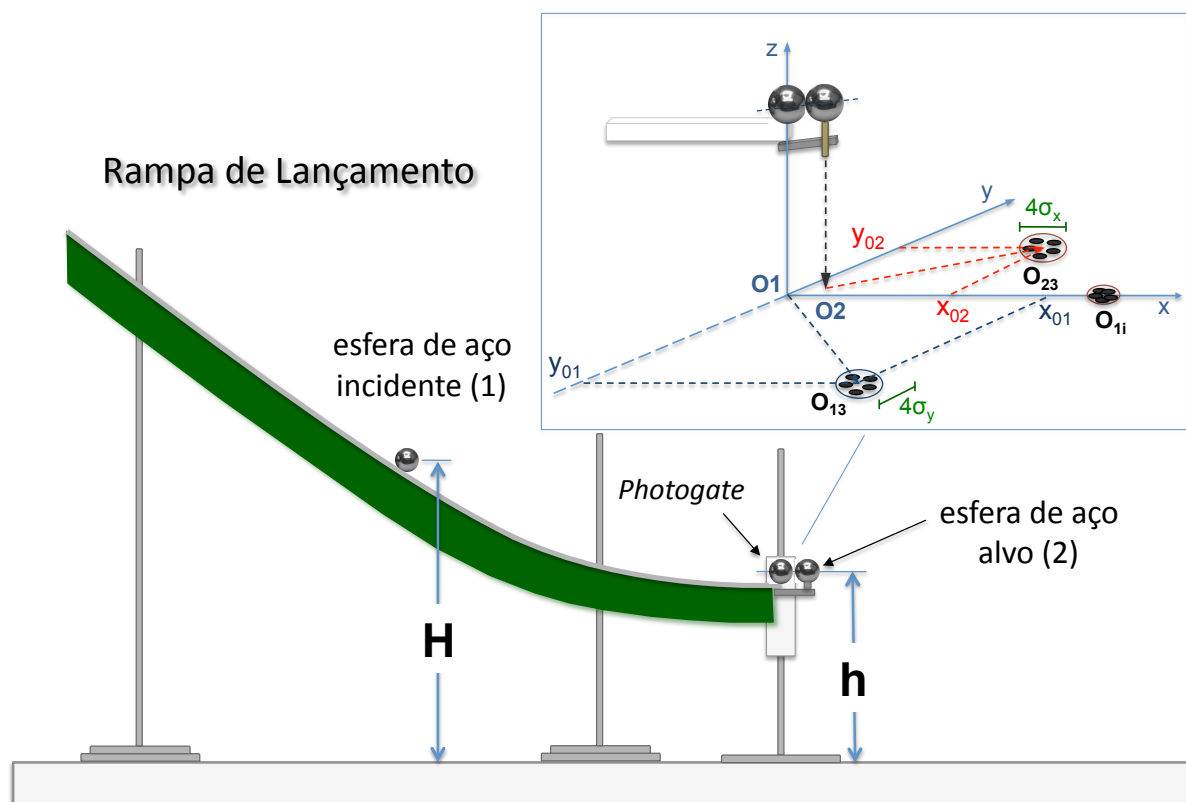


Figura 1: Parte final da rampa de lançamento com um suporte metálico onde a esfera alvo (2) é posicionada. O suporte conectado à canaleta pode ser movimentado lateralmente (girar), possibilitando escolher o ângulo do parâmetro de impacto do choque. No detalhe, está mostrado um exemplo da marcação de um conjunto de 5 lançamentos na cartolina para um parâmetro de impacto qualquer. Note a decomposição dos deslocamentos O_{1j} e O_{2j} em componentes nas direções x e y .

velocidade no momento antes do choque pode ser obtida através da medida do diâmetro da esfera e do tempo de obstrução registrado em um photogate no posicionado no final da rampa ou alternativamente através do alcance máximo da esfera 1, registrado quando ela toca na mesa (cartolina + papel carbono) sem colidir com a esfera 2. Já na situação em que as esferas se chocam, as velocidades das esferas só serão obtidas através dos seus alcances.

Como antes do choque só havia quantidade de movimento horizontal (a esfera incidente sai da canaleta com velocidade apenas na horizontal), é a quantidade de movimento nessa direção que deve ser conservada e essa pode ser facilmente medida usando o alcance horizontal da esfera 1 e seu tempo de queda.

Através dos resultados obtidos neste experimento será possível verificar a validade da conservação da quantidade de movimento (eq. 3) além de permitir o cálculo da elasticidade do choque.

Material Utilizado

- Rampa de lançamento
- 3 esferas de aço - duas delas com massas iguais e a terceira com massa diferente (maior)
- Prumo de linha
- Nível de bolha
- Régua milimetrada
- Balança digital
- 2 cartolinas brancas
- Papel carbono (duas cores)
- 1 *Photogate*

Procedimento

Neste experimento, utilizaremos a rampa de lançamento para garantir que a esfera incidente tenha sempre a mesma velocidade antes do choque. Deve-se certificar de que a esfera seja liberada sempre da mesma posição na rampa. O alcance máximo depende da velocidade horizontal do corpo, que neste caso é constante porque não há força resultante nessa direção. Portanto, se soltarmos a esfera de uma certa altura H na canaleta e deixarmos ela cair na mesa, a distância entre a projeção do final da canaleta (registrada com o prumo de linha) até o ponto de impacto na mesa será proporcional à velocidade inicial da mesma (antes do choque) no momento em que ela deixou a rampa.

Como a esfera incidente tem apenas velocidade na direção horizontal e o choque ocorre em um plano horizontal (o plano que contém os centros das duas esferas), a esfera alvo também receberá dela apenas velocidade na direção horizontal. Consequentemente, a distância entre o ponto onde a esfera alvo caiu na mesa até a projeção do suporte onde ela estava será proporcional à sua velocidade após a colisão. E a distância entre o ponto onde a esfera incidente bate na mesa após o choque até a projeção do final da canaleta será proporcional à sua velocidade após o choque. Portanto, registrando esses pontos de impacto na cartolina (papel carbono) sobre a mesa e medindo as distâncias envolvidas, pode-se testar o modelo físico do choque em duas dimensões, verificando experimentalmente a validade das leis de conservação.

As posições das esferas em um determinado instante serão registradas através do movimento vertical. O tempo de queda poderá ser determinado facilmente medindo-se a altura do final da rampa ($h \pm \Delta h$). Com este tempo de queda e o alcance máximo na direção x , pode-se determinar a componente v_{0x} .

Antes de iniciar as medidas, é importante medir as massas das esferas de aço ($m \pm \Delta m$) que você irá utilizar no seu experimento utilizando uma balança digital.

Deve-se começar o experimento realizando alguns lançamentos teste com e sem choque para definir a altura H de lançamento na rampa. Esta altura deve ser escolhida de forma a evitar que as esferas caiam fora da cartolina utilizada para se registrar os pontos de impacto na mesa. Logo, é conveniente liberar a esfera de uma altura intermediária na rampa (acima da parte horizontal da canaleta) e posicionar o final da canaleta à uma altura $h \simeq 20$ cm em relação à mesa.

Minimizando os efeitos de eventuais irregularidades na canaleta, obtém-se uma melhor distribuição dos pontos experimentais na cartolina (menor dispersão). Se esses efeitos fossem idênticos para cada lançamento, eles não seriam relevantes no estudo em questão. Porém, como

há uma variação aleatória e intrínseca nas condições de cada lançamento, convém reduzir o percurso da esfera sobre a canaleta para minimizar essa fonte de erro.

As medidas deverão ser feitas com 2 esferas de massas iguais. Serão **selecionados 5 parâmetros de impacto diferentes** (isso é, 5 posições diferentes da esfera alvo), sendo um correspondente a uma colisão frontal ($\theta = 0^\circ$) e os outros dispostos com um ângulo $\theta \neq 0^\circ$ com relação a canaleta à sua escolha. Procure alinhar cuidadosamente os centros de massa das duas esferas na mesma horizontal e sempre evitar que o centro de massa da esfera alvo esteja para trás do centro de massa da esfera incidente ($0 < \theta \leq 90^\circ$).

Para cada um dos 5 parâmetros de impacto escolhidos serão realizados 5 lançamentos.

Em nossa convenção, "1" é a esfera incidente e "2" a esfera alvo. Marque as origens: O1 é a origem para a esfera incidente (a projeção na mesa do final da canaleta), O2 é a origem para a esfera alvo (a projeção na mesa do pino onde a esfera alvo está apoiada. Marque esse ponto cuidadosamente usando o fio de prumo fixado no pino).

1. O segmento O1i é proporcional à velocidade inicial (antes do choque) da esfera incidente,
2. Os segmentos O1j ($j = 1$ a 5) são proporcionais às velocidades finais (depois do choque) da esfera incidente, para os parâmetros de impacto frontal e oblíquos. Cada j é definido pela posição média de cada um dos 5 lançamentos, para cada parâmetro de impacto,
3. Os segmentos O2j ($j = 1$ a 5) são proporcionais às velocidades finais (depois do choque) da esfera alvo, para os parâmetros de impacto 1 a 5 (as posições médias dos 5 lançamentos para cada parâmetro de impacto j).

Marque cuidadosamente na cartolina as origens da esfera incidente (1) e alvo (2) bem como todos os pontos de impacto, seguindo a convenção acima. Só coloque o carbono após efetuar alguns lançamentos e ter uma idéia de onde as esferas irão tocar na mesa. Use pedaços pequenos de carbono, somente sobre a região onde os pontos de impacto foram previamente estimados. Este procedimento irá possibilitar uma melhor visualização do conjunto de dados. A Figura 1 (detalhe) mostra um exemplo da marcação de um conjunto de 5 lançamentos para um dado parâmetro de impacto.

Se fossem realizados infinitos lançamentos para um parâmetro de impacto qualquer, teríamos as posições marcadas na cartolina circunscritos à dois círculos, um para a esfera incidente (1) e outro para a esfera alvo (2). Estes círculos ocorrem devido ao erro estatístico nas direções x e y . Neste caso, podemos considerar que o centro do círculo que circunscreve um conjunto de marcas corresponde ao valor médio da posição de choque (x, y) daquela esfera. Além disso, o raio do círculo seria o valor de 2 vezes o erro associado ao valor de x e y ($2\sigma_x$ e $2\sigma_y$), conforme mostrado na Figura 1 (detalhe).

Após completarem o procedimento acima, vocês devem realizar agora experimentos similares, mas considerando 2 massas diferentes para as esferas de aço. Sem repetir todo o procedimento anterior, vocês devem ser capazes de discutir as consequências destas mudanças apenas por **observação experimental** e devem obter suas conclusões sobre o fenômeno físico envolvido. Alternando o papel das esferas como projétil e alvo, examinem a magnitude e direção do movimento das duas esferas como resultado da colisão. Respondam as seguintes perguntas: Qual das duas esferas, a de massa maior ou menor, deve ser a esfera alvo/projétil e por que? Quais diferenças vocês observam no movimento de cada esfera após a colisão comparado com o movimento das bolas de massas iguais? Esta parte do experimento deverá ser discutida na seção de Discussão e Conclusões do seu relatório.

Guia para o Relatório

1. Encontre o tempo de queda $t \pm \Delta t$ em função de $h \pm \Delta h$ usando a aceleração da gravidade $g = (10,0 \pm 0,2)\text{m/s}^2$.
item Calcule o valor da velocidade inicial da esfera projétil $v_{0x} \pm \Delta v_{0x}$ antes da colisão (sem choque) de duas maneiras: a) utilizando o *photogate* na saída da rampa de lançamento e, b) através do alcance máximo da esfera. Compare os dois resultados.
2. Calcule também o momento linear inicial da esfera projétil $\vec{p}_0 = m\vec{v}_0$ com a sua respectiva incerteza.
3. Determine *graficamente* na cartolina o vetor velocidade relativa de aproximação antes do choque $\vec{v}_{1i} - \vec{v}_{2i}$ e o de afastamento depois do choque $\vec{v}_{2f} - \vec{v}_{1f}$, para cada um dos 5 parâmetros de impacto. Com base nestes resultados, calcule o coeficiente de restituição (elasticidade) $0 < e \leq 1$. O que você conclui a respeito do tipo de choque?

Os itens a seguir devem ser respondidos para um parâmetro de impacto de sua preferência.

4. Determine os vetores velocidade \vec{v} de cada esfera antes e depois do choque. Lembre-se de que \vec{v} um vetor e deve ser descrito como:

$$\vec{v} = (v_x \pm \Delta v_x) \hat{i} + (v_y \pm \Delta v_y) \hat{j}$$

5. Determine os vetores quantidades de movimento \vec{p} de cada esfera antes e depois do choque usando os resultados do item 4 e $m \pm \Delta m$ de cada esfera. Novamente, \vec{p} é um vetor e deve ser descrito como:

$$\vec{p} = (p_x \pm \Delta p_x) \hat{i} + (p_y \pm \Delta p_y) \hat{j}$$

6. O sistema das duas esferas pode ser considerado um sistema isolado na análise do choque? E a força gravitacional, não é uma força externa? Discuta esta questão em seu relatório.
7. Faça um estudo detalhado da conservação da quantidade de movimento antes e depois do choque, incluindo a análise de erro.